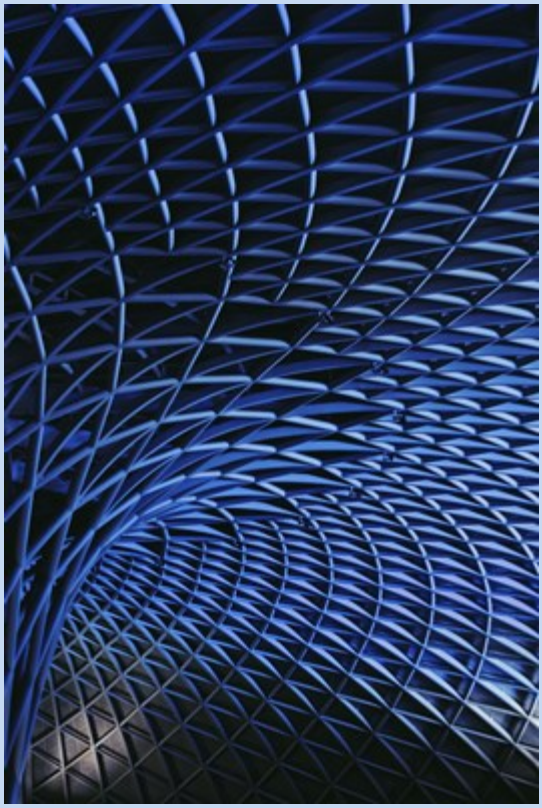
©1991-2021 Inter-CAD Kft.
Wszelkie prawa zastrzeżone

AXISVM X6

Podręcznik użytkownika



Wszelkie uwagi na temat niniejszego podręcznika prosimy przesyłać na adres *biuro@gammacad.pl*

Prawa autorskie

Copyright © 1991-2022 Inter-CAD Kft. of Hungary. Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej publikacji nie może być powielana, przechowywana w systemie wyszukiwania informacji ani przesyłana w jakiejkolwiek formie lub za pomocą jakichkolwiek środków elektronicznych, mechanicznych, fotokopii, nagrania lub w inny sposób do jakichkolwiek celów.

Znaki towarowe

AxisVM jest zastrzeżonym znakiem towarowym firmy Inter-CAD Kft.
Wszystkie inne znaki towarowe są własnością ich właścicieli.
Inter - CAD Kft. nie jest związany z Intercad PTY. Ltd. z Australii.

Oświadczenie

Materiał przedstawiony w niniejszym tekście służy jedynie dla celów objaśniających i edukacyjnych oraz nie jest wyczerpujący ani przeznaczony do zastosowania przy jakimkolwiek szczególnym problemie związanymi z projektowaniem inżynierskim. Pomimo dołożenia wszelkich starań przy przygotowaniu tego tekstu w celu zapewnienia jego poprawności, firma Inter - CAD Kft. nie ponosi żadnej odpowiedzialności wobec osób lub firm za bezpośrednie lub pośrednie szkody wynikłe za wykorzystania informacji zawartych w niniejszym dokumencie.

Zmiany

Inter-CAD Kft. zastrzega sobie prawo do wprowadzania poprawek i udoskonalania produktu, jak uzna to za stosowne. Publikacja ta opisuje stan produktu w czasie publikacji i może nie odzwierciedlać produktu w przyszłości.

Wersja

Jest to międzynarodowa wersja produktu, która może nie być zgodna z odpowiednimi standardami w poszczególnych krajach i dostępna jest wyłącznie na zasadzie „tak jak jest”.

Ograniczona gwarancja

Inter-CAD Kft. nie udziela żadnej gwarancji wyrażonej lub dorozumianej uwzględniając, lecz niewyłącznie domniemane gwarancje handlowe lub przydatności do określonego celu w odniesieniu do tych materiałów.
W żadnym wypadku Inter-CAD Kft. Nie ponosi odpowiedzialności wobec jakichkolwiek osób za specjalne, poboczne, wyjątkowe lub wynikające szkody, związane z lub wynikające z nabycia lub korzystania z tych materiałów. Jedyna i wyłączna odpowiedzialność firmy Inter-CAD Kft., niezależnie od formy działania, nie może przekroczyć ceny zakupu opisanego tutaj materiału.

Wsparcie i usługi techniczne

Jeśli masz pytania dotyczące instalacji lub używania AxisVM, sprawdź najpierw w podręczniku użytkownika, gdzie znajdziesz odpowiedzi na większość pytań. Jeśli potrzebujesz dalszej pomocy, skontaktuj się z dostawcą oprogramowania.

SPIS TREŚCI

1 Nowości w wersji X6 13
2 Jak pracować z AxisVM? 17
2.1 Wymagania sprzętowe 17
2.2 Zabezpieczenie programu i instalacja 18
2.2.1 Klucz sprzętowy 18
2.2.2 Klucz programowy 21
2.2.3 Instalacja 23
2.3 Pierwsze kroki 30
2.4 Interfejs użytkownika AxisVM 31
2.5 Używanie kursora, klawiatury, myszy 32
2.6 Skróty klawiaturowe 33
2.7 Menu podręczne 38
2.8 Okna dialogowe 38
2.9 Przeglądarka tabel 38
2.10 Generator raportu 45
2.10.1 Pasek narzędziowy Generatora raportu 47
2.10.2 Raport 48
2.10.3 Edycja 49
2.10.3.1 Raporty na podstawie szablonów 50
2.10.3.2 Edycja szablonu 51
2.10.3.3 Raporty na podstawie filtrów 55
2.10.4 Rysunki 55
2.10.5 Galeria 55
2.10.6 Pasek narzędzi Galerii i Biblioteki Rysunków 56
2.10.7 Edytor tekstu 56
2.11 Kondygnacje 57
2.12 Menadżer warstw 57
2.13 Biblioteka Rysunków 57
2.14 Zapisz w Bibliotece Rysunków 57
2.15 Eksport aktualnego widoku do 3D PDF (moduł PDF) 57
2.16 Pasek Ikon 58
2.16.1 Wybór elementów 59
2.16.2 Pasek ikon zoom 61
2.16.3 Widoki 62
2.16.4 Tryb prezentacji 63
2.16.5 Schematy kolorów 67
2.16.6 Geometryczne transformacje na obiektach 70
2.16.6.1 Przesuń/Kopiuj 70
2.16.6.2 Obróć/Kopiuj 71
2.16.6.3 Lustro/Kopiuj 72
2.16.6.4 Skaluj/Kopiuj 73
2.16.7 Płaszczyzny robocze 73
2.16.8 Osie konstrukcyjne 75
2.16.9 Prowadnice 78
2.16.10 Narzędzia geometryczne 79
2.16.11 Linie wymiarowe, symbole i etykiety 80
2.16.11.1 Ortogonalne linie wymiarowe 80
2.16.11.2 Dopasowane linie wymiarowe 82
2.16.11.3 Wymiar kątowy 83
2.16.11.4 Długość łuku 84
2.16.11.5 Promień łuku 84
2.16.11.6 Symbole rzędnych 85
2.16.11.7 Pole tekstowe 86
2.16.11.8 Pola tekstowe z informacją o obiekcie i rezultatami 87
2.16.11.9 Etykiety izolinii 90

2.16.11.10 Linie wymiarowe dla fundamentów ... 90
2.16.12 Edycja warstw podkładu ... 90
2.16.13 Przenumeruj / Zmień nazwę ... 92
2.16.14 Fragmenty ... 92
2.16.15 Wycinki ... 94
2.16.16 Pręt wirtualny ... 99
2.16.17 Znajdź ... 102
2.16.18 Opcje wyświetlania ... 102
2.16.19 Opcje modelu ... 108
2.16.19.1 Raster i kursor ... 108
2.16.19.2 Edycja ... 109
2.16.19.3 Rysunek ... 110
2.16.19.4 Weryfikacja obciążeń ... 111
2.16.20 Informacje o modelu ... 111
2.17 Wiersz poleceń i wyszukiwania ... 112
2.18 Przyciski szybkich ustawień ... 115
2.18.1 Przyciąganie do obiektu ... 116
2.19 Okna informacyjne ... 117
2.19.1 Okno współrzędnych ... 117
2.19.2 Okno panelu informacyjnego ... 117
2.19.3 Schemat kolorów ... 117
2.19.4 Okno legendy kolorów ... 117
2.19.5 Narzędzie okna perspektywy ... 120
3 Menu główne ... 121
3.1 Plik ... 121
3.1.1 Nowy model ... 121
3.1.2 Wcześniejsze rewizje... ... 122
3.1.3 Otwórz ... 123
3.1.4 Zapisz ... 123
3.1.5 Zapisz jako ... 123
3.1.6 Eksport ... 124
3.1.6.1 Eksport do DXF ... 124
3.1.6.2 Eksport do IFC ... 124
3.1.6.3 Eksport do Revit ... 126
3.1.6.4 Eksport do Tekla Structures ... 129
3.1.6.5 Eksport do Nemetschek Allplan ... 129
3.1.6.6 Eksport do formatu SAF ... 131
3.1.6.7 Eksport do AxisVM ... 131
3.1.6.8 Eksport do innych programów ... 132
3.1.7 Import ... 132
3.1.7.1 Import plików DXF ... 133
3.1.7.2 Import plików IFC ... 134
3.1.7.3 Import plików RAE (Revit) ... 136
3.1.7.4 Import z Tekla Structures ... 142
3.1.7.5 Import plików PDF (moduł PDF) ... 142
3.1.7.6 Import plików SAF ... 143
3.1.7.7 Import plików AxisVM ... 144
3.1.7.8 Import plików z innych aplikacji ... 145
3.1.8 Konstrukcja parametryczna ... 145
3.1.8.1 Wtyczka Grasshopper/Rhinoceros ... 146
3.1.8.2 Dynamo/Revit plugin ... 146
3.1.9 Połączenie Tekla Structures – AxisVM (moduł TI) ... 146
3.1.9.1 Dwukierunkowa wymiana danych z Tekla Structures 2019 i nowsze ... 147
3.1.9.1.1 Przekazywanie modelu z AxisVM do Tekla Structures ... 147
3.1.9.1.2 Przekazywanie modelu analitycznego z Tekla Structures do AxisVM ... 151
3.1.9.1.3 Współpraca pomiędzy AxisVM i Tekla Structures ... 156
3.1.9.2 Jednokierunkowa wymiana danych z Tekla Structures (wersje sprzed 2019) ... 158
3.1.10 Nagłówek strony ... 161
3.1.11 Opcje wydruku ... 161

3.1.12 Drukuj ... 161
3.1.13 Drukowanie z pliku ... 164
3.1.14 Biblioteka modeli ... 164
3.1.15 Biblioteka materiałów ... 165
3.1.16 Biblioteka przekrojów poprzecznych ... 171
3.1.16.1 Edytor przekrojów poprzecznych ... 174
3.1.17 Biblioteka charakterystyk dla sprężyn ... 185
3.1.17.1 Sprężyna typu węzeł-węzeł ... 187
3.1.17.2 Izolator sejsmiczny ... 192
3.1.18 Zakończ ... 193
3.2 Edycja ... 194
3.2.1 Cofnij ... 194
3.2.2 Przywróć ... 194
3.2.3 Powtórz ostatnie polecenie ... 194
3.2.4 Wybierz wszystko ... 195
3.2.5 Przywróć poprzedni wybór ... 195
3.2.6 Kopiuj ... 195
3.2.7 Wklej ... 195
3.2.8 Opcje Kopiuj / Wklej ... 195
3.2.9 Usuń ... 196
3.2.10 Przeglądarka tabel ... 197
3.2.11 Generator raportu ... 197
3.2.12 Zapisywanie rysunków i tabel z wynikami wymiarowania ... 197
3.2.13 Zestawienie materiałów ... 198
3.2.14 Scalenie elementów konstrukcyjnych ... 198
3.2.15 Rozdzielenie elementów konstrukcyjnych ... 198
3.2.16 Konwertuj pręty na model powłokowy ... 199
3.2.17 Utwórz model powłokowy dla połączenia w węźle ... 199
3.2.18 Konwertuj rozłożone obciążenia powierzchniowe na pręty ... 200
3.2.19 Konwertuj obciążenia z wybranych paneli obciążeniowych do obciążeń samodzielnych ... 200
3.2.20 Konwertuj automatyczne odniesienia ... 200
3.2.21 Konwertuje rzeczywiste żebra zdefiniowane parametrycznie na niezależne ... 200
3.3 Ustawienia ... 201
3.3.1 Opcje wyświetlania ... 201
3.3.2 Opcje modelu ... 202
3.3.3 Menadżer warstw ... 202
3.3.4 Kondygnacje ... 203
3.3.5 Prowadnice ... 205
3.3.6 Osie konstrukcyjne ... 205
3.3.7 Normy projektowe ... 205
3.3.8 Jednostki i formaty ... 207
3.3.9 Grawitacja ... 207
3.3.10 Redukcja sztywności ... 208
3.3.11 Preferencje ... 209
3.3.11.1 Bezpieczeństwo danych ... 210
3.3.11.2 Kolory ... 212
3.3.11.3 Symbole graficzne ... 213
3.3.11.4 Czcionki ... 214
3.3.11.5 Okna dialogowe ... 215
3.3.11.6 Domyślne nazwy ... 216
3.3.11.7 Edycja ... 216
3.3.11.8 Generowanie siatki ... 218
3.3.11.9 Pasek narzędzi ... 218
3.3.11.10 Wyświetl ... 219
3.3.11.11 Fragmenty ... 220
3.3.11.12 Domyślne grupy obc. ... 221
3.3.11.13 Obliczenia ... 222
3.3.11.14 Raport ... 223
3.3.11.15 Aktualizacja ... 224
3.3.12 Skróty klawiaturowe ... 225

3.3.13 Język ... 226
3.3.14 Język raportu ... 227
3.3.15 Paski narzędzi w położeniu domyślnym ... 227
3.3.16 Okna dialogowe w położeniu domyślnym ... 227
3.4 Widok ... 227
3.5 Dodatki ... 228
3.6 Okno ... 229
3.6.1 Edytor właściwości ... 229
3.6.2 Okna informacyjne ... 230
3.6.3 Obraz tła ... 230
3.6.4 Podziel poziomo ... 231
3.6.5 Podziel pionowo ... 232
3.6.6 Dedykowane układy widoków ... 232
3.6.7 Zamknij okno ... 233
3.6.8 Zmiana rozmiaru czcionki etykiet ... 233
3.6.9 Zapobiegaj nakładaniu się etykiet ... 233
3.6.10 Biblioteka Rysunków ... 233
3.6.10.1 Eksport rysunków do pliku 3D PDF (moduł PDF) ... 235
3.6.11 Zapisz w Bibliotece rysunków ... 235
3.7 Pomoc ... 236
3.7.1 Zawartość ... 236
3.7.2 Przewodniki ... 236
3.7.3 Strona domowa AxisVM ... 236
3.7.4 Aktualizacja AxisVM przez internet ... 236
3.7.5 O programie ... 237
3.7.6 Informacja o wersji... ... 237
3.8 Główny pasek narzędzi ... 237
4 Przetwarzanie wstępne (Preprocesor) ... 239
4.1 Geometria ... 239
4.2 Edytor modelu ... 240
4.2.1 Tryb wielu okien ... 240
4.3 Układy współrzędnych ... 241
4.3.1 Kartezjański układ współrzędnych ... 241
4.3.2 Współrzędne biegunowe ... 241
4.4 Okno współrzędnych ... 242
4.5 Raster ... 243
4.6 Krok kursora ... 243
4.7 Narzędzia edycji ... 243
4.7.1 Identyfikacja kursora ... 243
4.7.2 Numeryczne wprowadzanie współrzędnych ... 245
4.7.3 Mierzenie odległości ... 245
4.7.4 Wymuszone poruszanie się kursora ... 245
4.7.5 Blokowanie współrzędnych ... 246
4.7.6 Automatyczne przecięcie ... 247
4.8 Pasek narzędzi geometrii ... 247
4.8.1 Węzeł (Punkt) ... 247
4.8.2 Linia ... 248
4.8.3 Łuk ... 249
4.8.4 Podział poziomy ... 249
4.8.5 Podział pionowy ... 249
4.8.6 Podział czworokąta / trójkąta ... 250
4.8.7 Podziel linię ... 251
4.8.8 Punkt przecięcia ... 252
4.8.9 Skasuj węzeł ... 252
4.8.10 Usuń węzły pośrednie ... 252
4.8.11 Wydłuż linie ... 252
4.8.12 Dotnij linie ... 253

4.8.13 Znajdź punkt przecięcia i dopasuj ... 254
4.8.14 Najkrótsza linia łącząca ... 254
4.8.15 Przetnij obiekty płaszczyzną ... 255
4.8.16 Utnij obiekty płaszczyzną i usuń półprzestrzeń ... 255
4.8.17 Linie przenikania obszarów ... 255
4.8.18 Wyczyść z niepotrzebnych linii i węzłów ... 255
4.8.19 Weryfikacja geometrii ... 256
4.8.20 Powierzchnia ... 256
4.8.21 Modyfikuj, przekształć ... 257
4.8.22 Usuń ... 259
4.9 Elementy skończone ... 259
4.9.1 Materiał ... 259
4.9.2 Przekrój poprzeczny ... 261
4.9.2.1 Przeglądaj bibliotekę przekrojów poprzecznych ... 261
4.9.3 Bezpośrednie rysowanie obiektów ... 264
4.9.4 Bezpośrednie rysowanie podpór ... 265
4.9.5 Obszar ... 265
4.9.5.1 Definiowanie zwykłego obszaru ... 266
4.9.5.2 Obszar użebrowanej płyty zespolonej ... 269
4.9.5.3 Płyta kanałowa ... 270
4.9.5.4 Parametryczne płyty użebrowane ... 271
4.9.5.5 Blacha trapezowa / Strop zespolony ... 271
4.9.5.6 Obszar z niestandardową macierzą sztywności ... 273
4.9.5.7 Obszary XLAM ... 275
4.9.6 Otwór ... 276
4.9.7 Operacje na obszarach ... 277
4.9.8 Elementy liniowe ... 278
4.9.8.1 Pręt kratowy ... 278
4.9.8.2 Pręt ... 280
4.9.8.2.1 Mimośrodowość prętów i żeber ... 285
4.9.8.3 Pręt z siedmioma stopniami swobody (moduł 7DOF) ... 289
4.9.8.4 Żebro ... 291
4.9.9 Elementy powierzchniowe ... 294
4.9.9.1 Tarcza ... 295
4.9.9.2 Płyta ... 296
4.9.9.3 Powłoka ... 297
4.9.10 Podpora węzłowa ... 298
4.9.10.1 Obliczenie sztywności podpory ... 301
4.9.10.1.1 Sztywność na podstawie parametrów słupa ... 301
4.9.10.1.2 Sztywność na podstawie podłoża uwarstwionego oraz parametrów fundamentu ... 302
4.9.11 Podpora liniowa ... 305
4.9.11.1 Obliczanie sztywności podpory ... 307
4.9.11.1.1 Sztywność na podstawie parametrów ściany ... 307
4.9.11.1.2 Sztywność na podstawie podłoża uwarstwionego oraz parametrów fundamentu ... 308
4.9.12 Podpora powierzchniowa ... 308
4.9.12.1 Obliczanie sztywności podpory ... 309
4.9.12.1.1 Sztywności na podstawie podłoża uwarstwionego oraz parametrów fundamentu ... 310
4.9.13 Zwolnienia krawędziowe ... 310
4.9.14 Elementy sztywne ... 311
4.9.15 Przepona ... 311
4.9.16 Sprężyna ... 312
4.9.16.1 Charakterystyka sprężyn ... 314
4.9.17 Element kontaktowy ... 315
4.9.18 Izolator sejsmiczny ... 316
4.9.19 Element łączący ... 319
4.9.20 Węzłowe stopnie swobody ... 322
4.9.21 Odniesienia ... 324
4.9.22 Tworzenie modelu obliczeniowego z modelu architektonicznego ... 328
4.9.23 Modyfikacja elementów ... 331
4.9.24 Usuń ... 332

4.10 Obciążenia 332
4.10.1 Przypadki obciążeń, grupy obciążeń 332
4.10.2 Kombinacje obciążeń 339
4.10.3 Obciążenie węzłowe 343
4.10.4 Skupione obciążenie na pręcie 344
4.10.5 Obciążenie skupione na obszarze lub panelu obciążeniowym 345
4.10.6 Obciążenia rozłożone na pręcie / żebrze 346
4.10.7 Obciążenie krawędziowe 347
4.10.8 Obciążenie liniowe obszaru / panelu obc. 348
4.10.9 Obciążenie powierzchniowe 350
4.10.10 Obciążenie powierzchniowe obszaru / panelu obciążeniowego 351
4.10.11 Obciążenie powierzchniowe rozłożone na elementach liniowych 354
4.10.12 Panele obciążeniowe 355
4.10.13 Obciążenie śniegiem (moduł SWG) 358
4.10.14 Obciążenie wiatrem (moduł SWG) 365
4.10.15 Generowanie obciążenia od wiatru z pliku CFD – moduł CFD 377
4.10.16 Obciążenie hydrostatyczne 379
4.10.17 Ciężar własny 379
4.10.18 Defekt długości (błąd produkcyjny) 379
4.10.19 Rozciąganie/ściskanie 379
4.10.20 Obciążenie termiczne na elementach liniowych 380
4.10.21 Obciążenie termiczne na elementach powierzchniowych 380
4.10.22 Wymuszone przemieszczenia podpór 381
4.10.23 Linia wpływu 382
4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1) 382
4.10.24.1 Obliczenia sejsmiczne wg Eurokodu 8 384
4.10.24.2 Wyznaczanie obciążeń sejsmicznych wg szwajcarskiej normy SIA 261 390
4.10.24.3 Wyznaczanie obciążeń sejsmicznych wg niemieckiej normy EC8-1 NA 390
4.10.24.4 Wyznaczanie obciążeń sejsmicznych wg włoskiej normy NTC 2018 391
4.10.24.5 Wyznaczanie obciążeń sejsmicznych wg rumuńskiej normy P100-1 391
4.10.24.6 Wyznaczanie obciążeń sejsmicznych wg holenderskiej normy NPR 9998:2018 391
4.10.25 Obciążenie „pushover" (moduł SE2) 391
4.10.26 Imperfekcje globalne 394
4.10.27 Imperfekcje geometryczne na podstawie postaci wyboczenia 395
4.10.28 Sprężenie (moduł PS1) 395
4.10.28.1 Sprężanie kablobetonowych belek i żeber 395
4.10.28.2 Sprężanie kablobetonowych obszarów 404
4.10.29 Obciążenie ruchome 407
4.10.29.1 Obciążenie ruchome na elementach liniowych 407
4.10.29.2 Obciążenia ruchome na obszarach lub panelach obciążeniowych 409
4.10.30 Obciążenia dynamiczne (dla analizy zależnej od czasu) (moduł DYN) 410
4.10.30.1 Dynamiczne obciążenie węzłowe 415
4.10.30.2 Dynamiczna siła skupiona na obszarze lub panelu obciążeniowym 415
4.10.30.3 Dynamiczne obciążenie powierzchniowe niezależne od siatki na obszarach i panelach obciążeniowych 416
4.10.30.4 Dynamiczne przyspieszenie podporowe 416
4.10.30.5 Dynamiczne przyspieszenie węzłowe 417
4.10.30.6 Dynamiczne obciążenie skupione na obszarze lub panelu obciążeniowym 417
4.10.30.7 Dynamiczne obciążenie rozłożone na obszarze lub panelu obciążeniowym 417
4.10.31 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy stalowe (moduł SD8) 418
4.10.32 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy drewniane (moduł TD8) 425
4.10.33 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy żelbetowe (moduł RC8-B) 428
4.10.34 Rozdziel obciążenia do odrębnych przypadków 431
4.10.35 Masa węzłowa 432
4.10.36 Modyfikacja obciążeń 433
4.10.37 Usuwanie obciążeń 433
4.11 Siatka 433
4.11.1 Generowanie siatki 433
4.11.1.1 Generowanie siatki dla elementów liniowych 433
4.11.1.2 Generowanie siatki obszaru 434

4.11.2 Zagęszczenie siatki ... 435
4.11.3 Weryfikacja elementów skończonych ... 436
4.11.4 Zaznacz swobodne krawędzie ... 436
4.11.5 Usuń wszystkie siatki ... 436
5 Analizy ... 437
5.1 Analiza statyczna ... 439
5.2 Analiza drgań własnych ... 443
5.2.1 Współczynnik odpowiedzi drgań (moduł FFA) ... 446
5.3 Analiza dynamiczna ... 448
5.4 Wyboczenie ... 450
5.5 Elementy skończone ... 451
5.6 Główne etapy analizy ... 453
5.7 Komunikaty błędów ... 454
6 Przetwarzanie końcowe (postprocesor) ... 457
6.1 Statyka ... 457
6.1.1 Wartości minimalne i maksymalne ... 464
6.1.2 Animacja ... 465
6.1.3 Wyświetlanie wykresu ... 466
6.1.4 Krzywe nośności „pushover" ... 470
6.1.4.1 Krzywe nośności wg Eurokodu 8 ... 471
6.1.4.2 Spektrum odpowiedzi przyspieszenie-przemieszczenie (ADRS) ... 471
6.1.4.3 Przesunięcie ... 472
6.1.5 Tabele wyników ... 472
6.1.5.1 Tabele z wynikami odcinków wycinających ... 474
6.1.6 Przemieszczenia ... 474
6.1.6.1 Nieliniowe obliczenia ugięcia całkowitego (w_tot) dla płyt żelbetowych ... 477
6.1.6.2 Przemieszczenia względne ... 478
6.1.7 Prędkości węzłowe ... 479
6.1.8 Przyspieszenia węzłowe ... 479
6.1.9 Siły wewn. prętów / prętów kratowych ... 479
6.1.10 Siły wewn. żeber ... 482
6.1.11 Siły wewnętrzne pręta wirtualnego ... 483
6.1.12 Siły wewn. elementu powierzchniowego ... 484
6.1.13 Siły wewn. podpór ... 487
6.1.14 Siły wewn. elementów łączących linia-linia i przegubów krawędziowych ... 488
6.1.15 Siły wewn. sprężyn ... 488
6.1.16 Odkształcenia prętów kratowych, prętów i żeber ... 488
6.1.17 Odkształcenia w punktach naprężeń elementów pręt kratowy / pręt / żebro ... 490
6.1.18 Odkształcenia elementów powierzchniowych ... 490
6.1.19 Odkształcenia w punktach naprężeń elementów powierzchniowych ... 492
6.1.20 Odkształcenia sprężyn ... 492
6.1.21 Naprężenia w prętach kratowych / prętach / żebrach ... 492
6.1.22 Naprężenia w elem. powierzchniowych ... 497
6.1.23 Wyniki dla sprężyn z charakterystyką nieliniową ... 501
6.1.24 Wyniki z analizy dynamicznej dla sprężyn ... 502
6.1.25 Linie wpływu ... 503
6.1.26 Obciążenia niezrównoważone ... 504
6.2 Wyboczenie ... 504
6.2.1 Tworzenie geometrii z imperfekcją na podstawie postaci wyboczeniowych – moduł IMP ... 505
6.3 Drgania własne ... 506
6.4 Dynamika ... 508
6.5 Wymiarowanie - Żelbet ... 508
6.5.1 Wymiarowanie elementów powierzchniowych ... 508
6.5.1.1 Wymiarowanie zbrojenia (moduł RC1) ... 508

6.5.1.1.1 Obliczenia zbrojenia ortogonalnego x/y wg Eurokodu 2 ... 514
6.5.1.1.2 Obliczenia zbrojenia ortogonalnego x/y wg DIN EN, DIN 1045-1 oraz SIA 262 ... 515
6.5.1.1.3 Obliczenia zbrojenia ukośnego wg Eurokodu 2 oraz SIA 262 ... 516
6.5.1.1.4 Obliczenia zbrojenia płyty zespolonej z blachą trapezową wg normy Eurokod i SIA ... 517
6.5.1.2 Zbrojenie rzeczywiste dla elementów powierzchniowych i obszarów ... 521
6.5.1.3 Zarysowanie ... 524
6.5.1.3.1 Obliczenia wg Eurokodu 2 ... 524
6.5.1.3.2 Obliczenia wg DIN 1045-1 ... 525
6.5.1.4 Nośność na ścinanie dla płyt i powłok (moduł RC3) ... 525
6.5.1.4.1 Obliczenia wg Eurokodu 2 ... 526
6.5.1.4.2 Obliczenia wg SIA 262 ... 527
6.5.1.5 Sprawdzenie przebicia (moduł RC3) ... 527
6.5.1.5.1 Sprawdzenie przebicia wg Eurokodu ... 528
6.5.1.5.1.1 Przebicie przez słup wg Eurokodu ... 528
6.5.1.5.1.2 Przebicie przez ścianę wg Eurokodu ... 534
6.5.1.5.2 Sprawdzenie przebicia wg SIA 262 ... 536
6.5.1.5.2.1 Przebicie przez słup wg SIA 262 ... 536
6.5.1.5.2.2 Przebicie przez ścianę wg SIA 262 ... 538
6.5.2 Wymiarowanie belki żelbetowej (moduł RC2) ... 539
6.5.2.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste belek (zginanie jednokierunkowe) ... 540
6.5.2.2 Etapy wymiarowania zbrojenia belki ... 545
6.5.2.3 Obliczanie zbrojenia teoretycznego belki ... 548
6.5.2.4 Weryfikacja zbrojenia rzeczywistego belki ... 550
6.5.2.5 Obliczanie belki żelbetowej wg Eurokodu 2 ... 553
6.5.2.6 Obliczanie belki żelbetowej wg DIN 1045-1 ... 555
6.5.2.7 Obliczanie belki żelbetowej wg SIA 262:2003 ... 557
6.5.3 Wymiarowanie słupa żelbetowego (moduł RC2) ... 558
6.5.3.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste słupów (zginanie dwukierunkowe) ... 565
6.5.3.2 Wyznaczanie mimośrodów ... 568
6.5.3.3 Weryfikacja słupów żelbetowych wg Eurokodu 2 (zginanie z siłą osiową) ... 571
6.5.3.4 Weryfikacja słupów żelbetowych wg DIN1045-1 (zginanie z siłą osiową) ... 574
6.5.3.5 Weryfikacja słupów żelbetowych wg SIA 262 (zginanie z siłą osiową) ... 575
6.5.3.6 Sprawdzenie ścinania i skręcania w słupie żelbetowym ... 575
6.5.3.7 Sprawdzenie ścinania i skręcania wg Eurokodu 2 oraz DIN 1045-1 ... 578
6.5.3.8 Sprawdzenie ścinania i skręcania wg SIA 262 ... 579
6.5.3.9 Nośność w warunkach sejsmicznych – obliczeniowa siła tnąca wg Eurokod i SIA ... 580
6.5.4 Wymiarowanie belek i słupów żelbetowych na warunki pożarowe (moduł RC8-B) ... 581
6.5.5 Wymiarowanie słupa o profilu zespolonym (moduł RC2) ... 584
6.5.5.1 Weryfikacja słupów zespolonych wg Eurokodu i SIA ... 586
6.5.6 Nieliniowa analiza dla żelbetowych płyt i powłok ... 587
6.5.7 Nieliniowa analiza żelbetowych belek i słupów ... 589
6.5.8 Zestawienie zbrojenia rzeczywistego ... 590
6.5.9 Wymiarowanie fundamentów (moduł RC4) ... 591
6.5.9.1 Wymiarowanie stóp fundamentowych ... 591
6.5.9.2 Wymiarowanie ław fundamentowych ... 602
6.5.9.3 Edytor profili gruntowych ... 602
6.5.9.4 Biblioteka profili gruntowych ... 604
6.5.10 Wymiarowanie żelbetowych trzonów i ścian (moduł RC5) ... 605
6.5.10.1 Definiowanie zbrojenia trzonu/ściany ... 610
6.5.10.2 Weryfikacja trzonu/ściany ... 614
6.5.10.3 Wyznaczanie mimośrodów ... 615
6.5.10.3.1 Weryfikacja zbrojenia trzonu/ściany wg Eurokodu 2 (zginanie z siłą podłużną) ... 616
6.5.10.3.2 Weryfikacja zbrojenia trzonu/ściany wg SIA 262 (zginanie z siłą podłużną) ... 618
6.5.10.4 Sprawdzenie żelbetowych ścian na ścinanie ... 619
6.5.10.4.1 Weryfikacja ścinania i ścięcia w styku wg Eurokodu 2 ... 619
6.5.10.4.2 Weryfikacja ścinania i ścięcia w styku wg SIA 262 ... 621
6.5.10.5 Wyniki ... 622
6.5.11 Analiza naprężenie-odkształcenie konstrukcji żelbetowych (moduł RC6) ... 624
6.5.11.1 Analiza naprężenie-odkształcenie belek i słupów ... 624

6.5.11.1.1 Parametry analizy naprężenie-odkształcenie ... 626
6.5.11.1.2 Analiza naprężenie-odkształcenie ... 628
6.5.11.1.3 Wyniki ... 629
6.5.11.2 Analiza naprężenie-odkształcenie elementów powierzchniowych ... 631
6.5.11.2.1 Wyniki ... 632
6.6 Wymiarowanie - Stal ... 633
6.6.1 Wymiarowanie prętów stalowych wg Eurokodu 3 (moduł SD1) ... 633
6.6.1.1 SGN – parametry do wymiarowania ... 640
6.6.1.2 SGU – parametry do wymiarowania ... 648
6.6.1.3 Wykresy i obliczenia wymiarujące ... 649
6.6.1.4 Optymalizacja stalowego przekroju poprzecznego (moduł SD9) ... 651
6.6.2 Wymiarowanie konstrukcji stalowych w warunkach pożaru zgodnie z Eurokod 3 (moduł SD8) ... 655
6.6.3 Wymiarowanie połączeń śrubowych elementów stalowych ... 664
6.7 Wymiarowanie – Drewno ... 668
6.7.1 Wymiarowanie prętów drewnianych (moduł TD1) ... 668
6.7.1.1 SGN – parametry do wymiarowania ... 673
6.7.1.2 SGU – parametry do wymiarowania ... 675
6.7.2 Wymiarowanie konstrukcji drewnianych w warunkach pożaru (moduł TD8) ... 680
6.7.3 Optymalizacja drewnianego przekroju poprzecznego (moduł TD9) ... 683
6.7.4 Wymiarowanie obszarów XLAM – panele CLT (moduł XLM) ... 684
6.8 Wymiarowanie ścian murowych – moduł MD1 ... 687
6.8.1 Kompleksowa analiza niezbrojonych ścian murowych ... 687
6.8.1.1 Definicja ściany murowej i jej parametrów ... 688
6.8.1.2 Parametry pasma murowego ... 692
6.8.1.3 Zweryfikuj obszar jako ścianę murową ... 693
6.8.1.4 Okno weryfikacji oraz definicja podparć i parametrów do wymiarowania ... 694
6.8.1.5 Wyświetlanie na modelu przekroju zwymiarowanych ścian ... 702
6.8.1.6 Wyniki ... 702
6.8.1.7 Zasady wymiarowania ... 706
6.8.1.8 Wymiarowanie ściany murowej wg Eurokodu 6 ... 707
6.8.1.9 Wymiarowanie ściany murowej wg NTC ... 711
6.8.1.10 Wymiarowanie ściany murowej wg SIA ... 714
7 AxisVM Viewer i Viewer Expert ... 719
8 Programowanie AxisVM ... 721
9 Przykłady ... 723
9.1 Liniowa analiza statyczna stalowej ramy płaskiej ... 723
9.2 Nieliniowość geometryczna w analizie statycznej stalowej ramy płaskiej ... 724
9.3 Analiza wyboczeniowa stalowej ramy płaskiej ... 725
9.4 Analiza drgań własnych (I-go rzędu) stalowej ramy płaskiej ... 726
9.5 Analiza drgań własnych (II-go rzędu) stalowej ramy płaskiej ... 726
9.6 Liniowa analiza statyczna wspornika żelbetowego ... 727
9.7 Liniowa analiza statyczna przegubowo podpartej płyty żelbetowej ... 727
9.8 Liniowa analiza statyczna utwierdzonej płyty żelbetowej ... 728
10 Bibliografia ... 729

Ta strona jest celowo pozostawiona pusta.

1 Nowości w wersji X6

OGÓLNE

Wiersz poleceń i wyszukiwania	*2.17 Wiersz poleceń i wyszukiwania*
Dedykowane układy widoków w menu Okno	*3.6.6 Dedykowane układy widoków*
Ulepszony filtr selekcji	*2.16.1 Wybór elementów*
Fragmenty logiczne wg typu obszarów specjalnych	*2.16.14 Fragmenty*
Możliwość dostosowania kolejnych symboli graficznych	*3.3.11.3 Symbole graficzne*

EDYCJA

Ukryj zaznaczone elementy	*2.18 Przyciski szybkich ustawień*
Przesuwanie pasm wirtualnych z podstawowymi elementami	
Kopiowanie układów osi konstrukcyjnych	*3.3.5 Prowadnice*
Zaznaczanie swobodnych krawędzi przy weryfikacji siatki	*4.11.4 Zaznacz swobodne krawędzie*

BIM I WYMIANA DANYCH

Nowe element AxisVM dla Rhino/Grasshopper	*3.1.8.1 Wtyczka Grasshopper/Rhinoceros*
*Import/eksport obciążeń poprzez interfejs SAF (moduł **SAF**)*	*3.1.6.6 Eksport do formatu SAF* *3.1.6.8 Eksport do innych programów*
*Import/eksport zwolnień węzłowych prętów oraz podpór węzłowych i liniowych poprzez interfejs Tekla (moduł **TI**)*	*3.1.6.4 Eksport do Tekla Structures* *3.1.7.4 Import z Tekla Structures*

ELEMENTY

Parametryczne profile dwuteowe z podwójnym wzmocnieniem, skrzyżowane dwuteowniki, SFB, IFB, symetryczne oraz asymetryczne HSQ	*3.1.16 Biblioteka przekrojów poprzecznych*
Bezpośrednia edycja parametryczna przekrojów poprzecznych prętów kratowych, prętów i żeber	*4.9.8.1 Pręt kratowy*
Bezpośrednia definicja przekroi dwuteowych ze wzmocnieniem pojedynczym lub podwójnym	*4.9.8.2 Pręt*
Pręty mimośrodowe	*4.9.8.2.1 Mimośrodowość prętów i żeber*
*Nowy element prętowy z siódmym stopniem swobody (nowy moduł **7DOF**)*	*4.9.8.3 Pręt z siedmioma stopniami swobody (moduł 7DOF)*
Kopiowanie wartości sztywności podpór węzłowych z arkusza Excel do AxisVM	*4.9.10 Podpora węzłowa*

OBCIĄŻENIA

Lista rozwijana wyboru przypadku obciążenia na zakładce Obciążenia	*4.10 Obciążenia*
*Nowe funkcje rozdzielenia obciążeń do odrębnych przypadków (wg kondygnacji, szachownica) (Nowy moduł **RC8-B**)*	*4.10.33 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy żelbetowe (moduł RC8-B)*
Wyświetlanie wg schematu kolorów w jednym widoku obciążeń powierzchniowych z wielu przypadków należących do danej grupy	*2.16.5 Schematy kolorów*

*Generowanie obciążeń od wiatru z modelu CFD (nowy moduł **CFD**)*	*4.10.15 Generowanie obciążenia od wiatru z pliku CFD – moduł CFD*
Wyświetlanie obciążeń od wiatru i śniegu wg schematu kolorów	
Przykładanie mimośrodowo obciążeń skupionych i rozłożonych na prętach oraz żebrach	*4.10.4 Skupione obciążenie na pręcie* *4.10.6 Obciążenia rozłożone na pręcie / żebrze*
Opcje do obsługi wielokrotnie zadanych obciążeń	*3.3.2 Opcje modelu*
Domyślne kolory elementów powierzchniowych i obciążeń liniowych mogą zostać dostosowane	*3.3.11.3 Symbole graficzne*
Reguły generowania kombinacji w tabeli relacji grup kombinacji decydujących	*4.10.2 Kombinacje obciążeń*
Wiele obciążeń sejsmicznych z różnych rezultatów analiz drgań własnych	*4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*
Definiowanie kierunku spektrum dla analizy sejsmicznej	*4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*
Jeżeli obciążenia sejsmiczne zostały wygenerowane na podstawie analizy drgań własnych z redukcją sztywności, to wykonywane są dwie analizy (z oraz bez redukcji sztywności) a wyniki uwzględniające redukcję sztywności wyświetlane są tylko w kombinacjach zawierających przypadki obciążeń sejsmicznych	*4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*
Definiowanie obciążeń ruchomych na panelach obciążeniowych	*4.10.29 Obciążenie ruchome*
Opcja przezroczystości dla paneli obciążeniowych	*2.16.4 Tryb prezentacji*
Rozszerzenie parametrycznej modyfikacji obciążeń w edytorze właściwości	*3.6.1 Edytor właściwości*

ANALIZY

*Uzyskanie postaci imperfekcji z postaci wyboczeniowych (Nowy moduł **IMP**)*	*6.2.1 Tworzenie geometrii z imperfekcją na podstawie postaci wyboczeniowych – moduł IMP*
Analiza nieliniowa ze zbrojeniem teoretycznym obliczanym na podstawie wskazanej przez użytkownika obwiedni kombinacji	*5.1 Analiza statyczna*

WYNIKI

Wyniki prezentowane na widoku zrenderowanym	*2.16.4 Tryb prezentacji* *6.1 Statyka*
Widok zrenderowany może wyświetlić rozkład naprężeń normalnych przekroju poprzecznego na pręcie	*6.1.21 Naprężenia w prętach kratowych / prętach / żebrach*
*Widok zrenderowany może wyświetlić jednocześnie górne i dolne składniki wyników naprężeń powierzchniowych, zbrojenia wymaganego, szerokości rys (moduł **RC1**)*	*6.1.22 Naprężenia w elem. powierzchniowych*
Nowy tryb kombinacji decydujących (półautomatyczny)	*6.1 Statyka*
Zaznaczanie poprzez filtrowanie wg dowolnego komponentu wyników	*2.17 Wiersz poleceń i wyszukiwania*
Dwukolorowy tryb wyświetlania wyników (wartości dodatnie/ujemne)	*2.19.4 Okno legendy kolorów*
Nowa opcja legendy kolorów do ukrywania kreskowania wartości spoza zakresu	*2.19.4 Okno legendy kolorów*
Nowe opcje legendy kolorów	*6.1.1 Wartości minimalne i maksymalne*

WYMIAROWANIE

Dodano załączniki krajowe Eurokod dla Norwegii	
*Wyniki zarysowania dostępne zarówno dla zbrojenia teoretycznego jak i rzeczywistego (moduł **RC1**)*	*6.5.6 Nieliniowa analiza dla żelbetowych płyt i powłok*

*Wymiarowania zbrojenia teoretycznego dla stropów zespolonych na blasze trapezowej (moduł **RC1**)*	*6.5.1.1.4 Obliczenia zbrojenia płyty zespolonej z blachą trapezową wg normy Eurokod i SIA*
*Zastosowanie wielowątkowości, a co za tym idzie przyspieszone obliczenia, dla wymiarowania belek żelbetowych (moduł **RC2**)*	*6.5.2 Wymiarowanie belki żelbetowej (moduł RC2)*
Nowy komponent wyników znormalizowanej siły podłużnej na jednostkę długości dla żelbetowych belek i słupów w sejsmicznych sytuacjach obliczeniowych	*6.5.3.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste słupów (zginanie dwukierunkowe)* *6.5.2.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste belek (zginanie jednokierunkowe)*
Nowy edytor profili gruntowych oraz nowa biblioteka profili gruntowych	*6.5.9.3 Edytor profili gruntowych* *6.5.9.4 Biblioteka profili gruntowych*
*Wymiarowanie ścian żelbetowych na ścinanie (moduł **RC5**)*	*6.5.10.4 Sprawdzenie żelbetowych ścian na ścinanie*
Nowy komponent wyników dla naprężeń i odkształceń betonu oraz stali zbrojeniowej elementów powierzchniowych	*6.5.11.2 Analiza naprężenie-odkształcenie elementów powierzchniowych*
*Wymiarowanie słupów i belek żelbetowych w warunkach pożaru (Nowy moduł **RC8-B**)*	*6.5.4 Wymiarowanie belek i słupów żelbetowych na warunki pożarowe (moduł RC8-B)*
*Przypisanie na modelu globalnym przekroju stalowego i drewnianego użytego podczas wymiarowania (moduł **SD1** oraz **TD1**)*	*6.6.1 Wymiarowanie prętów stalowych wg Eurokodu 3 (moduł SD1)* *6.7.1 Wymiarowanie prętów drewnianych (moduł TD1)*

TWORZENIE RAPORTÓW

*Nowa tabela zawierająca ilość zbrojenia obliczona dla każdego obszaru (moduł **RC1**)*	
*Wykresy słupkowe i stopień wykorzystania słupów żelbetowych, ścian żelbetowych i ścian murowych w Przeglądarce tabel (moduł **RC2**, **RC5**, **MD1**)*	*6.5.1.4 Nośność na ścinanie dla płyt i powłok (moduł RC3)* *6.5.3 Wymiarowanie słupa żelbetowego (moduł RC2)*
*Wykresy na modelu ze stopniem wykorzystania dla słupów żelbetowych (moduł **RC2**)*	
*Predefiniowane układy okien dla sprawdzania słupów żelbetowych (moduł **RC2**)*	
*Niestandardowe zestawy sił dodane przez użytkownika do weryfikacji słupów żelbetowych są zapisywane wraz z pozostałymi parametrami (moduł **RC2**)*	
*Niestandardowe zestawy sił do weryfikacji słupów żelbetowych mogą zostać zaimportowane poprzez schowek (moduł **RC2**)*	
*Notka obliczeniowa do wymiarowania słupa żelbetowego (moduł **RC2**)*	
*Notka obliczeniowa dla stali zawiera efektywne parametry przekroju poprzecznego oraz informacje o podporach bocznych (moduł **SD1**)*	
*Nowe funkcjonalności dla węzłów stalowych (aplikacja **SC1**)*	

Ta strona jest celowo pozostawiona pusta.

2 Jak pracować z AxisVM?

WITAMY W AXISVM!

AxisVM jest programem wykorzystującym metodę elementów skończonych (MES) do analizy statycznej, modalnej i wyboczeniowej konstrukcji. Został stworzony przez i dla inżynierów projektujących konstrukcje. AxisVM łączy zaawansowane funkcje analiz z łatwym w użyciu interfejsem graficznym.

Preprocesor

Modelowanie: narzędzia geometrii (punkty, linie, powierzchnie); automatyczne tworzenie siatki; biblioteki materiałów i przekrojów poprzecznych; narzędzia elementów i obciążeń; import/eksport geometrii CAD (DXF); interfejs do bezpośredniego tworzenia modelu na bazie IFC dla programów do projektowania architektonicznego jak np.: ArchiCAD firmy Graphisoft.
Na każdym kroku procesu modelowania, otrzymasz graficzną weryfikację wprowadzonych zmian. Dostępne jest wielokrotne polecenie Cofnij/Przywróć i pomoc on-line.

Analizy

Statyka, drgania własne i wyboczenie

Postprocesor

Wyświetlanie wyników: kształt zdeformowany/niezdeformowany; wykresy i izolinie powierzchni; animacja; konfigurowalne raporty tabelaryczne.
Po wykonaniu analiz, AxisVM za pomocą zaawansowanych narzędzi wizualnych umożliwi szybką interpretację wyników, a dzięki narzędziom numerycznym wyszukanie wyników, stworzenie raportu i wykonanie dalszych obliczeń w oparciu o te wyniki. Wyniki mogą być użyte do prezentacji zdeformowanego lub animowanego kształtu geometrii lub wykresów izolinii powierzchni. AxisVM potrafi liniowo, bez uruchamiania ponownych obliczeń, prezentować wyniki dla kombinowanych dowolnie obciążeń lub obwiedni wyników.

Tworzenie raportów

Tworzenie raportów jest zawsze częścią analiz, a graficzny interfejs użytkownika usprawnia i ułatwia ten proces. AxisVM dostarcza możliwość bezpośredniego drukowania wysokiej jakości zarówno danych tekstowych jak i graficznych do dokumentacji modelu i jego wyników. Dodatkowo dane i grafiki mogą być z łatwością wyeksportowane (DXF, BMP, JPG, PNG, WMF, EMF, RTF, HTML, TXT, DBF).

2.1 Wymagania sprzętowe

Poniższa tabela zawiera minimalne i zalecane wymaganie sprzętowe i programowe, tak, aby można było uzyskać maksymalną wydajność pracy z AxisVM

Zalecana konfiguracja

16 GB RAM
50 GB wolnego miejsca na dysku twardym
17" monitor kolorowy (lub większy) o rozdzielczości, co najmniej 1920x1080 pikseli
Procesor dwu- lub wielordzeniowy taktowany ponad 2 GHz
System operacyjny 64 bitowy Windows 10
Myszka lub inne urządzenie wskazujące
Drukarka laserowa lub atramentowa kompatybilna z Windows

Minimalna konfiguracja

4 GB RAM
10 GB wolnego miejsca na dysku twardym
15" monitor kolorowy o rozdzielczości, co najmniej 1024x768
Myszka
System operacyjny Windows 7

Wspierane systemy operacyjne

Windows11, Windows 10, Windows 8, Windows 7, Windows Server 2008 (wspierane systemy 32 lub 64 bitowe)
Częściowo wspierane systemy (pewne dodatki lub pluginy mogą powodować problemy): Windows Vista, Windows XP/SP3, Windows Server 2003/SP1

Dostęp do pamięci w wersji 32 i 64 bitowej

Uzyskanie przez program dostępu do większej ilości pamięci jest bardzo ważne, ponieważ znacznie przyspiesza analizy.
Natywna wersja **64 bitowa AxisVM X6** uruchamia się tylko na 64 bitowych systemach operacyjnych. Wówczas ma ona bezpośredni dostęp do pamięci fizycznej i nie są wymagane dalsze ustawienia.
32 bitowa wersja AxisVM X6 uruchamia się na systemach operacyjnych zarówno 32 jak i 64 bitowych. Posiada wtedy bezpośredni dostęp do 2GB pamięci fizycznej niższego rzędu.

2.2 Zabezpieczenie programu i instalacja

Program jest zabezpieczony za pomocą klucza sprzętowego lub programowego.

2.2.1 Klucz sprzętowy

Korzystając z klucza sprzętowego można zainstalować program na wielu komputerach, ale uruchomienie programu będzie możliwe tylko na tym komputerze, gdzie klucz jest fizycznie podpięty.
Podłącz klucz dopiero po zakończeniu instalacji programu, ponieważ niektóre systemy operacyjne mogą próbować wykryć podłączone urządzenie, a proces ten może zakłócić instalację sterowników.

Klucz sprzętowy Super Pro

Najbardziej powszechnym urządzeniem zabezpieczającym jest klucz Sentinel SuperPro, który jest dostępny zarówno dla licencji jednostanowiskowej jak i sieciowej wielostanowiskowej. Licencja jednostanowiskowa może być wykorzystywana tylko na jednym komputerze lub tylko na jednym terminalu przy wykorzystaniu Pulpitu zdalnego (Remote Desktop) lub Windows Terminal Server.

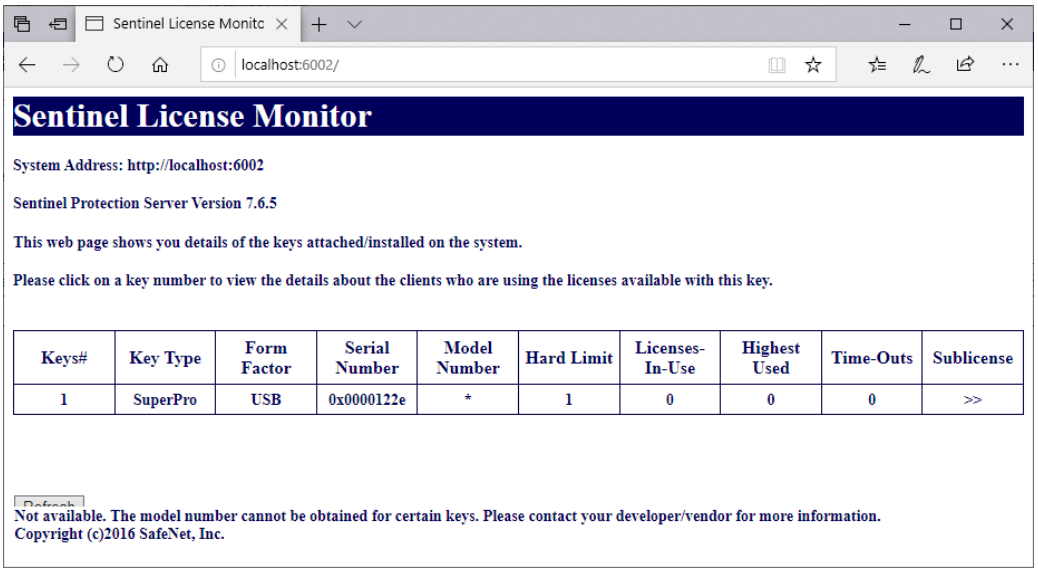
Działanie klucza sprzętowego wymaga odpowiednich sterowników. Są one automatycznie instalowane przez instalator AxisVM. W przypadku wystąpienia problemów, ich instalacja może zostać przeprowadzona również później. Aby to zrobić wybierz folder *Sentinel* znajdujący się w folderze *AxisVM* po zainstalowaniu programu i uruchom *Sentinel Protection Istaller*. W przypadku posiadania pendrive z instalatorem możesz wybrać również *Startup.exe*, a następnie ***Reinstall driver***.

Sieciowy klucz sprzętowy Super Pro

Jeżeli posiadasz licencję sieciową, musisz najpierw zainstalować klucz sieciowy. W większości przypadków AxisVM i klucz znajdują się na różnych komputerach, ale żeby klucz był dostępny w sieci lokalnej sterowniki Sentinel muszą zostać zainstalowane na obu komputerach za pomocą *Sentinel Protection Installer*.
Klucze sieciowe mogą być użytkowane zarówno w sieci lokalnej (LAN) jak i zdalnej (VPN).

Podłączając klucz do portu USB jednego z komputerów, następuje automatyczne wybranie go jako serwera AxisVM, czyli komputera zarządzającego licencjami.
Po zakończeniu instalacji uruchamiana jest usługa o nazwie *Sentinel Protection Server*, aby ustawić połączenie między kluczem sprzętowym podpiętym do komputera zwanego serwerem, a komputerami klienckimi.
Licencja sieciowa pozwala uruchomić AxisVM na tylu komputerach w sieci, ile licencji zostało zakupionych i zaprogramowanych na kluczu. Uruchomione programy rejestrowane są na kluczu sprzętowym. Zamknięcie programu na jednym z komputerów zwalnia jedną z posiadanych licencji i pozwala uruchomić ją na innym komputerze. Jeżeli z jakiegoś powodu aplikacja przestaje odpowiadać, to licencja nie jest od razu zwalniana na kluczu sprzętowym. Licencja będzie dostępna dopiero po 3 minutach od momentu wykrycia przez serwer braku odpowiedzi.

Producent klucza sprzętowego udostępnia narzędzie o nazwie *Sentinel License Monitor* do sprawdzania zarejestrowanych aktualnie licencji sieciowych, liczby wolnych licencji oraz do usuwania w razie konieczności licencji pozostających bez odpowiedzi.
Aby uruchomić to narzędzie, należy najpierw uruchomić przeglądarkę internetową i wpisać adres IP w sieci lokalnej serwera (tzn. komputera, do którego podpięty jest klucz sprzętowy) z dołączonym odniesieniem do portu 6002 (np. http://192.168.18.167:6002). Jeżeli przeglądarka internetowa została uruchomiona na komputerze, do którego podłączono bezpośrednio klucz sprzętowy, można wpisać tylko http://localhost:6002.



☞ **Ustawienia zapory sieciowej (firewall): Aby zapewnić pracę w sieci, należy w ustawieniach zapory włączyć protokół TCP / IP oraz UDP na portach 6001 i 6002.**

Dostęp do klucza sieciowego Sentinel SuperPro

Zainstalowany serwer klucza sieciowego działa automatycznie po uruchomieniu.

Poniższe ustawienie jest wymagane przy połączeniu VPN.

Jeżeli program AxisVM zostanie uruchomiony na komputerze użytkownika, rozpocznie on wyszukiwanie w sieci dostępnych kluczy sieciowych, sprawdzając każdy komputer z programem *Sentinel Pro Server*, niezależnie czy klucz jest podpięty czy nie. Może to spowolnić proces wyszukiwania. Aby poprawić prędkość połączenia, zaleca się utworzyć zmienną środowiskową NSP_HOST po stronie komputera klienckiego, określając adres IP komputera z kluczem, np.:

NSP_HOST = 192.168.0.23.

☞ **W przypadku używania więcej niż jednego klucza sieciowego, możliwe jest ustawienie zmiennych środowiskowych NSP_HOST1, ..., NSP_HOST5, określających komputery z kluczami. Największa liczba kluczy, która może być obsługiwana w taki sposób wynosi pięć.**

☞ **Aby uruchomić AxisVM na dowolnym komputerze w sieci, *Super Pro Server* musi być najpierw uruchomiony na serwerze. Jeśli zostanie zatrzymany, wszystkie uruchomione programy AxisVM również zostaną zatrzymane.**

Klucz sprzętowy Sentinel HL

Klucz **Sentinel HL** jest urządzeniem zabezpieczającym nowego typu, które do działania nie potrzebuje instalacji sterowników. Po podłączeniu go do portu USB, zostanie on zidentyfikowany przez system operacyjny Windows jako HID (Human Interface Device).
Ten typ klucza ma również wersję jednostanowiskową jak i sieciową. Licencja jednostanowiskowa może być wykorzystywana tylko na jednym komputerze lub tylko na jednym terminalu przy wykorzystaniu Pulpitu zdalnego (Remote Desktop) lub Windows Terminal Server.

Sieciowy klucz sprzętowy Sentinel HL

Sprzętowy klucz sieciowy może być użytkowany zarówno w sieci lokalnej (LAN) jak i zdalnej (VPN). Klucz należy podłączyć do komputera (serwer), aby mógł on pracować jako klucz serwera licencji oraz zainstalować AxisVM na komputerach (klient) użytkowników. Środowisko *Sentinel Runtime Environment* musi zostać zainstalowane, poprzez uruchomienie *InstallSentinelRuntime* zlokalizowanego w folderze *Sentinel LDK* znajdującego się w folderze AxisVM utworzonego podczas jego instalacji, zarówno na serwerze jak i komputerze klienckim
Środowisko *Sentinel Runtime Environment* zapewnia połączenie pomiędzy kluczem sprzętowym podłączonym do serwera a komputerami klienckimi. Jeżeli środowisko to nie zostanie uruchomione, to nie będzie również możliwości uruchomienia AxisVM na komputerze klienckim.
Aby dokupić kolejne licencje dla klucza sieciowego, należy uruchomić Admin Control Center (patrz poniżej), wybrać *Sentinel keys* z menu po lewej oraz odpowiedni klucz sieciowy z listy. Kliknij w ikonę *C2V* po prawej, aby zapisać plik z rozszerzeniem *c2v*. Plik ten należy następnie przesłać do dystrybutora oprogramowania wraz z informacją odnośnie do chęci rozszerzenia liczby licencji. Dystrybutor odeśle plik *v2c* z dodanymi licencjami. Otrzymany plik należy zapisać na komputerze.

Aby zaktualizować liczbę posiadanych licencji, należy wybrać z lewego menu *Update/Attach*, a następnie wskazać zapisany plik *v2c*. Kliknąć przycisk *Open*, aby przetransferować informacje o licencjach na klucz sieciowy. Od tego momentu nowe licencje będą aktywne na kluczu.

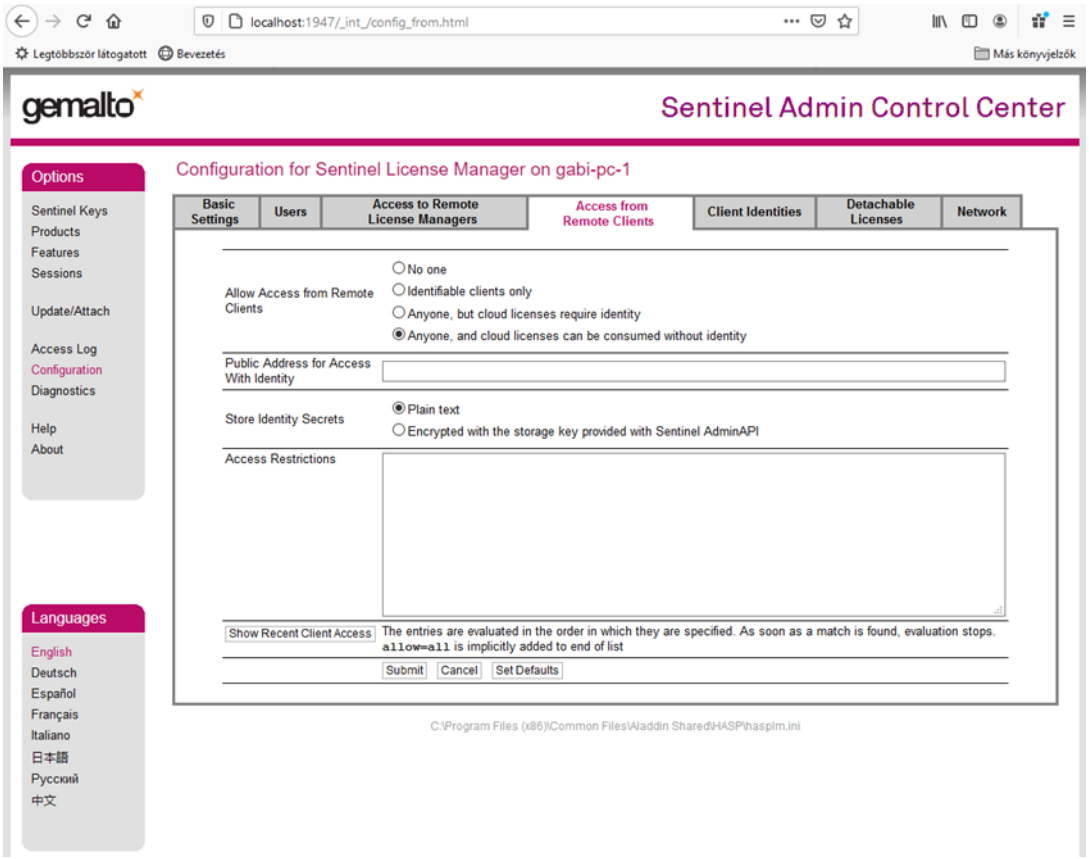
☞ **Ustawienia zapory sieciowej (firewall): Aby zapewnić pracę w sieci, należy w ustawieniach zapory włączyć protokół TCP / IP oraz UDP na portach 6001 i 6002.**

Konfiguracja serwera i komputera klienckiego

Aby zapewnić prawidłowe działanie klucza Sentinel HL, należy skonfigurować Sentinel Admin Control Center na serwerze i komputerach klienckich.

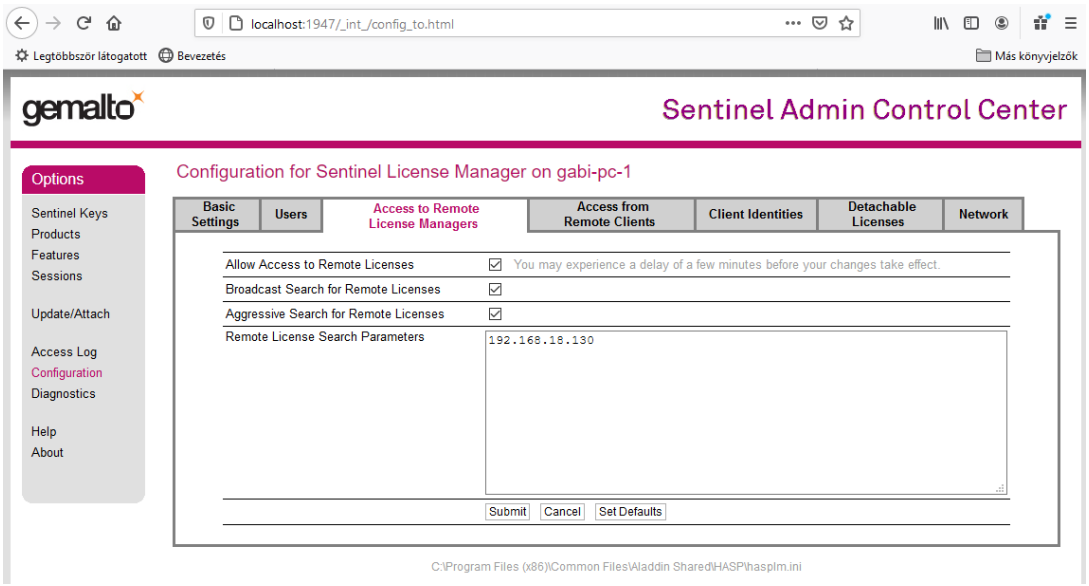
Serwer

Otwórz swoją przeglądarkę internetową i wpisz localhost:1947, aby otworzyć Sentinel Admin Control Center. Przejdź na zakładkę Access from Remote Clients i wybierz opcję Anyone w Allow Access from Remote Clients.



Klient

Otwórz swoją przeglądarkę internetową i wpisz *localhost:1947*, aby otworzyć *Sentinel Admin Control Center*. Przejdź na zakładkę *Access to Remote License Manager* i zaznacz opcję *Allow Access to Remote Licenses*, *Broadcast Search for Remote Licenses* oraz *Aggressive Search for Remote Licenses*. W polu *Remote License Search Parameters* wprowadź adres IP serwera i kliknij przycisk *Submit*.
Jeżeli serwer i komputer kliencki został poprawnie skonfigurowany to po wybraniu z lewego menu *Sentinel Keys*, wyświetlone zostaną wszystkie zainstalowane klucze Sentinel HL oraz SL.



2.2.2 Klucz programowy

Zabezpieczenie kluczem programowym zastępuje klucz sprzętowy podpinany do portu USB. Licencja na kluczu programowym dostępna jest również w wersji lokalnej oraz sieciowej. Wersja lokalna pozwala uruchomić AxisVM na jednym komputerze, na którym klucz programowy został wcześniej zainstalowany. Licencja sieciowa pozwala jednocześnie uruchomić wykupioną liczbę licencji AxisVM na komputerach klienckich połączonych w sieci lokalnej.

Klucz programowy może zostać przeniesiony na inny komputer za pomocą specjalnej aplikacji (patrz dalej). Po przeniesieniu licencji zabezpieczonej programowo AxisVM będzie działał tylko na komputerze, na który został przeniesiony.

Licencja zabezpieczona programowo jest połączona z pewnymi elementami komputerami, dlatego dowolna zmiana tych elementów (wymiana płyty głównej, procesora, karty sieciowej, dysku twardego) spowoduje unieważnienie licencji.

Aby zapobiec takiej sytuacji, licencja **musi być najpierw przeniesiona** czasowo na inny komputer, następnie można dokonać zmian na komputerze pierwotnym, a potem przenieść na niego licencję ponownie.

Klucz programowy Sentinel SL

Sentinel SL nie jest fizycznym urządzeniem podłączonym do portu komputera, ale kluczem programowym przypisanym do danego komputera. Klucza tego nie można bezpośrednio kopiować, ale można go przenosić pomiędzy komputerami za pomocą narzędzia **RUS** dostępnego z pakietem zabezpieczającym (szczegóły poniżej).
Klucz programowy jest dobrym rozwiązaniem w przypadku, gdy przechowywanie, podłączanie lub zabezpieczenie za pomocą klucza fizycznego jest problematyczne. Warto jednak zwrócić uwagę, że przeniesienie klucza sprzętowego jest znacznie szybszym i wygodniejszym procesem.

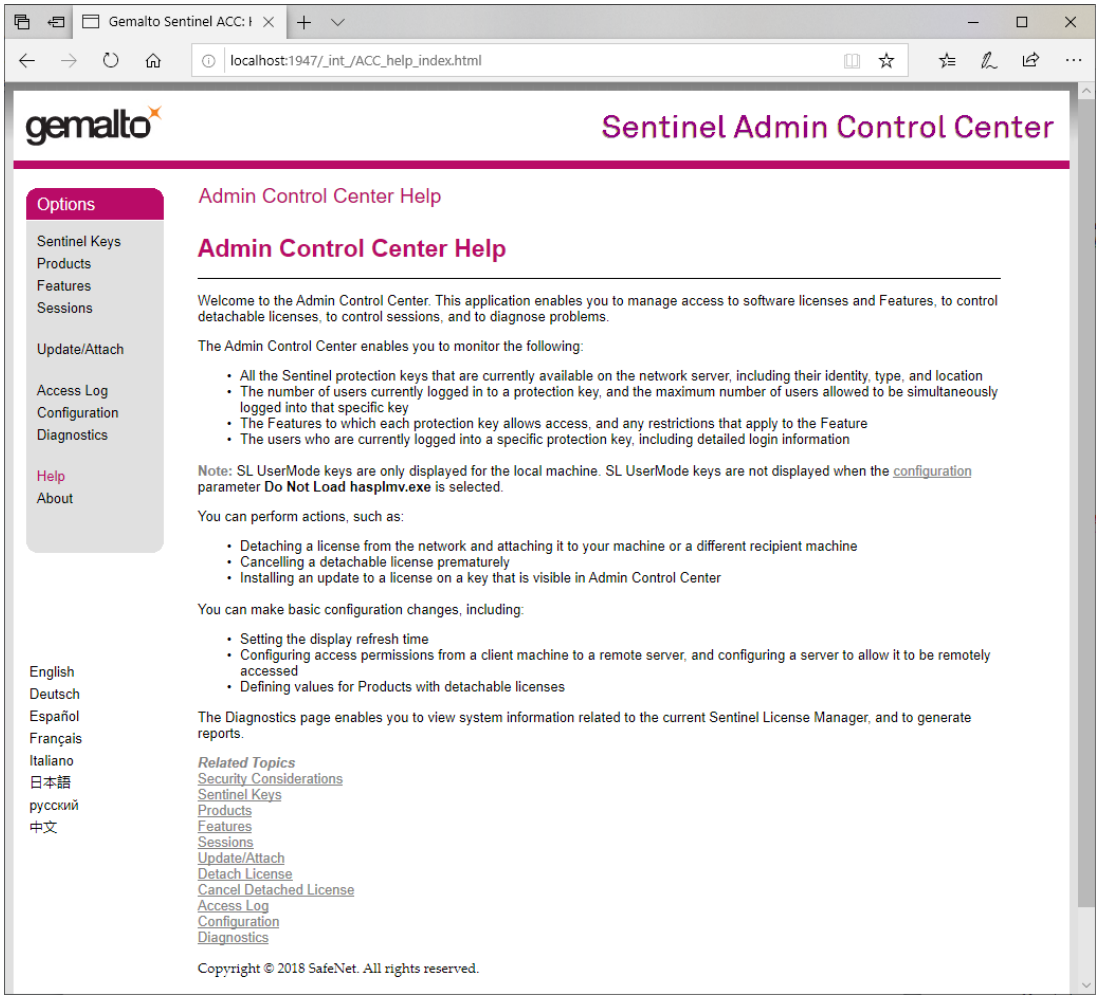
Klucz programowy jest przechowywany na dysku twardym komputera i jest podatny na pewne czynniki, tak jak każde inne oprogramowanie. Oznacza to, że **wirusy, złośliwe oprogramowanie lub wady aktualizacji systemu operacyjnego mogą uszkodzić ten klucz**. W takiej sytuacji konieczne będzie zakupienie nowego klucza (ale nie całej licencji na program).

Instalacja Sentinel HASP Runtime Environment

Klucz programowy wymaga instalacji **Sentinel Run-time Environment**.
Może być ono pobrane z www.axisvm.eu (w dziale Downloads / Download Sentinel driver) lub uruchomione za pomocą *InstallSentinelRuntime.exe* znajdującym się w folderze AxisVM *Sentinel LDK*.

Sentinel Admin Control Center

Aby sprawdzić status tego środowiska, należy uruchomić przeglądarkę internetową i wpisać http://localhost:1947. Sentinel Admin Control Center zostanie wyświetlone.



The *Sentinel Admin Control Center* umożliwia przegląd zainstalowanych kluczy Sentinel HL oraz SL, informacje o ich wykorzystaniu i pomaga odłączyć komputer klienta od licencji.
Aby wyświetlić listę dostępnych kluczy sieciowych, należy wybrać *Sentinel Keys* z menu po lewej stronie. Jeżeli podłączono więcej niż jeden klucz sprzętowy i nie ma pewności, który należy do AxisVM, wystarczy z menu po lewej stronie wybrać *Products*. Lista kluczy zostanie uporządkowana wg zabezpieczonych programów.

Zarejestrowanie klucza programowego Sentinel SL

Klucz programowy wymaga zainstalowanego *Sentinel Run-time Environment*. Więcej szczegółów na ten temat znajduje się powyżej w *Instalacja Sentinel HASP Runtime Environment*. Po zakończeniu instalacji należy uruchomić aplikację *RUS_AxisVM_En.exe* z podfolderu *Sentinel LDK* znajdującego w folderze z zainstalowanym AxisVM.
Aby zarejestrować klucz programowy, należy na zakładce *Collect Status Information* wybrać opcję *Installation of new protection key* znajdującą się na dole okna i kliknąć przycisk *Collect Information*.
Następnie należy zapisać wygenerowany przez tę aplikację plik o rozszerzeniu *c2v* (pod dowolną nazwą) i przesłać w załączniku maila do swojego dystrybutora programu AxisVM.

Przypisanie klucza programowego Sentinel SL

Licencja na kluczu programowym zawarta jest w pliku *v2c*, który zostanie wysłany przez dystrybutora oprogramowania AxisVM. Plik należy zapisać na komputerze.
Aby przypisać klucz programowy, uruchom aplikację *RUS_AxisVM_En.exe* z podfolderu *Sentinel LDK* znajdującego w folderze z zainstalowanym AxisVM. Wybierz drugą zakładkę (*Apply License File*) i wskaż otrzymany plik, klikając przycisk [...] lub podając pełną ścieżkę w polu *Update File*.

Kliknięcie w przycisk *Apply Update* aktywuje klucz programowy.
Możesz sprawdzić poprawność operacji w aplikacji *Admin Control Center* (szczegóły powyżej), klikając *Sentinel Keys* w menu po lewej stronie i sprawdzając czy licencja Sentinel SL jest obecna na liście.

Transfer licencji Sentinel SL

Licencja zabezpieczona kluczem programowym może zostać przeniesiona na inny komputer. Po udanej operacji, AxisVM będzie działał tylko na docelowym komputerze (tak samo jak w przypadku klucza sprzętowego, który został podpięty do innego komputera).
Aby przenieść licencję należy najpierw uruchomić na docelowym komputerze aplikację *RUS_AxisVM_En.exe*, wybrać zakładkę *Transfer License* i w górnej części okna (*Collect information about the recipient computer*) kliknąć przycisk [...], aby wskazać miejsce i zapisać plik (**.id*).
Na komputerze źródłowym, w tej samej aplikacji na zakładce *Transfer License* należy kliknąć przycisk [...] *Read the recipient information file from* i wskazać przekazany plik (**.id*) z komputera docelowego. W polu poniżej (*Generate the license transfer file to*) trzeba wskazać miejsce na dysku dla pliku *h2h* i wygenerować go przyciskiem *Generate License Transfer File*.
Na komputerze docelowym, na zakładce *Apply License File* w polu *Update File* należy wskazać plik h2h i kliknąć przycisk *Apply Update*.

Konfiguracja serwera i komputera klienckiego

Aby zapewnić prawidłowe działanie klucza programowego, należy skonfigurować *Sentinel Admin Control Center* na serwerze i komputerach klienckich tak, jak to opisano w poprzednim rozdziale.

2.2.3 Instalacja

Instalacja AxisVM na komputerach Macintosh

Niewiele profesjonalnych programów do analiz konstrukcji dostępnych na rynku wspiera system Mac. Zdecydowana większość programów wspiera tylko system Windows.

Istnieją jednak sposoby na uruchomienie AxisVM na komputerze z Mac:

1. Maszyna wirtualna

Zalecamy użycie programów do tworzenia wirtualnych maszyn, takich jak *Parallels* lub *VMware Fusion*, aby uruchomić w środowisku Mac aplikację stworzoną na Windowsa bez konieczności restartowania komputera.

Maszyna wirtualna jest jedną z najlepszych metod służących uruchomieniu aplikacji Windows. Pozwala ona na zainstalowanie całego systemu (tutaj Windowsa) w osobnym oknie dialogowym na komputerze Mac. Windows, będzie działał jak samodzielny system operacyjny, mimo że jest uruchomiony w oknie dialogowym Mac.

W celu uruchomienia Windowsa w wirtualnej maszynie wymagana jest jego licencja. Jeżeli posiadasz już odpowiedni klucz dla systemu Windows, to możesz pobrać obraz systemu za darmo i zainstalować go w maszynie wirtualnej.

Wspomniane programy do wirtualizacji (Parallels oraz VMware Fusion) są również płatnymi programami, dlatego należy posiadać licencję zarówno na system Windows jak i program do wirtualizacji.

Zarówno Parallels jak i VMware Fusion oferują bezpłatne wersje próbne, które pozwolą wybrać najlepszy z nich do danego zastosowania.

W celu uzyskania maksymalnej wydajności zalecane jest zastosowanie drugiego sposobu, czyli instalacja Windowsa na osobnej partycji i wybór systemu do uruchomienia podczas restartu (Boot Camp).

2. Boot Camp

Boot Camp firmy Apple umożliwia instalację Windows obok MacOS. W tym wypadku tylko jeden system może zostać uruchomiony w danym momencie, dlatego konieczne jest każdorazowe zrestartowanie komputera, gdy chcemy zmienić system operacyjny.

Zaletą tej metody jest możliwość wykorzystania pełnych zasobów sprzętowych przez Windows i programy na niego stworzone. Komputer Mac działa wtedy tak samo jak komputer PC o tej samej specyfikacji.

Wadą jest natomiast fakt, że nie można uruchomić aplikacji z MacOS i aplikacji z Windows w tym samym czasie obok siebie.

Tak jak w przypadku wirtualnej maszyny, tak i w tej metodzie konieczne jest posiadanie licencji na system Windows.

3. Zdalny Pulpit

Jeżeli użytkownik posiada osobny komputer z system Windows, to może wykorzystać oprogramowanie do współdzielenia pulpitu, aby mieć bezpośredni dostęp do komputera z systemem Windows z Mac.

☞ **Aby uruchomić AxisVM na komputerze Mac w trybie Zdalnego Pulpitu (Remote Desktop) konieczna jest licencja na sprzętowym kluczu sieciowym (także dla pojedynczych licencji).**

Instalacja

Jeżeli pobrałeś plik instalacyjny wersji komercyjnej z naszej stron, uruchom go. W przeciwnym razie podłącz pendrive instalacyjny AxisVM do komputera. Program instalacyjny powinien uruchomić się samoczynnie, jeżeli na komputerze aktywna jest opcja autouruchamiania. Jeżeli tak nie jest, kliknij przycisk *Start Windows*, wybierz aplikację *Uruchom* i wskaż plik *Startup.exe* znajdujący się na pendrive.

Instalacja na systemie operacyjnym Vista / Windows 7 / Windows 8 / Windows 10:

- Potrzebujesz najnowszych sterowników Sentinel. Możesz pobrać je ze strony *www.axisvm.eu* z menu *Downloads / Latest release update / Download Sentinel driver*
- Po zainstalowaniu programu AxisVM, kliknij na jego ikonę prawym przyciskiem myszy
- Wybierz z menu *Właściwości*
- Wybierz w otwartym oknie zakładkę *Zgodność* i zaznacz opcję *Uruchom ten program jako administrator*.

Domyślnie program i przykładowe modele są instalowane na dysku C: w folderach

C:\AxisVM_X6 oraz C:\AxisVM_X6\Examples

Podczas procesu instalacji można określić inny dysk i folder. Program instalacyjny tworzy grupę programu AxisVM, która zawiera ikonę aplikacji AxisVM.

Program może zostać zainstalowany do standardowego folderu C:\Program Files\AxisVM_X6 (lub C:\Program Files(x86)\AxisVM_X6 w zależności od wersji programu i systemu operacyjnego). Jednak w tym przypadku *Uruchom jako administrator* musi być ustawione dla **AxisVM.exe**, **AxisVM_x64.exe**, **\IDTFConverter \IDTFConverter.exe**. Znajdź te pliki poprzez menu *Start / Komputer*, kliknij prawym przyciskiem myszy na tych plikach i wybierz *Właściwości* z podręcznego menu, przejdź do zakładki *Zgodność*, znajdź *Poziom uprawnień* i włącz powyższą funkcję. Użytkownicy bez praw administratora muszą poprosić administratora o ustawienie możliwości zapisu w folderze C:\Program Files\AxisVM_X6 (zobacz *Uprawnienia* na zakładce *Zabezpieczenia*).

Wersja 32/64 bit

Na 64 bitowym systemie operacyjnym użytkownik może wybrać, czy chce zainstalować wersję 32-bitową czy 64-bitową programu. Instalacja wersji 64-bitowe spowoduje również skopiowanie na dysk twardy plików wersji 32-bitowej, ale na *Pulpicie* nie pojawi się skrót do tej wersji. Na systemach 32-bitowych instalowana jest tylko wersja 32-bitowa programu.

☞ **Nie jest zalecane instalowanie AxisVM w folderze C:\Program Files, ponieważ zlokalizowany tam program może być uruchomiony tylko z uprawnieniami administratora, a to może powodować błędy z uruchomieniem bibliotek np.: generatora PDF 3D.**

Instalacja w trybie cichym

Program może zostać zainstalowany w trybie cichej instalacji (ang. Silent installation) za pomocą wiersza poleceń. Program instalacyjny akceptuje również opcjonalne parametry wiersza poleceń. Jest to tryb,

który może być przydatny dla administratorów oraz innych programów, których zadaniem jest uruchomienie programu instalacyjnego.

Poniżej zamieszczono dwa typowe przykłady dla wersji 32 i 64 bit:

Dla wersji 64bit:
setup.exe /VERYSILENT /SUPPRESSMSGBOXES /NORESTART /Dir="C:\AxisVMX5" lang=nl NoIcons=0 types=64bits Tasks=extensions1,extensions2

Dla wersji 32bit:
setup.exe /VERYSILENT /SUPPRESSMSGBOXES /NORESTART /Dir="C:\AxisVMX5" lang=nl NoIcons=0 types=32bits Tasks=extensions1,extensions2

Instalator AxisVM został przygotowany w programie Inno Setup. Poniżej zamieszczono **anglojęzyczny opis** najważniejszych opcjonalnych parametrów wiersza poleceń.

/SP-

Disables the This will install... Do you wish to continue? prompt at the beginning of Setup. Of course, this will have no effect if the DisableStartupPrompt [Setup] section directive was set to yes.

/SILENT, /VERYSILENT

Instructs Setup to be silent or very silent. When Setup is silent the wizard and the background window are not displayed but the installation progress window is. When a setup is very silent this installation progress window is not displayed. Everything else is normal so for example error messages during installation are displayed and the startup prompt is (if you haven't disabled it with DisableStartupPrompt or the '/SP-' command line option explained above).

If a restart is necessary and the '/NORESTART' command isn't used (see below) and Setup is silent, it will display a Reboot now? message box. If it's very silent it will reboot without asking.

/SUPPRESSMSGBOXES

Instructs Setup to suppress message boxes. Only has an effect when combined with '/SILENT' and '/VERYSILENT'.

The default response in situations where there's a choice is:

- Yes in a 'Keep newer file?' situation.
- No in a 'File exists, confirm overwrite.' situation.
- Abort in Abort/Retry situations.
- Cancel in Retry/Cancel situations.
- Yes (=continue) in a DiskSpaceWarning/DirExists/DirDoesntExist/NoUninstallWarning/ExitSetupMessage/ConfirmUninstall situation.
- Yes (=restart) in a FinishedRestartMessage/UninstalledAndNeedsRestart situation.

5 message boxes are not suppressible:

- The About Setup message box.
- The Exit Setup? message box.
- The FileNotInDir2 message box displayed when Setup requires a new disk to be inserted and the disk was not found.
- Any (error) message box displayed before Setup (or Uninstall) could read the command line parameters.
- Any message box displayed by [Code] support function MsgBox.

/LOG

Causes Setup to create a log file in the user's TEMP directory detailing file installation and [Run] actions taken during the installation process. This can be a helpful debugging aid. For example, if you suspect a file isn't being replaced when you believe it should be (or vice versa), the log file will tell you if the file was really skipped, and why.

The log file is created with a unique name based on the current date. (It will not overwrite or append to existing files.)

The information contained in the log file is technical in nature and therefore not intended to be understandable by end users. Nor is it designed to be machine-parseable; the format of the file is subject to change without notice.

/LOG="filename"

Same as /LOG, except it allows you to specify a fixed path/filename to use for the log file. If a file with the specified name already exists it will be overwritten. If the file cannot be created, Setup will abort with an error message.

/NOCANCEL

Prevents the user from cancelling during the installation process, by disabling the Cancel button and ignoring clicks on the close button. Useful along with '/SILENT' or '/VERYSILENT'.

/NORESTART

Instructs Setup not to reboot even if it's necessary.

/LANG=language

Specifies the language to use. language specifies the internal name of the language as specified in a [Languages] section entry.

When a valid /LANG parameter is used, the Select Language dialog will be suppressed.

/DIR="x:\dirname"

Overrides the default directory name displayed on the Select Destination Location wizard page. A fully qualified pathname must be specified.

/GROUP="folder name"

Overrides the default folder name displayed on the Select Start Menu Folder wizard page. If the [Setup] section directive DisableProgramGroupPage was set to yes, this command line parameter is ignored.

/NOICONS

Instructs Setup to initially check the Don't create a Start Menu folder check box on the Select Start Menu Folder wizard page.

/TYPE=type name

Overrides the default setup type.

If the specified type exists and isn't a custom type, then any /COMPONENTS parameter will be ignored.

/COMPONENTS="comma separated list of component names"

Overrides the default component settings. Using this command line parameter causes Setup to automatically select a custom type. If no custom type is defined, this parameter is ignored.

Only the specified components will be selected; the rest will be deselected.

If a component name is prefixed with a "*" character, any child components will be selected as well (except for those that include the dontinheritcheck flag). If a component name is prefixed with a "!" character, the component will be deselected.

This parameter does not change the state of components that include the fixed flag.

Example:

Deselect all components, then select the "help" and "plugins" components:

/COMPONENTS="help,plugins"

Example:

Deselect all components, then select a parent component and all of its children with the exception of one:

/COMPONENTS="*parent,!parent\child"

/TASKS="comma separated list of task names"

Specifies a list of tasks that should be initially selected.

Only the specified tasks will be selected; the rest will be deselected. Use the /MERGETASKS parameter instead if you want to keep the default set of tasks and only select/deselect some of them.

If a task name is prefixed with a "*" character, any child tasks will be selected as well (except for those that include the dontinheritcheck flag). If a task name is prefixed with a "!" character, the task will be deselected.

Example:

Deselect all tasks, then select the "desktopicon" and "fileassoc" tasks:

/TASKS="desktopicon,fileassoc"

Example:

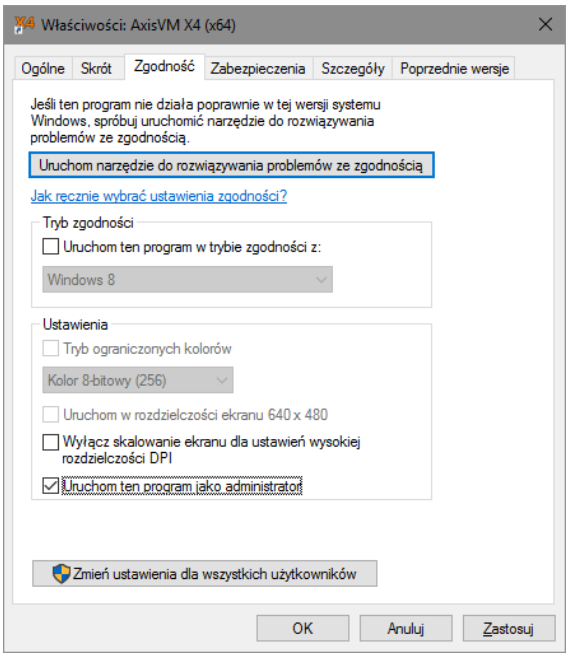
Deselect all tasks, then select a parent task and all of its children with the exception of one:

/TASKS="*parent,!parent\child"

W razie problemów

Program instalacyjny automatycznie tworzy skrót dla AxisVM X6 na Pulpicie.
Kliknij na ikonę, aby uruchomić program AxisVM.
W zależności od ustawień zabezpieczeń systemu operacyjnego może pojawić się komunikat bezpieczeństwa. Kliknij Tak, aby kontynuować.
Jeżeli program AxisVM nie uruchomi się, ustaw uprawnienia wg poniższych wskazówek:

- *Kliknij prawym przyciskiem myszy na ikonie AxisVM*
- *Wybierz* Właściwości *z menu podręcznego*
- *Przejdź do zakładki* Zgodność *i zaznacz opcję* Uruchom ten program jako administrator



Jeżeli posiadasz uprawnienia administratora, ale program nadal się nie uruchamia, sprawdź poniższe kwestie:

1. **Jeżeli pojawia się komunikat z kodem błędu**, sprawdź czy klucz sprzętowy jest poprawnie podłączony do komputera i czy świeci się jego czerwona lub zielona dioda. Jeżeli klucz się nie świeci, może to oznaczać, że wystąpiły problemy z portem USB.
2. **Jeżeli nie pojawił się żaden komunikat** i program się nie uruchamia, sprawdź ustawienia swojego programu antywirusowego (patrz poniżej).

Uruchamianie dodatków

Można używać dodatków stworzonych dla AxisVM przez zewnętrznych producentów lub przez siebie. Aby uruchomić te programy, serwer AxisVM COM musi być zarejestrowany w Rejestrze Windows. Jeśli AxisVM był instalowany z uprawnieniami administratora, rejestracja ta została już przeprowadzona. Jeśli wpis do rejestru nie został wykonany, można uruchomić z uprawnieniami administratora !Register_AxisVM.bat (na systemie operacyjnym 32-bitowym) lub !Register_AxisVM_x64.bat (na systemie operacyjnym 64-bitowym).

☞ **Dodatki 32-bitowe uruchamiają wersję 32-bitową i są kompatybilne tylko z nią. Dodatki 64-bitowe mogą być użyte tylko z wersjami 64-bitowymi.**

Fałszywe alarmy antywirusa

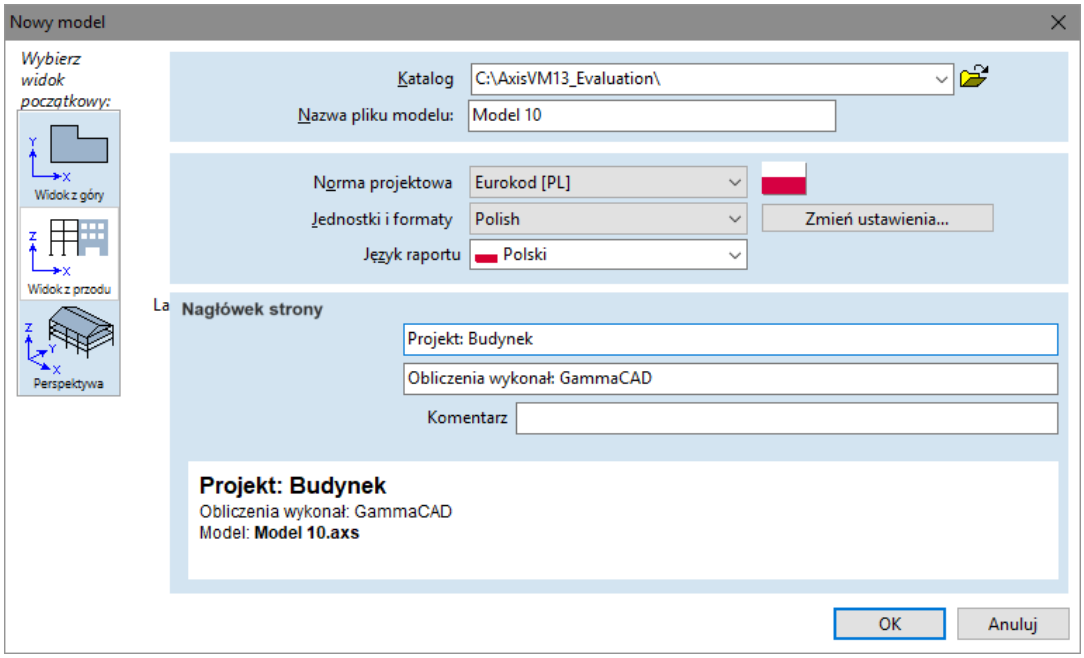
Niektóre programy antywirusowe zainstalowane na komputerze mogą zgłaszać fałszywy alarm podczas instalacji AxisVM. Jest to spowodowane przez heurystyczne algorytmy wyszukujące działanie wirusopodobne. Algorytmy te mogą wykrywać działanie systemu zabezpieczenia programu AxisVM i zgłaszać fałszywy alarm. Jeśli coś takiego wystąpi, można:

- Jeśli antywirus przeniesie AxisVM.exe do kwarantanny, przywrócić go
- Dodać AxisVM.exe do wyjątków (są to pliki, które nie są sprawdzane przez program)

Zmniejszyć wrażliwość sprawdzania heurystycznego w panelu sterowania programu antywirusowego

Uruchamianie AxisVM

Kliknij przycisk *Start*, wybierz *Programy*, folder *AxisVM 13* i kliknij ikonę *AxisVM X6* Podczas uruchamiania wyświetlany jest ekran startowy (**Patrz...** *3.7.5 O programie*), a później pokazywany jest ekran powitalny, gdzie można wybrać poprzedni model lub zacząć nowe zadanie.
Odznaczenie kontrolki na dole ekranu spowoduje wyłączenie ekranu powitalnego w przyszłości. Aby włączyć go ponownie wybierz z menu *Ustawienia/Preferencje/Integralność danych* i zaznacz kontrolkę *Pokaż ekran powitalny przy uruchamianiu*. Podczas uruchamiania nowego zadania wyświetli się powyższe okno dialogowe.



Uruchomienie AxisVM w trybie bezpiecznym

Zarówno plik AxisVM.exe (wersja 32bit) jak i AxisVM_x64.exe (wersja 64bit) może zostać uruchomiony w trybie bezpiecznym, poprzez wprowadzenie w linii poleceń `axisvm.exe /SAFE` lub `axisvm_x64.exe /SAFE`.
Zalecane jest uruchomienie AxisVM w trybie bezpiecznym w następujących przypadkach: (1) problemy z kartą graficzną lub sterownikami, (2) problemy w trybie wielowątkowości, (3) gdy AxisVM zawiesza się przy próbie przywracania ostatniej wersji pliku po jego uszkodzeniu, (4) gdy pluginy lud dodatki powodują problemy.

Uruchomienie AxisVM w trybie debugowania

Jeżeli podczas uruchamiania AxisVM użytkownik napotkał jakiś problem lub program w ogóle nie może zostać uruchomiony, należy włączyć AxisVM.exe (dla wersji 32-bitowej) lub AxisVM_x64.exe (dla wersji 64-bitowej) z parametrem /USERDEBUG oraz /NETDONGLELOG. W przypadku posiadania licencji sieciowej, należy uruchomić go najpierw z parametrem /USERDEBUG, a następnie /NETDONGLELOG. Dla licencji jednostanowiskowej wystarczający jest parametr /USERDEBUG.
Parametry te powodują włączenie zapisu zdarzeń procesu uruchamiania do dziennika logowania. Wysłanie pliku z dziennikiem logowania do dystrybutora programu pozwoli znaleźć rozwiązanie problemu.

Programy AxisVM i typy plików

		Rozszerz. pliku	**Może być otwarty przez:** Standard	Viewer	Edukacyjna	Trial	Light
Utworzony w:	Standard	.axs/.axe	tak	tak	tak	tak	LIM
	Viewer	.axv/.axw	nie	tak	nie	nie	nie
	Edukacyjna	.axs/.axe	ZW	tak	tak	ZW	LIM
	Trial	.axs/.axe	tak	tak	tak	tak	LIM
	Light	.axd/.axr	tak	tak	tak	tak	tak

ZW *Znak wodny na wydrukach*
LIM *Zależy od ilości elementów na modelu (ograniczenia wersji Light)*

Aktualizowanie

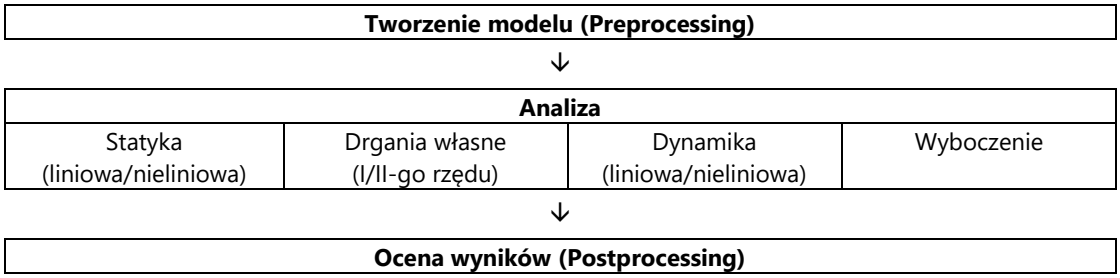
Zalecane jest zainstalowanie nowej wersji (nowego wydania głównego) do nowego folderu. W ten sposób poprzednia wersja pozostanie dostępna.

Konwertowanie wcześniejszych modeli

Modele stworzone w poprzedniej wersji są automatycznie rozpoznawane i konwertowane. Zapis plików domyślnie wykorzystuje najnowszy format zapisu. Zapis plików w formacie poprzednich wersji jest możliwy, ale informacje charakterystyczne dla nowszej wersji zostaną utracone.

Kroki analizy

Główne kroki analiz przy wykorzystaniu AxisVM są następujące:



Zakres

Wielkość modelu praktycznie ograniczona jest ilością wolnej przestrzeni na dysku twardym.
Ograniczenia wielkości modelu i parametrów analiz w zależności od konfiguracji są następujące:

Professional

Obiekt		Maks. liczba
Węzły		Bez ograniczeń
Materiały		Bez ograniczeń
Elementy	Pręty kratowe	Bez ograniczeń
	Pręty	Bez ograniczeń
	Żebra	Bez ograniczeń
	Tarcze	Bez ograniczeń
	Płyty	Bez ograniczeń
	Powłoki	Bez ograniczeń
	Podpory	Bez ograniczeń
	Elem. kontaktowe	Bez ograniczeń
	Przepony	Bez ograniczeń
	Sprężyny	Bez ograniczeń
	Elem. sztywne	Bez ograniczeń
	Elem. łączące	Bez ograniczeń
Przypadki obciążeń		Bez ograniczeń
Kombinacje obciążeń		Bez ograniczeń
Częstotliwości (postaci własne)		Bez ograniczeń

Mały Obiekt (Small Business)

Obiekt		Maks. liczba
Węzły		Bez ograniczeń
Materiały		Bez ograniczeń
Elementy	Tylko pręty kratowe	500
	Pręty kratowe + Pręty + Żebra *****	250
	Żebra na krawędzi elem. pow.	1500
	Dowolna kombinacja tarcz, płyt lub powłok (elementy skończone)	2000
	Podpory	Bez ograniczeń
	Elem. kontaktowe	Bez ograniczeń
	Przepony	Bez ograniczeń
	Sprężyny	Bez ograniczeń
	Elem. sztywne	Bez ograniczeń
	Elem. łączące	Bez ograniczeń
Przypadki obciążeń		Bez ograniczeń
Kombinacje obciążeń		Bez ograniczeń
Częstotliwości (postaci własne)		Bez ograniczeń

***** Jeśli w konstrukcji występują pręty i/lub żebra

2.3 Pierwsze kroki

Najlepszym sposobem na poznanie AxisVM jest stworzenie prostego modelu, obliczenie i przeanalizowanie jego wyników.
Kroki tworzenia modelu zostały opisane w tutorialu *AxisVM Krok po kroku*.

Są trzy główne kroki procesu modelowania:

Geometria

Pierwszym krokiem jest utworzenie geometrii modelu konstrukcji (w 2D lub 3D).
Geometria może być narysowana ręcznie lub może zostać zaimportowana z innego programu typu CAD. Jest również możliwość bezpośredniego rysowania elementów (słupy, belki, ściany, płyty).

Elementy

Jeśli wybierzesz rysowanie geometrii, musisz najpierw określić materiał i cechy elementu, posiatkować geometrię do elementów (przypisanie cech i siatkowanie modelu szkieletowego) i zdefiniować warunki podpór.

Obciążenia

W trzecim kroku musisz przyłożyć obciążenia do modelu.

Rezultatem końcowym będzie model konstrukcji złożony z elementów skończonych.
Zaraz po utworzeniu modelu jest on gotowy do analizy.

Poszczególne kroki modelowania można znaleźć w tutorialu *AxisVM Krok po kroku*, który dostępny jest w menu *Pomoc*. Tutorial ten pozwala utworzyć i przeanalizować proste konstrukcje jak:

- Belka
- Rama
- Płyta
- Tarcza (z ręcznie tworzonym siatkowaniem parametrycznym)
- Tarcza (na podstawie obszaru)
- Powłoka

AxisVM Krok po kroku (dla zaawansowanych) pokazuje analizę dynamiczną i sejsmiczną dwóch zaawansowanych modeli.

Anglojęzyczne wersje tutoriali z przykładowymi modelami są dostępne tutaj:
https://www.youtube.com/channel/UCJoC3PkFc8XK4hGZ-1dUzuw

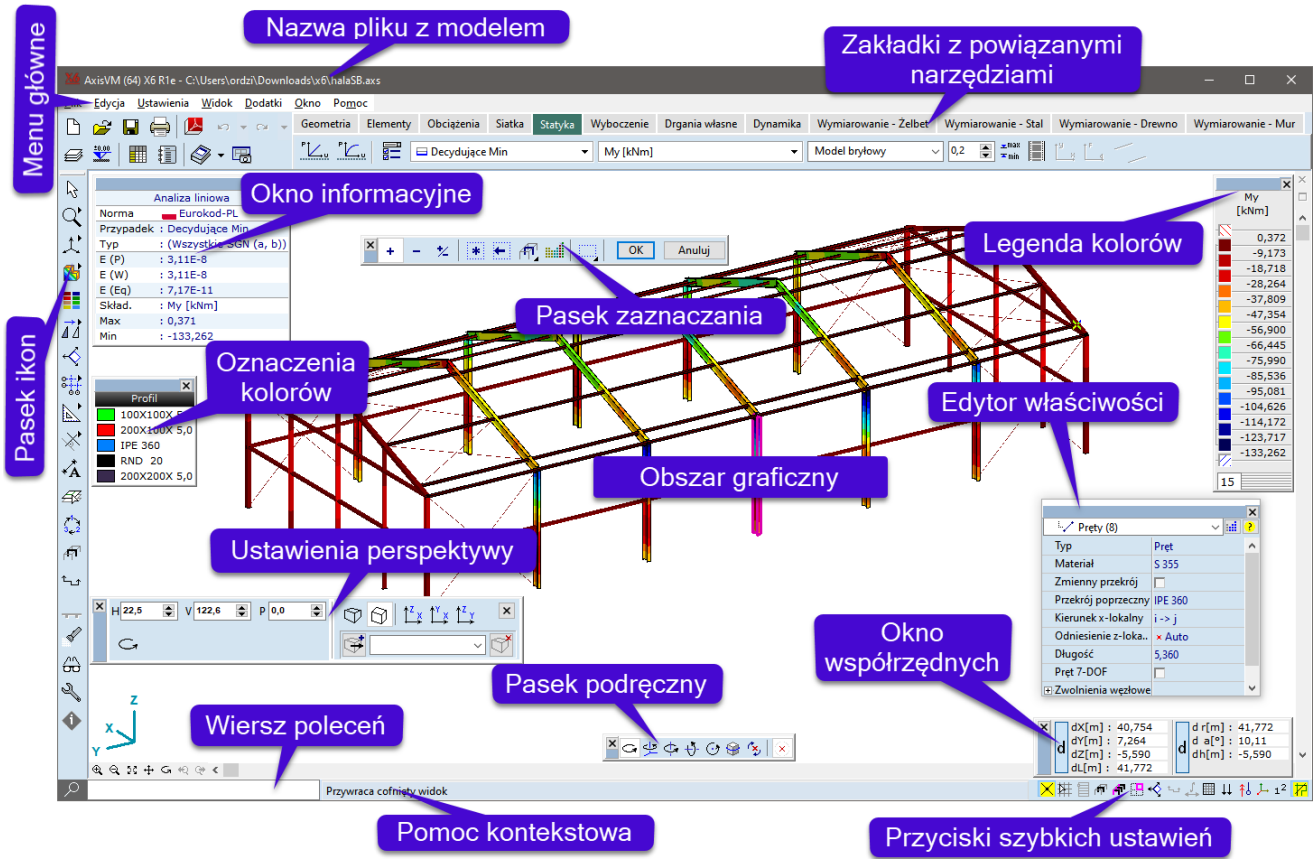
Zalecane jest przeczytanie całego Podręcznika użytkownika przynajmniej raz w trakcie poznawania AxisVM.
W *Rozdziale 1* można znaleźć nowe cechy ostatniej wersji.
Rozdział 2 zawiera ogólne informacje o używaniu AxisVM. W pozostałych rozdziałach wyjaśniono menu konstrukcji dla pre- i postprocesora. Prosimy o zaglądanie do *Podręcznika użytkownika* za każdym, gdy używasz AxisVM.

2.4 Interfejs użytkownika AxisVM

Ta część podręcznika opisuje całe środowisko pracy graficznego interfejsu AxisVM. Przeczytaj proszę te wskazówki uważnie. Znajomość programu zwiększa Twoją prędkość modelowania i wydajność.

Ekran AxisVM

Elementy interfejsu



Poniżej opisano ogólnie części ekranu AxisVM.

Obszar graficzny Obszar na ekranie, gdzie tworzony jest model.

Kursor graficzny Kursor używany jest do rysowania, wskazywania elementów, wybierania z menu i okienek dialogowych. W zależności od sytuacji, jego kształt w AxisVM może się zmieniać.

Górny pasek menu (menu główne) Każdy element górnego paska menu ma własną rozwijalną listę. Aby użyć górnego paska menu, przesuń na niego kursor. Kursor zmieni się we wskaźnik. Aby wybrać element z paska menu, przesuń na niego wskaźnik i naciśnij przycisk. Pojawi się powiązane z nim, rozwijane podmenu.

Zakładki z powiązanymi narzędziami Narzędzia do tworzenia modelu, analiz czy wymiarowania są pogrupowane w zakładki, zgodnie z logicznym porządkiem tych operacji.

Aktywna ikona Aktywna ikona pokazuje aktualnie wybrane polecenie.

Pasek ikon Ikony po lewej stronie graficznie przedstawiają dostępne narzędzia. Narzędzia te są dostępne na dowolnym etapie pracy. Pasek ikon i rozwijane paski narzędzi są przenośne i można je zakotwiczać.

Okno współrzędnych Okno na graficznym obszarze wyświetlające współrzędne kursora graficznego.

Okno z legendą kolorów Okno pokazuje legendę kolorów wykorzystanych do wyświetlenia wyników. Pojawia się ono tylko w sesji postprocesora.

Panel informacyjny Okno pokazuje status modelu i wielkości błędu rozwiązań, wyświetla także aktualnie wybrany przypadek lub kombinację obciążenia i aktualną normę projektową.

Wiersz poleceń i wyszukiwania Pole do szybkiego wyszukania polecenia lub ustawień w programie. Służy także do znajdowania i zaznaczania elementów na modelu wg różnych kryteriów.

Pomoc kontekstowa Dostarcza komunikaty pomocy w trakcie wykonywania poleceń.

Edytor właściwości Edytor właściwości zapewnia prosty sposób na zmianę pewnych właściwości wybranych elementów lub obciążeń.

Pasek podręczny Paski podręczne pojawiają się podczas modyfikowania geometrii w zależności od typu przeciąganego obiektu (węzeł, linia prosta, łuk). **Patrz...** *4.8.21 Modyfikuj, przekształć*

Przyciski szybkich ustawień Przyciski szybkich ustawień zlokalizowane w prawym dolnym rogu, zapewniają najszybszy dostęp do pewnych przełączników (fragmentów, wycinków, symboli, numeracji, płaszczyzn roboczych itd.)

Model Z AxisVM możesz tworzyć i analizować modele konstrukcji budowlanych i inżynierskich z elementów skończonych. Dlatego program działa na modelu, który jest przybliżeniem rzeczywistej konstrukcji.
Każdemu modelowi trzeba przypisać nazwę, która będzie użyta jako nazwa pliku podczas jego zapisywania. Możesz przypisać tylko taką nazwę, która jest zgodna z nazwami plików w Windows. Model zawiera wszystkie dane określone przy użyciu AxisVM. Dane modelu przechowywane są w dwóch plikach: dane wejściowe w *nazwapliku.axs* oraz wyniki w *nazwapliku.axe*.
AxisVM sprawdza czy pliki AXS i AXE należą do tej samej wersji modelu.

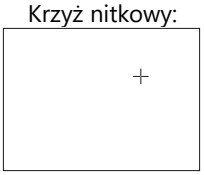
2.5 Używanie kursora, klawiatury, myszy

UNICODE jest przemysłowym standardem przetwarzania dla ujednoliconego kodowania, reprezentacji i obsługi tekstu, wyrażonego w większości światowych systemów pisma. AxisVM 12 zapewnia pełne wsparcie dla UNICODE.
Wszystkie okna wyświetlane są zgodnie z aktualnym tematem systemu Windows.

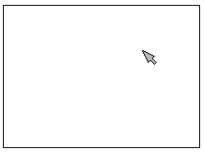
Kursor graficzny

Podczas przesuwania myszy, symbol kursora graficznego śledzi ruch na ekranie. Aby wybrać obiekt, ikonę lub element menu, przesuń kursor na niego i kliknij lewym przyciskiem myszy. Kształt kursora zmieni się odpowiednio (**Patrz...** *4.7.1 Identyfikacja kursora*) i pojawi się na ekranie w jednej z następujących postaci:

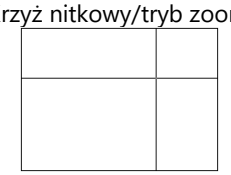
Krzyż nitkowy:



Wskaźnik:



Krzyż nitkowy/tryb zoom:



Jeśli najedziesz na element kursorem w domyślnym trybie (tryb info), zostaną wyświetlone właściwości elementu w wyskakującej podpowiedzi.

W zależności od menu (zakładki) w którym jest kursor, możesz otrzymać właściwości następujących obiektów:

Geometria	współrzędne węzła (punktu), długość linii
Elementy	element skończony, odniesienie, stopień swobody, podpora, długość, masa, materiał, przekrój poprzeczny
Obciążenia	obciążenie elementu, masa węzłowa
Siatka	parametry siatkowania
Statyka	przemieszczenie, siła wewnętrzna, naprężenie, zbrojenie, rzędna linii wpływu
Drgania własne	numer postaci własnej
Dynamika	przemieszczenie, prędkość, przyspieszenie, siła wewnętrzna, naprężenie
Wymiarowanie Żelbet	wartości określonego zbrojenia
Wymiarowanie Stal	przemieszczenia, siły wewnętrzne., stopień wykorzystania i nośności
Wymiarowanie Drewno	przemieszczenia, siły wewnętrzne., stopień wykorzystania i nośności

Klawiatura Można także używać klawiatury do przesuwania kursora:

[↑][↓][←][→] lub Przesuwa kursor graficzny w aktualnej płaszczyźnie.

[Ctrl] + **[↑][↓][←][→]** lub	Przesuwa kursor graficzny w aktualnej płaszczyźnie z krokiem powiększonym/pomniejszonym o współczynnik ustawiony w oknie Ustawień.
[Shift]+ **[↑][↓][←][→]** lub	Przesuwa kursor graficzny w aktualnej płaszczyźnie po linii kąta $n \cdot \Delta\alpha$, niestandardowego α lub $\alpha + n \cdot 90°$.
[Home] [End]	Przesuwa kursor graficzny prostopadle do aktualnej płaszczyzny.
[Ctrl]+ **[Home], [End]**	Przesuwa kursor graficzny prostopadle do aktualnej płaszczyzny z krokiem powiększonym / pomniejszonym o współczynnik ustawiony w oknie Ustawień.
[Esc] lub **p. p.**	Przerywa polecenie i/lub powraca do nadrzędnego poziomy menu.
[Enter], [Space] lub **l. p.**	Wybiera elementy z menu, wykonuje polecenie i wybiera obiekty. Są one określane jako klawisze uruchamiające.
[Alt]	Uaktywnia menu główne.
[Tab]	Przesuwa kursor w oknie dialogowym pomiędzy kontrolkami.
[+] [-]	Wykonuje szybkie przybliżenie/oddalenie i przesunięcie obrazu. Parametry zoom i przesunięcia obrazu są zdefiniowane przez aktualną pozycję kursora w obszarze graficznym oraz przez współczynnik zoom w *Ustawienia / Opcje / Rysunek / Współczynnik zoom*. Środkiem obszaru dl szybkiego przybliżania / oddalania jest zawsze aktualna pozycja kursora graficznego.
[Insert] lub **[Alt]+[Shift]**	Ustawia względny początek (tzn. punkt odniesienia względnego układu współrzędnych) w bieżącej pozycji kursora graficznego.
kółko	Obracaj do przodu, aby przybliżyć Obracaj do tyłu, aby oddalić Naciśnij kółko i przeciągnij obszar ekranu Środkiem przybliżania/oddalania jest aktualna pozycja kursora.
Skróty klawiszowe	Układ klawiszy do szybszego dostępu do często używanych funkcji. **Patrz...** *2.6 Skróty*
p. p.	Wyświetla szybkie menu. **Patrz...** *2.7 Menu podręczne*

2.6 Skróty klawiaturowe

Skróty klawiaturowe mogą zostać przypisane do często wykonywanych działań, poleceń pasków narzędziowych, elementów menu. Polecenia głównego paska narzędziowego są zależne od kontekstu, tzn. niektóre te same skróty wywołują różne działanie na różnych zakładach (Geometria, Elementy, Obciążenia itd.). Domyślne ustawienia AxisVM zebrano poniżej.

Polecenia ogólne

Otwórz	Ctrl+O
Zapisz	Ctrl+S
Drukuj	Ctrl+P
Cofnij	Alt+BkSp
Przywróć	Shift+Alt+BkSp
Menadżer warstw	F11
Kondygnacje	F7
Przeglądarka tabel	F12
Generator raportu	F10
Biblioteka Rysunków	F6
Zapisz w Bibliotece Rysunków	F9
Usuń	Del
Ustaw względny początek układu	Ins
Poprzedni przypadek obciążenia	Ctrl+PgUp
Następny przypadek obciążenia	Ctrl+PgDn

Pasek ikon

Wybór	S
Oznaczenia kolorów	Shift+C
Przesuń / Kopiuj	Shift+T
Obróć / Kopiuj	Shift+R
Lustro / Kopiuj	Shift+M
Skaluj / Kopiuj	Shift+S

Wymiary ..... Ctrl+Alt+D
Edytuj warstwy podkładu ..... Ctrl+Alt+E
Fragment ..... Shift+P
Wycinki ..... Shift+Ctrl+X
Znajdź F3
Opcje wyświetlania ..... Ctrl+Y
Informacje o modelu ..... Shift+I

Widok

Przybliż ..... Ctrl+ü
Oddal ..... Shift+Ctrl+ü
Dopasuj do okna ..... Ctrl+W
Przesuń ..... Ctrl+M
Obróć ..... Ctrl+R
Widok z przodu ..... Ctrl+1
Widok z boku ..... Ctrl+3
Widok z góry ..... Ctrl+2
Perspektywa ..... Ctrl+4
Model szkieletowy ..... Alt+F5
Linie niewidoczne ukryte ..... Alt+F6
Model zrenderowany ..... Alt+F7
Tekstura ..... Alt+F8

Prowadnice

Osie konstrukcyjne ..... Shift+G
Prostopadły ..... Alt+V
Równoległy ..... Alt+P
Przez punkt środkowy ..... Alt+B
Punkt podziału ..... Alt+M
Punkt przecięcia dwóch linii ..... Alt+I

Pasek narzędzi

[Geometria] ..... Shift+F1
[Elementy] ..... Shift+F2
[Obciążenia] ..... Shift+F3
[Siatka] ..... Shift+F4
[Statyka] ..... Shift+F5
[Wyboczenie] ..... Shift+F6
[Drgania własne] ..... Shift+F7
[Dynamika] ..... Shift+F8
[Wymiarowanie - Żelbet] ..... Shift+F9
[Wymiarowanie - Stal] ..... Shift+F10
[Wymiarowanie - Drewno] ..... Shift+F11

Geometria

Węzeł ..... N
Linia L
Polilinia ..... P
Prostokąt ..... R
Łuk ..... A
Łuk przez trzy punkty ..... B
Podział poziomy ..... H
Dzieli linie ..... D
Punkt przecięcia I

Elementy

Materiał ..... Shift+Ctrl+M
Przekrój poprzeczny ..... Shift+Ctrl+C
Rysuj obiekty bezpośrednio F4
Rysuj podpory bezpośrednio F5
Obszar ..... D
Otwór ..... H
Elementy liniowe L
Podpora węzłowa ..... T
Podpora liniowa ..... U
Element łączący typu węzeł-węzeł I
Element łączący typu linia-linia ..... J

Obciążenia

Przypadki i grupy obciążeń L
Kombinacje obciążeń C
Obciążenie węzłowe ..... N
Obciążenie skupione na prętach ..... B
Obciążenie skupione obszaru ..... A
Obciążenie rozłożone elementów liniowych ..... J
Obc. krawędziowe elementów powierzchniowych .... E
Obciążenie liniowe obszaru I
Obc. rozłożone na elemencie powierzchniowym .... H
Obc. rozłożone na obszarze ..... D
Rozdzielone obc. powierzchniowe ..... K
Panel obciążeniowy ..... P
Obciążenie śniegiem ..... O
Obciążenie wiatrem ..... W
Obciążenie hydrostatyczne ..... F

Ciężar własny ..... G
Definicja ruchomego obciążenia linii ..... T
Siatka
Generowanie siatki obszaru ..... G

Statyka
Liniowa analiza statyczna L
Nieliniowa analiza statyczna ..... N
Parametry wyświetlania wyników ..... D
Min, Max wartości ..... Ctrl+X
Animacja ..... A
Wyboczenie
Analiza wyboczeniowa L
Parametry wyświetlania wyników ..... D
Min, Max wartości ..... Ctrl+X
Animacja ..... A
Drgania własne
Analiza drgań własnych L
Parametry wyświetlania wyników ..... D
Min, Max wartości ..... Ctrl+X
Animacja ..... A
Dynamika
Analiza dynamiczna L
Parametry wyświetlania wyników ..... D
Min, Max wartości ..... Ctrl+X
Animacja ..... A
Wymiarowanie - Żelbet
Parametry zbrojenia ..... P
Zbrojenie rzeczywiste ..... T
Parametry wyświetlania wyników ..... D
Min, Max wartości ..... Ctrl+X
Animacja ..... A
Zbrojenie słupa C
Wymiarowanie zbrojenia belki ..... B
Analiza przebicia płyty ..... U
Wymiarowanie stóp fundamentowych ..... F
Wymiarowanie ław fundamentowych I
Wymiarowanie - Stal
Parametry wymiarowania ..... P
Parametry wyświetlania wyników ..... D
Min, Max wartości ..... Ctrl+X
Wymiarowanie połączenia ..... J
Optymalizacja stalowego przekroju poprzecznego . O
Wymiarowanie - Drewno
Parametry wymiarowania ..... P
Parametry wyświetlania wyników ..... D
Min, Max wartości ..... Ctrl+X
Animacja ..... A

Menu
Plik
Otwórz ..... Ctrl+O
Zapisz ..... Ctrl+S
Drukuj ..... Ctrl+P
Zakończ ..... Ctrl+Q
Edycja
Cofnij ..... Alt+BkSp
Przywróć ..... Shift+Alt+BkSp
Powtórz ostatnie polecenie..... Spacja
Wybierz wszystko ..... Num *
Kopiuj ..... Ctrl+C
Wklej ..... Ctrl+V
Usuń ..... Del
Przeglądarka tabel F12
Generator raportu F10
Biblioteka Rysunków F6
Zapisz w Bibliotece Rysunków F9
Zestawienie materiałów F8
Piano Sisma ..... Ctrl+Alt+P
Scalenie elementów konstrukcyjnych ..... Shift+A
Rozdzielenie elementów konstrukcyjnych ..... Shift+B
Odwróć lokalny układ współrzędnych ..... Ctrl+E
Ustawienia
Symbole ..... Ctrl+Y
Włączniki ..... Ctrl+D
Menadżer warstw F11
Kondygnacje F7
Ustawienia prowadnic ..... Ctrl+G

Osie konstrukcyjne ..... Shift+G
Skróty klawiaturowe ..... Ctrl+K
Preferencje
Czcionki ..... Shift+Alt+F
Analiza ..... Shift+Alt+B

Widok
Widok z przodu ..... Ctrl+1
Widok z góry..... Ctrl+2
Widok z boku ..... Ctrl+3
Perspektywa ..... Ctrl+4
Kondygnacja wyżej ..... PgUp
Kondygnacja niżej ..... PgDn
Przybliż ..... Ctrl+ü
Oddal ..... Shift+Ctrl+ü
Dopasuj do okna ..... Ctrl+W
Przesuń ..... Ctrl+M
Obróć ..... Ctrl+R
Model szkieletowy ..... Alt+F5
Linie niewidoczne ukryte ..... Alt+F6
Model zrenderowany ..... Alt+F7
Tekstura ..... Alt+F8
Okno
Edytor właściwości ..... Shift+Alt+P
Panel informacyjny ..... Shift+Alt+I
Oznaczenia kolorów ..... Shift+Alt+C
Współrzędne ..... Shift+Alt+K
Legenda kolorów ..... Shift+Alt+L
Obraz tła ..... Ctrl+B
Podziel poziomo ..... Shift+H
Podziel pionowo ..... Shift+V
Zamknij okno ..... Ctrl+F4
Zmniejsz rozmiar czcionki etykiet ..... Ctrl+Alt+I
Zwiększ rozmiar czcionki etykiet ..... Ctrl+Alt+O
Biblioteka Rysunków F6
Zapisz w Bibliotece Rysunków F9
Pomoc
Zawartość F1
Przyciski szybkich ustawień
Automatyczne przecięcie ..... Ctrl+I
Wyświetlanie siatki ..... M
Pokaż tylko wybrane elementy ..... Ctrl+F
Wyświetlanie obciążeń ..... Ctrl+L
Opcje wyświetlania wyników
Brak ..... Ctrl+F5
Wykres ..... Ctrl+F6
Izolinie ..... Ctrl+F7
Izopowierzchnie 2D ..... Ctrl+F8
Wycinki ..... Ctrl+F9
Izopowierzchnie 3D ..... Ctrl+F10
Wykres + Wartości średnie ..... Ctrl+F11
Lista komponentów wyników ..... Q
Współrzędne
X X
Y ..... Y
Z ..... Z
L ..... Shift+Ctrl+L
R ..... Shift+Ctrl+R
A ..... Shift+Ctrl+A
H ..... Shift+Ctrl+H
B ..... Shift+Ctrl+B
Tymczasowa pł. robocza ..... Shift+Ctrl+W
Blokuj X[m] : ..... Ctrl+Alt+X
Blokuj Y[m] : ..... Ctrl+Alt+Y
Blokuj Z[m] : ..... Ctrl+Alt+Z
Blokuj L[m] : ..... Ctrl+Alt+L
Blokuj r[m] : ..... Ctrl+Alt+R
Blokuj a[°] : ..... Ctrl+Alt+A
Blokuj h[m] : ..... Ctrl+Alt+H
Blokuj b[°] : ..... Ctrl+Alt+B
Współrzędne względne / globalne ..... Shift+D
Współrzędne biegunowe względne / globalne..... Shift+E

Skróty klawiszowe w tabelach

Ctrl+L	Przeglądaj biblioteki
Alt+F4	Wyjdź
Ctrl+Insert	Nowa linia
Ctrl+Del	Usuń linię
Ctrl+A	Wybierz wszystko
F5	Skocz do linii
Ctrl+D	Domyślny format
Ctrl+Alt+F	Ustaw format kolumn
Ctrl+R	Ustawia tryb wyświetlania wyników (dla tabel z wynikami)
Ctrl+G	Edytor nowego przekroju poprzecznego (dla tabeli z przekrojami poprzecznymi)
Ctrl+M	Modyfikuj przekrój poprzeczny (dla tabeli z przekrojami poprzecznymi)
F1	Pomoc kontekstowa
F9	Dodaj tabelę do raportu
F10	Generator raportu

Skróty klawiszowe w Generatorze raportu

Ctrl+T	Wstaw tekst
Ctrl+Alt+B	Wstaw podział strony
Ctrl+W	Eksportuj do pliku RTF
F3	Podgląd raportu
Ctrl+P	Drukuj
Ctrl+Del	Usuń

Komendy dla kółka myszki

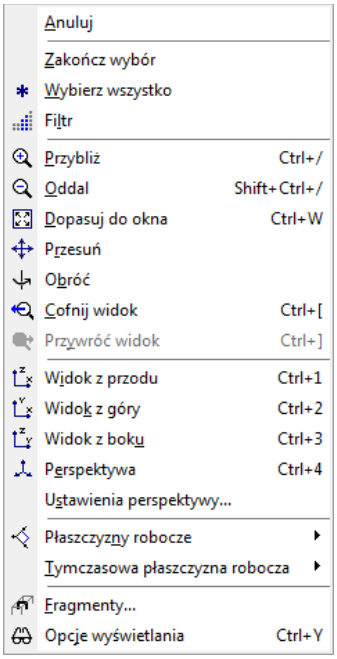
Przewiń w górę	Przybliż
Przewiń w dół	Oddal
Naciśnij kółko + ruch	Przesuń (powoli)
Naciśnij kółko + Alt + ruch	Obróć
Naciśnij kółko + Ctrl + ruch	Przesuń (szybko)

2.7 Menu podręczne

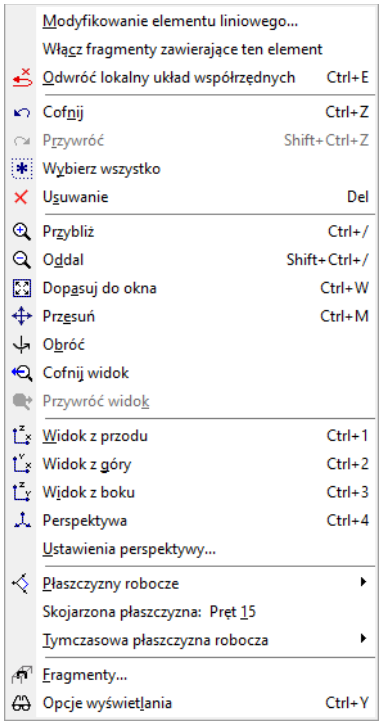
prawy przycisk

Gdy kursor jest na obszarze graficznym, kliknięcie w prawy przycisk myszy wywoła **menu podręczne**, którego zawartość zależy od aktualnie wykonywanego polecenia.

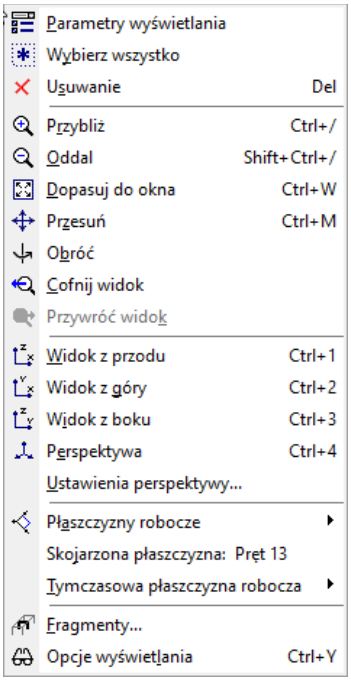
Selekcja



Geometria / Elementy / Obciążenia



Wyniki



2.8 Okna dialogowe

Zwykle po wybraniu polecenia wyświetlane jest na ekranie okno dialogowe. Okna te można używać w taki sam sposób jak inne okna Windows.
Czcionka okien dialogowych może być zmieniona w *Ustawienia / Preferencje / Czcionki*, poprzez kliknięcie etykiety z próbką czcionki *Okna dialogowe*.
Można zmieniać położenie wszystkich okien dialogowych. Program zapisuje ostatnie położenie i wyświetla następnym razem okno dialogowe w tym samym miejscu.

2.9 Przeglądarka tabel

[F12]

AxisVM wykorzystuje tabele do wyświetlania informacji numerycznych na ekranie, pozwalając na zmiany w ich formatowaniu. Tabele działają w taki sam sposób, niezależnie od wyświetlanej treści.
Wszystkie tabele, które tworzy AxisVM są dostępne przez okno polecenia Przeglądarka tabel, które można wywołać poprzez kliknięcie jego przycisku lub naciskając **[F12]**.
Dane modelu, które mają być wyświetlone w Przeglądarce tabel, mogą być wybrane ze struktury drzewa po lewej stronie przeglądarki. Jeśli używasz Przeglądarki tabel podczas pracy w preprocesorze, wyświetlane są tylko dane wejściowe modelu. Podczas pracy w postprocesorze wyświetlane są również wyniki.

☞ **Tylko dane bieżącej selekcji (jeśli jest wskazana) lub aktywnego (tj. wyświetlonego) fragmentu są domyślnie wyświetlane w tabeli.**

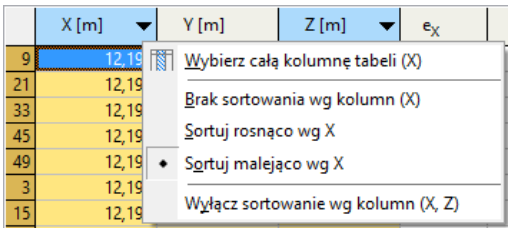
Widok drzewa po lewej stronie wyświetla w hierarchii elementy / obciążenia, tabele wyników, biblioteki i może być wykorzystywany do przeglądania modelu.

Sortowanie wg kolumn

Tabele z danymi dotyczące modelu i wynikami mogą być sortowane po większości swoich kolumn. Najechanie kursorem na nagłówek kolumny spowoduje zmianę koloru nagłówka na jasnoniebieski. Po kliknięciu w nagłówek jego kolor zostanie zmieniony na niebieski i zmieni się porządek sortowania wierszy tabeli (rosnąco, malejąco, bez sortowania).

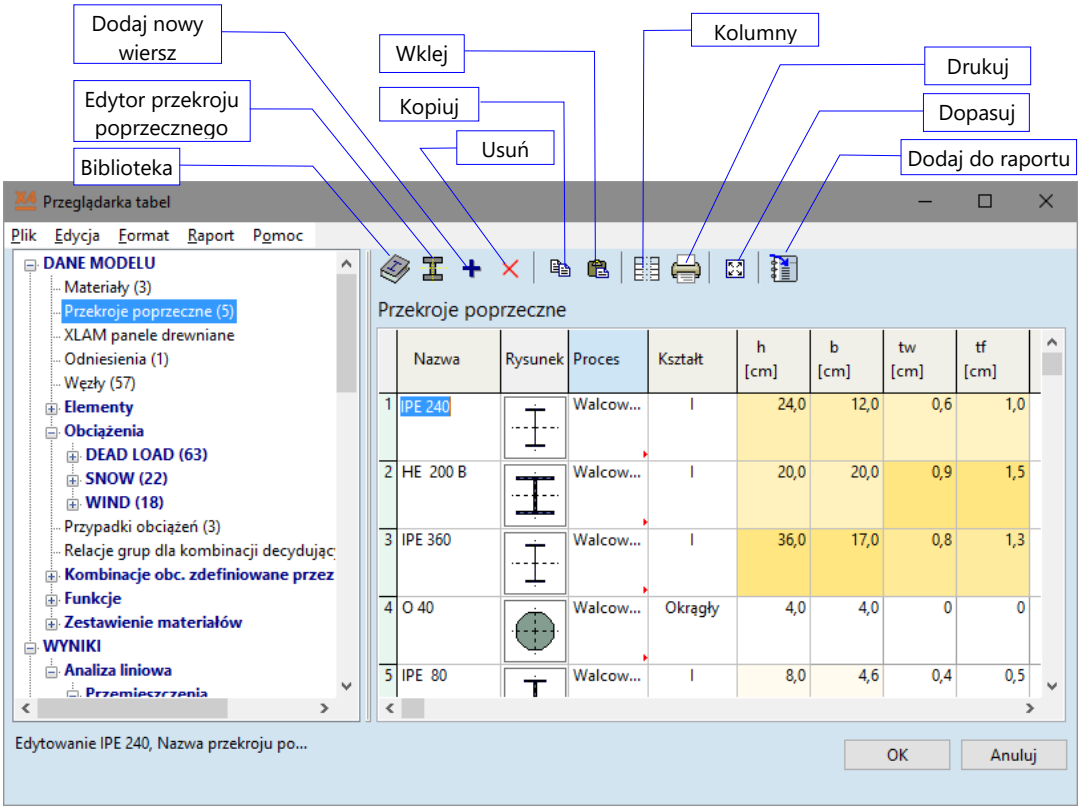
Dane modelu w większości tabel mogą zostać posortowane na podstawie wielokrotnych kryteriów. Na przykład sortowanie współrzędnych węzłów po Z, a następnie po X spowoduje, że węzły o takiej samej wartości Z będą posortowane po wartości współrzędnej X. Kolejność kryteriów sortowania zależy od kolejności kliknięcia w nagłówki.
Tabele z wynikami mogą być sortowane generalnie tylko wg jednej ze swoich kolumn. Choć występują pewne kolumny, które mogą być wykorzystane jako pierwsze kryterium sortowania (np. *Nazwa przekroju poprzecznego* w tabeli *Siły wewn. prętów*, gdzie wyniki można posortować najpierw wg przekroju, a w następnej kolejności wg komponentu wyniku).

Gdy zastosowane są wielokrotne kryteria do sortowania zawartości tabeli, to kolejność ich stosowania można sprawdzić w ostatnim wpisie w menu podręcznym (*Wyłącz sortowanie wg kolumn*), które pojawi się po kliknięciu prawym przyciskiem myszy w nagłówek tabeli.



Oznaczanie kolorami komórek tabeli

Tabele w Przeglądarce tabel mogą stosować kolory dla wyświetlanych wartości (np. grubości obszarów, przekrój pręta, komponent wyniku itd.). Kolor tła komórki pojawia się tylko na ekranie. Pomaga on odnaleźć wartości wspólne, mniejsze lub większe.
Tabele z wynikami pokazują wartości ujemne w odcieniach niebieskich, a wartości dodatnie w odcieniach czerwonych. Stopnie wykorzystania poniżej wartości granicznej wyświetlane są w odcieniach szarości, a powyżej tej wartości w odcieniach czerwonych.
Oznaczenie kolorami komórek może zostać wyłączone - patrz *Format / Oznaczanie kolorami komórek tabeli.*



Korzystanie z tabeli

Tabela może zawierać więcej wierszy i/lub kolumn niż może być to wyświetlone na raz na ekranie. Może być wtedy przeglądana jej całość z wykorzystaniem suwaków i/lub klawiatury jak poniżej:

Klawisze strzałek *lub* **l. p.** Przesuwa zaznaczenie aktywnej komórki w górę, dół, lewo, prawo i przewija tabelę wzdłuż wierszy lub kolumn. Kliknięcie w edytowalną komórkę powoduje przejście do tej komórki.

[Home] Przesuwa zaznaczenie aktywnej komórki do pierwszej komórki w wierszu.

[End] Przesuwa zaznaczenie aktywnej komórki do ostatniej komórki w wierszu.

[Ctrl]+[Home] Przesuwa zaznaczenie aktywnej komórki do pierwszej komórki pierwszego wiersza.

[Ctrl]+[End] Przesuwa zaznaczenie aktywnej komórki do ostatniej komórki ostatniego wiersza.

[Page Up] Wyświetla poprzednią stronę z wierszami tabeli.

[Page Down] Wyświetla następną stronę z wierszami tabeli.

[Ctrl]+ [→] Przesuwa zaznaczenie aktywnej komórki do następnej (w prawo) strony kolumn (tylko w przypadku, gdy istnieje możliwość wyświetlenia w tabeli więcej kolumn na raz)

[Ctrl]+ [←] Przesuwa zaznaczenie aktywnej komórki do poprzedniej (w lewo) strony kolumn (tylko w przypadku, gdy istnieje możliwość wyświetlenia w tabeli więcej kolumn na raz)

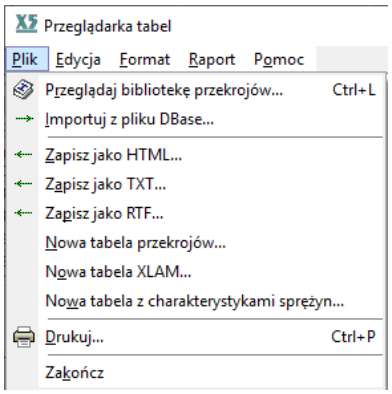
[Enter] Kończy bieżącą edycję w polu, gdzie zostały wprowadzone dane i przesuwa okienko edycji kolumny w prawo lub do pierwszej kolumny następnego wiersza.

[Esc] Przerywa bieżącą edycję w okienku edycji.

p. p.

[Shift] Gdy wciśnięty jest klawisz **[Shift]** wszystkie klawisze strzałek będą zaznaczać komórki zamiast przesuwać zaznaczenie aktywnej komórki. Można również zaznaczać komórki poprzez przeciąganie myszy. Kliknięcie nagłówka kolumny zaznacza całą kolumnę. Kliknięcie nagłówka wiersza zaznacza cały wiersz. Kliknięcie narożnej górnej komórki nagłówków zaznacza całą tabelę. Zaznaczone komórki mogą być skopiowane do schowka jako tabela.
Jeśli zaznaczenie dotyczy edytowalnej kolumny można ustawić wspólną wartość dla zaznaczonych komórek.
Patrz poniżej... *Ustaw wspólną wartość*

Plik



Przeglądaj bibliotekę

[Ctrl]+ [L]

Jeżeli w Przeglądarce tabel w DANE MODELU wybrano *Materiały*, *Przekroje poprzeczne* lub dowolną gałąź w BIBLIOTEKI (np. Biblioteka charakterystyki sprężyn) to pierwszy element menu umożliwia przeglądania wbudowanej biblioteki materiałów, przekrojów poprzecznych itd.

Importuj z pliku DBase

Importuje dane z pliku DBase (*nazwa.dbf*) do bieżącej tabeli. Program sprawdza wartości pól i wyświetla komunikat o błędzie w przypadku znalezienia niekompatybilnych wartości.

Zapisz jako DBase

Eksportuje bieżącą tabelę do pliku DBase (*nazwa.dbf*). Nazwy pól są generowane na podstawie nazw kolumn. Pola będą typem tekstowym.

Zapisz jako HTML

Eksportuje bieżącą tabelę do pliku HTML (*nazwa.htm*). Plik ten może być później zaimportowany jako tabela do programu Word lub zostać otwarty w przeglądarce internetowej. Niektóre dane formatowania kolumn zostaną utracone.

Zapisz jako TXT

Eksportuje bieżącą tabelę do pliku TXT (kodowanie ASCII) (*nazwa.txt*).

Zapisz jako RTF

Eksportuje bieżącą tabelę do pliku RTF (*nazwa.rtf*) używając aktualnego schematu pliku. Plik ten można zaimportować do programu Microsoft Word lub innego edytora tekstu, który może importować pliki RTF. **Patrz...** *2.10.3 Edycja*

Nowa tabela przekrojów poprzecznych

Tworzy nowy plik z przekrojami poprzecznymi (*nazwa.sec*). Utworzona tak tabela zostanie umieszczona w określonym typie grupy przekrojów poprzecznych.
W tabeli tej może być przechowywany dowolny typ przekrojów poprzecznych. Typ profilu przy tworzeniu tabeli decyduje tylko o jej pozycji w Bibliotece przekrojów poprzecznych.

Właściwości tabeli przekrojów poprzecznych

Właściwości tabeli zdefiniowanej przez użytkownika (nazwa tabeli, typ profilu) mogą być modyfikowane.

Usuń tabelę przekrojów poprzecznych

Usuwa tabelę zdefiniowaną przez użytkownika.

Nowa tabela XLAM

Tworzy nową tabelę dla uwarstwionych paneli drewnianych XLAM w *BIBLIOTEKI / XLAM panele drewniane*.

Zmień nazwę tabeli XLAM

Zmienia nazwę tabeli z drewnianymi panelami XLAM zdefiniowaną przez użytkownika.

Usuń tabelę XLAM

Usuwa tabelę z drewnianymi panelami XLAM zdefiniowaną przez użytkownika.

Nowa tabela z charakterystykami sprężyn

Tworzy nową tabelę z charakterystyką sprężyny w BIBLIOTEKI / *Biblioteka charakterystyk dla sprężyn*.

Zmień nazwę tabeli z charakterystykami sprężyn

Ta pozycja w menu pojawi się, gdy wybrana jest niestandardowa tabela z charakterystykami sprężyn z *Biblioteka charakterystyk dla sprężyn*. Dzięki temu możliwa jest zmiana nazwy tej tabeli.

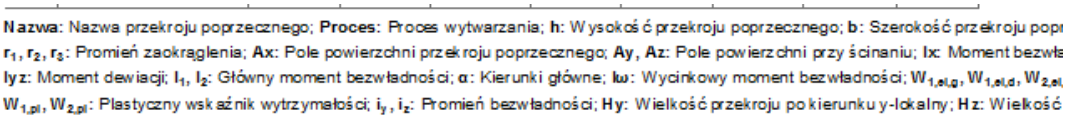
Usuń tabelę z charakterystykami sprężyn'

Ta pozycja w menu pojawi się, gdy wybrana jest niestandardowa tabela z charakterystykami sprężyn z *Biblioteka charakterystyk dla sprężyn*. Dzięki temu możliwe jest usunięcie tej tabeli.

Drukuj

[Ctrl + [P]

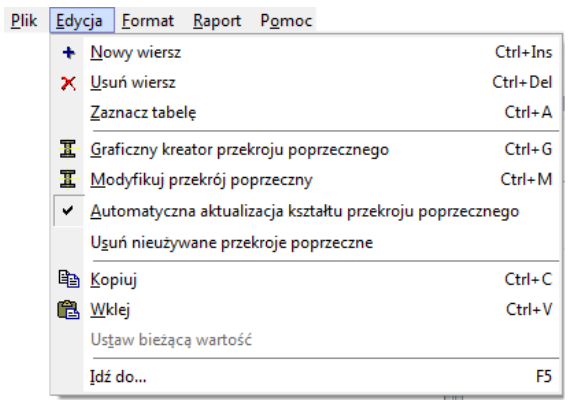
Drukuje wszystkie wyświetlone dane w tabelach na drukarce lub do pliku, z ustawionym wcześniej nagłówkiem strony w menu *Plik / Nagłówek strony*.
Włączenie opcji ***Opis kolumn tabeli*** spowoduje wyświetlenie opisów objaśniających nagłówki tabel pod każdą tabelą.



Zakończ
[Alt]+ [F4]

Wychodzi z tabeli w taki sam sposób jak za pomocą przycisku Anuluj (zmiany nie zostają zapisane).

Edycja



Nowy wiersz

[Ctrl]+ [Insert]

Dodaje nowy wiersz do listy i pozwala wypełnić danymi, w ustalonej kolejności od lewej do prawej, wszystkie edytowalne komórki.

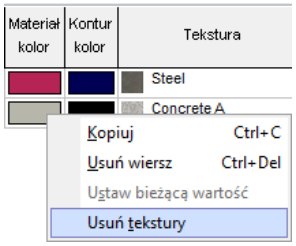
Usuń wiersz

[Ctrl]+ [Del]

Usuwa zaznaczone wiersze. Polecenie dostępne również z menu podręcznego.

Usuń tekstury

Dostępne tylko na liście z materiałami. Usuwa tekstury z zaznaczonych materiałów. Polecenie dostępne również z menu podręcznego.



Zaznacz tabelę
[Ctrl]+ [A]

Zaznacza całą tabelę. Kliknięcie komórki w lewym górnym rogu daje ten sam efekt.

Graficzny kreator przekroju poprzecznego

[Ctrl]+[G]

Uruchamia graficzny edytor przekroju poprzecznego, pozwalający na wprowadzenie przekroju użytkownika.

Modyfikuj własny przekrój poprzeczny

[Ctrl]+[M]

Uruchamia graficzny edytor przekroju poprzecznego, pozwalający na modyfikację własnego przekroju, zdefiniowanego wcześniej za pomocą tego edytora.

Automatyczna aktualizacja kształtu przekroju poprzecznego

Jeśli ta funkcja jest włączona, zmian parametrów przekroju w tabeli prowadzi do ponownego obliczenia geometrii i parametrów przekroju poprzecznego.

Usuń nieużywane przekroje poprzeczne

Nieużywane przekroje poprzeczne zostaną usunięte z tabeli.

Kopiuj

[Ctrl]+ [C]

Kopiuje zaznaczone komórki do schowka jako tabelę. Polecenie dostępne również z menu podręcznego.

Wklej

[Ctrl]+ [V]

Wkleja komórki tabeli ze schowka zastępując wartości w komórkach.
Jeśli jakieś wartości są nieakceptowane, wklejanie zostanie anulowane.
Jeśli cały wiersz został wycięty lub skopiowany, a tabela umożliwia wstawienie nowego wiersza, można dodać dane ze schowka na końcu tabeli zamiast zastępować istniejące wiersze.

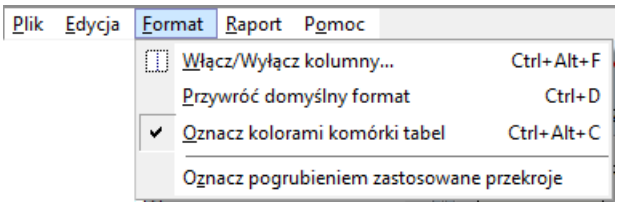
Ustaw wspólną wartość

Ustawia wspólną wartość dla zaznaczonych w kolumnie komórek.
Przykład: można ustawić współrzędną Z wszystkich węzłów na tę samą wartość, doprowadzając do spłaszczenia modelu. Polecenie dostępne w menu Przeglądarki tabel *Edycja / Ustaw wspólną wartość*.
Polecenie dostępne również z menu podręcznego.

Idź do
[F5]

Przeskakuje do podanego wiersza w tabeli.

Format (tabele z danymi o modelu)



Włącz/wyłącz kolumny

[Ctrl]+ [Alt]+ [F]

Można określić, czy kolumna jest widoczna czy nie, przez ustawienie kontrolki przy odpowiedniej nazwie kolumny. Jeśli jakieś kolumny są wyłączone, informacja o nich pojawią się pod tabelą. Zaznaczenie opcji *Zapisz jako domyślny* powoduje status domyślny kolumn dla tego typu tabeli.

Wyświetlany format wartości jest zgodny z ustawieniami w oknie *Ustawienia / Jednostki i formaty* (**Patrz...** *3.3.8 Jednostki i formaty*).

Wiele komórek wymaga wprowadzenia wartości liczbowych. Podczas wprowadzania można używać następujących znaków:

\+ - 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 E

i standardowego separatora miejsc dziesiętnych systemu Windows, zdefiniowanego w *Start / Panel sterowania / Zegar, język i region / Zmień format daty, godziny lub liczb / Formaty / Ustawienia dodatkowe / Symbol dziesiętny.*

W niektórych przypadkach nie można wprowadzić liczby ujemnej, więc klawisz **[–]** jest nieaktywny podczas wprowadzania wartości. Jeśli wymagana jest wartość całkowita nie można wprowadzić separatora dziesiętnego i E.

Przywróć domyślny format
[Ctrl]+ [D]

Przywraca domyślny format całej tabeli (widoczność kolumn i ilość miejsc dziesiętnych).

Oznacz kolorami komórki tabel
[Ctrl]+ [Alt]+[C]

Opcja służy do włączania / wyłączania oznaczania kolorem tła komórek tabel.

Kolejność przypadków obciążeń...

Kolejność wyświetlania przypadków obciążeń może być dostosowana.
Patrz... *4.10.1 Przypadki obciążeń, grupy obciążeń*

Pośrednie przekroje poprzeczne

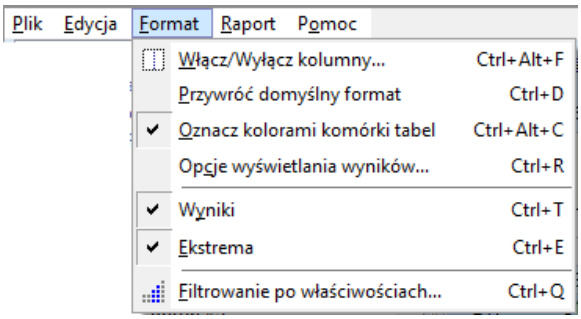
Po podzieleniu lub posiatkowaniu prętów lub żeber o zmiennej wysokości przekroju, AxisVM wstawia przekroje pośrednie. Ten element menu pozwala włączyć/wyłączyć wyświetlanie pośrednich przekrojów poprzecznych na końcu listy.

Pokaż użyte przekroje poprzeczne wytłuszczonym drukiem

Po wykonaniu polecenia *Usuń nieużywane przekroje poprzeczne* na liście pozostaną tylko przekroje oznaczone pogrubieniem.

W przypadku przedstawiania wyników pojawiają się nowe elementy w menu Format i na pasku narzędzi.

Format (podczas przedstawiania wyników)



Opcje wyświetlania wyników
[Ctrl]+[R]

Można kontrolować wyszukiwanie ekstremalnych wartości dla komponentów wyników i ustawić pokazywanie wyników (Wyniki) i/lub tylko wartości ekstremalnych (Ekstrema).
Patrz szczegóły... *6.1.5 Tabele wyników*

Wyniki wł./wył.
[Ctrl]+[T]

Wyświetlanie wszystkich wartości wyników może być włączone lub wyłączone.

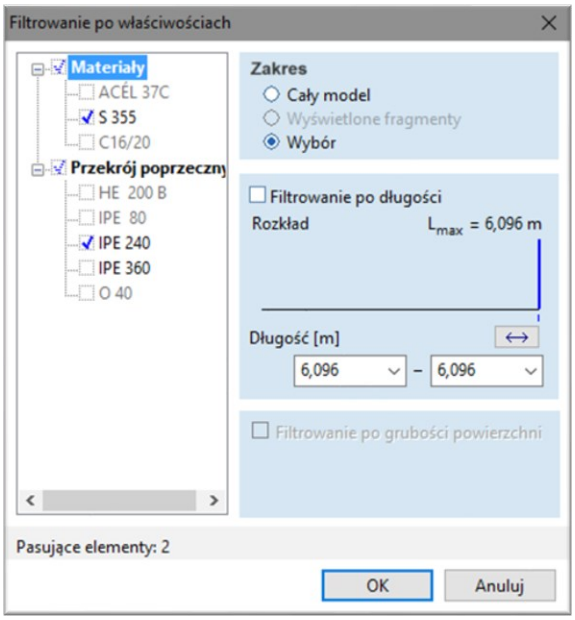
Ekstrema wł. / wył.
[Ctrl]+[E]

Wyświetlanie wartości ekstremalnych może być włączone lub wyłączone.

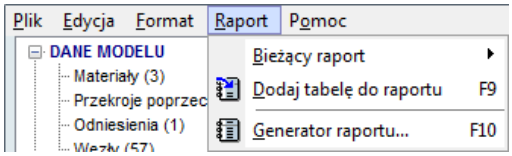
Filtrowanie właściwości

[CTRL]+[Q]

Filtrowanie po właściwościach pomaga wybrać elementy, które ma zawierać tabela.



Raport



Bieżący raport

Umożliwia ustawienie bieżącego raportu. Do tego raportu będą dodawane tabele.
Patrz... *2.10 Generator raportu*

Dodaj tabelę do raportu

[F9]

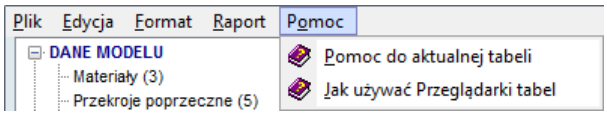
Dodaje bieżącą tabelę do bieżącego raportu. Jeśli wybrany węzeł w widoku drzewa posiada podwęzły (np.: MODEL lub OBCIĄŻENIA) to wszystkie tabele z tego węzła zostaną dodane. Jeśli bieżąca tabela to tabela z wynikami i ustawiona jest ona na wyświetlanie tylko wartości ekstremalnych, wtedy wszystkie podtabele też będą wyświetlały tylko ekstrema.
Patrz... *2.10 Generator raportu*

Generator raportu

[F10]

Otwiera Generator raportu.

Pomoc



Pomoc do aktualnej tabeli

Wyświetla informacje o tabeli.

Jak używać Przeglądarki tabel

Wyświetla informacje o działaniu Przeglądarki tabel.

Ok

Zapisuje dane i zamyka tabele.

Anuluj

Zamyka tabele bez zapisywania danych.

☞ **Tabele z wynikami wyświetlają również ekstrema (wartości minimalne i maksymalne), jeśli wybierze się taką opcję w oknie Opcje wyświetlania przy uruchamianiu Przeglądarki tabel. Wyświetlanie zarówno pojedynczych wartości jak i ekstremalnych jest ustawieniem domyślnym.**

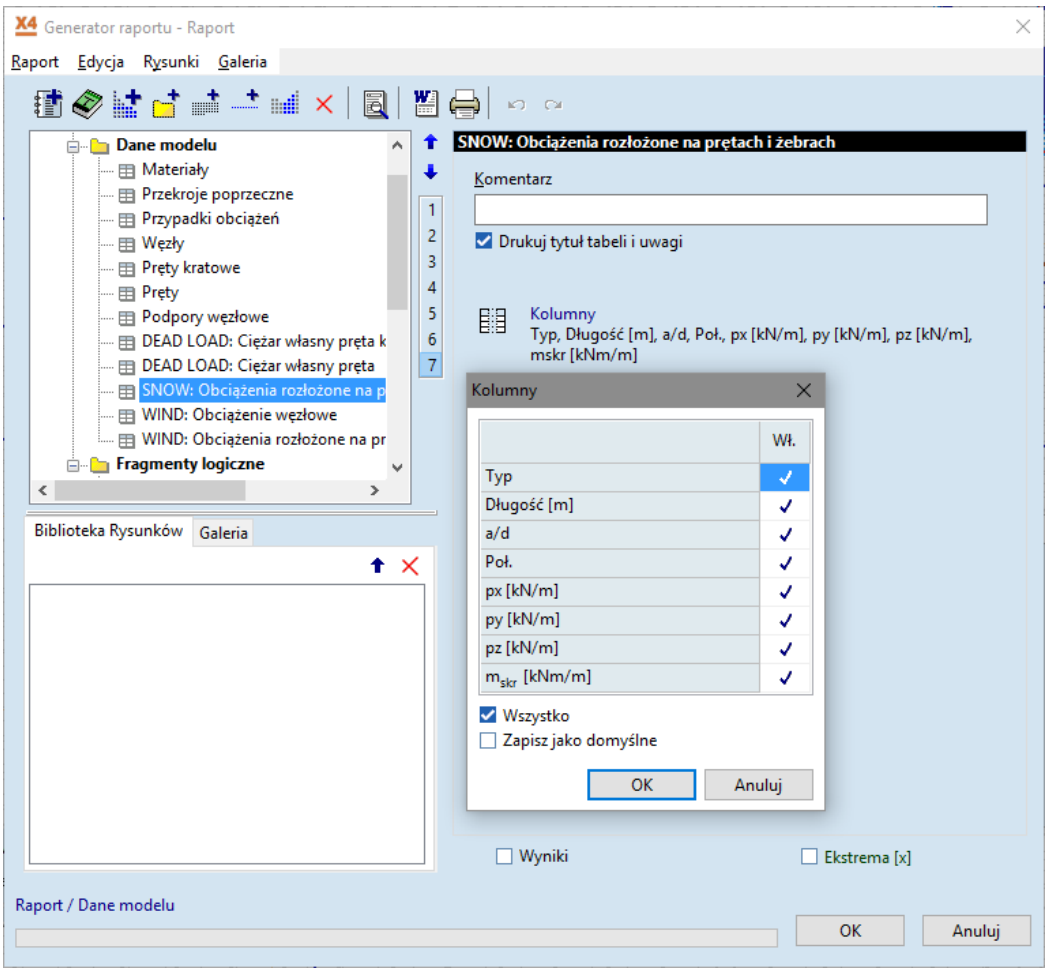
2.10 Generator raportu

[F10]

Generator raportu jest narzędziem do sporządzenia pełnego raportu projektu z wykorzystaniem elementów raportu (tabele/rysunki stworzone przez AxisVM i zdefiniowane przez użytkownika bloki tekstowe). Raporty zapisywane są z plikiem modelu (**.axs*) i mogą być wydrukowane lub zapisane w formacie pliku Rich Text Format (RTF). Pliki RTF mogą być później przetwarzane przez inne programy (np. Microsoft Word).

Tabele wyeksportowane z Przeglądarki tabel są automatycznie aktualizowane, gdy model zostanie zmieniony lub jego część zostanie usunięta.

Generator raportu potrafi obsłużyć kilka różnych raportów do tego samego projektu. Struktura raportów wyświetlona jest w widoku drzewa po lewej stronie. Właściwości wybranego elementu raportu pokazywane są po prawej stronie okna.

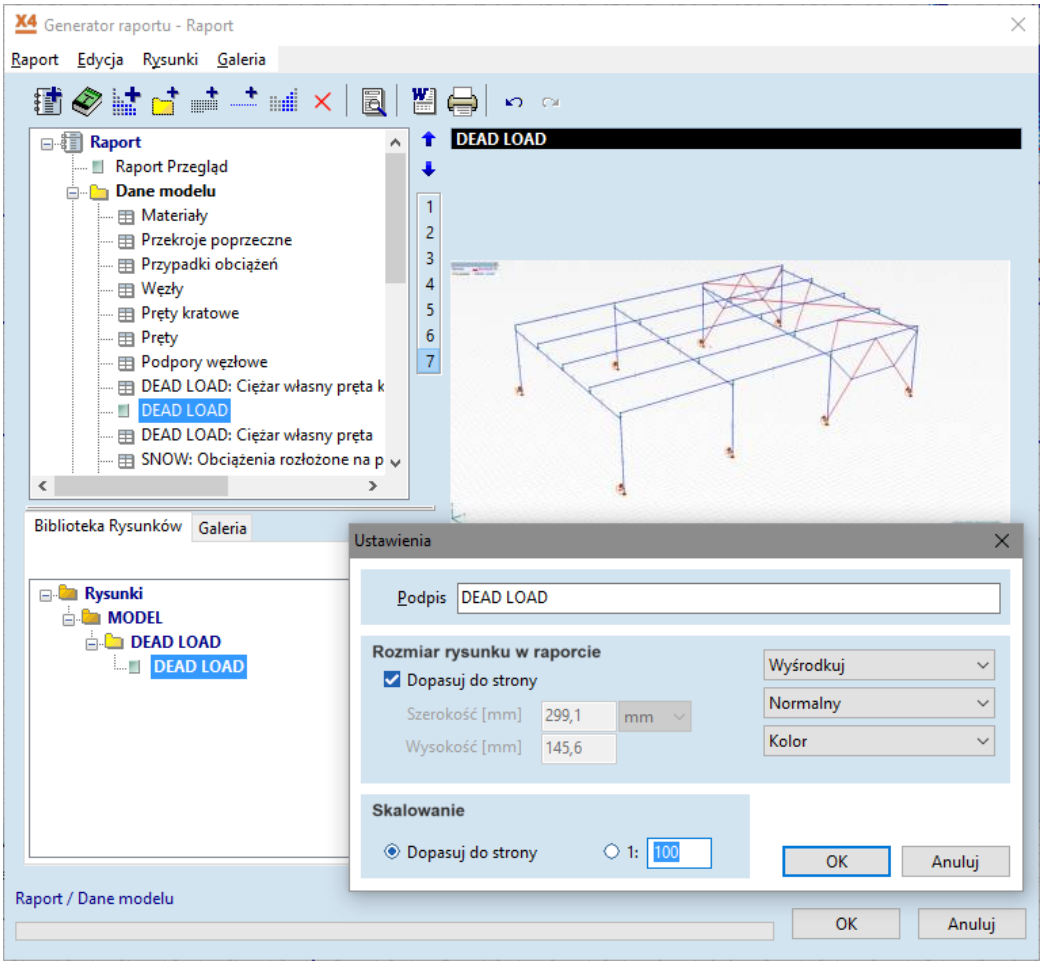


Rozdział Jeżeli wybrany jest rozdział, jego nazwa może zostać wyedytowana w prawej części okna.

Tabela Jeżeli wybrana jest tabela, pokazany jest jej komentarz, tytuły kolumn i pozostałe właściwości. Wyświetlanie tytułu, komentarza i kolumn może być włączone lub wyłączone. Tytuł tabeli i komentarz mogą zostać wyedytowane, ale tytuły niestandardowe nie są tłumaczone przy zmianie języka raportu.

Tekst Jeżeli wybrany jest blok tekstu, jego zawartość pokazana jest w prawej części okna. Aby wprowadzić zmiany, należy kliknąć przycisk *Edycja tekstu...*

Rysunek lub wykres Jeżeli wybrany jest rysunek lub wykres, zostanie on pokazany w prawej części okna. Po kliknięciu w przycisk *Ustawienia* można ustawić jego wielkość, wyrównanie i podpis.



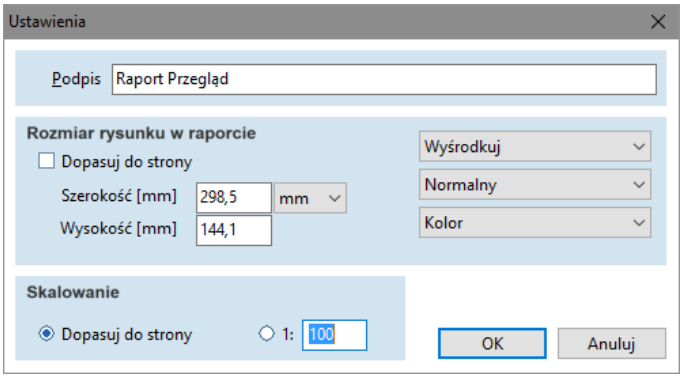
Biblioteka rysunków

Klikając na zakładkę Biblioteka rysunków, można przeglądać zapisane rysunki i dodawać wybrane z nich do raportu.
W przeciwieństwie do obrazów w Galerii, te rysunki nie są plikami graficznymi, ale zachowanymi ustawieniami widoku, aby móc odtworzyć rysunek w dowolnym momencie.
W ten sposób rysunki są automatycznie aktualizowane w przypadku wprowadzenia zmian i ponownej analizy modelu.
Patrz szczegóły... *3.6.10 Biblioteka Rysunków*, *3.6.11 Zapisz w Bibliotece rysunków*.

Galeria

Klikając na zakładkę Galeria można przeglądać zapisane obrazy (BMP, JPG, WMF, EMF) umieszczone w folderze *Images_nazwamodelu* i dodawać wybrane z nich do raportu. Ten folder zostaje automatycznie utworzony jako podfolder w folderze modelu.
Patrz szczegóły... *2.10.5 Galeria*

Ustawienia



Klikając przycisk *Ustawienia...* można zmienić podpis, wielkość, justowanie, obrót, tryb koloru oraz skalowanie rysunków.

Bieżący rysunek na ekranie lub tabele wyników w modułach obliczeniowych można zapisać dzięki funkcji *Edycja\ Zapisywanie rysunków i tabel z wynikami wymiarowania* w głównym menu.
Patrz... *3.2.12 Zapisywanie rysunków i tabel z wynikami wymiarowania*

Jeden lub kilka wybranych obrazów z Galerii można wstawić do raportu wybierając polecenie z menu *Galeria / Dodaj obrazy do raportu* lub klikając na przycisk strzałki znajdujący się nad Galerią, lub przeciągając je i upuszczając.

W przypadku drukowania raportów, Generator raportu automatycznie tworzy spis treści i umieszcza go na początku raportu. Tabele są umieszczane w spisie zgodnie z ich tytułami. Bloki tekstowe zostają umieszczone w spisie tylko, jeżeli zostały sformatowane za pomocą jednego ze styli nagłówka w Edytorze tekstu. Rysunki zostają umieszczone w spisie, jeżeli posiadają podpisy.

2.10.1 Pasek narzędziowy Generatora raportu

Tworzy nowy raport
Patrz *2.10.2 Raport*

Tworzy nowy raport w oparciu o szablon
Patrz *2.10.3.1 Raporty na podstawie szablon*

Tworzy nowy raport w oparciu o filtry
Patrz *2.10.3.3 Raporty na podstawie filtrów*

Wstawia rozdział
Patrz *2.10.3 Edycja*

Wstawia sformatowany tekst
[Ctrl]+[T]
Patrz *2.10.3 Edycja*

Wstawia podział strony
[Ctrl]+[Alt]+[B]
Patrz *2.10.3 Edycja*

Filtr wyboru
Patrz *2.10.3 Edycja*

Usuwa wybrany raport lub jego składnik
[Del], [Ctrl]+[Del]
Patrz *2.10.3 Edycja*

Podgląd całego raportu
[Ctrl]+[R]
Patrz *2.10.3 Edycja*

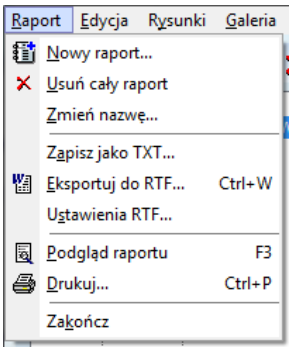
Eksportuje raport do pliku RTF
[Ctrl]+[W]
Patrz *2.10.3 Edycja*

Drukuj
[Ctrl]+[P]
Patrz *2.10.2 Raport*

Cofnij
[Ctrl]+[Z]
Patrz *2.10.3 Edycja*

Przywróć
[Shift]+[Ctrl]+[Z]
Patrz *2.10.3 Edycja*

2.10.2 Raport



Nowy raport

Tworzy nowy raport. Nazwy raportów mogą zawierać maks. 32 znaki.

Usuń cały raport

[Del], [Ctrl]+[Del]

Usuwa bieżący raport (np. raport, który zawiera wybrany element). Rysunki użyte w raporcie nie zostają usunięte z Galerii.

Zmień nazwę

Nadaje nową nazwę dla istniejącego raportu.

Zapisz jako TXT

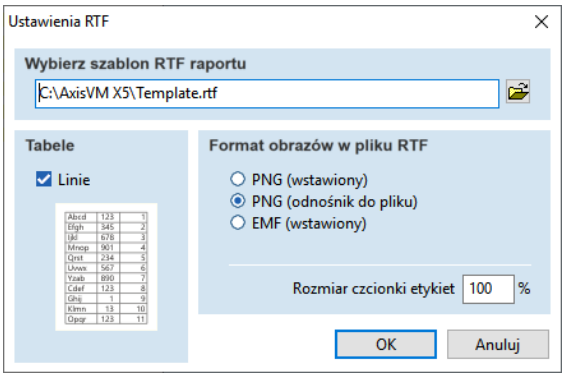
Eksportuje raport do pliku tekstowego ASCII. Rysunki ani obrazy nie zostają uwzględnione.

Eksportuj jako RTF

Zapisuje raport jako *nazwa.rtf* za pomocą bieżącego szablonu. W przypadku zapisania pliku w folderze innym niż folder modelu, wszystkie pliki obrazów użyte w raporcie są kopiowane do automatycznie utworzonego podfolderu ***Images_nazwamodelu***. Ta operacja jest konieczna, ponieważ obrazy są tylko podlinkowane, a niezapisane w dokumencie RTF. Aby wydrukować raport RTF na innym urządzeniu, należy upewnić się, że pliki obrazów są także skopiowane do podfolderu ***Images_nazwamodelu.*** Formatowanie znaków i akapitów bloków tekstowych zostanie eksportowane. Jedyny wyjątek stanowi kolor znaków. Tabele zostaną eksportowane jako tabele RTF. Tytuły tabeli są formatowane stylem Nagłówek 3, co ułatwia automatyczne tworzenie spisu treści za pomocą programu Microsoft Word.

Ustawienia RTF

Program AxisVM zapisuje raporty do plików RTF za pomocą szablonów (domyślny szablon to *Template.rtf* w folderze programu). Można również skorzystać z innych szablonów. Podczas zmiany szablonu można utworzyć własną stronę tytułową i nagłówek/stopkę dla raportu. Przed dokonaniem zmiany należy uważnie przeczytać tekst pliku szablonu.



Format obrazów w pliku RTF można ustawić jako:

PNG (wstawiony): Rysunki są wstawiane bezpośrednio w plik RTF. Metoda ta skutkuje łatwością przenoszenia pliku z raportem oraz jego małą wielkość, dzięki zastosowaniu kompresji rysunków.

PNG (wstawiony): Opcja ta pozwala uzyskać jeszcze mniejsze pliki RTF, ponieważ rysunki są przechowywane jako pliki zewnętrzne. Rysunki zostaną poprawnie wyświetlone w pliku RTF tylko wtedy, gdy ich pliki będą znajdować się w podfolderze *Images_nazwamodelu* znajdującym się w folderze z plikiem RTF.

EMF (wstawione): Rysunki są wstawiane bezpośrednio w plik RTF w formacie EMF (Enhanced Windows Metafile). Ułatwia to przenoszenie pliku z raportem, ale może skutkować jego bardzo dużą wielkością.

Rozmiar czcionki etykiet: Wielkość czcionki etykiet na eksportowanych rysunkach może zostać tutaj dopasowana.

Linie: W eksportowanych tabelach mogą zostać włączone lub wyłączone linie tabel.

Podgląd raportu

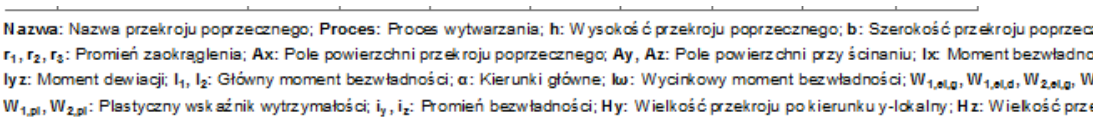
[F3]

Wyświetla okno dialogowe z podglądem wydruku. Współczynnik zoom można ustawić między 10% a 500% (dostępne są także ustawienia *Szerokość strony* i *Cała strona*). Aby poruszać się między stronami w przód i w tył, można użyć przycisków lub klawiatury (**[Home]** = pierwsza strona, **[←]** = poprzednia strona, **[⟶]** = następna strona, **[End]** = ostatnia strona).
Podgląd raportu może wyświetlać wiele stron. Klawisze **[PgUp]** i **[PgDn]** przesuwają do tyłu lub do przodu, zgodnie z ilością wyświetlonych stron.

Drukuj

[Ctrl]+[P]

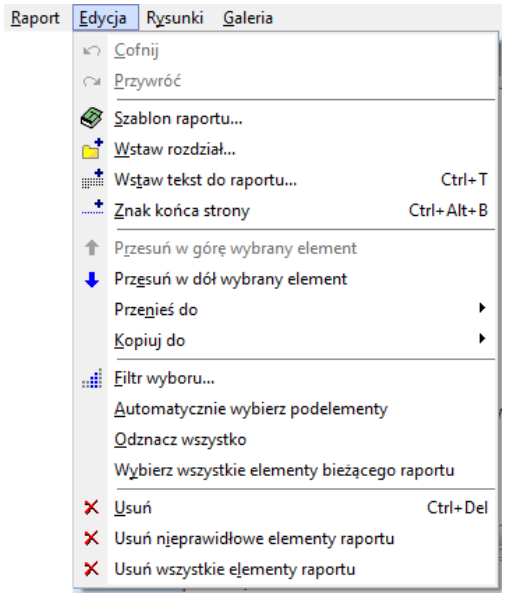
Okno dialogowe umożliwiające ustawienie parametrów drukowania i wydrukowanie raportu. Opcje są takie same jak w przypadku opcji drukowania tabeli.
Włączenie opcji ***Opis kolumn tabeli*** spowoduje wyświetlenie opisów objaśniających nagłówki tabel pod każdą tabelą.



Zakończ

Zamyka Generator raportu.

2.10.3 Edycja



Niektóre funkcje w menu *Edycja* są dostępne także w podręcznym menu, po kliknięciu prawym przyciskiem myszy na element raportu.

Cofnij

Cofa efekt poprzedniego polecenia.

Przywróć

Przywraca cofnięte polecenie.

Szablon raportu

Patrz... *2.10.3.1 Raporty na podstawie szablon*

Wstaw rozdział

Umieszcza nowy folder do drzewa pod bieżącym elementem. Nazwa bieżącego rozdziału pojawi się po prawej stronie pod ikonką folderu.
Liczbę rozwiniętych poziomów (1-7) drzewa raportu można ustawić za pomocą paska dostosowania poziomów.

Wstaw tekst do raportu

[Ctrl]+[T]

Uruchamia zintegrowany Edytor tekstu, aby utworzyć nowy blok tekstowy. Sformatowany tekst zostanie wstawiony po wybranym elemencie raportu.

Znak końca strony

[Ctrl]+[Alt]+[B]

Wstawia znak końca strony po wybranym elemencie raportu.

Przesuń w górę / dół wybrany element

Przesuwa w górę / dół o jeden wybrany element raportu.

Przenieś do / Kopiuj do

Przenosi / kopiuje wybrany element raportu na koniec innego raportu.

Filtr wyboru

Określa, które typy elementów raportu można wybrać (raport, tabela, rysunek, obraz, tekst, znak końca strony, folder).

Automatycznie wybierz podelementy

Po zaznaczeniu tego pola wyboru i wybraniu folderu, wszystkie podelementy zostaną wybrane automatycznie.

Odznacz wszystko

Odznacza wszystkie wybrane elementy w dokumentacji.

Wybierz wszystkie elementy bieżącego raportu

Każdy element bieżącego raportu zostanie wybrany.

Usuń

[Del], [Ctrl]+[Del]

Usuwa wybrany element raportu (blok tekstowy, obraz, tabela, znak końca strony). Jeżeli w drzewie wybrano raport, usuwa cały raport.

Usuń wszystkie elementy raportu

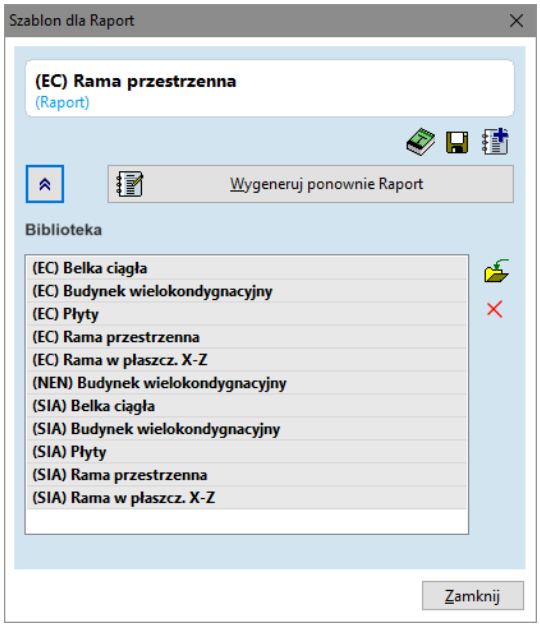
Usuwa wszystkie elementy z bieżącego raportu, ale nie usuwa samego raportu.

2.10.3.1 Raporty na podstawie szablonów

Szablony raportów mogą zostać wykorzystane do stworzenia raportów na podstawie pewnych wcześniejszych konfiguracji, filtrów i ustawień. Wygenerowane raporty zawierają rysunki i tabele. Szablony mogą zostać zapisane jako pliki i użyte ponownie przy tworzeniu raportu dla innych modeli.

Zakres zawartych elementów, danych modelu i komponentów wyników może być ustawiony za pomocą filtrów.

Kliknięcie w ikonę otwiera okno administratora szablonu. Jeżeli bieżący raport został wygenerowany z szablonu, to ten szablon jest wczytany. Jeżeli bieżący raport nie bazuje na szablonie, to pojawi się nowy domyślny szablon.
Jeżeli okno dialogowe jest otwarte (patrz obok), w jego dolnej części wyświetlą się szablony predefiniowane (szare tło) oraz szablony użytkownika (białe tło).
Kliknięcie na element z listy spowoduje jego wczytanie.
Szablony na liście ułożone są wg ich nazw, określonych w edytorze szablonu (**Patrz...** *2.10.3.2 Edycja szablonu*).
Szablony są zapisywane i odczytywane z następującego katalogu:
C:\ Użytkownicy \ [Nazwa użytkownika] \ AppData \ Roaming \ AxisVM \ [numer wersji] \ Templates.



Przebuduj szablon

Jeżeli model został rozbudowany i raport należy zaktualizować, kliknij na przycisk *Przebuduj*. Każdy element raportu wstawiony przez użytkownika zostanie wtedy usunięty.

Ten przycisk otwiera lub zamyka dolną część okna dialogowego z listą szablonów.

Pasek ikon zawiera następujące polecenia:

Edytuj szablon

Zawarte filtry i użyte do schematów widoki mogą być edytowane. **Patrz...** *2.10.3.2 Edycja szablonu*

Zapisz ten szablon do pliku

Bieżący szablon można zapisać do pliku, w celu jego późniejszego wykorzystania na innym modelu. Szablon raportu posiada rozszerzenie **.rep* i zapisywany jest w katalogu, który określono powyżej.

Utwórz nowy raport

Tworzy nowy raport na podstawie bieżącego szablonu.

Import...

Pliki szablonów (**.rep*) mogą zostać zaimportowane z innego miejsca do biblioteki szablonów. Zaimportowane szablony mogą zostać użyte w taki sam sposób jak szablony predefiniowane.

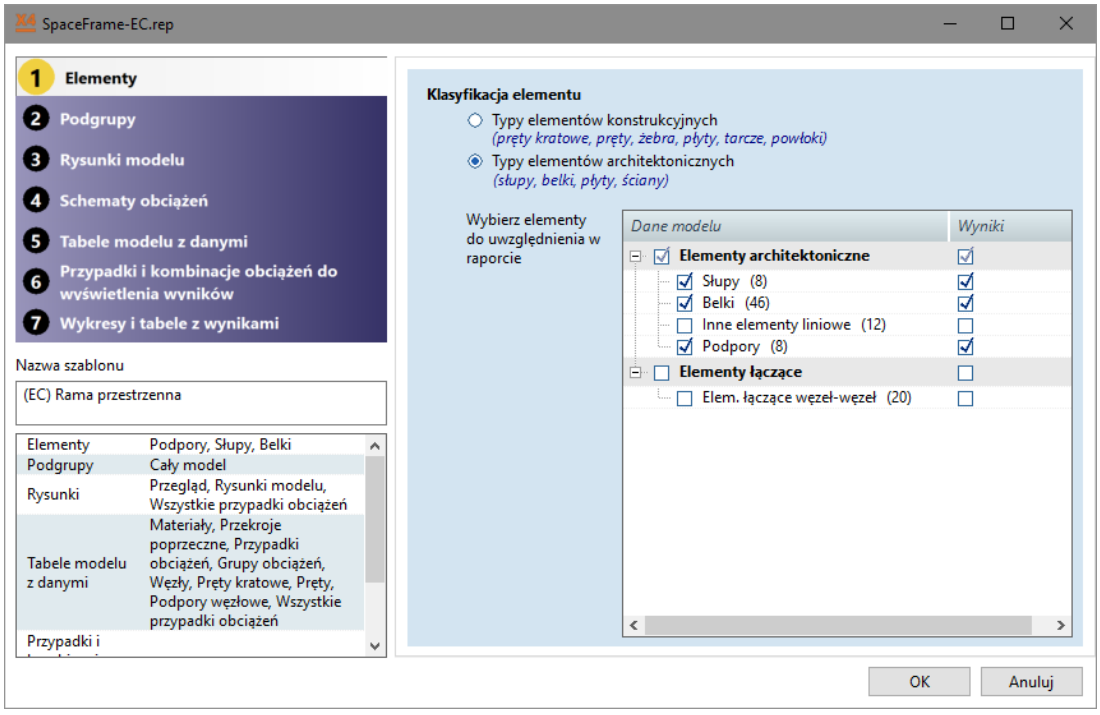
Usuń

Usuwa zaznaczone szablony z biblioteki szablonów.

2.10.3.2 Edycja szablonu

Stworzenie szablonu raportu jest złożonym zadaniem. Etapy tego procesu są przedstawione na liście po lewej stronie okna. Kliknięcie w te elementy umożliwia edycję opcji filtrów i innych ustawień. Okienko edycji poniżej tej listy umożliwia wprowadzenie nazwy dla szablonu. Okno zarządzania szablonami sortuje szablony na liście po ich nazwach.

Elementy

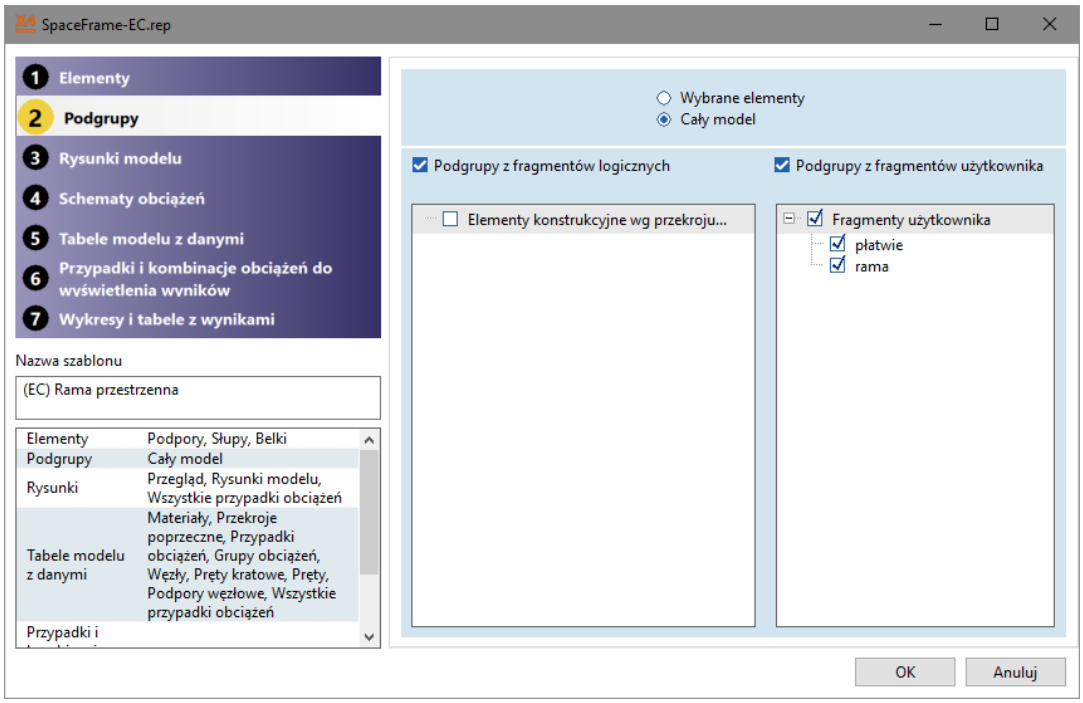


Pierwszym krokiem jest wybranie typów elementów, które mają zostać zawarte w raporcie oraz klasyfikacji elementów. Jeżeli wybrane zostały *Typy elementów konstrukcyjnych*, elementy zostaną sklasyfikowane wg ich rodzaju elementu skończonego. Jeżeli wybrane zostały *Typy elementów architektonicznych*, elementy zostaną sklasyfikowane wg ich typu architektonicznego (określonego z geometrii elementu).

Dane elementów i wyniki mogą zostać wybrane do raportu oddzielnie.

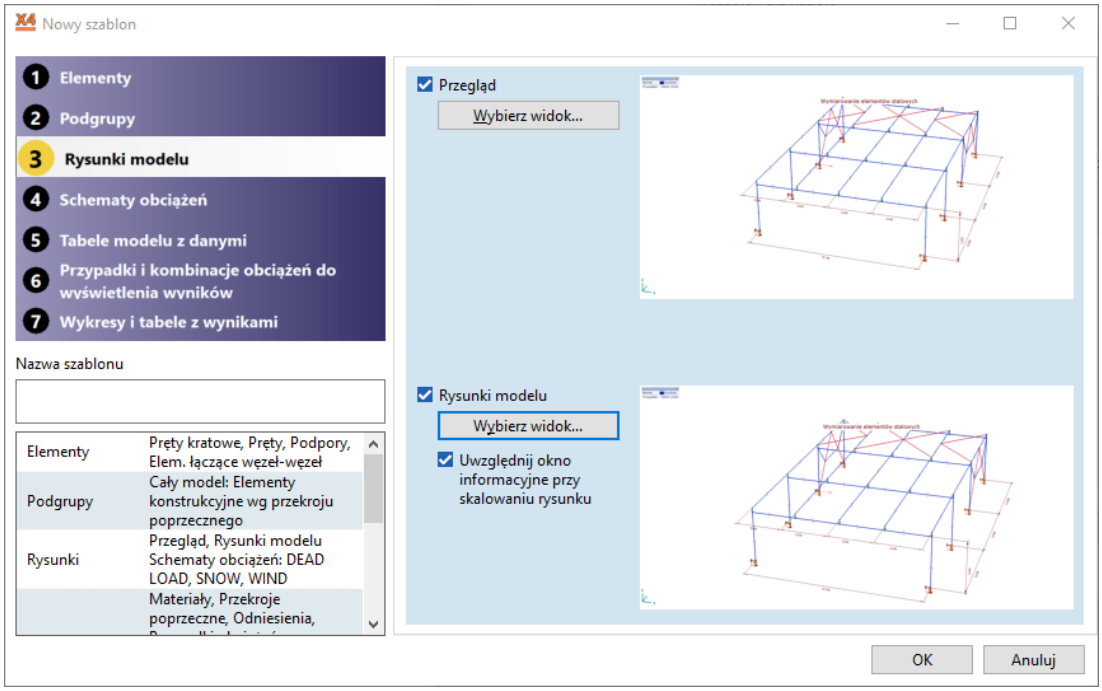
Kolejny krok wyświetli tabele i rysunki na podstawie tej selekcji.

Podgrupy



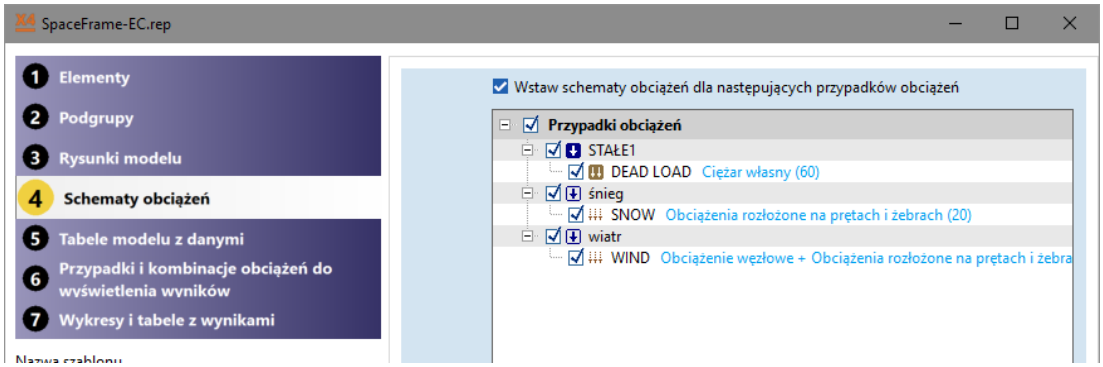
Drugim krokiem jest ustawienie podgrup dla elementów. Kompletny podraport będzie budowany dla każdej podgrupy.
Jeżeli opcja *Wybrane elementy* została aktywowana, to tylko elementy wybrane przed otwarciem Generatora raportów zostaną uwzględnione w raporcie.
Jeżeli opcja *Podgrupy z fragmentów logicznych* została aktywowana, to podgrupy mogą być tworzone z obszarów o tych samych grubościach, z elementów konstrukcyjnych o tym samym przekroju poprzecznym lub kondygnacji (tylko wybrane kondygnacje zostaną uwzględnione w raporcie).
Jeżeli zaznaczono opcję *Raportuj obszary pojedynczo*, każdy obszar zostanie uwzględniony oddzielnie w raporcie. Obszary wewnętrzne (będące całkowicie w środku innych obszarów) nawet w tym przypadku uwzględniane są w raporcie razem z zewnętrznym obszarem.
Jeżeli wybrano *Cały model*, to podgrupy mogą być również utworzone z fragmentów zdefiniowanych przez użytkownika.

Rysunki modelu



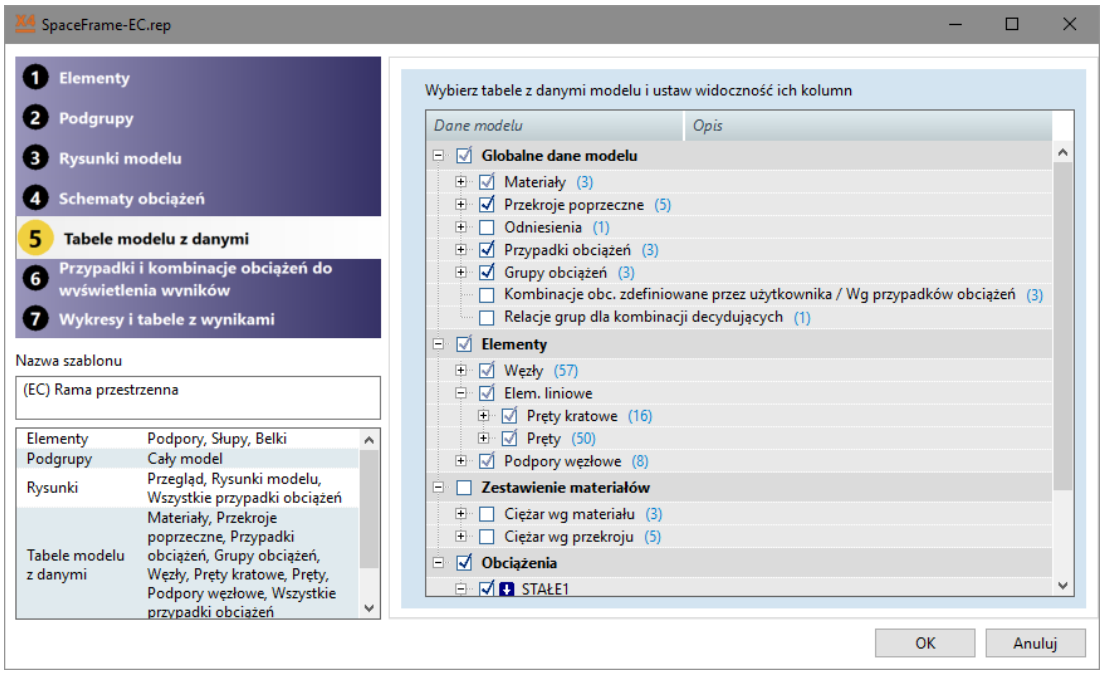
Jeżeli zaznaczono opcję *Przegląd*, to widok modelu zostanie wstawiony na początku raportu. W tym celu należy kliknąć przycisk *Wybierz widok...*, aby wybrać widok z Biblioteki rysunków.
Jeżeli mają zostać zawarte automatycznie utworzone rysunki obciążenia i wyników, należy zaznaczyć opcję *Rysunki modelu* i kliknąć *Wybierz widok...*, aby wybrać widoki z Biblioteki rysunków.
Wygenerowane rysunki będą dziedziczyć wszystkie ustawienia wybranego rysunku (punkt widoku, stan symboli graficznych, numeracja, etykietowanie itd.) z niewielkimi zmianami. Jeżeli nie wybrano żadnego rysunku (np. Biblioteka rysunków jest pusta) to rysunki zostaną utworzone na podstawie bieżącego widoku z aktywnego okna.
Jeżeli wykres jest wyświetlany tylko na pewnym fragmencie konstrukcji, widok jest przybliżany, aby dopasować rysunek do okna. Punkt widoku i stan symboli graficznych pozostanie bez zmian.
Zaznaczenie opcji *Uwzględnij okno informacyjne przy skalowaniu rysunku* pozwala tak dopasować rysunek, aby wykorzystać miejsce z uwzględnieniem okna informacyjnego.

Schematy obciążeń



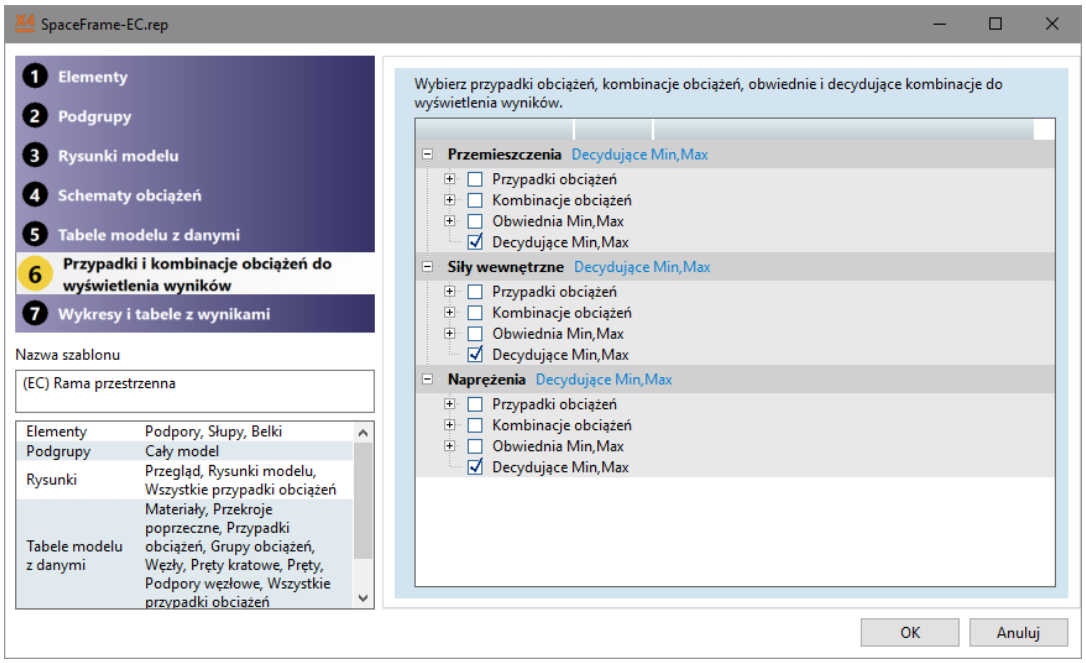
Jeżeli zaznaczona jest opcja *Wstaw schematy obciążeń dla następujących przypadków obciążeń*, można wybrać przypadki obciążeń, których schematy zostaną dodane do raportu. Schematy obciążeń będą generowane w widoku jak dla opcji *Rysunki modelu*, ustawionej w poprzednim kroku.

Tabele modelu z danymi



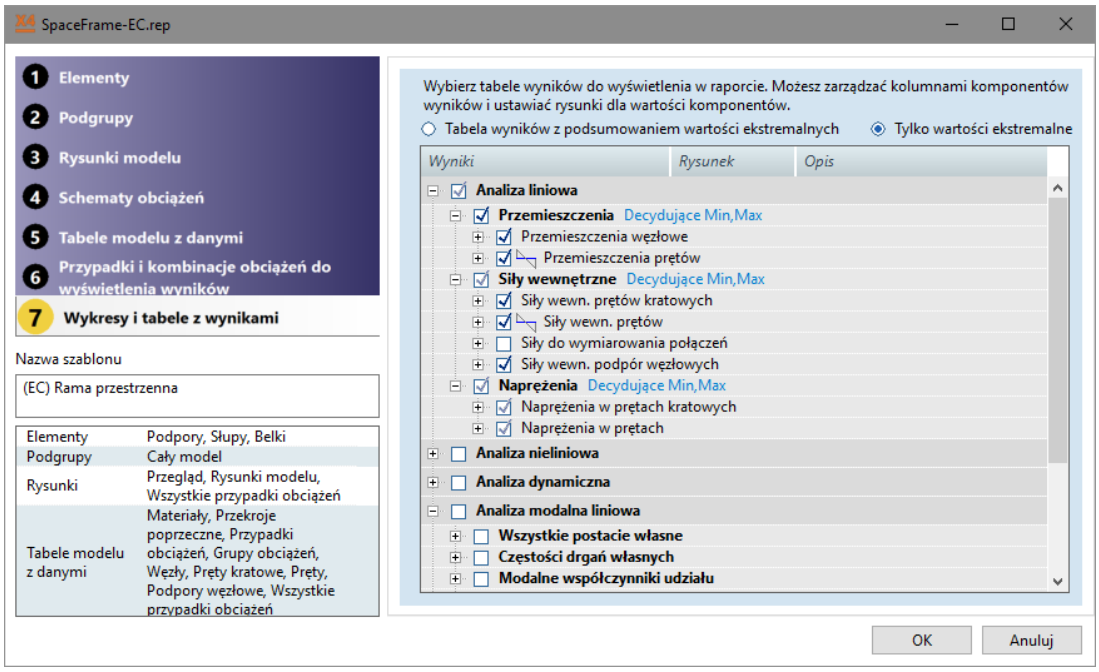
Należy wybrać tabele z danymi modelu, które mają zostać dodane do raportu. W celu lepszego dopasowania zawartości raportu, widoczność kolumn tabel może zostać ustawiona.
W *Elementach* znaleźć można tylko te elementy, które zostały wybrane w pierwszym kroku.
W *Obciążeniach* można wybrać przypadki obciążeń, których tabele z danymi mają zostać dodane do raportu.

Przypadki i kombinacje obciążeń do wyświetlenia wyników



AxisVM dostarcza ogromną ilość wyników. Ważne jest, aby zdecydować które przypadki, kombinacje obciążeń, obwiednie czy kombinacje decydujące powinny zostać uwzględnione w raporcie dla przemieszczeń, sił wewnętrznych, naprężeń, wymiarowania zbrojenia, stali czy drewna.

Wykresy i tabele z wynikami

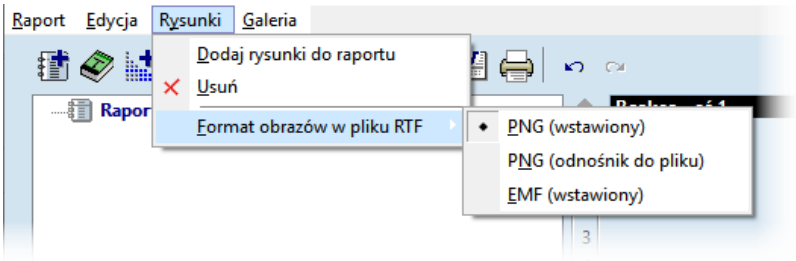


Ostatnim krokiem jest wybranie możliwych tabel z wynikami i ustawienie widoczności ich kolumn. Możliwe jest również wygenerowanie wykresów dla komponentów wyników. W tym celu należy kliknąć w wierszu komponentu wyniku na kolumnie *Rysunek*. Z rozwijanej listy może zostać wybrany tryb rysunku dla tego komponentu wyniku, nawet jeżeli sam komponent został odznaczony (ukrycie odpowiadającej kolumny). Rysunki z wynikami zostaną wygenerowane w widoku ustawionym dla *Rysunki modelu* i umieszczone przed tabelą.

2.10.3.3 Raporty na podstawie filtrów

Tworzenie raportów na podstawie filtrów jest wcześniejszą metodą stosowaną w programie. Jest to metoda mniej konfigurowalna, a powstała w ten sposób zawartość raportu nie jest aktualizowana. Może być ona jednak stosowana w prostych przypadkach.
Wybierz z drzewka filtra po lewej stronie element i rodzaj obciążeń, przypadki obciążeń i komponenty wyników, aby kontrolować zawartość raportu. Raport pojawia się w drzewku po prawej stronie. Jego indywidualne elementy mogą zostać zaznaczone lub odznaczone. Tylko zaznaczone elementy raportu zostaną uwzględnione w generowanym raporcie.

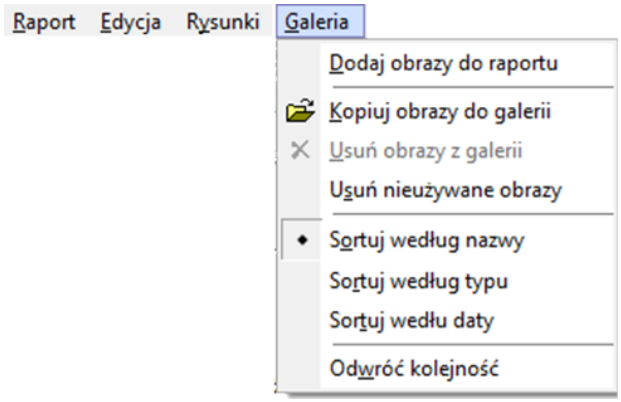
2.10.4 Rysunki



Dodaj rysunki do raportu — Wstawia wybrany rysunek (rysunki) z Biblioteki rysunków do wybranego raportu. Miejsce wstawienia określa wybrany element drzewa raportu. Efekt tej funkcji jest taki sam jak efekt przycisku w zakładce Biblioteka rysunków.

Format rysunków w pliku RTF — **Patrz...** *2.10.2 Raport*

2.10.5 Galeria



Dodaj obrazy do raportu — Wstawia wybrane obrazy do bieżącego raportu.

Kopiuj obrazy do galerii — Kopiuje mapy bitowe *(.BMP, .JPG, .PNG)* oraz metapliki Windows *(.WMF, .EMF)* do folderu *Images_nazwamodelu*.

Usuń obrazy z galerii — Usuwa wybrane obrazy z galerii. Pliki zostają trwale usunięte.

Usuń nieużywane obrazy — Usuwa obrazy nieużyte w raportach.

Sortuj według nazwy / typu / daty

Obrazy w Galerii mogą być sortowane według nazwy, typu *(.BMP, .EMF, .JPG, .WMF)* lub daty pliku.

Odwróć kolejność

Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, obrazy sortowane są według kolejności malejącej. W przeciwnym wypadku obrazy są sortowane w kolejności rosnącej.

2.10.6 Pasek narzędzi Galerii i Biblioteki Rysunków

Dzięki tym paskom narzędzi niektóre zadania można wykonać w szybszy sposób.

Usuwa wybrane obrazy lub rysunki z *Galerii / Biblioteki Rysunków*.

Wstawia wybrane obrazy lub rysunki do bieżącego raportu.
Miejsce wstawienia określa wybrany element w drzewie raportu.

Kopiuje obrazy z lokalizacji innych niż Galeria. Ta funkcja nie jest dostępna w zakładce Biblioteka rysunków.

2.10.7 Edytor tekstu

Po wybraniu *Wstaw tekst do raportu* można utworzyć sformatowany tekst w prostym edytorze tekstu typu WordPad.

Plik

Otwórz
[Ctrl]+[O]

Głównym celem tej funkcji jest wczytywanie pliku tekstowego RTF napisanego w Edytorze tekstu. Otwarcie pliku RTF utworzonego w innym edytorze może spowodować, że będzie on zawierać pewne specjalne obiekty (np. tabele, obramowania akapitu, znaki Unicode), nieobsługiwane przez ten prosty edytor. W rezultacie zamiast sformatowanego tekstu można uzyskać serię kontrolnych komend RTF.

Zapisz
[Ctrl]+[S]

Zapisuje tekst do pliku RTF.

Zakończ

Wychodzi z Edytora tekstu.

Edycja

Cofnij / Przywróć
[Alt]+[BkSp] / [Shift]+[Alt]+[BkSp]

Cofa / przywraca ostatnią operację edytowania.

Wytnij
[Ctrl]+[X]

Wycina wybrany tekst i umieszcza go w schowku.

Kopiuj
[Ctrl]+[C]

Kopiuje wybrany tekst do schowka.

Wklej
[Ctrl]+[V]

Wkleja zawartość schowka do bieżącej pozycji.

Znajdź
[Ctrl]+[F]

Ta funkcja umożliwia wyszukanie dowolnego tekstu w dokumencie. Wyszukiwanie można rozpocząć od początku lub od bieżącej pozycji. Można wyszukiwać tylko całe słowa i włączyć lub wyłączyć rozróżnianie wielkości liter.

Znajdź następny
[F3]

Jeżeli odnaleziono wyszukiwany tekst, dzięki tej funkcji można znaleźć następne wystąpienia.

Wybierz wszystko
[Ctrl]+[A]

Zaznacza cały tekst.

Znak

Pogrubienie
[Ctrl]+[B]

Włącza pogrubienie dla wybranego tekstu.

Kursywa Włącza kursywę dla wybranego tekstu.

[Ctrl]+[I]

Podkreślenie Włącza podkreślenie dla wybranego tekstu.

[Ctrl]+[U]

Kolor Ustawia kolor znaków dla wybranego tekstu.

[Ctrl]+[Alt]+[C]

Akapit

Wyrównaj do lewej Wyrównuje wybrane akapity do lewej.

[Ctrl]+[L]

Wyśrodkuj Wyrównuje wybrane akapity do środka.

[Ctrl]+[E]

Wyrównaj do prawej Wyrównuje wybrane akapity do prawej.

[Ctrl]+[R]

Znak wypunktowania Umieszcza znaki wypunktowania przed wybranymi akapitami.

[Ctrl]+[Alt]+[U]

2.11 Kondygnacje

Aby uzyskać szczegółowe informacje, patrz... *3.3.4 Kondygnacje*

2.12 Menadżer warstw

Aby uzyskać szczegółowe informacje, patrz... *3.3.3 Menadżer warstw*

2.13 Biblioteka Rysunków

Aby uzyskać szczegółowe informacje, patrz... *3.6.10 Biblioteka Rysunków*

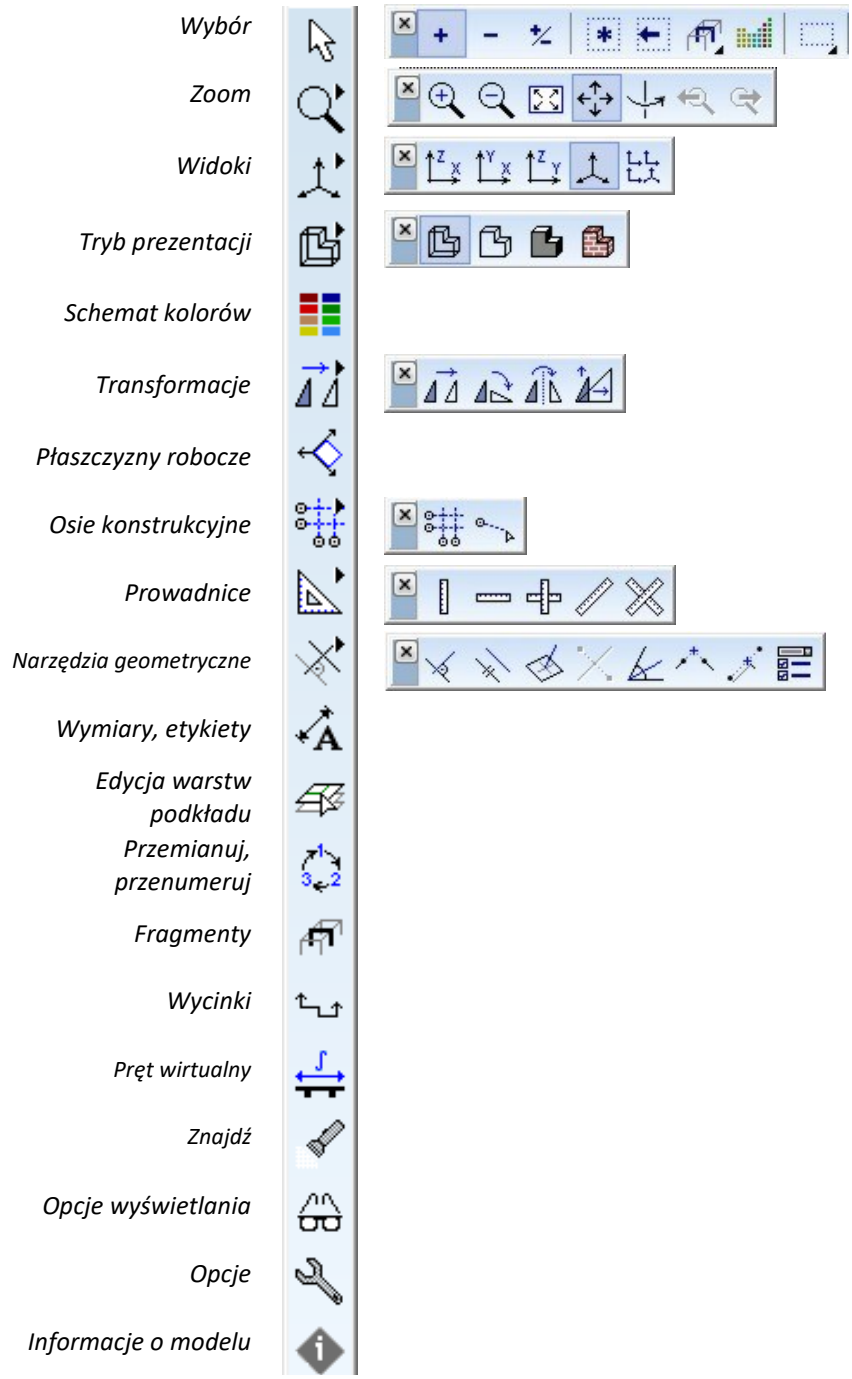
2.14 Zapisz w Bibliotece Rysunków

Aby uzyskać szczegółowe informacje, patrz... *3.6.11 Zapisz w Bibliotece rysunków*

2.15 Eksport aktualnego widoku do 3D PDF (moduł PDF)

Zapisuje aktualny widok do pliku 3D PDF.
Dzięki tej funkcji można uzyskać plik PDF zawierający widok 3D. Program Adobe Acrobat Reader od zaktualizowanej wersji 8.1 ma funkcje powiększania i obrotu modelu.
Plik ten zawiera również zbrojenie rzeczywiste.

2.16 Pasek Ikon



Przeciąganie i zakotwiczanie paska ikon i rozwijanych pasków

Pasek ikon po lewej stronie i wszystkie paski rozwijane mogą być przeciągane i kotwiczone.

Przeciąganie i zakotwiczanie paska ikon

Po najechaniu kursorem na uchwyt Paska ikon (na jego górnej krawędzi), kursor zmieni swój kształt (przesuwanie). Pasek ikon można przeciągnąć w dowolną pozycję na ekranie. Jeśli przeciągniesz pasek ikon poza obszar roboczy w jego dolnej lub górnej krawędzi, pasek przyjmie pozycję poziomą. Po przeciągnięciu go przez prawą lub lewą krawędź przyjmie pozycję pionową.

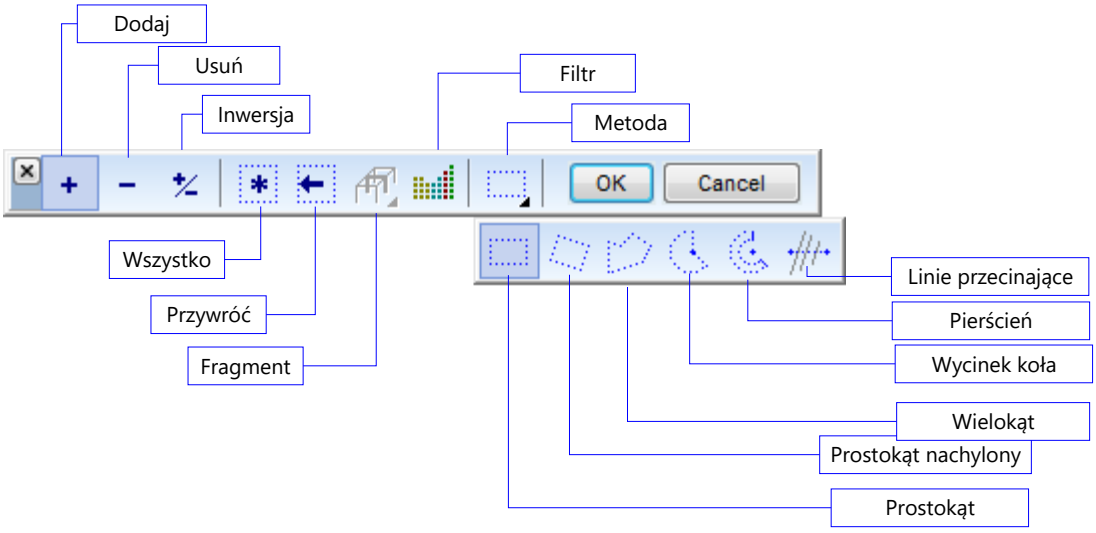
W pozycji poziomej pasek ikon można zakotwiczyć u góry lub u dołu. Pozycję i kolejność zakotwiczonych pasków narzędzi można zmienić poprzez przeciągnięcie. Paska ikon nie można zakotwiczyć w edytorze przekrojów poprzecznych ani w oknach wymiarowania belek i słupów. Zamknięcie pływającego paska ikon przywraca jego początkową pozycję, zakotwiczoną po lewej stronie.

Przeciąganie i zakotwiczanie pasków rozwijanych
Paski rozwijane można oddzielić od paska ikon poprzez przeciągnięcie ich za uchwyt. Zamknięcie lub przeciągnięcie ich z powrotem do paska ikon przywraca ich początkową pozycję. Rozwijane paski pływające można zakotwiczyć u góry lub u dołu.

☞ **Pasek ikon i paski rozwijane można przywrócić do ich początkowych pozycji wybierając z menu opcję** Ustawienia \ Paski narzędzi w domyślnym położeniu**.**

2.16.1 Wybór elementów

Aktywuje tryb wyboru i wyświetla pasek ikon wyboru



Umożliwia wybór zestawu obiektów (węzły (punkty), linie, elementy skończone i obciążenia), które mają zostać dalej przetworzone. Podczas wykonywania polecenia, za pomocą tego paska selekcji wskazuje się elementy, do którego odnosić się ma dane polecenie. Jeżeli włączone jest pole wyboru *Fragmenty* (**Patrz rozdział** *2.16.14 Fragmenty*), to wybór dotyczyć będzie tylko aktywnych (widocznych) fragmentów.
Podczas procesu wybierania można zmienić, obracać widok lub kontynuować selekcję w innym oknie. Umożliwia to korzystanie z najbardziej dogodnych widoków podczas wyboru elementów.
Zaznaczone obiekty wyświetlane są w obszarze graficznym na purpurowo.
Proces wybierania uważa się za zakończony po naciśnięciu przycisku **OK**.

Dodaj

Dodaje aktualnie wybrane obiekty do zestawu wybranych obiektów.

Usuń

Usuwa aktualnie wybrane obiekty z zestawu wybranych obiektów.

Inwersja

Odwraca status wyboru aktualnie wybranych obiektów.

Wszystko

Stosuje bieżący tryb wyboru (dodaj, usuń lub inwersja) do wszystkich odfiltrowanych obiektów.

☞ **Wszystkie polecenia zaznaczania zmieniają status selekcji wybranych już elementów w filtrze selekcji (patrz poniżej)**

Przywróć

Przywraca poprzednio wybrany zestaw.

Wybór fragmentów

Naciśnięcie przycisku i fragmentu z listy wybierze elementy zaznaczonego fragmentu.

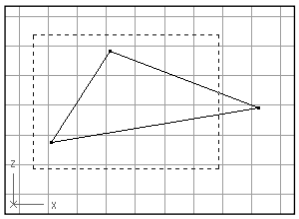
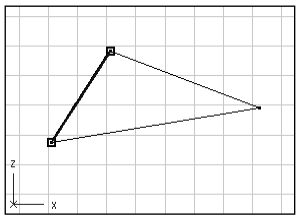
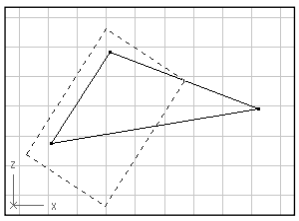
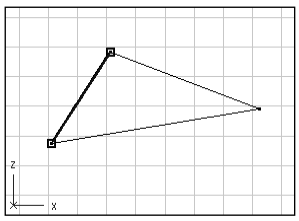
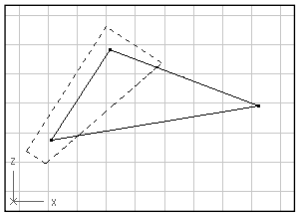
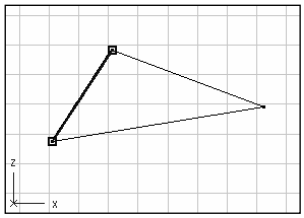
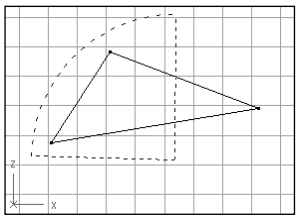
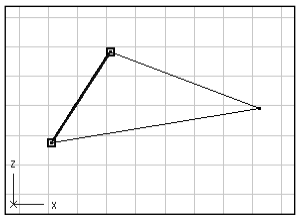
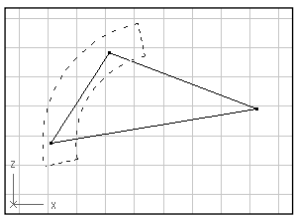
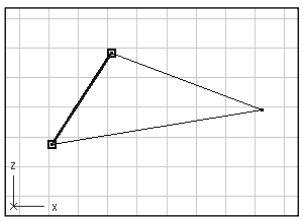
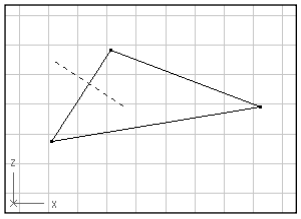
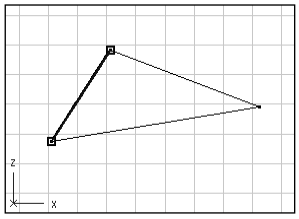
Filtr

Umożliwia określenie kryteriów filtrowania podczas wyboru. W tym celu użytkownik musi zaznaczyć typy elementów, które mają zostać wybrane. *Filtrowanie właściwości* umożliwia zastosowanie kolejnych kryteriów (długość pręta, przekrój poprzeczny, materiał, grubość elementu powierzchniowego, odniesienie).
Wszystkie elementy spełniające określone kryteria mogą zostać również zaznaczone za pomocą wiersza poleceń i wyszukiwania (**patrz** *2.17 Wiersz poleceń i wyszukiwania*

Metoda

Wybiera obiekty za pomocą różnych metod (kształtów wyboru). Dostępne kształty wyboru obejmują prostokąt, prostokąt nachylony, wycinek koła lub pierścień. Poniżej zaprezentowane zostały przykłady zastosowania różnych kształtów wyboru:

Podczas rysowania prostokątnej ramki stosowane są poniższe reguły:
- rysowanie ramki z lewej do prawej zaznacza elementy znajdujące się w całości w ramce,
- rysowanie ramki z prawej do lewej zaznacza elementy, które nie są w całości poza ramka, tzn. znajdują się w ramce w całości lub ją przecinają.

	Wybór:	*Rezultat:*
Prostokąt		
Prostokąt nachylony		
Wielokąt		
Wycinek koła		
Pierścień		
Linie przecinające		

OK Kończy wybór, zachowując wybrany zestaw do użytku.

Anuluj Kończy wybór, odrzucając wybrany zestaw.

☞ **Jeżeli obiekt pokrywa się w widoku z innym obiektem, nie można wybrać go poprzez proste kliknięcie w niego. W takim przypadku, aby móc go wybrać, należy zmienić widok.**

Wybrane węzły oznaczone są za pomocą otaczającego je purpurowego prostokąta. Czasami konieczne jest dwukrotne wybranie węzłów. W takim przypadku węzły oznaczone są dodatkowo niebieskim prostokątem.

Wyboru można dokonać także bez pomocy polecenia Wybór z paska ikon. Naciskając i przytrzymując klawisz **[Shift]** podczas dokonywania wyboru za pomocą doda obiekty do wyboru, a naciskając i przytrzymując klawisz **[Ctrl]** podczas dokonywania wyboru za pomocą usunie obiekty z wyboru.

Podwójnych wyborów (np.: węzłów) można dokonać naciskając i przytrzymując klawisz **[Alt]** i klikając na obiekty za pomocą .

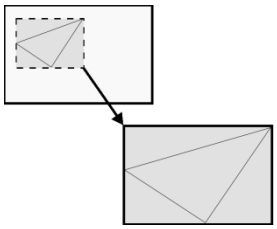
☞ **Podczas dokonywania wyboru można modyfikować wygląd konstrukcji, przełączać pomiędzy widokami lub perspektywami.**

2.16.2 Pasek ikon zoom

Wyświetla pasek ikon zoom.

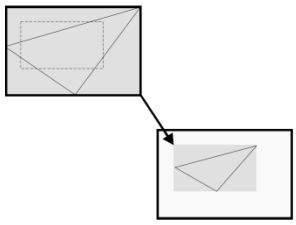
Przybliż

Wyświetla obszar rysunku modelu określony przez dwa punkty (dwa przeciwlegle narożniki) w obszarze graficznym, definiujący prostokątny region przybliżenia. W rezultacie widoczny rozmiar wyświetlonego modelu w obszarze graficznym zostaje powiększony.



Oddal

Wyświetla rysunek modelu z obszaru graficznego na obszarze określonym przez dwa punkty (dwa przeciwlegle narożniki), definiującym prostokątny region oddalenia. W rezultacie widoczny rozmiar wyświetlonego modelu na obszarze graficznym zostaje zmniejszony.



Dopasuj Skaluje rysunek modelu, dopasowując go do obszaru graficznego, aby umożliwić widok całego modelu.

Przesuń

Przesuwa rysunek. Należy nacisnąć i przytrzymać lewy przycisk podczas przesuwania myszą, aż żądana pozycja rysunku na ekranie zostanie uzyskana.

1. Kliknij ikonę *Przesuń*.
2. Przeciągnij model na nową pozycję.

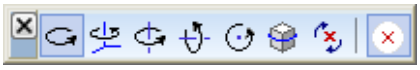
Szybkie przeciągnięcie:

Można użyć środkowego przycisku myszy, aby w dowolnym momencie przeciągnąć rysunek modelu (bez ikony *Przesuń*).

Ten kształt kursora wskazuje, że można przesunąć widok modelu.

Obróć

Po kliknięciu na tę ikonę można obrócić widok modelu poprzez przeciągnięcie wokół środka bloku zawierającego model. Podczas obrotu wyświetlony zostanie w dolnej części ekranu poniższy pasek podręczny:



Metody obracania:

Wolny obrót wokół poziomej osi ekranu i globalnej osi Z.

Obrót wokół globalnej osi Z.

Obrót wokół pionowej osi ekranu.

Obrót wokół poziomej osi ekranu.

Obrót wokół osi prostopadłej do ekranu.

Obrót wokół środka skrajni elementów widocznych na ekranie

Obrót wokół wybranego punktu. Kliknij w punkt, aby wskazać go jako środek obrotu.

Steruje wyświetlaniem symbolu środka obrotu

Ten kształt kursora wskazuje, że widok modelu może zostać obrócony.

Cofnij widok/ Przywróć widok

Cofa / przywraca operacje maks. 50 poleceń dotyczących widoku.

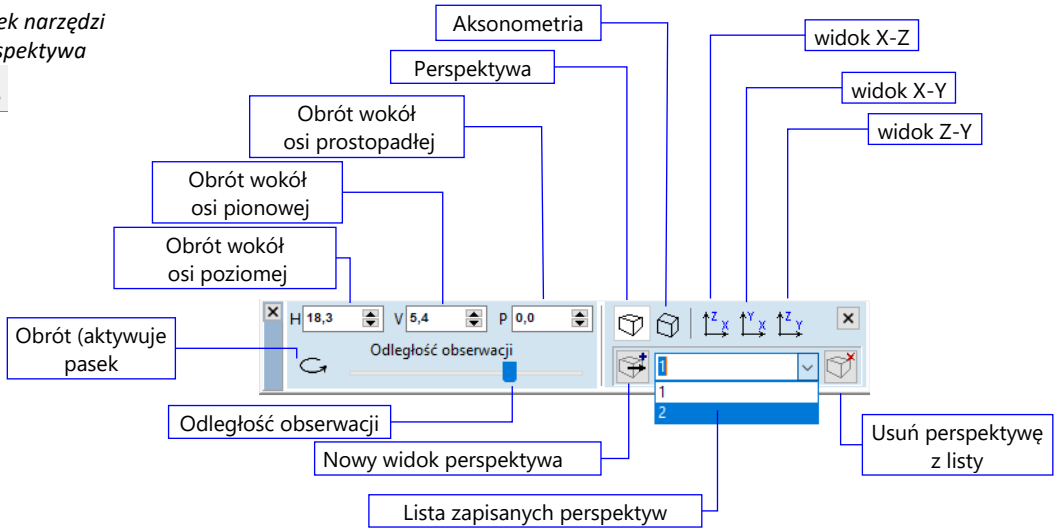
2.16.3 Widoki

Wyświetla rzut modelu na płaszczyznę X-Z (widok z przodu).

Wyświetla rzut modelu na płaszczyznę X-Y (widok z góry).

Wyświetla rzut modelu na płaszczyznę Y-Z (widok z boku).

Pasek narzędzi Perspektywa



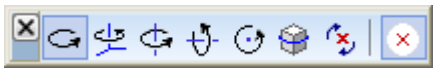
Ustawia parametry wyświetlania perspektywy. Odpowiadający widok można ustawić poprzez obrót rysunku modelu wokół trzech osi oraz poprzez ustawienie odległości obserwacji. Kąty obrotu można ustawić z precyzją do 0.1 stopnia. Aby zachować ustawienia do późniejszego użytku, możesz przypisać do każdego z nich nazwę. W tym celu należy wpisać tę nazwę do pola tekstowego i kliknąć na ikonę po lewej stronie tego pola. Aby usunąć ustawienie perspektywy należy wybrać je z rozwijanej listy i kliknąć ikonę Usuń po prawej stronie pola kombi. Ustawienia paska narzędziowego są zachowywane.

Odległość obserwacji

Odległość obserwacji to odległość między punktem widzenia i środkiem bloku zawierającego model.

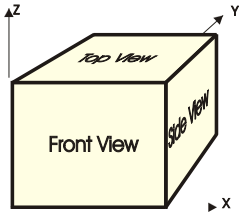
Obrót

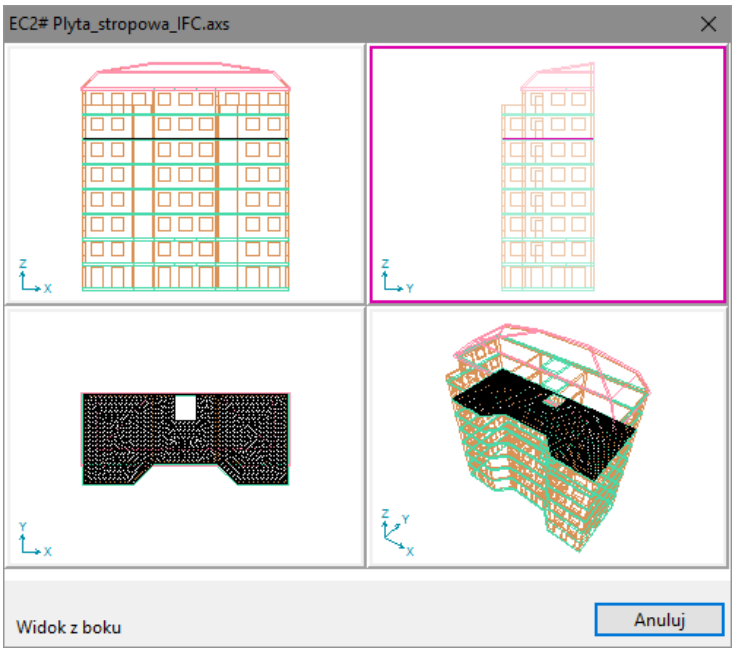
Po kliknięciu w ikonę obrotu wyświetlony zostanie pasek podręczny, tak jak opisano to wcześniej (*2.16.2 Pasek ikon zoom\Obróć*).



Widoki, perspektywa

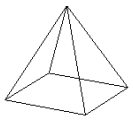
Wyświetla model w trzech rzutach i widoku perspektywicznym, co umożliwia wybór widoku, który ma zostać wyświetlony. Należy kliknąć na wybrany widok.



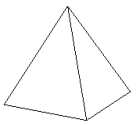


2.16.4 Tryb prezentacji

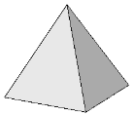
Model szkieletowy
Wyświetla model szkieletowy. W tym trybie wyświetlona zostaje oś elementów liniowych i płaszczyzna środkowa elementów powierzchniowych.



Ukryte linie
Wyświetla model szkieletowy zakrywając przesłonięte linie.

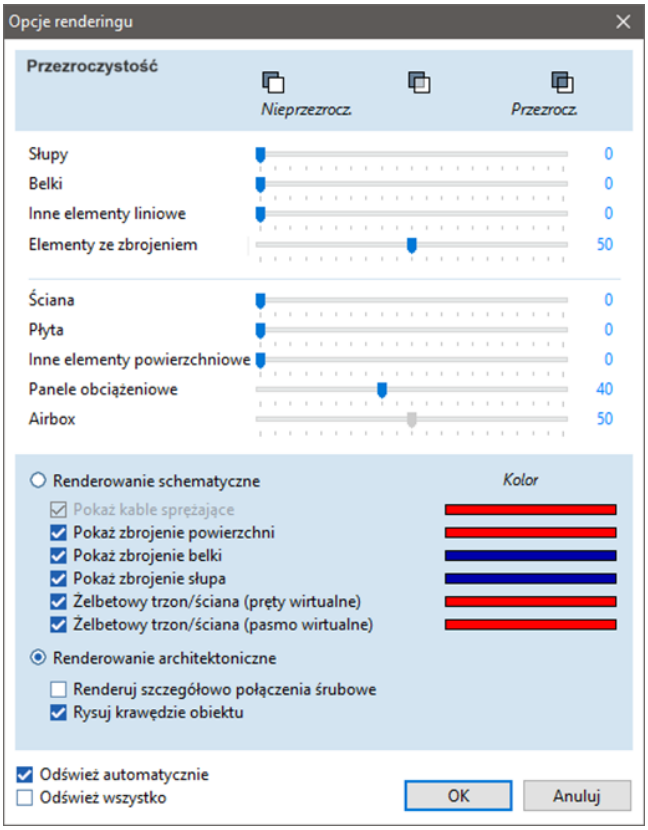


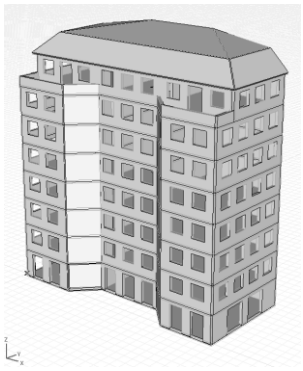
Model zrenderowany
Wyświetla zrenderowany rysunek modelu. Elementy liniowe wyświetlane są z rzeczywistymi przekrojami poprzecznymi, a elementy powierzchniowe z rzeczywistą grubością.
Kolory wyświetlanych elementów odpowiadają kolorom ich materiałów. Model zrenderowany jest bardziej obrobiony i ukazuje szczegóły smukłych przekrojów.



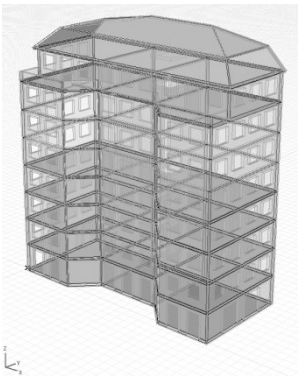
Opcje renderingu

W *Widok / Opcje renderingu...* można ustawić przezroczystość. Typy elementów określa geometria. Pionowe elementy liniowe są określone jako słupy, poziome elementy jako belki, poziome obszary jako płyty, a pionowe obszary jako ściany.





Nieprzezroczysty



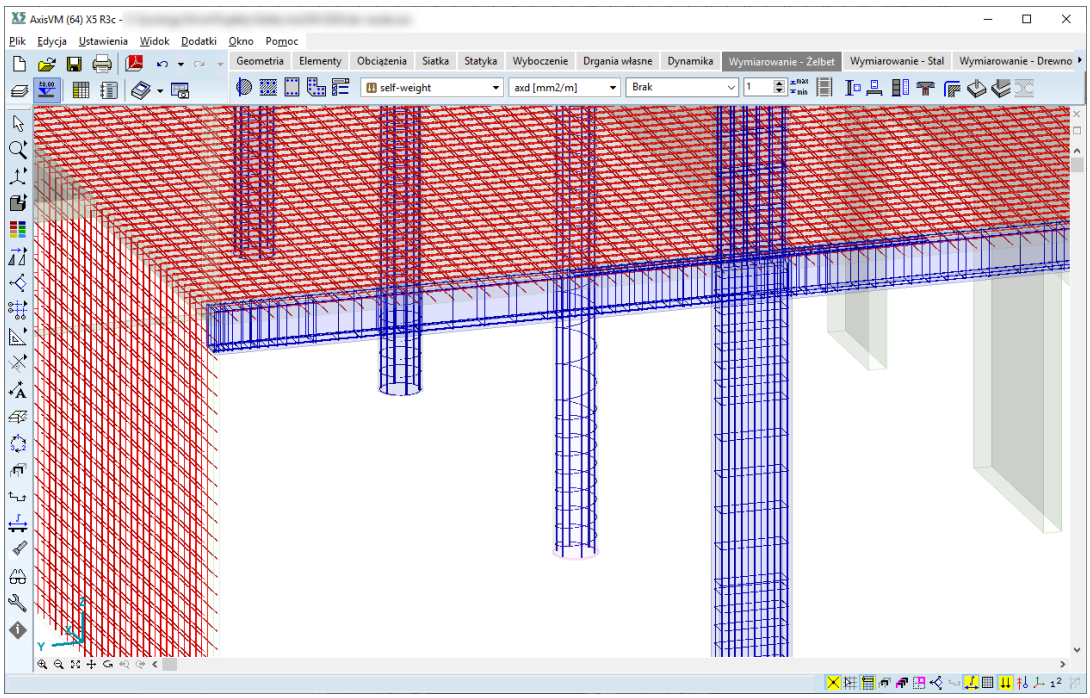
Przezroczysty

Typ renderowania

Dostępne są dwa typy renderowania:

Renderowanie schematyczne

Realistyczne wyświetlanie konstrukcji. Wyświetlenie cięgien oraz zbrojenia w elementach powierzchniowych, słupach i belkach jest opcjonalne. Kliknięcie w prostokąt obok danej opcji pozwala zmienić kolor wyświetlania danego zbrojenia lub cięgien.

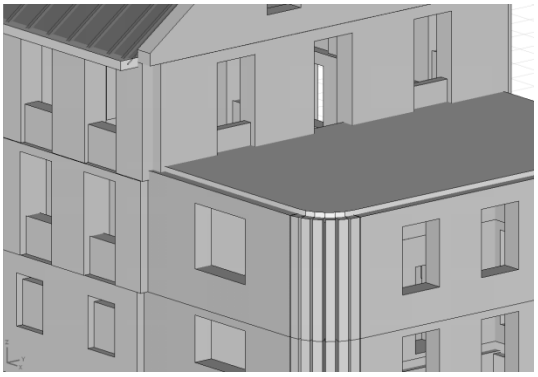


Renderowanie architektoniczne

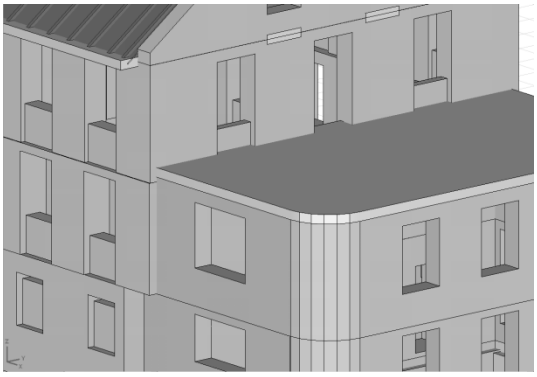
Zamiast rysunku strukturalnego, w tym trybie elementy przecinają się w swoich połączeniach, aby uzyskać lepszy wygląd końcowy modelu.

Renderuj szczegółowo połączenia śrubowe włącza szczegółowe renderowanie zaprojektowanych połączeń śrubowych.

Rysuj krawędzie obiektu włącza / wyłącza krawędzie obiektów.

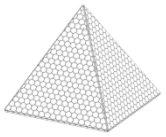


Model schematyczny

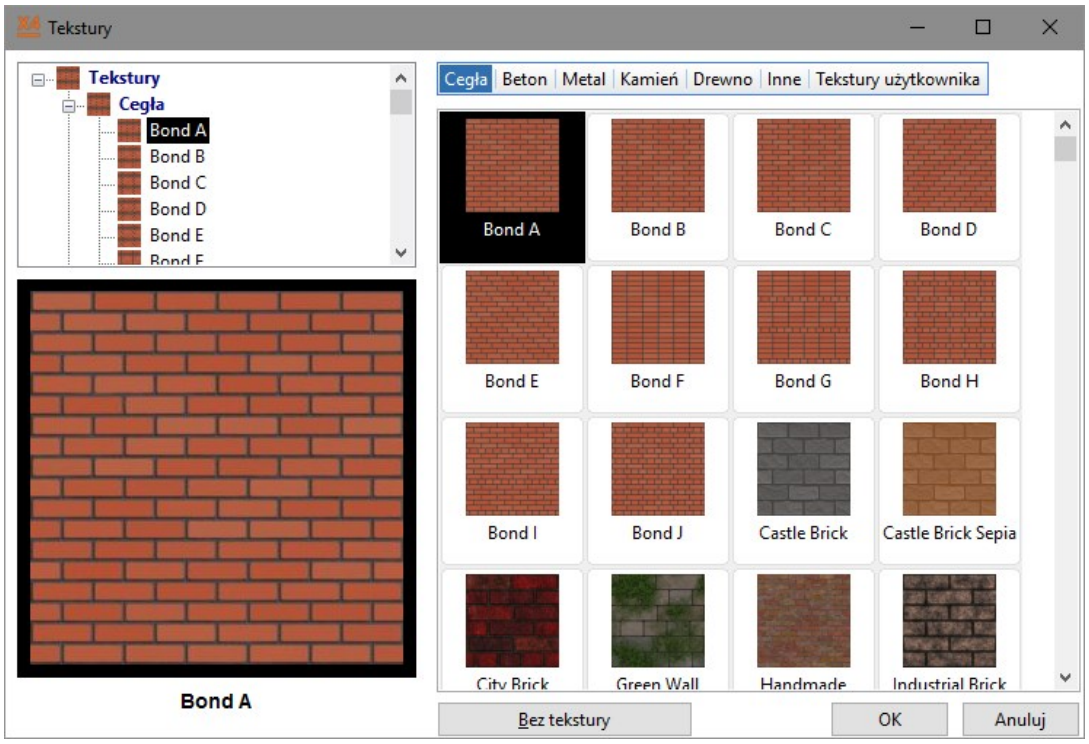


Model architektoniczny

Tekstura



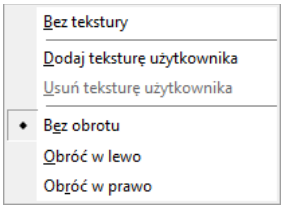
Zrenderowany widok przy użyciu tekstur przypisanych do materiałów. Tekstury można przypisać materiałom klikając na pole *Tekstura* w tabeli materiałów lub w bazie materiałów i wybierając teksturę z biblioteki tekstur. Zawiera ona predefiniowane tekstury i umożliwia również zdefiniowanie tekstury użytkownika. Jeżeli wybrano więcej niż jeden wiersz w tabeli, tekstura zostanie zastosowana do wszystkich wybranych materiałów.



Odgałęzienia widoku drzewa po lewej stronie i pozioma lista nad miniaturami tekstur prezentują typy materiałów (cegła, beton, metal, kamień, drewno, inne). Ostatni typ (tekstury użytkownika) przeznaczony jest na tekstury zdefiniowane przez użytkownika. Tekstury aktualnie wybranego typu wyświetlane są jako miniatury. Podgląd wybranej tekstury wyświetla się w oknie podglądu w grubej czarnej ramce.

Menu podręczne

Po kliknięciu na teksturę prawym przyciskiem myszy wyświetlone zostanie menu podręczne oferujące następujące funkcje:



Usuwanie tekstury z materiału
Definiowanie lub usuwanie tekstury użytkownika
Ustawienia obrotu

Bez tekstury

Usuwa teksturę z bieżącego materiału

Dodaj teksturę użytkownika

24-bitowe bitmapy True Color (JPG lub BMP) mogą być przekonwertowane na tekstury 64 x 64, 128 x 128 lub 256 x 256 pikseli. Jeżeli bitmapa nie jest prostokątna, zostanie przycięta.

Usuń teksturę użytkownika

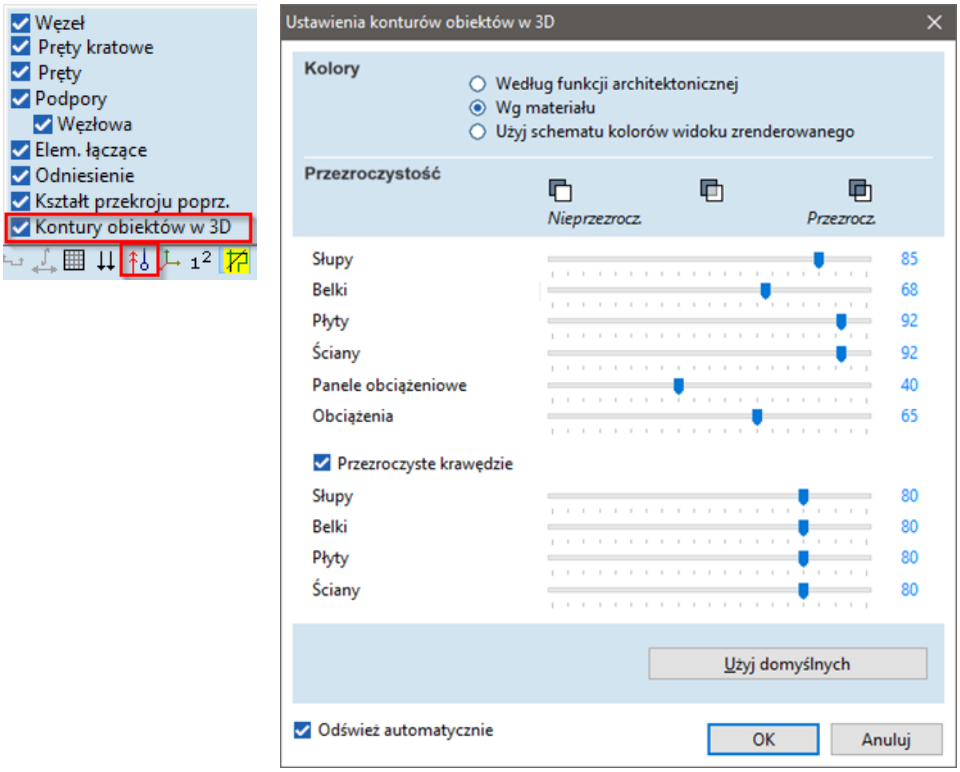
Z biblioteki nie można usuwać predefiniowanych tekstur, a jedynie ich przypisanie. Tekstury zdefiniowane przez użytkownika w kategorii *Tekstury użytkownika* mogą zostać usunięte.

Ustawienia obrotu

Tekstury są nakładane na elementy zgodnie z ich lokalnym układem współrzędnych. Czasami może prowadzić to do niepożądanych rezultatów (np. w przypadku ścian z cegieł). Obrót tekstury może rozwiązać ten problem bez potrzeby zmiany lokalnego układu elementów. Domyślnie tekstury nie są obracane. Dwie pozostałe opcje: Obróć w lewo i Obróć w prawo obracają bitmapę o 90°. Obrót zostaje oznaczony w tabeli przez znak < lub > na końcu nazwy tekstury.

Ustawienia konturów obiektów w 3D

Po włączeniu widoczności konturów elementów w 3D (zobacz pasek szybkich opcji poniżej) wyświetlony zostanie ich półprzezroczysty model bryłowy. Przezroczystości poszczególnych typów elementów mogą zostać ustawione w *Widok / Ustawienia konturów obiektów w 3D*.



Kolory

Według funkcji architektonicznej — Model bryłowy będzie używał kolorów przypisanych do ścian, płyt, belek itd.
Patrz... *3.3.11 Preferencje / Symbole graficzne*

Wg materiału — Wykorzystane zostaną kolory przypisane do materiałów

Użyj kolorów widoku zrenderowanego — Zastosowane kolory będą wynikały z aktualnego zestawu kolorów ustawionych dla widoku zrenderowanego.

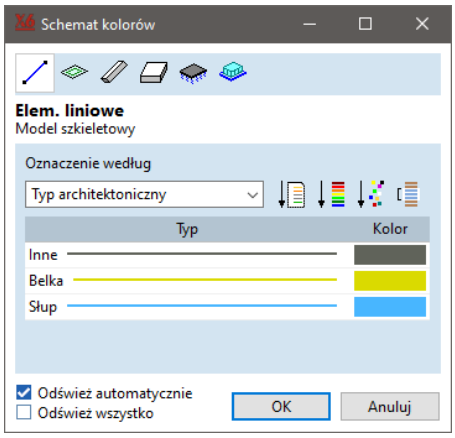
Przezroczystość — Przesunięcie suwaków ustawi zmieni wartość przezroczystości. Kliknięcie *Użyj domyślnych* przywróci wartości domyślne. Zaznaczenie opcji *Odśwież automatycznie* pozwoli natychmiast zobaczyć zmiany na modelu.

Wyniki na modelu bryłowym
Wyświetla wyniki na modelu zrenderowanym. Jeżeli za pomocą tego trybu wyświetlane są wyniki, to będą one nanoszone na powierzchnie elementów zrenderowanych, czyli przedstawianych bryłowo za pomocą rzeczywistych wymiarów. Ustawienia tego trybu opisane są w *3.3.11.10 Wyświetl*

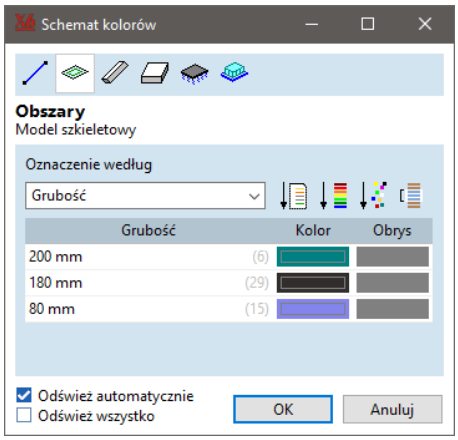
2.16.5 Schematy kolorów

Oznaczenie elementów modelu kolorami ułatwia podgląd ich właściwości. Dla każdego trybu wyświetlania (zrenderowanego i szkieletowego) można ustawić różne oznaczenia.
Typ schematu oznaczania kolorem można wybrać z rozwijanej listy.
Program automatycznie kojarzy konkretne kolory z konkretnymi właściwościami, a kolory można zmieniać.

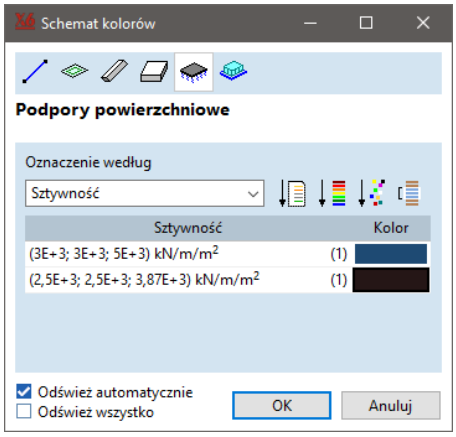
Elementy liniowe



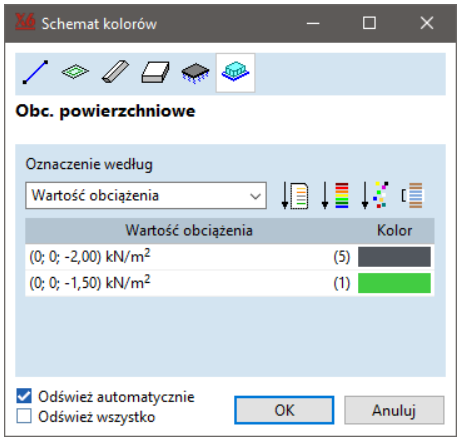
Obszary



Podpory powierzchniowe



Obciążenia powierzch.



Typy schematów kolorów

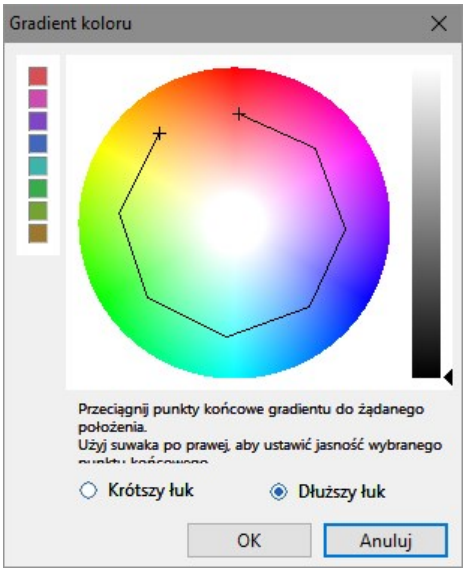
Domyślne	Używa kolorów domyślnych.
Typ	Typ elementów skończonych (pręt kratowy, pręt, żebro dla elementów liniowych; powłoka, płyta, tarcza dla obszarów i elementów powierzchniowych) określa kolor elementu.
Typ architektoniczny	Typ architektoniczny (słup, belka i inne dla elementów liniowych; płyta, ściana, dach dla obszarów) określa kolor elementu.
Materiał	Kolory elementów przypisane są według materiału
Grubość	Kolory elementów przypisane są według grubości obszaru
Przekrój poprzeczny	Kolory elementów przypisane są według przekroju poprzecznego elementów liniowych
Sztywność	Kolory elementów przypisane są według sztywności podpory powierzchniowej
Mimośród	Kolory elementów przypisane są według mimośrodu żebra lub obszaru
Grupa mimośrodów	Kolory elementów przypisane są według grupy mimośrodów
Zwolnienia węzłowe	Kolory elementów przypisane są według zwolnień węzłowych na końcach prętów
Wartość obciążenia	Kolory obciążenia powierzchniowego przypisane są do jego wartości. W obszarach, gdzie wielokąty obciążeń nakładają się, oznaczane są one kolorem odpowiadającym sumie poszczególnych obciążeń.
Wartości w grupie obciążeń	Kolory obciążeń powierzchniowych przypisywane są wg przypadków obciążeń i ich wartości. Jest to specjalny sposób kolorowania, ponieważ wyświetla on na raz wszystkie przypadki obciążeń z danej grupy obciążeń. Opcja ta jest przydatna przy weryfikacji obciążenia wieloprzęsłowego zadanego w wielu przypadkach obciążeń (**patrz** *4.10.34 Rozdziel obciążenia do odrębnych przypadków*). Pomimo, że w trybie tym wyświetlanych jest wiele przypadków obciążeń w jednym widoku, to tylko obciążenia należące do aktywnego przypadku mogą być zaznaczane, modyfikowane i usuwane.
Jednolity	Jednolity kolor dla wszystkich elementów

Ustawienia kolorów

Aby zmienić przypisany kolor należy kliknąć w dowolną komórkę z kolorem.
Przyciski paska narzędzi zmieniają więcej niż jedną komórkę.

Domyślne
Przywraca domyślne wartości (domyślny kolor typu elementu, domyślny kolor materiału).

Gradient koloru
Użytkownik wprowadza kolor początkowy i końcowy gradientu poprzez przeciągnięcie punktów końcowych łuku na żądaną pozycję na kole barwy / nasycenia. Program pobierze wymaganą liczbę kolorów pomiędzy punktami końcowymi.
Przy użyciu suwaka po prawej można ustawić jasność wybranego punktu końcowego łuku.
Opcja *Krótszy łuk* łączy kolory z możliwie jak najmniejszymi zmianami barwy. Opcja *Dłuższy łuk* podąża po okręgu barwy inną (dłuższą) drogą.

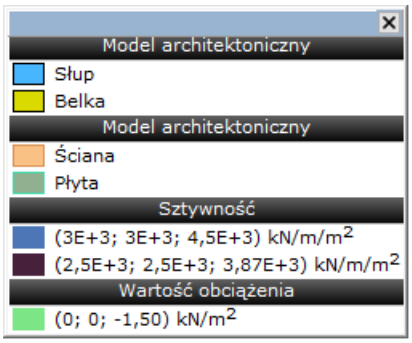


Przypadkowe kolory
Program wybiera przypadkowe kolory, zapewniając, aby nie były one zbyt blisko siebie.

Ustaw wspólny kolor
Naciskając klawisz Shift przed kliknięciem polecenia można wybrać zakres komórek z kolorami. Wybrane komórki zostaną wyświetlone w grubym czarnym obramowaniu. Narzędzie to umożliwia przypisanie tego samego koloru wybranym komórkom.

☞ **Kolory dla widoków zrenderowanych i szkieletowych są obsługiwane osobno, ale mogą zostać zsynchronizowane. Po kliknięciu prawym przyciskiem myszy na listę kolorów zostanie wyświetlone menu podręczne. Należy wybrać opcję *Zastosuj kolory przypisane do widoku zrenderowanego (lub widoku szkieletowego),* aby wyeksportować zestaw kolorów do innego trybu prezentacji.**

Bieżący schemat kolorów wyświetlany jest w osobnym oknie informacyjnym. To okno można włączać i wyłączać z głównego menu *(Okno / Oznaczenia kolorów)*



Odśwież automatycznie Po dokonaniu zmiany widoki są automatycznie aktualizowane.

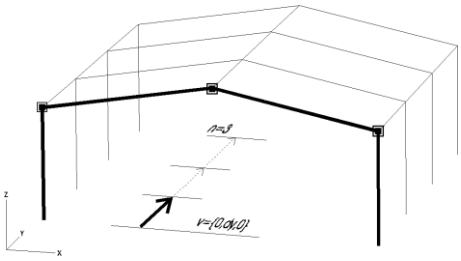
Odśwież wszystko Stosuje zmiany do wszystkich widoków. Jeżeli to pole zostanie odznaczone, zmieniany jest tylko aktywny widok.

2.16.6 Geometryczne transformacje na obiektach

2.16.6.1 Przesuń/Kopiuj

Przesuń/Kopiuj

Tworzy wielokrotne kopie lub przesuwa wybrane obiekty geometryczne lub obciążenia, poprzez translację wzdłuż wektora. Należy określić wektor translacji (dX, dY, dZ), i liczbę kopii (*N*).



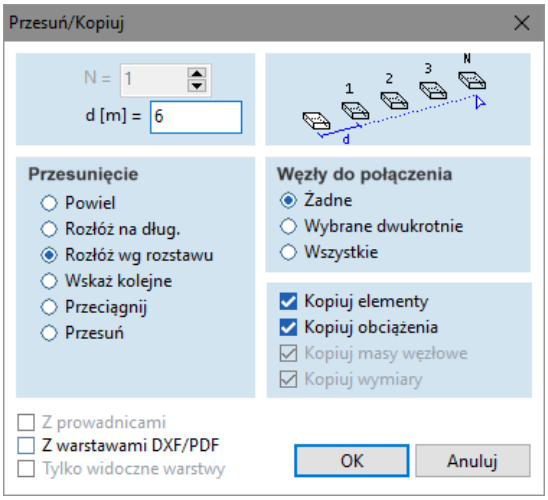
Opcje przesunięcia/ kopiowania

Powiel: tworzy N kopii wybranych obiektów co równą odległość dX, dY, dZ.

Rozłóż na długości: tworzy N kopii wybranych obiektów wzdłuż odległości dX, dY, dZ (o przyrostach dX/N, dY/N, dZ/N).

Rozłóż wg rozstawu: tworzy kopie wybranych obiektów rozłożone co odległość *d* na kierunku wektora translacji.
Liczba utworzonych kopii zależy od ich ilości, która zmieści się na długości zdefiniowanej przez wektor translacji dX, dY, dZ.

Wskaż kolejne: tworzy kopie wybranych obiektów poprzez kolejne wskazywania różnych odległości dX, dY, dZ.



Przeciągnij: przesuwa wybrane obiekty o odległość dX, dY, dZ. Linie dochodzące do przenoszonych węzłów pozostają połączone.

Przesuń: przesuwa wybrane obiekty o odległość dX, dY, dZ. Linie dochodzące do przenoszonych węzłów zostają odłączone.

Węzły do połączenia

Żadne: Węzły kolejnych kopii nie zostaną połączone liniami z poprzednimi węzłami.

Wybrane dwukrotnie: Przytrzymując klawisz **[Alt]** można dwukrotnie wybrać wcześniej wskazane węzły. Te węzły zostaną połączone pomiędzy kolejnymi kopiami.

Wszystkie: Wszystkie węzły zostaną połączone.

Opcje kopiowania

Kopiuj elementy: Określa czy elementy skończone przypisane do obiektów geometrycznych mają zostać także skopiowane.

Kopiuj obciążenia: Określa czy obciążenia przypisane do obiektów geometrycznych mają zostać także skopiowane.

☞ **Obciążenia mogą być także kopiowane osobno, tzn. bez elementów.**

Kopiuj masy węzłowe: Określa czy masy węzłowe przypisane do obiektów geometrycznych mają zostać także skopiowane.

Kopiuj linie wymiarowe: Linie wymiarowe zostaną skopiowane tylko wtedy, gdy wybrane zostaną węzły, do których są przypisane.

Z prowadnicami Wszystkie prowadnice zostaną przesunięte (dostępne tylko przy przesuwaniu lub przeciąganiu obiektów). Jest to użyteczna opcja przy przesuwaniu całego modelu.

Z warstwami DXF

Gdy ta opcja zostanie zaznaczona, transformacje będą dokonywane także na obiektach warstw DXF. Jeżeli wybrane zostaną pojedyncze elementy warstw, transformacja zostanie zastosowana tylko do tych wybranych elementów. Jeżeli nic nie zostanie wybrane, transformacja zostanie zastosowana do wszystkich warstw podkładu.

Tylko widoczne warstwy

Gdy ta opcja zostanie włączona, transformacja zostanie zastosowana tylko do widocznych warstw.

Kroki przesunięcia/ kopiowania

Przesunięcie / kopiowanie składa się z następujących kroków:

1. Kliknij na ikonę Przesuń/Kopiuj
2. Wybierz obiekty lub obciążenia, które mają zostać skopiowane
3. Kliknij **OK** w oknie Wyboru (lub Anuluj, aby przerwać wybór i polecenie przesunięcia/kopiowania)
4. Wybierz opcje z okna Przesuń/Kopiuj.
5. Kliknij **OK**
6. Określ wektor translacji, wybierając jego punkt początkowy i końcowy

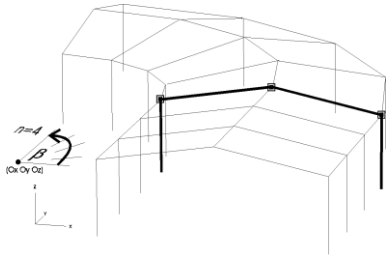
To polecenie można przeprowadzić także w kolejności 2-3-1-4-5-6.

☞ **Jeżeli w modelu występują powtarzające się fragmenty, najpierw należy je utworzyć (łącznie ze zdefiniowaniem elementów skończonych, warunków podparcia, obciążeń i linii wymiarowych), i dopiero wtedy tworzyć ich kopie.**
Do określania wektora translacji można wykorzystać dowolny istniejący punkt.
Wybrane obciążenia można kopiować lub przesuwać do innego przypadku obciążenia, jeżeli przypadek obciążenia zostanie zmieniony na docelowy w trakcie trwania tej operacji.

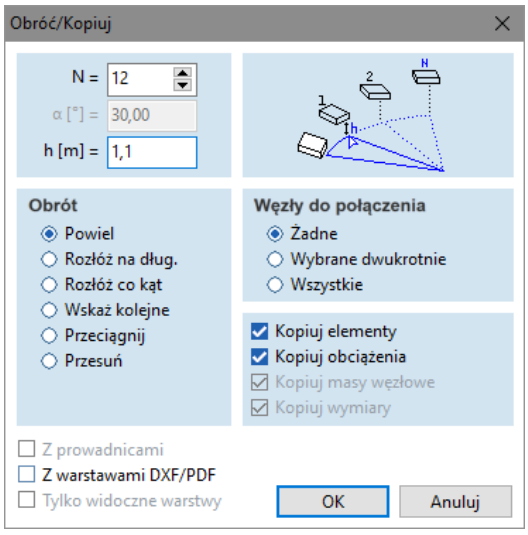
2.16.6.2 Obróć/Kopiuj

Obrót

Tworzy wielokrotne kopie lub przesuwa wybrane obiekty geometryczne lub obciążenia, poprzez obrót wokół punktu środkowego. W widokach X-Y, X-Z lub Y-Z oś obrotu jest prostopadła do płaszczyzny bieżącego widoku. W widoku perspektywy oś obrotu jest zawsze osią Z.



Użytkownik może określić metodę obrotu. Parametry zależą od wybranej metody: kąt obrotu α, liczba kopii (*N)* i dodatkowe przesunięcie *h* wzdłuż osi obrotu (każda kopia zostanie przesunięta o tę odległość).
Należy kliknąć punkt środkowy obrotu (OX, OY, OZ), punkt początkowy łuku obrotu i wskazać kursorem kąt.



Opcje obrotu

Powiel: tworzy N kopii wybranych obiektów co równy wskazany kursorem kąt.

Rozmieść: tworzy N kopii wybranych obiektów co równą wartość: wskazany kursorem kąt / N.

Rozłóż co kąt: tworzy kopie wybranych obiektów rozłożone co podany kąt α, określony w oknie dialogowym. Liczba utworzonych kopii zależy od ich ilości, która zmieści się we wskazanym kursorem kącie.

Wskaż kolejne: tworzy kopie wybranych obiektów poprzez kolejne wskazywania kursorem kątów.

Przeciągnij: przesuwa wybrane obiekty o wskazany kursorem kąt. Linie dochodzące do przenoszonych węzłów pozostają połączone.

Przesuń: przesuwa wybrane obiekty o wskazany kursorem kąt. Linie dochodzące do przenoszonych węzłów zostają odłączone.

Węzły do połączenia — *Patrz... 2.16.6.1 Przesuń/Kopiuj*

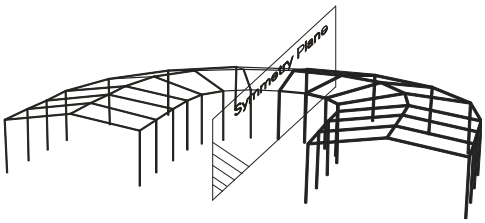
Opcje dodatkowe — *Patrz... 2.16.6.1 Przesuń/Kopiuj*

☞ *W widoku perspektywy punkt środkowy, początkowy i końcowy łuku mogą zostać określone tylko przy użyciu istniejących punktów lub innych rozpoznawalnych miejsc 3D (np. punkt na linii). W widoku perspektywy, wskazany kursorem kąt jest określany tylko przez globalne współrzędne X i Y.*

2.16.6.3 Lustro/Kopiuj

Lustro/Kopiuj

Tworzy kopię lub przesuwa wybrane obiekty geometryczne lub obciążenia, poprzez tworzenie lustrzanego odbicia. Użytkownik musi określić dwa punkty płaszczyzny symetrii. Płaszczyzna symetrii jest zawsze równoległa do osi globalnej zależnej od wybranego widoku.



Opcje lustra

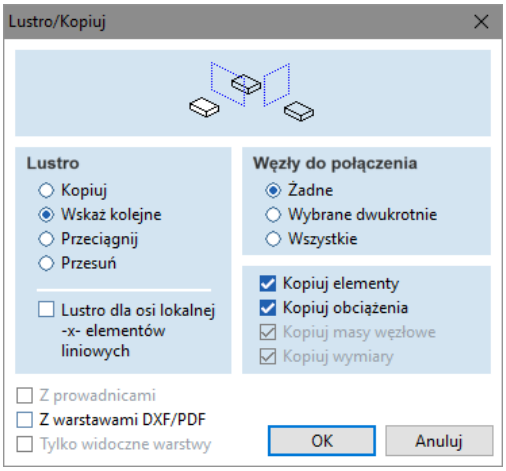
Kopiuj: odbija kopię wybranych obiektów przez płaszczyznę lustra.

Wskaż kolejne: tworzy kopie wybranych obiektów przez kolejne różne płaszczyzny lustra. Podczas każdego kolejnego wskazywania płaszczyzny odbicia, wybór obiektów zostaje podmieniony na obiekty dopiero co skopiowane.

Przeciągnij: przesuwa wybrane obiekty poprzez płaszczyznę lustra. Linie dochodzące do przenoszonych węzłów pozostają połączone.

Przesuń: przesuwa wybrane obiekty poprzez płaszczyznę lustra. Linie dochodzące do przenoszonych węzłów zostają odłączone.

Lustro osi x-lokalny elementów liniowych: Opcja ta steruje czy kierunek lokalnej osi -x- kopii lustrzanej obiektów ma być odwrócony czy nie.



Węzły do połączenia — **Patrz...** *2.16.6.1 Przesuń/Kopiuj*

Opcje dodatkowe — **Patrz...** *2.16.6.1 Przesuń/Kopiuj*

☞ **W widoku perspektywy, odbicie lustrzane jest możliwe tylko poprzez płaszczyznę równoległą do globalnej osi Z.**

2.16.6.4 Skaluj/Kopiuj

Skaluj/Kopiuj

Tworzy wielokrotne kopie lub przesuwa wybrane obiekty geometryczne poprzez skalowanie od punktu środkowego. Użytkownik musi określić środek skalowania, punkt odniesienia i jego nową, przeskalowaną pozycję (proporcje współrzędnych określą współczynniki skalowania).

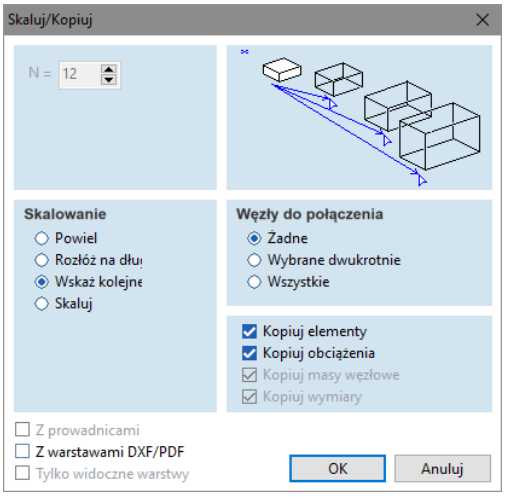
Opcje skalowania

Powiel: tworzy N przeskalowanych kopii wybranych obiektów poprzez powtórzenie skalowania N razy.

Rozłóż na długość: rozkłada N przeskalowanych kopii wybranych obiektów pomiędzy obrazem oryginalnym i przeskalowanym.

Wskaż kolejne: tworzy kopie wybranych obiektów przeskalowane w różny sposób w kolejnych etapach.

Skaluj: definiuje ponownie wybrane obiekty poprzez przeskalowanie.



Węzły do połączenia

Patrz... *2.16.6.1 Przesuń/Kopiuj*

Opcje dodatkowe

Patrz... *2.16.6.1 Przesuń/Kopiuj*

2.16.7 Płaszczyzny robocze

Płaszczyzny robocze (układy współrzędnych użytkownika) ułatwiają rysowanie ukośnych płaszczyzn. Na przykład otwór świetlika w ukośnej płaszczyźnie dachu. Płaszczyzna dachu może służyć tu jako płaszczyzna robocza, więc rysowanie może być przeprowadzone w dwóch wymiarach. Współrzędna wysokościowa płaszczyzn roboczych oznacza odległość wzdłuż osi prostopadłej do płaszczyzny roboczej.

☞ **W trybie płaszczyzny roboczej dostępne są wszystkie funkcje rysowania/edytowania. Korzystając z trybu wielu okien dla każdego okna można ustawić inną płaszczyznę roboczą.**

Globalna X-Y, Globalna X-Z, Globalna Y-Z płaszczyzna robocza

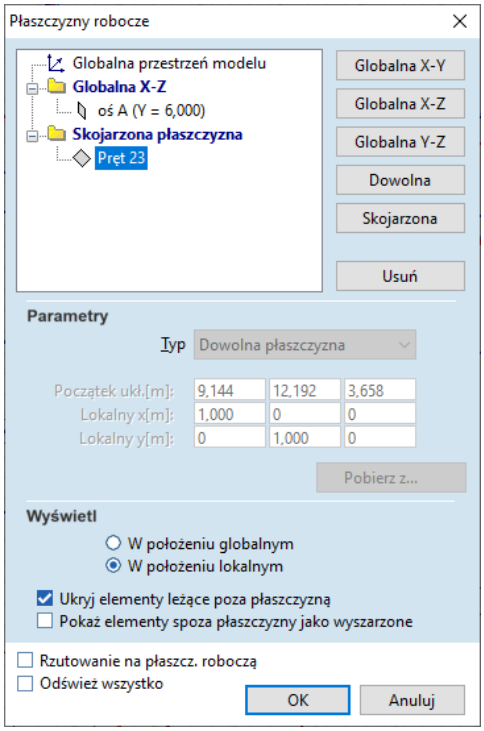
Te płaszczyzny robocze są równoległe do płaszczyzn globalnego układu współrzędnych, więc ich pozycja określona jest przez pojedynczą współrzędną. Jest to przydatne w trakcie rysowania kondygnacji budynku.

Ogólna płaszczyzna robocza

Te płaszczyzny robocze określane są przez ich początek układu współrzędnych i dwa wektory: dla lokalnej osi *x* i *y*.

Inteligentne płaszczyzny robocze

Te płaszczyzny robocze wynikają z układu lokalnego pręta kratowego, pręta, żebra lub obszaru. Początek układu płaszczyzny jest pierwszym punktem elementu, lokalne osi *x* i *y* są równoległe do osi *x* i *y* układu lokalnego elementu.



☞ **Zmiana układu lokalnego elementu skończonego skutkuje także zmianą płaszczyzny roboczej. Usunięcie elementu skończonego oznacza również usunięcie płaszczyzny roboczej.**

Płaszczyznę roboczą można wybrać z listy, klikając na przycisk szybkich ustawień. Płaszczyzny robocze są dostępne także z głównego menu, wybierając *Widok* \ *Płaszczyzny robocze* lub z menu podręcznego wybierając *Płaszczyzny robocze*.

Opcje wyświetlania

Płaszczyznę roboczą można wyświetlić w układzie globalnych lub w jej własnym układzie lokalnym. Po zaznaczeniu opcji *Ukryj elementy, które nie są w płaszczyźnie roboczej* wyświetlone zostaną tylko elementy, które leżą w płaszczyźnie roboczej. Po zaznaczeniu opcji *Pokaż wyszarzone elementy spoza płaszczyzny roboczej* elementy leżące poza płaszczyzną roboczą zostaną wyświetlone na szaro.

Zmiana parametrów płaszczyzny roboczej

Po wybraniu płaszczyzny roboczej z drzewa listy wyświetlone zostaną jej parametry. Edytowanie tych parametrów, a następnie kliknięcie na przycisk **OK** lub wybranie innej płaszczyzny roboczej zmieni parametry wybranej płaszczyzny roboczej.

Usuń

Usuwa płaszczyzny robocze zdefiniowane przez użytkownika.

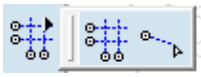
Pobierz z>>

Umożliwia zdefiniowanie parametrów płaszczyzny roboczej (początek układu lub osie) w sposób graficzny.

Rzutowanie na płaszczyznę roboczą

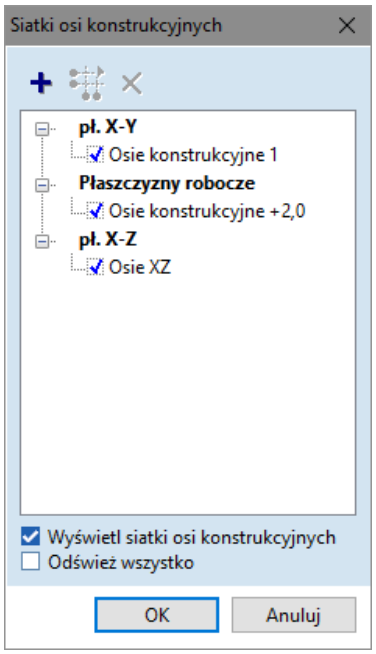
Jeżeli ta opcja zostanie włączona, to wszystkie operacje edycji będą rzutowane na płaszczyznę roboczą. Aby pracować we wszystkich współrzędnych płaszczyzny roboczej (także po jej trzeciej współrzędnej), należy wyłączyć tę opcję.

2.16.8 Osie konstrukcyjne



Dostępne są dwie opcje po rozwinięciu paska. Pierwsze polecenie służy do definiowania osi konstrukcyjnych, a drugie polecenie do definiowania pojedynczych osi.

Osie konstrukcyjne



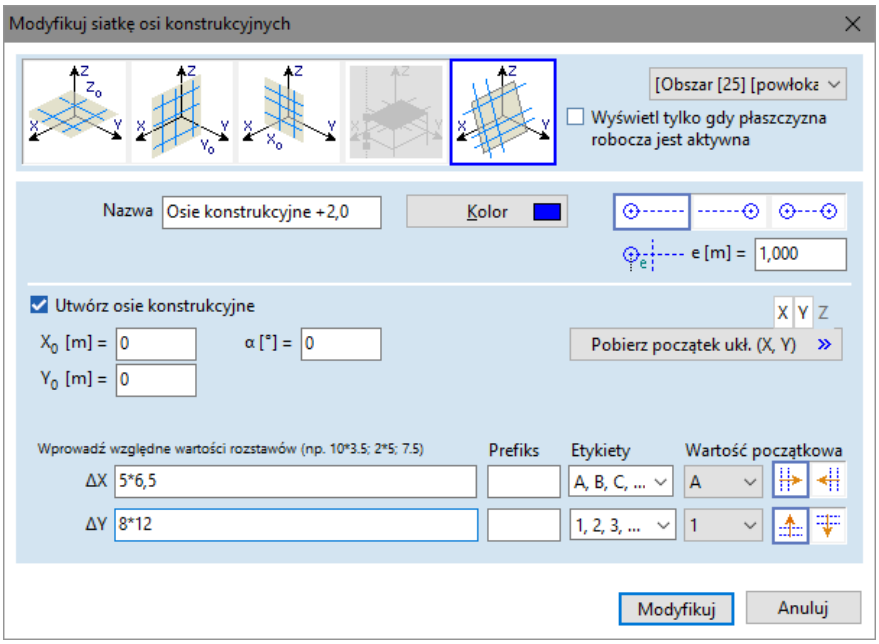
Siatki osi konstrukcyjnych to zestawy przerywanych, kolorowych linii leżących na wspólnej płaszczyźnie, posiadających zadaną długości i etykiety, które ułatwiają proces tworzenia modelu. Zestawy tych osi mogą być równoległe do globalnych płaszczyzn X-Y, X-Z lub Y-Z, płaszczyzn roboczych lub kondygnacji.
Siatki osi konstrukcyjnych wyświetlane są w formie drzewa uporządkowanego według płaszczyzn.

Wyświetl siatki osi konstrukcyjnych
Włącza / wyłącza wyświetlanie siatek konstrukcyjnych w modelu. Jeżeli ta opcja jest wyłączona, wszystkie siatki znikną.
Jeżeli ta opcja jest włączona, wyświetlona zostanie każda siatka spełniająca dwa następujące kryteria: 1) jest zaznaczona 2) reguły powiązane z daną siatką umożliwiają jej wyświetlenie. Siatki przypisane do płaszczyzn roboczych i kondygnacji mogą być ukryte, jeżeli ich płaszczyzna robocza lub kondygnacja nie jest aktywna.

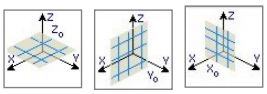
Odśwież wszystko
Aktualizuje siatki konstrukcyjne dla wszystkich widoków.

Aby zdefiniować siatkę konstrukcyjną należy ustawić X_0, Y_0, lub Z_0 początku układu, a następnie wprowadzić względne wartości rozstawu ΔX, ΔY lub ΔZ.
Na przykład przy X_0 = 0 wprowadzając do pola ΔX: 4*3.5; 2*5; 7.5, osie siatki zostaną wyświetlone na następujących pozycjach X: 3.50; 7.00; 10.50; 14.00; 19.00; 24.00; 31.50.
Siatka konstrukcyjna może być obrócona o zdefiniowany przez użytkownika kąt α.
Długość linii siatki określona jest przez minimalne i maksymalne położenie współrzędnych siatki w drugim kierunku, więc siatka zawsze jest prostokątna.

Nowa siatka konstrukcyjna



Płaszczyzna siatki



Dla siatki równoległej do płaszczyzny globalnej, można ustawić odległość X_0, Y_0, lub Z_0 pomiędzy płaszczyzną siatki a płaszczyzną globalną

Siatka kondygnacji

Jeżeli model posiada kondygnacje to do każdej z nich można przypisać różne siatki konstrukcyjne. Siatkę można powiązać ze wszystkimi kondygnacjami, wybierając z rozwijanej listy opcję *Na wszystkich kondygnacjach.* Jeżeli siatka powiązana jest z określoną kondygnacją (np. kondygnacją 1) i zaznaczono opcję *Wyświetl tylko, gdy kondygnacja jest aktywna*, siatka pozostanie ukryta, dopóki kondygnacja 1 nie zostanie aktywowana.

Siatka płaszczyzny roboczej

Siatki konstrukcyjne można przypisać do płaszczyzn roboczych (jeżeli takie znajdują się w modelu). Jeżeli zaznaczono opcję *Wyświetl tylko gdy płaszczyzna robocza jest aktywna,* siatka pozostanie ukryta, dopóki płaszczyzna robocza nie zostanie aktywowana.

Nazwa Nazwa siatki konstrukcyjnej

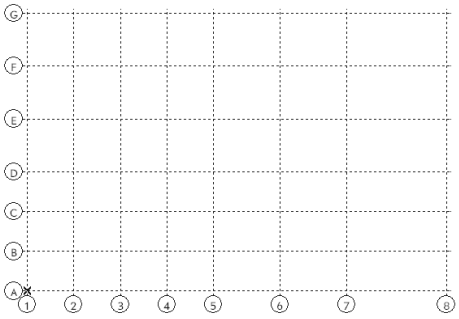
Kolor Kliknięcie na przycisk umożliwi zmianę koloru siatki konstrukcyjnej.

$X_0/Y_0/Z_0$ [m] Początek układu siatki konstrukcyjnej odnoszący się do początku układu globalnego.
Początek układu może zostać pobrany poprzez kliknięcie *Pobierz początek układu wsp.* i przeniesiony w dowolne, wskazane kliknięciem, miejsce. Użytkownik za pomocą aktywacji/dezaktywacji pól X, Y, Z znajdujących się nad przyciskiem, steruje które współrzędne mają zostać pobrane.

α[°] Kąt obrotu początku układu siatki konstrukcyjnej

Utwórz osie konstrukcyjne Definiuje rozstawy osi, prefiksy, etykiety i kierunki.

Etykiety siatek konstrukcyjnych mogą być kolejnymi liczbami (1, 2, 3, ...) lub literami (A, B, C, ...) zgodnie z rozwijaną listą *Etykiety*. *Wartość początkowa* definiuje pierwszą etykietę. Można ustawić wspólny prefiks, aby tworzyć etykiety takie jak 1A, 1B, 1C, ... lub F1, F2, F3. Kolejność osi konstrukcyjnych można ustawić wybierając jedną z ikon (dla kierunku X od lewej do prawej lub od prawej do lewej i dla kierunku Y z dołu do góry lub z góry do dołu).

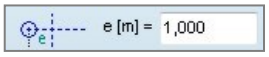


Kierunek tworzenia pionowych osi konstrukcyjnych

Kierunek tworzenia poziomych osi konstrukcyjnych

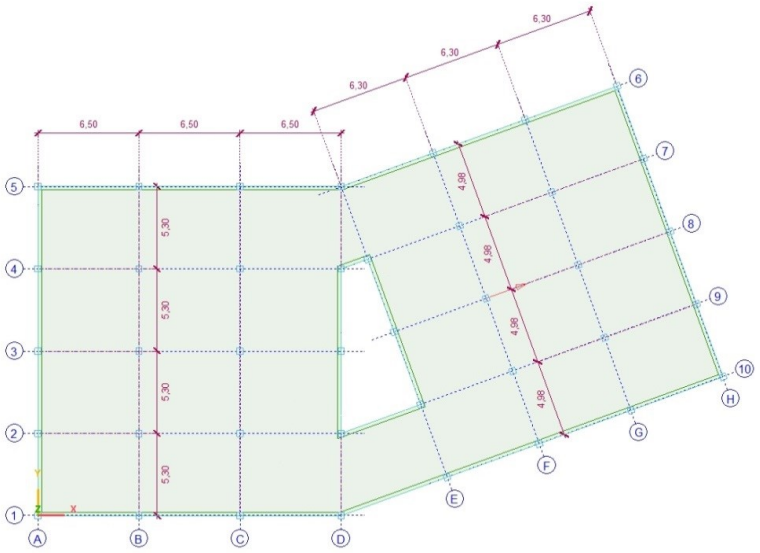
Etykiety można pozycjonować w punkcie początkowym, końcowym lub w obu tych punktach.

e[m]



Zaleca się ustawienie wydłużenia linii siatki różnej od zera, tak aby etykiety pojawiały się poza prostokątem linii siatki.

Wymiary automatyczne Jeżeli opcja *Wymiary automatyczne* jest zaznaczona to wraz z osiami konstrukcyjnymi tworzone są ich linie wymiarowe. Linie te są skojarzone z osiami, tzn. zmieniają się wraz ze zmianami osi konstrukcyjnych. Do opisu osi możliwe jest również zastosowanie *Inteligentnych linii wymiarowych* (**patrz** *2.16.11.1 Ortogonalne linie wymiarowe).* W tym trybie wskazanie osi A1 oraz D1 (patrz rysunek poniżej) wygeneruje grupę linii wymiarowych: A1-B1; B1-C1; C1-D1.



Modyfikuj siatkę osi konstrukcyjnych

Umożliwia modyfikowanie nazwy, etykiet, pozycji i koloru siatki. Jeżeli zaznaczono opcję *Utwórz osie konstrukcyjne,* cała siatka zostanie utworzona ponownie z nowymi parametrami. W takim przypadku wszystkie niestandardowe osie konstrukcyjne (patrz poniżej) związane z siatką zostaną usunięte.

Kopiuj siatki osi konstrukcyjnych

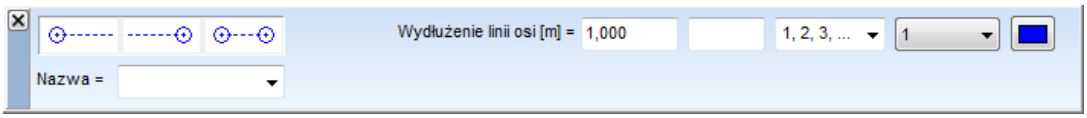
Kopie zostaną wykonane na podstawie zaznaczonej siatki.
Należy wprowadzić rdzeń nazwy dla tworzonych kopii, które będą nazywane wg schematu *rdzeń nazwy_1*, *rdzeń nazwy _2*, itd.
Kolejnym parametrem do określenia jest liczba kopii, a następnie punkt startowy i końcowy wektora translacji.

Usuń siatkę konstrukcyjną

Wybrane siatki konstrukcyjne zostaną usunięte.
Naciśnięty klawisz Ctrl lub Shift podczas wskazywania myszą umożliwia wybranie więcej niż jedną siatkę.

Dowolna oś konstrukcyjna

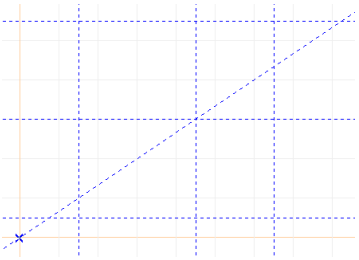
Dowolna oś konstrukcyjna może być zdefiniowana poprzez kliknięcie w jej punkt początkowy i końcowy. Właściwości osi (pozycja etykiety, wydłużenie, prefiks, etykiety, kolor) można ustawić w pasku podręcznym.
Dowolne osie konstrukcyjne muszą być powiązane z siatką konstrukcyjną i można je włączać / wyłączać razem z tą siatką. Ponowne utworzenie siatki z nowymi parametrami usuwa wszystkie powiązane dowolne osie konstrukcyjne.



2.16.9 Prowadnice

Ułatwiają edytowanie geometrii modelu. Prowadnice można zdefiniować w globalnym układzie współrzędnych. W ten sposób można utworzyć dowolne osie, można określić punkty przecięć i ustawić odległości. Kursor rozpoznaje prowadnice.
Patrz... *4.7 Narzędzia edycji*

Prowadnice wyświetlane są jako niebieskie przerywane linie. Wyświetlanie prowadnic można włączyć lub wyłączyć w menu *Opcje wyświetlania* (lub za pomocą ikony) w sekcji *Włączniki*.



Umieszcza pionową prowadnicę przy bieżącej pozycji kursora.

Umieszcza poziomą prowadnicę przy bieżącej pozycji kursora.

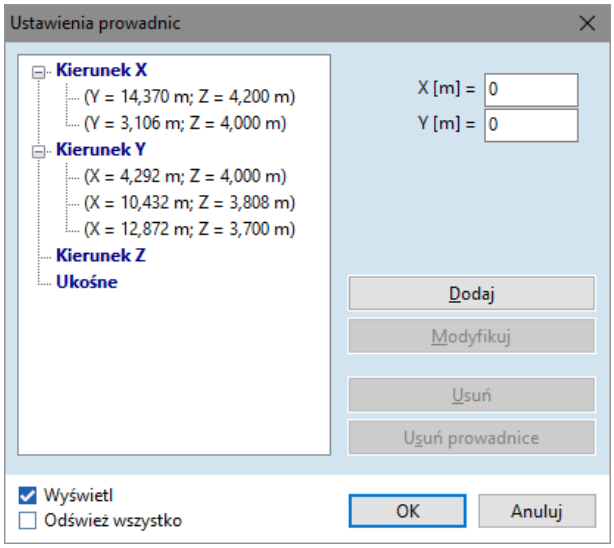
Umieszcza pionową i poziomą prowadnicę przy bieżącej pozycji kursora.

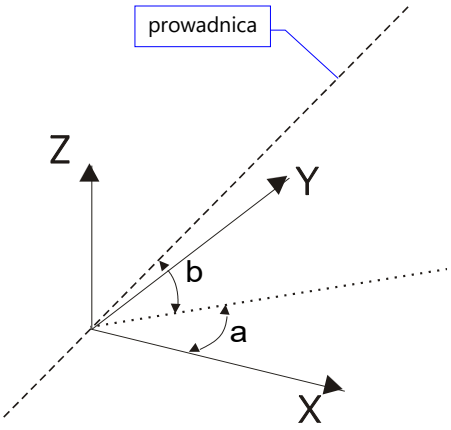
Umieszcza ukośną prowadnicę przy bieżącej pozycji kursora.

Umieszcza parę skośnych ortogonalnych prowadnic przy bieżącej pozycji kursora.

Położenie prowadnicy można zmienić za pomocą myszy, przeciągając ją na nową pozycję. Prowadnicę można usunąć przeciągając ją poza obszar graficzny modelu.

Prowadnice można wprowadzać numerycznie za pomocą współrzędnych. Klikając kursorem myszy na prowadnicę lub wybierając polecenie *Ustawienia / Prowadnice* z menu głównego wyświetlone zostanie następujące okno dialogowe:





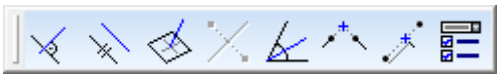
a: to kąt między rzutem prowadnicy na płaszczyźnie X-Y i osią X.

b: to kąt między prowadnicą i płaszczyzną X-Y.

Wyświetl Włącza/wyłącza wyświetlanie prowadnic.

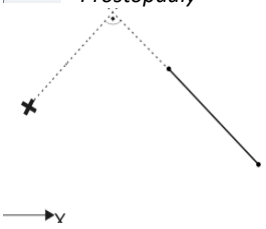
Odśwież wszystko Jeżeli ta opcja jest zaznaczona zmiany zostaną zastosowane do wszystkich widoków, a w przeciwnym wypadku tylko do aktywnego widoku.

2.16.10 Narzędzia geometryczne

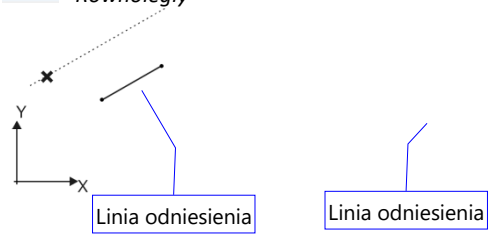


Ikony *Narzędzi geometrycznych* umożliwiają zablokowanie danego kierunku rysowania linii.

Prostopadły



Równoległy



Zacznij rysować linię. Kliknij ikonę *Prostopadły* lub *Równoległy*, a następnie wskaż istniejącą linię lub dwa punkty, aby zdefiniować kierunek. Kursor będzie przesuwał się prostopadle lub równolegle do tej linii odniesienia.

Prostopadły do płaszczyzny

Zacznij rysować linię. Kliknij na ikonę *Prostopadły do płaszczyzny*, a następnie na obszar definiujący płaszczyznę. Kursor będzie przesuwał się prostopadle do tej płaszczyzny. Płaszczyznę można zdefiniować także poprzez kliknięcie trzech punktów.

Z ikon tych można dogodnie korzystać podczas edytowania geometrii modelu lub definiowania płaszczyzn wycinających.

Przez punkt środkowy

Zacznij rysować linię, a następnie kliknij na punkt początkowy i końcowy innej linii. Punkt środkowy określi kierunek.

Po dwusiecznej

Zacznij rysować linię, a następnie kliknij na dwa ramiona kąta. Dwusieczna określi kierunek linii.

Punkt przecięcia

Zacznij rysować węzeł lub linię, kliknij na ikonę, a następnie kliknij na dwie linie lub ich punkty początkowe i końcowe. W punkcie przecięcia utworzony zostanie węzeł lub punkt linii. Jedna z linii lub obie mogą być łukami. W takim przypadku może być więcej niż jeden punkt przecięcia. Jeśli tak jest to wynikowe punkty oznaczone są małymi okręgami. Żądany punkt musi zostać wybrany poprzez kliknięcie.

Punkt podziału

Zacznij rysować węzeł lub linię, a następnie kliknij na ikonę i na dwa węzły. W wyskakującym oknie dialogowym określ podział względny lub w odległości. Utworzony zostanie węzeł lub punkt linii.

Działanie dla znalezionego punktu

W tym miejscu można ustawić działanie poleceń *Punkt przecięcia* i *Punkt podziału.* Dostępne są dwie opcje: utworzenie węzła lub przesunięcie względnego początku układu w obliczoną pozycję.

2.16.11 Linie wymiarowe, symbole i etykiety

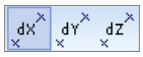
Ta grupa funkcji umożliwia przypisanie do modelu trójwymiarowego skojarzonych ortogonalnych i dopasowanych linii wymiarowych lub ciągów wymiarowych, a także kątów, długości łuków, promieni łuków, symboli rzędnych i etykiet dla wartości wyników. Kliknięcie na ikonę *Wymiary* wyświetli pasek narzędzi *Wymiary*. Umożliwi on wybranie właściwego narzędzia wymiarowego. Klikając w ikonę znajdującą się na pasku narzędzi u dołu po lewej stronie można ustawić parametry wybranego narzędzia.

W każdej chwili można zmienić pozycję linii wymiarowych lub etykiet przeciągając je do nowej pozycji. Jeżeli linie wymiarowe powiązane są z modelem, ich pozycja i wymiary będą na bieżąco aktualizowane podczas zmieniania geometrii modelu.

2.16.11.1 Ortogonalne linie wymiarowe

Skojarzone ortogonalne linie wymiarowe lub ciągi linii wymiarowych równoległe do globalnych osi X, Y, lub Z można przyłożyć do modelu wykonując następujące kroki:

1. Kliknij punkt początkowy i końcowy linii wymiarowej. Jeżeli punkty te są połączone przez linię wystarczy, że klikniesz w tę linię.

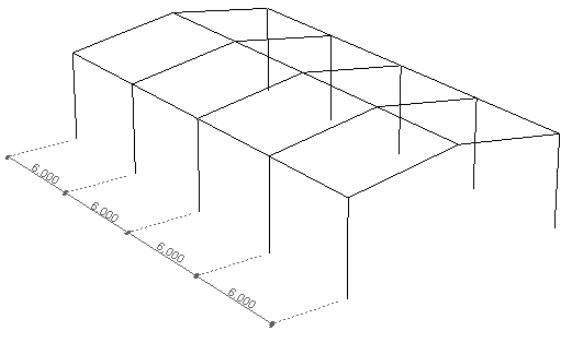


2. Porusz myszą. Pozycja linii wymiarowej zależy od kierunku, w którym kursor myszy został przesunięty. Istnieje od tego wyjątek: jeżeli odcinek nie jest równoległy do żadnej globalnej płaszczyzny i edytowanie jest w widoku perspektywy. W takim przypadku musisz wybrać kierunek dX, dY lub dZ z paska narzędzi.
3. Naciśnij lewy przycisk myszy, aby ustawić ostateczną pozycję linii wymiarowej.

Aby wstawić ciąg linii wymiarowych, należy w odpowiedniej kolejności kliknąć na punkty lub na linie o ile takie istnieją. Krok 2 i 3 jest taki sam jak dla pojedynczych linii wymiarowych. Cały ciąg linii wymiarowych można wybrać na raz, klikając na jedną z linii wymiarowych (przy zwolnionym klawiszu Shift). Umożliwia to przesuwanie ich jako grupy. Aby zmienić pozycję pojedynczej linii z grupy, należy wybrać linię wymiarową używając prostokąta wyboru i przeciągnąć ją do nowej pozycji. W rezultacie ta linia wymiarowa zostanie usunięta z grupy (może być przesuwana indywidualnie).

Inteligentne linie wymiarowe

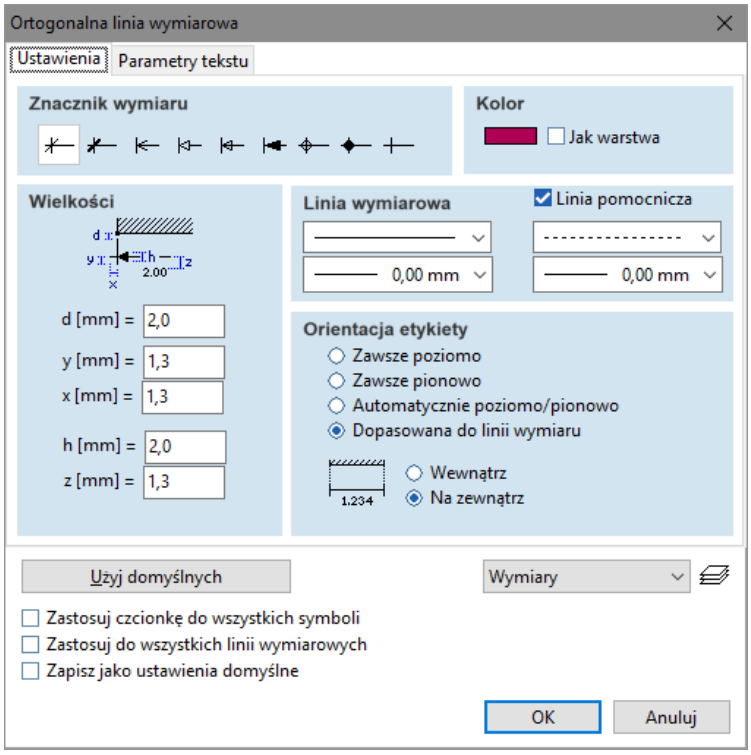
Ciąg linii wymiarowych można utworzyć także poprzez włączenie inteligentnych linii wymiarowych. Po aktywowaniu tej funkcji poprzez przycisk, należy wybrać jedynie punkty końcowe ciągu, przy założeniu, że siatkowanie obszaru nie wygenerowało punktów pośrednich. Wszystkie pośrednie linie wymiarowe zostaną utworzone automatycznie.



Przykład inteligentnych linii wymiarowych

Jeżeli linia wymiarowa jest przyłożona do punktów modelu, zawsze będzie zachowywać się jako skojarzona (np. będzie przemieszczać się razem z modelem, gdy ten zostanie zmieniony, przeskalowany lub przesunięty).

Ustawienia ortogonalnych i dopasowanych linii wymiarowych



Znacznik wymiaru Umożliwia ustawienie znaczników linii wymiarowych. Istnieje dziewięć predefiniowanych symboli do wyboru.

Kolor Umożliwia indywidualne ustawienie koloru linii wymiarowych. Kolor można pobrać z aktywnej warstwy. Linie wymiarowe, znaczniki i teksty zostają domyślnie umieszczone na warstwie Wymiary, ale w dowolnym momencie można to zmienić.

Wielkości Umożliwia ustawienie parametrów rysowania linii wymiarowej.

Linia wymiarowa/ Linia pomocnicza Umożliwia ustawienie typu i grubości linii wymiarowej lub pomocniczej. Można wybrać predefiniowaną wartość lub pobrać ją z aktywnej warstwy. Można również włączyć / wyłączyć wyświetlanie linii pomocniczych.

Orientacja etykiety Umożliwia ustawienie orientacji etykiet tekstowych linii wymiarowych (Zawsze poziomo, Zawsze pionowo, Automatycznie poziomo/pionowo lub Dopasowana do linii wymiaru) oraz położenia ich wewnątrz lub na zewnątrz linii wymiarowej.

Użyj domyślnych Umożliwia przywrócenie ustawień domyślnych.

Zastosuj czcionkę do wszystkich symboli Stosuje tę samą czcionkę do każdej linii wymiarowej.

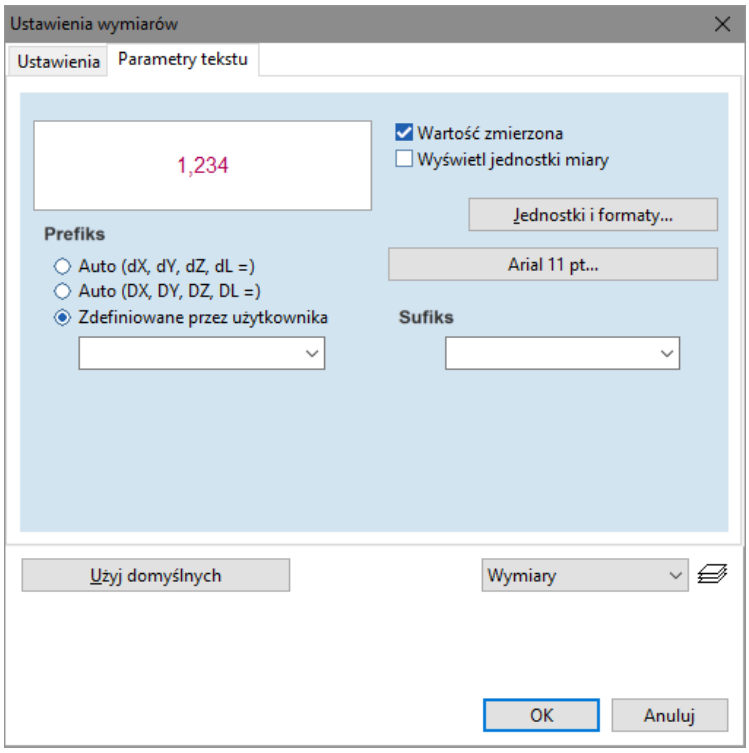
Zapisz jako ustawienia domyślne Umożliwia zapisanie bieżących ustawień jako ustawień domyślnych.

Zastosuj do wszystkich linii wymiarowych Stosuje bieżące ustawienia do wszystkich istniejących ortogonalnych lub dopasowanych linii wymiarowych, aby zapewnić jednolity wygląd.

Warstwy Umożliwia wybranie/zdefiniowanie/ustawienie warstw, na których zostaną umieszczone linie wymiarowe. Jeżeli nie ma zdefiniowanych warstw podczas wstawiania linii wymiarowych, zostanie automatycznie utworzona warstwa Wymiary.

Patrz... *3.3.3 Menadżer warstw*

Parametry tekstu



Umożliwia zdefiniowanie ustawień tekstu na liniach wymiarowych.

Wartość zmierzona Umożliwia umieszczenie zmierzonej wartości na linii wymiarowej, używając ustawień prefiksu i sufiksu. Klikając na przycisk Jednostki i formaty, można ustawić format wartości liczbowej w sekcji Wymiary w oknie dialogowym *Ustawienia / Jednostki i formaty*.

Wyświetl jednostki miary Wyświetla jednostkę zmierzonej wartości.

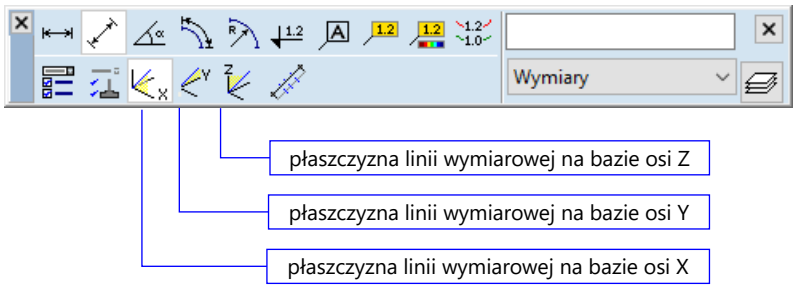
Jednostki i formaty... Aby zmienić bieżące parametry czcionki, należy kliknąć na przycisk poniżej przycisku *Jednostki i formaty...*

Prefiks Ustawia prefiks z tekstem na liniach wymiarowych. Można wybrać następujące opcje:
Auto (dX, dY, dZ, dL = [w zależności od kierunku])
Auto (DX, DY, DZ, DL = [w zależności od kierunku])
Zdefiniowane przez użytkownika (ta opcja wymaga wprowadzenia wartości prefiksu).

Sufiks Ustawia sufiks z tekstem na liniach wymiarowych.

2.16.11.2 Dopasowane linie wymiarowe

Przypisuje dopasowane linie wymiarowe lub ciąg linii wymiarowych do modelu.



Kroki są takie same jak podczas tworzenia ortogonalnej linii wymiarowej.
Patrz... *2.16.11.1 Ortogonalne linie wymiarowe*
Płaszczyzna równoległej linii wymiarowej jest ustalana automatycznie. Nie dotyczy to sytuacji, gdy odcinek nie jest równoległy do żadnej globalnej płaszczyzny, a edytowanie odbywa się w widoku perspektywy. W takim przypadku należy z paska narzędzi wybrać kierunek X, Y lub Z. Płaszczyzna linii wymiarowej zostanie zdefiniowana przez odcinek i wybraną oś globalną.

Ustawienia linii wymiarowej (**Patrz...** *2.16.11.1 Ortogonalne linie wymiarowe*).
Automatyczny prefiks dla dopasowanych linii wymiarowych to zawsze dL= lub DL=.

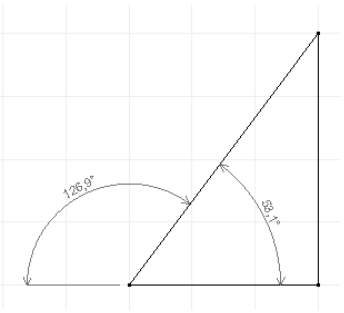
Przykład skojarzonych linii wymiarowych (ortogonalnych i dopasowanych):

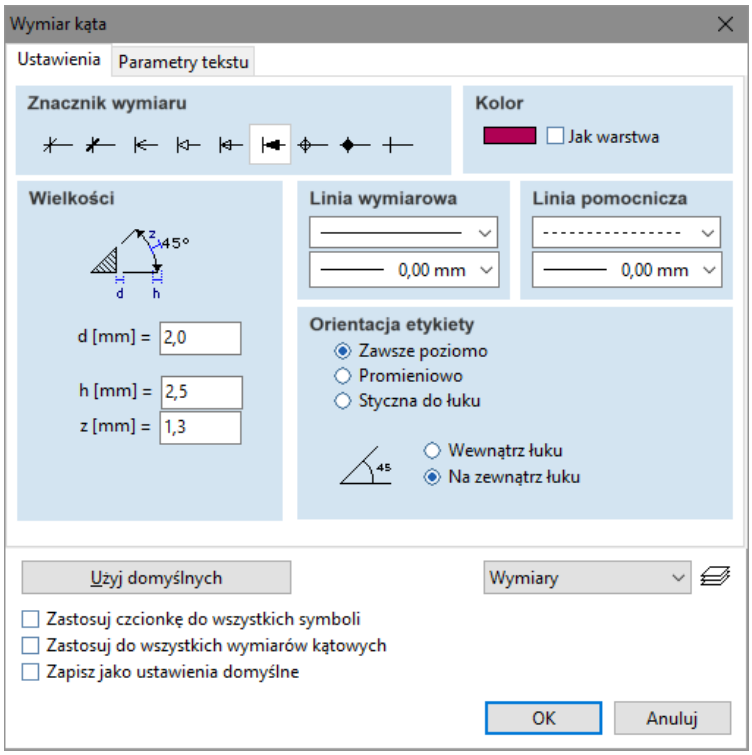
Przed skalowaniem *Po skalowaniu*

2.16.11.3 Wymiar kątowy

Skojarzone wymiary kątowe jako oznaczenie kąta pomiędzy dwoma odcinkami, można przypisać do modelu wykonując następujące kroki:

1. Kliknij punkt początkowy i końcowy pierwszego odcinka. Jeżeli punkty są połączone linią, możesz po prostu kliknąć na linię.
2. Kliknij punkt początkowy i końcowy drugiego odcinka. Jeżeli punkty są połączone linią, możesz po prostu kliknąć na linię.
3. Porusz myszą. Położenie i promień wymiaru kątowego będą ustalane przez ruch myszy. Na tej podstawie można wprowadzić wymiar kąta, kąta zewnętrznego lub kąta uzupełniającego do 360°.
4. Kliknij lewym przyciskiem myszy, aby ustawić wymiar kątowy w ostatecznej pozycji.

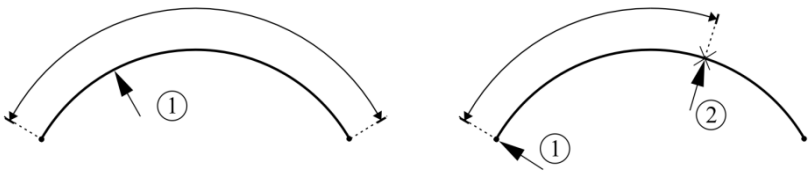




Klikając na przycisk Jednostki i formaty, a następne w sekcji Wymiary w oknie dialogowym *Ustawienia / Jednostki i formaty*, można ustawić format wartości liczbowej dla kąta.

2.16.11.4 Długość łuku

Tworzy oznaczenia wymiarowe długości łuku.
Aby przypisać to oznaczenie do pełnego okręgu, należy kliknąć na dowolny punkt okręgu i przeciągnąć linię wymiarową.
Aby przypisać to oznaczenie do łuku, należy kliknąć na dowolny punkt łuku i przeciągnąć linię wymiarową.
Aby przypisać to oznaczenie do części łuku, należy kliknąć jeden z punktów końcowych łuku, a następnie punkt pośredni łuku i przeciągnąć linię wymiarową.



2.16.11.5 Promień łuku

Tworzy oznaczenie wymiaru promienia łuku.
Aby przypisać to oznaczenie do łuku, należy kliknąć na dowolny punkt łuku i przeciągnąć linię wymiarową.

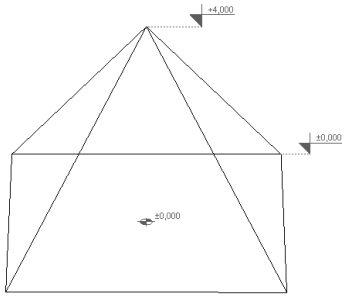
2.16.11.6 Symbole rzędnych

Tworzy skojarzone oznaczenia rzędnych w modelu.
Klikając na przycisk Jednostki i formaty, a następnie w sekcji Wymiary w oknie dialogowym *Ustawienia / Jednostki i formaty*, można ustawić format wartości liczbowej.

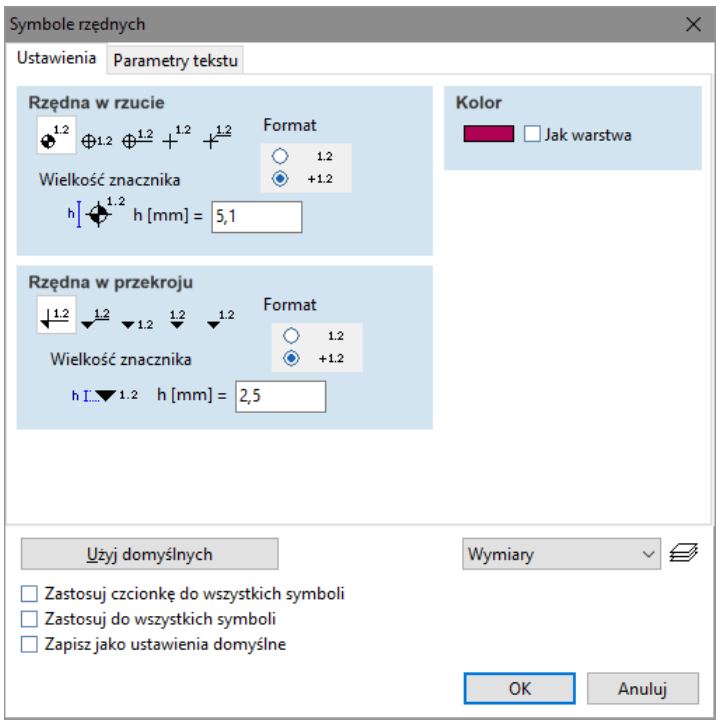
Symbole rzędnych w rzucie można umieścić w widoku z góry, klikając na żądany punkt. Widok z góry jest zdefiniowany jako widok w kierunku działania grawitacji (zmiany kierunku jej działania można ustawić w oknie dialogowym *Ustawienia / Grawitacja*). **Patrz...** *3.3.9 Grawitacja*

Symbole rzędnych w przekroju można umieścić w widoku z przodu, z boku lub w perspektywie, wykonując następujące kroki:

1. Kliknij na punkt, który chcesz oznaczyć.
2. Porusz myszą w kierunku, gdzie chcesz umieścić symbol rzędnej w przekroju i kliknij, aby ustawić go w ostatecznej pozycji.



Ustawia parametry symboli rzędnych.

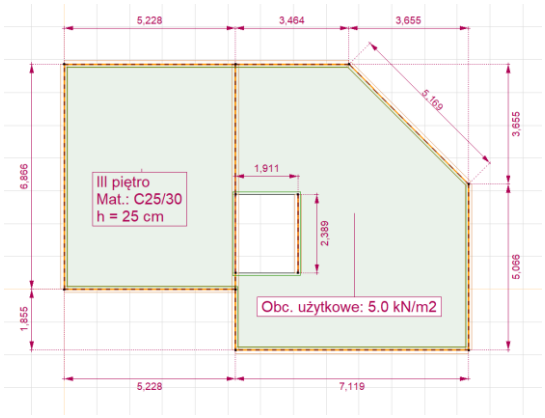


Rzędna w rzucie Wybiera symbol rzędnej w rzucie i ustawia jego wielkość i format.

Rzędna w przekroju Wybiera symbol rzędnej w przekroju i ustawia jego wielkość i format.

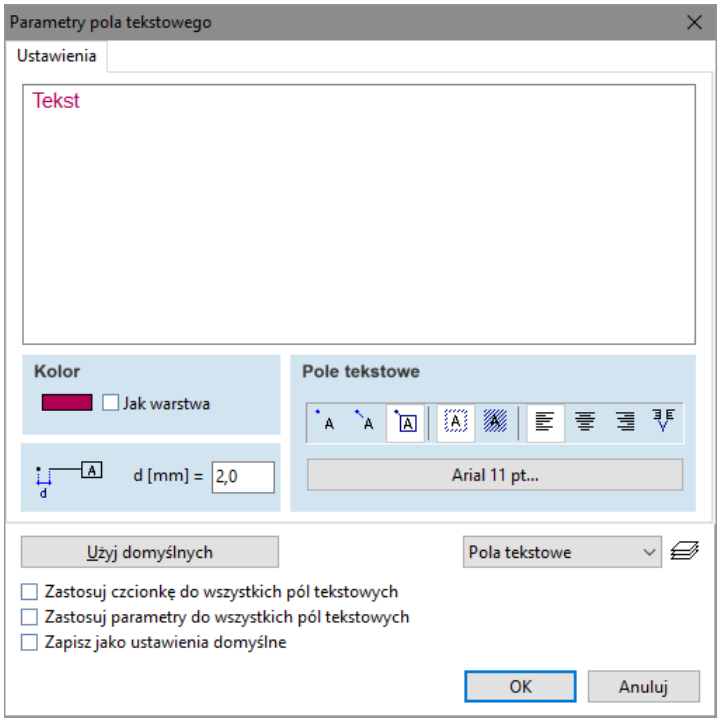
2.16.11.7 Pole tekstowe

Tworzy w modelu skojarzone pole tekstowe. Do pola tekstowego można wprowadzić tekst wielowierszowy.
Cały tekst w polu tekstowym używa tego samego formatowania.



Pole tekstowe można utworzyć, wykonując następujące kroki:

1. Wprowadź tekst w oknie parametrów polecenia Pole tekstowe lub w przypadku tekstu jednoliniowego, wprowadź go bezpośrednio do pola edycji paska narzędzi.
2. Kliknij w punkt, do którego chcesz przypisać pole tekstowe.
3. Przesuń mysz na żądaną pozycję i kliknij, aby ustawić pole tekstowe w ostatecznej pozycji.



Kolor Ustawia kolor tekstu, ramki i linii odniesienia. Kolor można ustawić jako przypisany do warstwy.

Pole tekstowe Włączniki ustawiają parametry rysowania pola tekstowego, ramki i linii odniesienia, przezroczystość i wyrównanie tekstu oraz odległość *d* linii odniesienia od punktu zaczepienia.

Czcionka Ustawia czcionkę, styl i wielkość tekstu.

Można ponownie wczytać i zmienić ustawienia domyślne oraz zastosować parametry lub czcionkę pola tekstowego do wszystkich istniejących pól tekstowych.

Aktywne łącza W polach tekstowych można umieścić aktywne łącza, aby dołączyć do modelu zewnętrzne dane. Jeżeli tekst zawiera odnośnik do pliku lub łącze do strony internetowej, kliknięcie na pole tekstowe spowoduje otwarcie aplikacji powiązanej z plikiem lub adresem URL, a nie powyższego okna dialogowego. Aby zmienić wtedy tekst, należy najpierw wybrać pole tekstowe (np. Shift + kliknięcie), a następnie kliknąć na pole.

Odsyłacz do pliku

Odnośnik do pliku tworzą znaki `->` oraz nazwa pliku. Np.
`->C:\MójModel\Raporty\Szczegóły.doc`
Jeżeli nie jest określona pełna ścieżka, program AxisVM rozpocznie od folderu modelu. Jeżeli więc model znajduje się w `C:\MójModel`, to aby wskazać plik programu Word również z tego katalogu możemy wpisać: `->\Raporty\Szczegóły.doc`
Kliknięcie na pole tekstowe spowoduje otwarcie aplikacji powiązanej z typem pliku. W ten sposób można załączać obrazy, filmy, dźwięki, tabele Excela lub inne dokumenty do dowolnej części modelu.

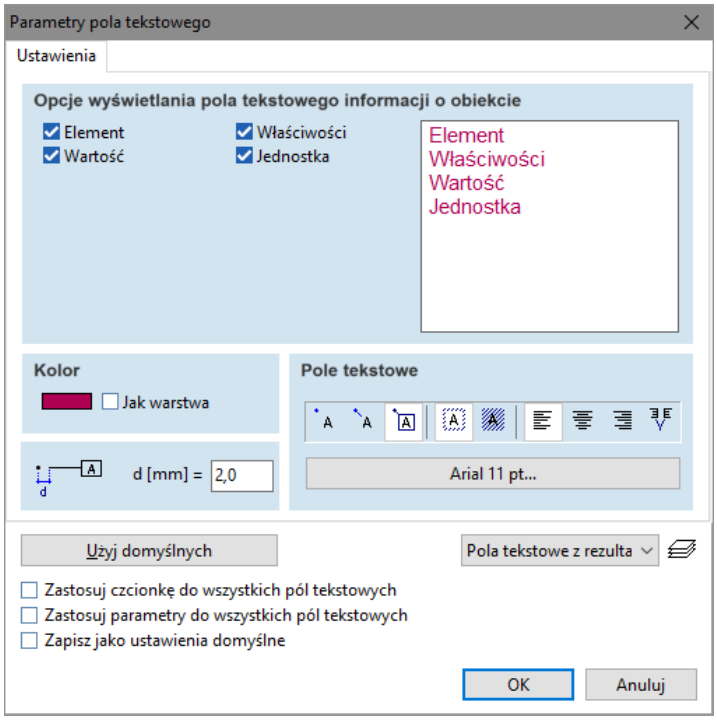
Adres URL

Obsługiwane protokoły i formaty łącz:
http://..., ftp://..., https://..., file://..., www. ...
Kliknięcie na pole tekstowe spowoduje otwarcie domyślnej przeglądarki internetowej i otwarcie strony internetowej lub pliku.
Jeżeli tekst zawiera więcej niż jeden adres, otwarty zostanie pierwszy z nich.

2.16.11.8 Pola tekstowe z informacją o obiekcie i rezultatami

Pole tekstowe z informacją o obiekcie

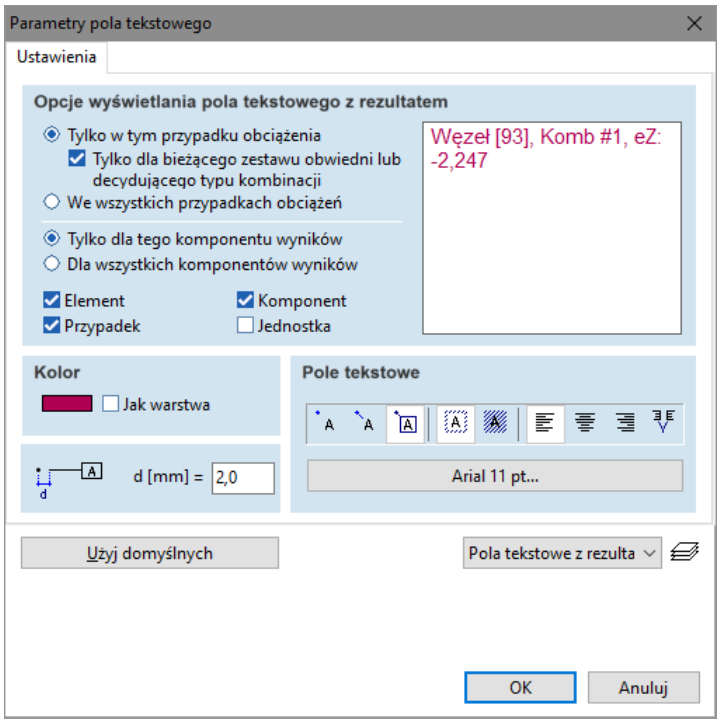
W polu tekstowym, w zależności od bieżącej zakładki (Geometria, Elementy lub Obciążenia), pojawiają się właściwości elementów lub obciążeń. Parametry pola tekstowego można ustawić w poniższym oknie dialogowym:



Pole tekstowe z rezultatem

Przy wyświetlaniu rezultatów położenie kursora na węzłach, węzłach środkowych krawędzi, środku elementów powierzchniowych lub pośrednich punktów na prętach i żebrach, ustala wartość bieżącego komponentu wyniku i wyświetla ją w postaci wyskakującej ramki. Tekst w wyskakującej ramce zostaje automatycznie wstawiony do pola tekstowego.
Etapy etykietowania wyników są podobne do etapów tworzenia pola tekstowego.
Pole tekstowe z rezultatem jest widoczne tylko wtedy, gdy aktualny komponent wyniku jest taki sam, jak ten wybrany podczas wstawiania pola tekstowego. Na przykład, pole tekstowe z rezultatem *My* będzie wyświetlane tylko, jeżeli wyniki momentów zginających *My* zostaną wybrane jako bieżący komponent wyników.

Opcje pola tekstowego z rezultatem można ustawić w poniższym oknie dialogowym:



Tylko w tym przypadku obciążenia

Etykieta z wynikiem jest widoczna tylko w sytuacji obciążeniowej (przypadek lub kombinacja, obwiednia lub kombinacje decydujące), w której została utworzona.

Tylko dla bieżącego zestawu obwiedni lub decydującego typu kombinacji

Jeżeli etykieta wstawiana jest dla jakiejś obwiedni lub kombinacji decydującej, to ta dodatkowa opcja ograniczająca pozwala wyświetlić etykietę z wynikiem tylko, gdy wybrany został ten sam zestaw obwiedni (np. Wszystkie kombinacje) lub typ kombinacji decydujących (np. SGU Quasi-stała).

W przypadku odznaczenia tej opcji etykieta będzie widoczna, gdy jakakolwiek obwiednia jest wyświetlana (jeżeli etykieta została zdefiniowana dla wyników z obwiedni) lub gdy jakakolwiek kombinacja decydująca jest wyświetlana (jeżeli etykieta została zdefiniowana dla wyników z kombinacji decydującej).

We wszystkich przypadkach obciążeń

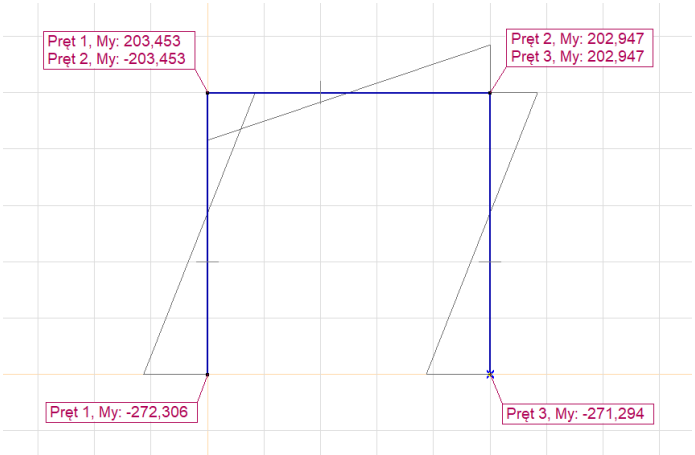
Etykieta z wynikiem pozostaje widoczna niezależnie od wybranego przypadku, kombinacji, obwiedni czy kombinacji decydujących. Wartości zostaną natychmiast zaktualizowane przy zmianie wyświetlanej sytuacji obciążeniowej.

Tylko dla tego komponentu wyników

Etykieta z wynikami jest widoczna tylko, jeżeli jest wyświetlany jej komponent wyników.

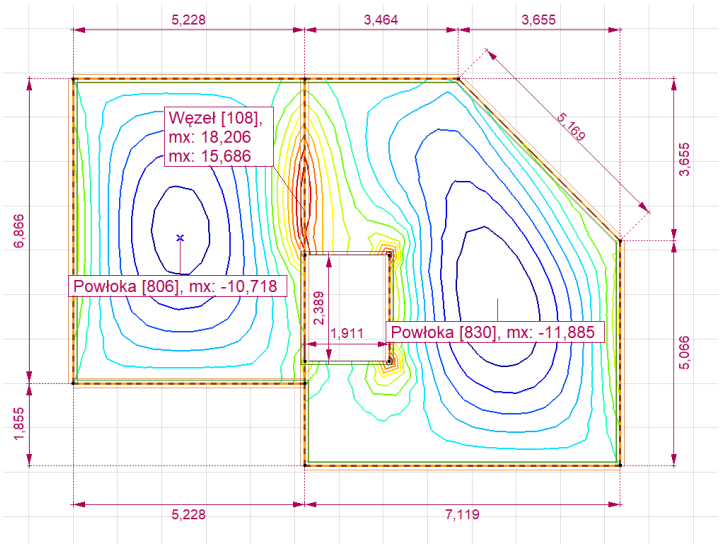
Dla wszystkich komponentów wyników

Etykieta z wynikami pozostaje widoczna bez względu na wyświetlany komponent wyników.



Opcje tekstu etykiety z rezultatem:

Element:	Uwzględnia typ i numer elementu.
Komponent:	Uwzględnia nazwę komponentu wyników.
Przyp.:	Uwzględnia nazwę przypadku obciążeń, kombinację lub opis decydującej kombinacji.
Jedn.:	Uwzględnia nazwę jednostki.



Trzy pola wyboru pod przyciskiem *Użyj domyślnych* umożliwiają dostosowanie pola tekstowego:

Zastosuj czcionkę do wszystkich pól tekstowych
Po kliknięciu przycisku **OK** zmieniona zostanie czcionka we wszystkich polach tekstowych.

Zapisz jako ustawienia domyślne
Nowe pola tekstowe będą korzystać z bieżących ustawień jako domyślnych.

Zastosuj parametry do wszystkich pól tekstowych
Po kliknięciu przycisku **OK** powyższe parametry zostaną zastosowane do wszystkich pól tekstowych.

Menadżer warstw

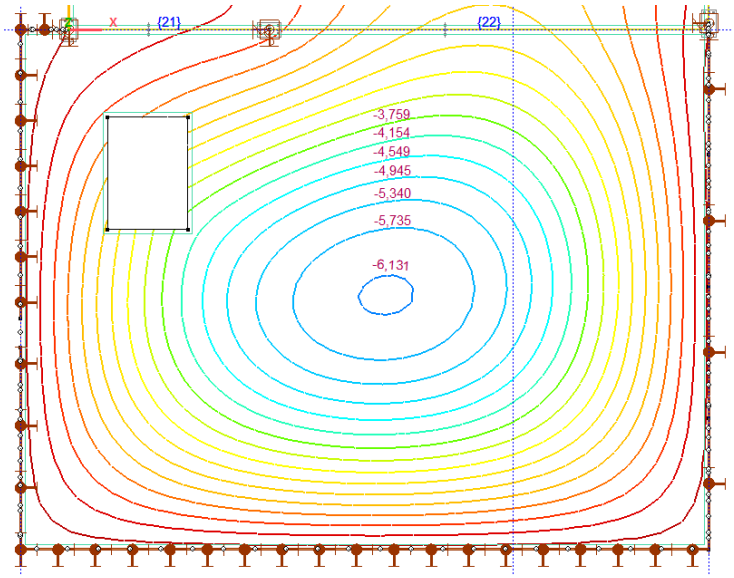
[F11]

Umożliwia utworzenie nowych warstw lub modyfikowanie istniejących.
Ta funkcja dostępna jest także z menu w *Ustawienia* \ *Menadżer warstw*.
Patrz... *3.3.3 Menadżer warstw*

2.16.11.9 Etykiety izolinii

Umożliwia umieszczenie serii etykiet do izolinii.

1. Kliknij na ikonę *Etykiety izolinii*
2. Wprowadź dwa punkty, definiując odcinek
3. Etykiety zostaną umieszczone w punktach przecięcia odcinka i izolinii



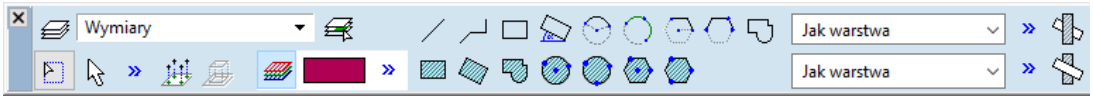
Automatyczne etykietowanie izolinii może zostać włączone w oknie legendy kolorów.
Patrz... *2.19.4 Okno legendy kolorów.*

2.16.11.10 Linie wymiarowe dla fundamentów

Ustawia właściwości linii wymiarowych dla wymiarowanych fundamentów.
Ustawienia są takie same jak w przypadku zwykłych linii wymiarowych.

2.16.12 Edycja warstw podkładu

Edytor ten umożliwia dokonywanie zmian na importowanych warstwach DXF i PDF oraz dodawanie nowych kształtów. Warstwy podkładu zawierają tylko informacje o geometrii i nie mają znaczenia dla konstrukcji.



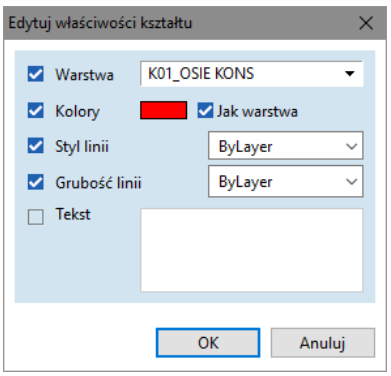
Menadżer warstw
Otwiera menadżer warstw. **Patrz...** *3.3.3 Menadżer warstw*

Wybieranie warstwy

Wybiera z rozwijanego drzewa warstwę do edycji.
Aby utworzyć nową warstwę, należy otworzyć Menadżer warstw, utworzyć nową warstwę i kliknąć Ok. Dopiero wtedy można wybrać nową warstwę.

Innym sposobem wybierania warstwy jest kliknięcie na przycisk znajdujący się obok rozwijanego drzewa, a następnie kliknięcie na kształt. Wybrana zostanie warstwa przypisana do tego kształtu.

Wybór
Kliknij ten przycisk, aby aktywować zaznaczanie elementów podkładu.
Należy kliknąć kontur kształtu elementu lub przeciągnąć ramkę wokół kształtów i kliknąć na kontur wybranego kształtu, a następnie ustawić właściwości w oknie dialogowym *Edytuj właściwości kształtu*.
Aby użyć specjalnych funkcji wyboru, należy wybrać następny przycisk na pasku narzędzi *(Tryby selekcji specjalnej)*.



Tryby selekcji specjalnej
Kliknięcie na ten przycisk wyświetla paletę opcji wyboru. **Patrz...** *2.16.1 Wybór elementów*
Kliknij OK, jeżeli wybór został zakończony i kliknij na dowolny wybrany kształt, aby ustawić jego właściwości.

Pobierz właściwości
Kliknięcie na ten przycisk aktywuje pobieranie. Kliknięcie na kształt pobiera jego właściwości (np. wszystkie późniejsze funkcje rysowania będą korzystać z tych właściwości).

Konwertuj punkty wybranego kształtu do węzłów AxisVM

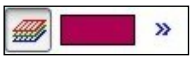
Konwertuj wybrane kształty na linie AxisVM
Po kliknięciu na ten przycisk wyświetlony zostanie pasek narzędzi wyboru. Kliknij OK, jeżeli wybór został zakończony. Wszystkie wybrane kształty zostaną skopiowane jako zwykłe linie AxisVM.

Przesuń na spód wybrane obiekty

Przesuń na wierzch wybrane obiekty

Usuń kształty Aby usunąć kształty, należy najpierw je wybrać, a następnie nacisnąć klawisz *Delete* na klawiaturze.

Kolor pisaka Kolor pisaka używa się do rysowania konturu kształtów, a także ich wypełnienia.
Są trzy sposoby ustawiania bieżącego koloru pisaka.



Ustawia kolor pisaka jak kolor warstwy.

Wybiera kolor z okna dialogowego.

Pobiera kolor pisaka z istniejącego kształtu poprzez kliknięcie na niego.

Styl linii
Grubość linii
Dwie rozwijane listy po prawej stronie zawierają dostępne style linii (górna lista) i grubości linii (dolna lista). Należy wybrać żądane wartości.
Te ustawienia nie mają wpływu na wypełnione kształty, gdyż nie posiadają one konturu.

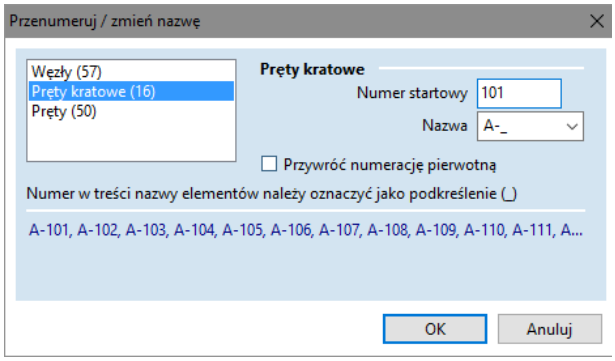
Pobiera styl lub grubość linii istniejącego kształtu

Pasek narzędzi do rysowania linii i konturów kształtów.

Pasek narzędzi do rysowania wypełnionych kształtów.

2.16.13 Przenumeruj / Zmień nazwę

Na modelu węzły, pręty kratowe, pręty, żebra, obszary, podpory węzłowe, liniowe i powierzchniowe, a także stalowe i drewniane elementy wymiarowane można przenumerować i zmienić ich nazwę (ich numeracja domyślna jest zgodna z kolejnością tworzenia).
Aby zmienić nazwę i przenumerować węzły lub elementy, należy najpierw je wybrać, a następnie kliknąć ikonę polecenia na pasku ikon po lewej stronie.



Lista po lewej stronie okna dialogowego wskazuje liczbę wybranych węzłów i elementów. Wybierz te, które chcesz przemianować / przenumerować.

Numer startowy Wprowadź numer startowy. Wybrane elementy zostaną przenumerowane w kolejności ustalonej na podstawie ich położenia. Przenumerowanie może mieć wpływ na niewybrane elementy, ponieważ dwa węzły lub elementy nie mogą mieć takiego samego numeru.

Nazwa Numer w tekście nazwy elementu określany jest przez podkreślenie (_). Na przykład: jeżeli numerem początkowym jest 1, a pole *Nazwa* zawiera *T_*, nazwy wybranych elementów będą następujące: *T1, T2, T3, ...* Jeżeli wybrano tylko jeden element, nie trzeba uwzględniać znaku _ w *Nazwie*. W przeciwnym wypadku musi on zostać uwzględniony, ponieważ elementy muszą mieć różne nazwy.
Jeżeli pole *Nazwa* zostanie puste, nazwa będzie samym numerem.

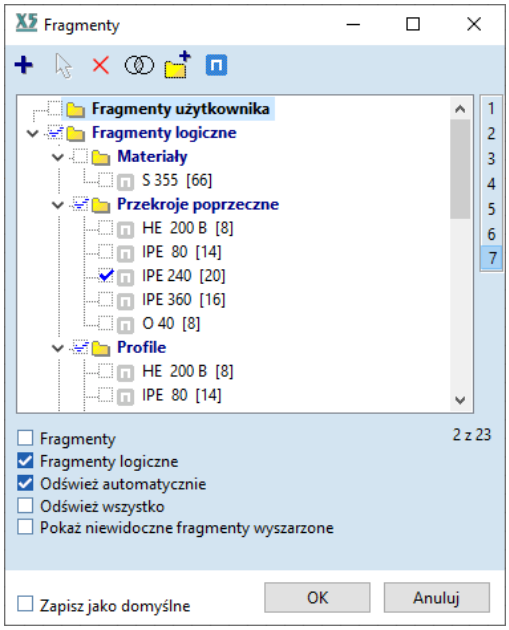
Przywróć numerację pierwotną Jeżeli opcja Przywróć numerację pierwotną jest zaznaczona, kliknięcie na przycisk OK przywróci pierwotną numerację wybranych elementów i wyczyści ich nazwy. Z listy po lewej stronie trzeba wybrać typ elementu.

Aby włączyć / wyłączyć wyświetlanie numerów / nazw elementów należy otworzyć okno dialogowe Opcje wyświetlania (patrz... 2.16.18 Opcje wyświetlania) lub użyć przycisku szybkich ustawień (patrz... 2.18 Przyciski szybkich ustawień).

2.16.14 Fragmenty

Umożliwia utworzenie zestawów elementów konstrukcyjnych zwanych fragmentami. Praca z fragmentami ułatwia wstępne i końcowe przetwarzanie danych (pre- i postprocessing).

AxisVM umożliwia jednoczesne wyświetlenie jednego lub większej liczby fragmentów, zwanych fragmentami aktywnymi. Dodatkowo, jeżeli pole wyboru Fragmenty jest włączone, polecenia będą dotyczyć lub odnosić się tylko do obiektów aktywnych fragmentów. Nazwa bieżącego fragmentu wyświetlana jest w oknie informacyjnym. Jeżeli włączonych jest więcej fragmentów niż jeden, wyświetlone zostanie *n fragmentów*, gdzie *n* to liczba aktywnych fragmentów.



Istnieją dwa typy fragmentów:

Fragmenty użytkownika są tworzone przez użytkownika poprzez wybranie elementów.

Fragmenty logiczne tworzone są automatycznie przez program, który sortuje elementy na kategorie na podstawie różnych kryteriów (materiał, przekrój poprzeczny, grubość, typ elementu, kondygnacja lub grupa optymalizacji czy mimośrodu).

Istniejący fragment można aktywować poprzez kliknięcie jego nazwy w oknie listy. Fragmenty można także aktywować, nie otwierając tego okna, poprzez kliknięcie na przycisk szybkich ustawień Fragmenty (na dole ekranu).
Poziom rozwinięcia drzewa można ustawić, klikając na liczby po prawej stronie okna.

Nowy

Tworzy nowy fragment użytkownika (zestaw obiektów modelu).
Każdemu nowemu fragmentowi należy przypisać nazwę. Następnie należy zdefiniować nowy fragment, wybierając obiekty w aktywnym oknie wyświetlania (za pomocą paska ikon Wyboru, jeżeli jest to konieczne).

Modyfikuj

Umożliwia modyfikację wybranego fragmentu użytkownika. Po pojawieniu się menu wyboru, elementy modelu, które są we fragmencie zostaną wyświetlone jako wybrane.

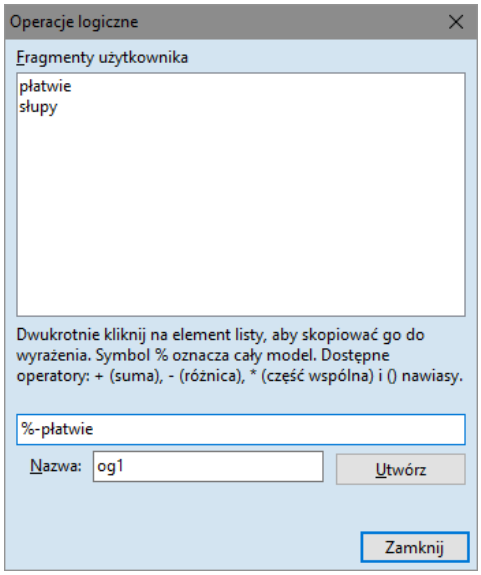
Usuń

Umożliwia usunięcie z listy wybranego fragmentu użytkownika. To polecenie nie wpływa na model.

☞ **Jeżeli wybrane zostaną tabele wyników odcinków wycinających, na liście umieszczone zostaną tylko odcinki wycinające zawarte w aktywnych fragmentach.**

Operacje logiczne

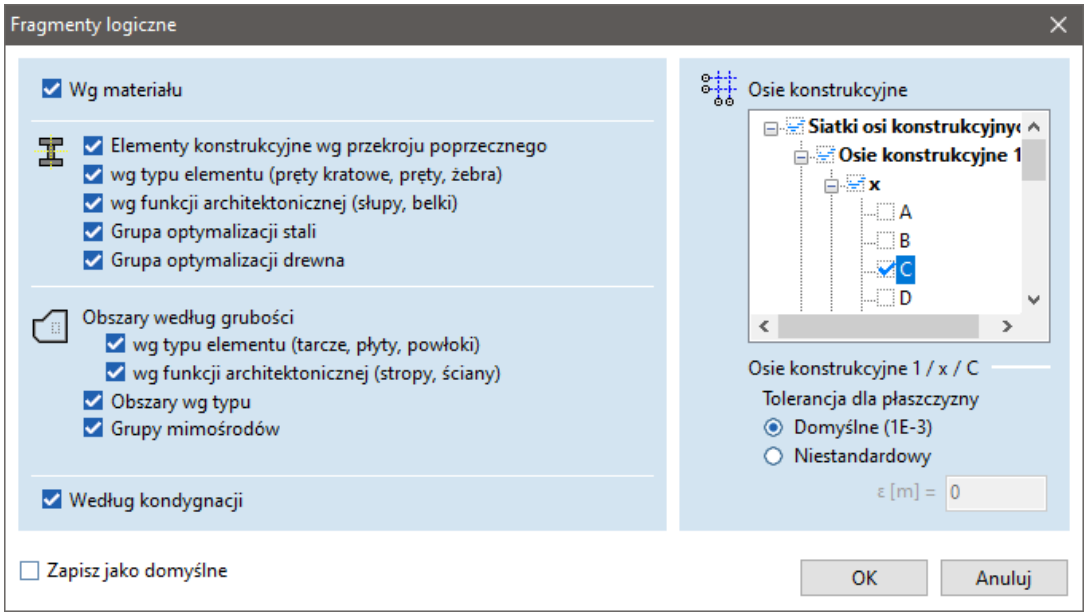
Tworzy nowy fragment przez wykonanie ciągu operacji logicznych na fragmentach użytkownika zawartych w modelu. Użytkownik musi określić ciąg tych operacji.
Aby wprowadzić nazwę fragmentu do operacji, należy kliknąć podwójnie w odpowiednią nazwę na liście. Za pomocą symbolu % można uwzględnić cały model.
Na przykład: %-Słupy utworzy fragment, który uwzględniać będzie cały model oprócz fragmentu o nazwie Słupy.
Klikając na przycisk Utwórz, zostanie utworzony fragment o nazwie wprowadzonej w pole Nazwa. Jeżeli w nazwie fragmentu mają zostać wykorzystane znaki np.: +, -, (,), należy umieścić tę nazwę między znakami " " (np.: "podłoga +12.00").



Tworzenie nowych folderów

Tworzenie folderów to sposób na sortowanie fragmentów modelu użytkownika. Fragmenty można przemieszczać i przestawiać, przeciągając je w nowe położenie. Klawisze **[Ctrl]** i **[Shift]** umożliwiają wielokrotny wybór w standardowy sposób.
Włączenie/wyłączenie folderów skutkuje włączeniem/wyłączeniem fragmentów w obrębie folderu.

Fragmenty logiczne



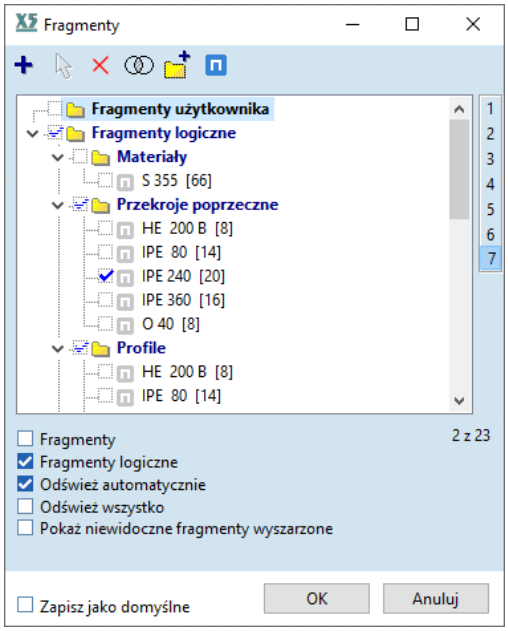
To okno dialogowe służy do ustawiania kryteriów tworzenia **fragmentów logicznych**.
Obiekty architektoniczne definiowane są przez ich geometrię i usytuowanie. Pionowe pręty, żebra i pręty kratowe są określone jako słupy, a poziome jako belki. Obszary w płaszczyźnie poziomej są określone jako stropy, a obszary w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny poziomej jako ściany.

Jeżeli zostały zdefiniowane także kondygnacje, można utworzyć fragmenty logiczne wg kondygnacji.

Fragmenty utworzone na podstawie grup optymalizacji dla stali i drewna ułatwiają szybką zmianę przekroi poprzecznych prętów należących do tych grup. Fragmenty mogą zostać utworzone wg *Typu obszaru* lub *Grupy mimośrodów* (**patrz...** *4.9.5 Obszar*).
Jeżeli model zawiera osie konstrukcyjne, to możliwe jest również zdefiniowanie fragmentów logicznych na ich podstawie. Fragmenty te będą zawierać tylko elementy leżące w płaszczyźnie wybranych osi. Elementy prętowe i obszary uwzględniane są tylko, jeżeli wszystkie ich węzły leżą w płaszczyźnie fragmentu. Tolerancja płaszczyzny może być dopasowana dla każdej osi konstrukcyjnej. Można także wybrać wiele osi ([Ctrl]+klik lub [Shift]+klik na opisie osi) i ustawić dla nich wspólną wartość tolerancji.

Opcje wyświetlania

Opcje wyświetlania działają w następujący sposób:



Fragmenty

Jeżeli ta opcja jest włączona, wyświetlone zostaną tylko fragmenty zaznaczone na liście. Jeżeli jest wyłączona, wyświetlony zostaje cały model.

Fragmenty logiczne

Włącza/wyłącza wyświetlanie fragmentów logicznych.

Odśwież automatycznie

Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, włączenie lub wyłączenie fragmentów spowoduje natychmiastowe przerysowanie modelu. Jeżeli nie jest zaznaczona, ekran zostanie zaktualizowany dopiero po kliknięciu przycisku **OK**.

Odśwież wszystko

Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, fragmenty zostaną włączone lub wyłączone we wszystkich oknach w trybie wielu okien.

Jeżeli nie jest zaznaczona, ustawienia fragmentów zostaną aktualizowane tylko w aktywnym panelu.

Pokaż niewidoczne fragmenty wyszarzone

Jeżeli ta opcja jest włączona, cały model szkieletowy zostanie wyświetlony na szaro, aby ułatwić identyfikację fragmentów modelu.

☞ **Podczas pracy z fragmentami w Przeglądarce tabel wyświetlone są tylko dane dotyczące aktywnych fragmentów.**

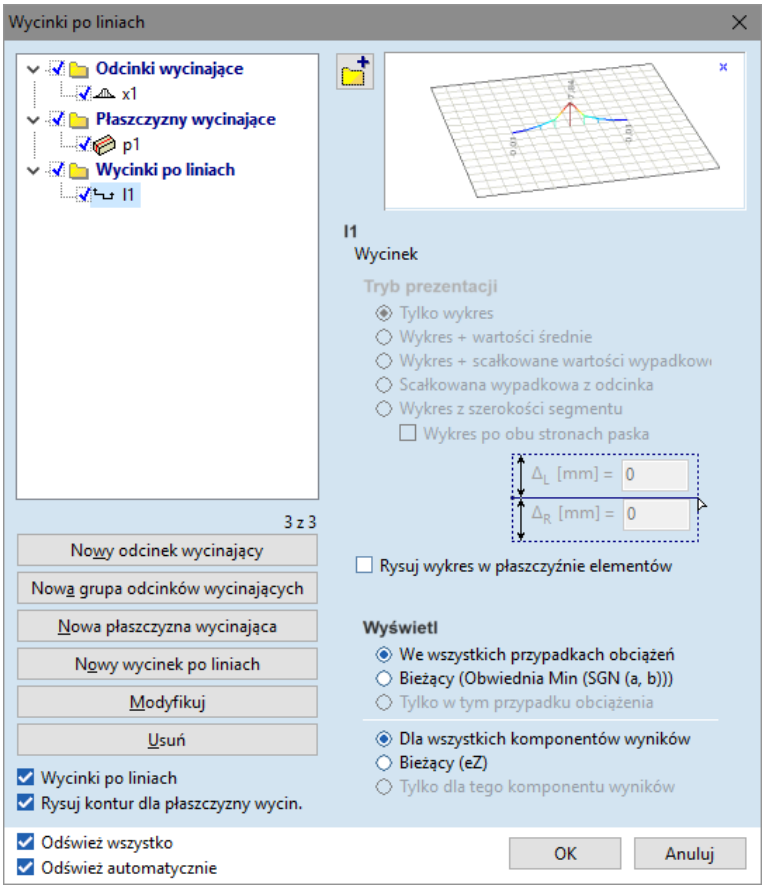
Zapisz jako domyślne

Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, to aktualny stan przełączników *Fragmenty logiczne*, *Odśwież wszystko* oraz *Pokaż niewidoczne fragmenty wyszarzone* zostaną zapisane jako ustawienia domyślne po zamknięciu okna.

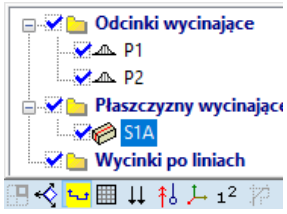
2.16.15 Wycinki

Umożliwia utworzenie wycinków po liniach, płaszczyzn wycinających i odcinków wycinających przez każdy model powierzchniowy. Wycinki mogą być wykorzystane w toku analizowania wyników (przemieszczeń, sił wewnętrznych itd.)
Jeżeli pręt kratowy, żebro lub pręt znajdują się w aktywnej płaszczyźnie wycinającej oraz komponent wyników posiada wartości dla tych elementów, wyświetlony zostaje także wykres dla tych elementów liniowych.

Rezultaty dla odcinków wycinających można przeglądać w Przeglądarce tabel.
Patrz... *6.1.5.1 Tabele z wynikami odcinków wycinających*



To okno dialogowe działa na podobnej zasadzie, co okno dialogowe *Fragmenty*.

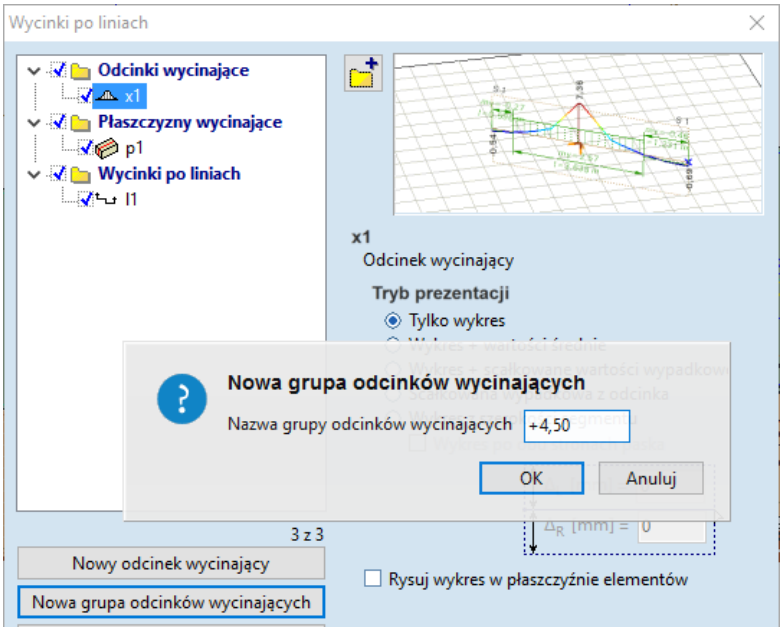


Wycinki po liniach, *płaszczyzny wycinające* i *odcinki wycinające* można włączać i wyłączać przy użyciu przycisku szybkich ustawień znajdującego się na dolnym pasku narzędzi.
Jeżeli tryb wyświetlania wyników to Wycinek, wykresy wyników zostaną wyświetlone tylko na wycinkach po liniach, płaszczyznach wycinających i odcinkach wycinających.
Aby zmniejszyć złożoność rysunków, wyświetlanie pojedynczych wycinków po liniach, płaszczyzn wycinających i odcinków wycinających można ustawić tak, aby pojawiały się tylko w określonym przypadku obciążenia i/lub dla konkretnego komponentu wyników. Odcinki wycinające, płaszczyzny wycinające oraz wycinki po liniach są automatycznie sortowane w oddzielnych folderach (wg typu grupy).

☞ **Elementów na liście nie można przeciągać do innych grup.**

☞ **Jeżeli wybrane zostaną tabele z wynikami odcinków wycinających, wylistowane będą tylko odcinki wycinające zawarte w aktywnych fragmentach.**

Tworzenie grupy odcinków wycinających



Grupy odcinków wycinających mogą być utworzone, aby ułatwić włączanie/wyłączanie kilku odcinków wycinających na raz.
Należy kliknąć *Nowa grupa odcinków wycinających*, wpisać nazwę dla grupy *(nazwa)* i zdefiniować dowolną liczbę odcinków wycinających. Definiowanie należy zakończyć naciskając klawisz **[Esc]**. Odcinki wycinające zostaną ponumerowane *(xx)* i dodane do folderu *nazwa* jako *nazwa_xx*.
Można rozszerzyć zawartość danej grupy odcinków poprzez wybranie jej folderu lub składnika przed uruchomieniem polecenia *Grupa odcinków wycinających*.

Tworzenie nowych folderów

Tworzenie folderów umożliwia sortowanie wycinków. Odcinki można przesuwać i przestawiać, przeciągając je na nową pozycję w obrębie swojej grupy. Klawisze **[Ctrl]** i **[Shift]** umożliwiają wielokrotny wybór w standardowy sposób.
Włączenie/wyłączenie folderu skutkuje włączeniem/wyłączeniem odcinków w obrębie folderu.

Nowy odcinek wycinający

Aby zdefiniować odcinek, należy wprowadzić dwa punkty na obszarze lub obszarach leżących w tej samej płaszczyźnie.
Ustawiając przyciski opcji można kontrolować, w jaki sposób wyświetlony zostanie wykres sił wewnętrznych. Wartości średnie oraz scałkowane wartości wypadkowe obliczane są dla pododcinków wydzielanych na podstawie zmiany znaku na wykresie.

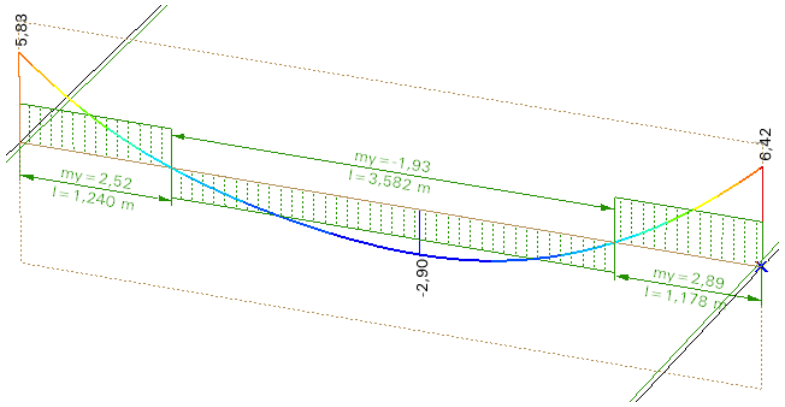
☞ **Jeżeli wybrano Obwiednie lub Decydujące kombinacje, to wartości wyników dla nich obliczane są w każdym punkcie wykresu z całej grupy kombinacji wchodzących w skład obwiedni (w każdym punkcie wykresu może decydować inna kombinacja wchodząca w skład danej obwiedni), a dopiero potem wartości te są całkowane. Z tego też powodu otrzymane wartości całki są wartościami nierzeczywistymi w takim rozumieniu, że nie są obliczane z jednego zestawu sił występującego równocześnie na całej długości wycinka.**

☞ **Jeżeli wybrane zostały rezultaty z kombinacji sejsmiki (X, Y, Z, +, -), to wartości kombinacyjne wg metody CQC lub SRSS obliczane są dla każdego punktu (tak jak pokazano na wykresie) a następnie całkowane. Z tego powodu otrzymane wartości z całkowania są wartościami nierzeczywistymi w tym sensie, że wyznaczone zostały z wartości reprezentujących stany nierównoczesne.**

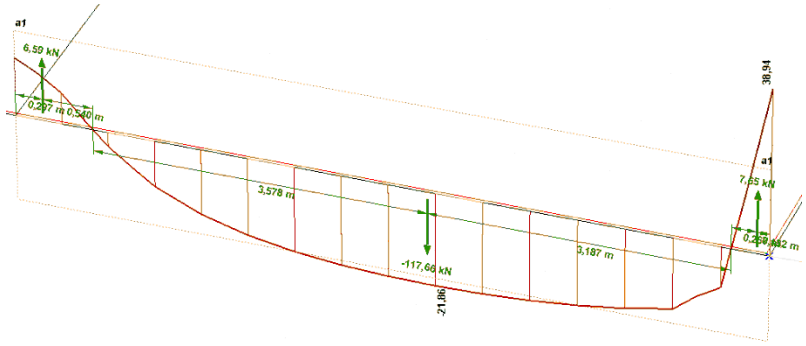
Można także określić szerokość lewego lub prawego pasma dla odcinka. W takim przypadku wykresy przedstawiają wartość średnią z zadanego pasma. Dla bardziej wyrazistej prezentacji takich wyników, wykres może być wyświetlony dodatkowo także na każdym paśmie (po obu stronach odcinka).

Wykresy zazwyczaj wyświetlane są prostopadle do płaszczyzny elementu, ale zaznaczenie opcji *Rysuj wykres w płaszczyźnie elementów* obraca wykres do ich płaszczyzny. W oknie dialogowym *Parametry wyświetlania*, ten parametr może zostać włączony/wyłączony dla wszystkich odcinków wycinających.

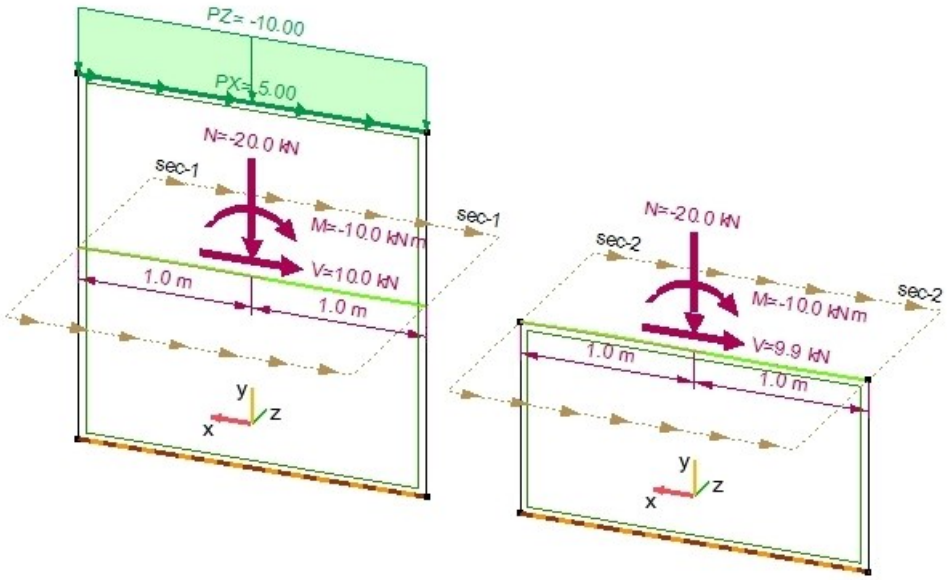
☞ **Jeżeli opcja *Rysuj wykres w płaszczyźnie elementów* jest zaznaczona, to nie można zastosować opcji *Wykres z szerokości* segmentu.**



Wyświetlenie wartości średnich



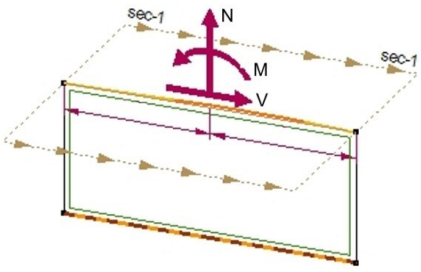
Wyświetlenie scałkowanych wartości wypadkowych



Scałkowane wartości wypadkowe nad segmentem

Odcinek wycinający dzieli obszar na dwie części. Do celów obliczeniowych zakłada się, że jedna z nich jest usuwana. Jest to ta część, którą wskazuje lokalna oś, która jest prostopadła do odcinka wycinającego (na powyższym rysunku jest to oznaczona na żółto oś -y-).

Strzałki sił rysowane są po stronie myślowo usuniętej części. Pokazują one siły i moment oddziałujące z usuniętej części na część pozostawioną. Znak posiada tylko wartość siły normalnej i jest on dodatni w przypadku rozciągania. Siła ścinająca i moment zginający posiadają wartość bez znakową, a kierunek oddziaływania pokazuje zwrot strzałki.



Kierunek odcinka wycinającego pokazany jest za pomocą grotów na długości konturu płaszczyzny wycinającej. Kierunek odcinka wycinającego skierowany jest od pierwszego do drugiego punktu, wskazanego podczas definicji odcinka. Poniższy rysunek pokazuje dodatnie zwroty komponentów wyniku.

☞ **Scałkowane wartości wypadkowe nad segmentem wyświetlane są tylko dla odcinków wycinających, które są równoległe do lokalnej osi -x- lub -y-.**

☞ **Jeżeli zaznaczona jest Obwiednia lub Decydujące, to komponenty wyników wyświetlane są tylko dla trybu Min lub Max. Wartości otrzymane z tych trzech składowych nie są wtedy wartościami występującymi równocześnie.**

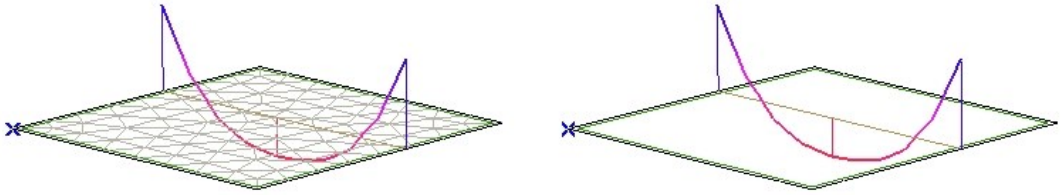
☞ **Jeżeli wybrano Obwiednie lub Decydujące kombinacje, to wyniki wartości wypadkowych dla nich całkowane są na długości odcinka dla każdej kombinacje w obwiedni i dopiero wtedy wyszukana jest i wyświetlana wartość minimalna oraz maksymalna. Z tego powodu wyświetlony wynik należy tylko do jednej kombinacji i nie jest on zależny od wyświetlanego wykresu, który na swojej długości zawiera wyniki pochodzące z różnych kombinacji.**

☞ **Jeżeli wybrany został rezultat z kombinacji sejsmiki (X, Y, Z, +, -), to wartość wypadkowa jest całką z odcinka dla każdego przypadku obciążenia modalnego, a następnie pokazywany jest wynik kombinacyjny wg metody CQC lub SRSS. Dlatego wynik jest niezależny od wyświetlonego wykresu, który zawiera wartości z przypadków nierównoczesnych.**

Nowa płaszczyzna wycinająca

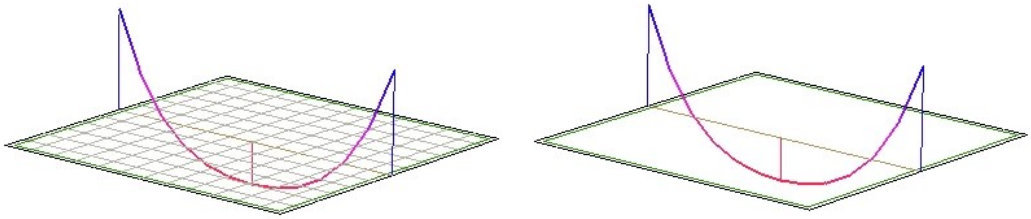
Kliknij przycisk *Nowa płaszczyzna wycinająca* i przypisz nazwę do tego wycinka. Ten typ wycinku oparty jest na płaszczyźnie. Aby ustawić płaszczyznę wycinającą, należy kliknąć lub wprowadzić dwa punkty. Następnie należy kliknąć przycisk OK, aby ją zapisać. W widoku perspektywy, aby ustawić płaszczyznę wycinającą, należy kliknąć lub wprowadzić trzy punkty. Płaszczyzny wycinające wyświetlane są jako prostokąty narysowane wykropkowanymi liniami. Wyświetlanie prostokątów płaszczyzn wycinających można włączyć/wyłączyć.

Płaszczyzny wycinające są przydatne do wyświetlania wyników tylko wzdłuż konkretnej linii przez całą konstrukcję.



Nowy wycinek po liniach

Kliknij przycisk *Nowy wycinek po liniach* i przypisz nazwę temu wycinkowi. Następnie należy wybrać krawędzie elementów powierzchniowych lub elementy prętowe, które definiują wycinek po liniach. Kliknij przycisk OK na pasku ikon wyboru, aby go zapisać. Wycinki po liniach mogą być nieciągłe.

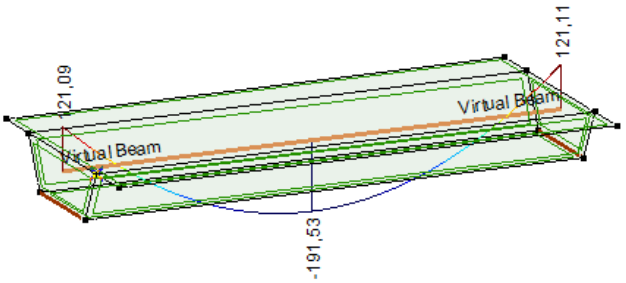


Zaznaczone wycinki po liniach, płaszczyzny wycinające i odcinki wycinające są aktywne.
Można użyć pól wyboru Odśwież automatycznie, Odśwież wszystko oraz przycisków Nowy, Modyfikuj i Usuń w taki sam sposób jak w przypadku okna dialogowego *Fragmenty*.

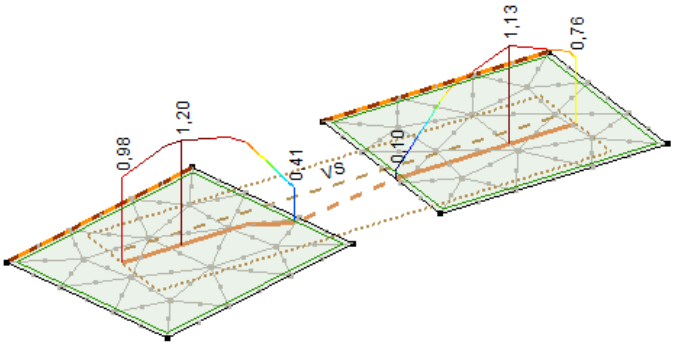
☞ **Linie śladu wycinków po liniach nie są powiązane z kierunkami wyświetlanych komponentów wyników.**

2.16.16 Pręt wirtualny

Pręty wirtualne służą do przedstawiania wyników z obszarów i żeber, ale wyświetlanych jak dla elementów prętowych. Po wyznaczeniu sił powierzchniowych, program tworzy skończoną liczbę przekrojów prostopadłych do kierunku pręta wirtualnego i redukuje siły przekrojowe do środka ciężkości przekroju.



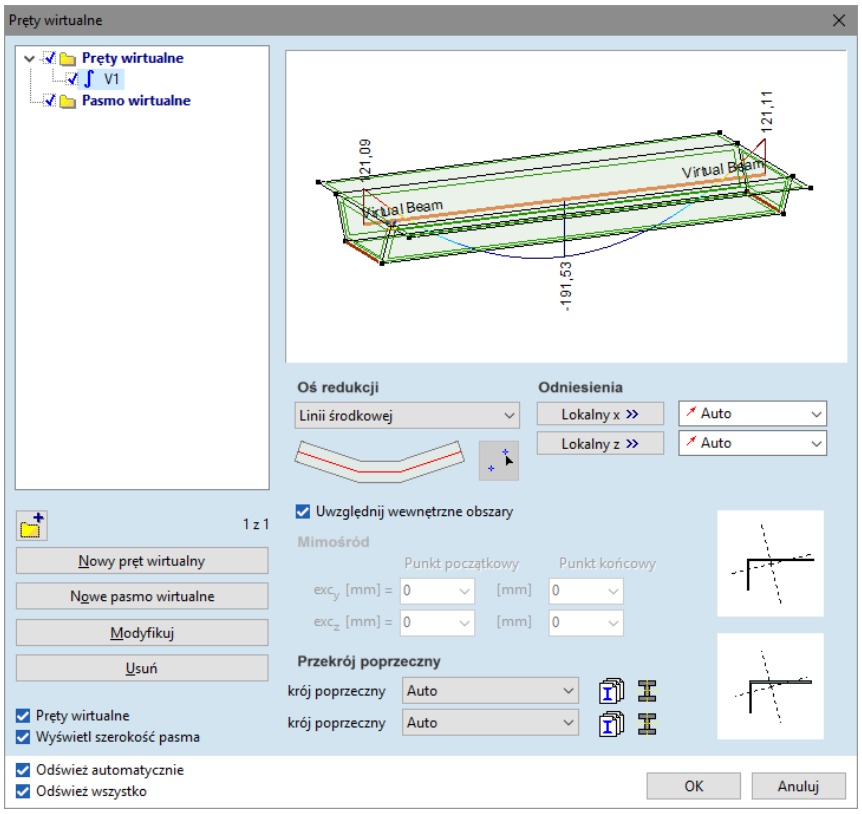
Pasma wirtualne mają podobny charakter do prętów wirtualnych, lecz w ich przypadku przekroje nie biegną aż do krawędzi obszaru, lecz są ograniczone przez ustaloną szerokość pasma po jego prawej i lewej stronie - $\Delta_{L\ oraz}\ \Delta_R$.



Gdy aktywne fragmenty modelu zawierają obszary z prętami wirtualnymi, a komponent wyniku został wybrany z *Siła wewn. pręta wirtualnego* (*6.1.11 Siły wewnętrzne pręta wirtualnego*) to wykres będzie wyświetlony wzdłuż linii środkowej pręta wirtualnego.

Tabela wyników dla prętów wirtualnych może zostać wyświetlona w *Przeglądarce tabel*.
Patrz... *6.1.5.1 Tabele z wynikami odcinków wycinających*

Tworzenie prętów i pasm wirtualnych



Nowy pręt wirtualny

Wprowadź nazwę oraz wybierz obszary, na których powinien przebiegać pręt wirtualny. Oś pręta wirtualnego nie koniecznie musi być linią ciągłą, a jej typ może zostać ustawiony (patrz poniżej). **Patrz...** *4.9.21 Odniesienia*

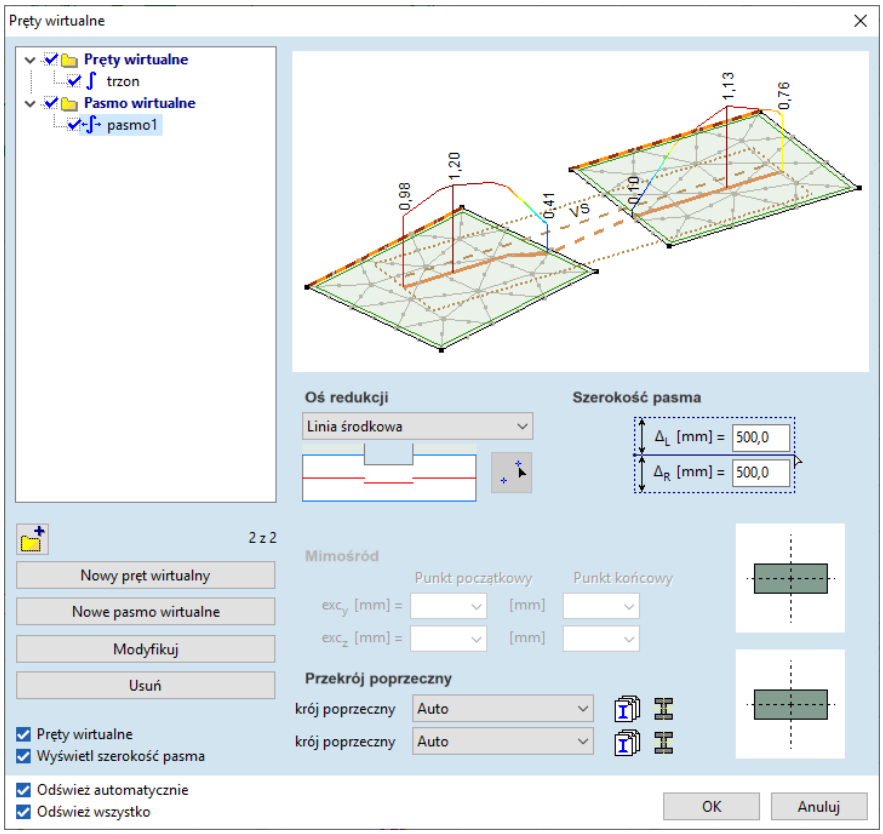
Nowe pasmo wirtualne

Wprowadź nazwę, a następnie wskaż punkt początkowy oraz końcowy pasma. Punkty te definiują oś pręta wirtualnego. Jeśli punkty te występują na różnych obszarach, to obszary te muszą znajdować się w tej samej płaszczyźnie. Wartości dla szerokości pasma (Δ_L oraz Δ_R) ustawione są automatycznie na 0,5 m, ale mogą zostać zmienione.

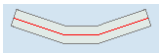
☞ **Przekroje poprzeczne prętów wirtualnych tworzone są zarówno z obszarów posiatkowanych jak i nieposiatkowanych. Pasma wirtualne natomiast potrzebują istniejącej siatki elementów skończonych, aby wyświetlić przypisany przekrój poprzeczny w definicji pasma.**

☞ **Definiowanie prętów i pasm wirtualnych jest znacznie szybsze dla nieposiatkowanych obszarów, ponieważ program nie musi wtedy wyznaczać punktów przecięć ze wszystkimi elementami skończonymi, ale robi to dopiero po wygenerowania siatki.**

☞ **Elementy na liście w oknie dialogowym nie mogą być przeciągane pomiędzy grupami prętów i pasm.**



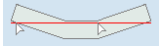
Oś redukcji pręta wirtualnego



Linia środkowa: Oś redukcji przebiega po linii środkowej pręta wirtualnego. Układ lokalny pręta wirtualnego może być ustawiony niezależnie od osi redukcji poprzez ustawienie *Lokalny x* lub *Lokalny y* w części *Odniesienia.*

Linia prosta: Program przecina obszary płaszczyzną tnącą prostopadle do kierunku x wzdłuż lokalnej osi x. Przekrój poprzeczny pręta wirtualnego w danym punkcie stanowi przecięcie obszarów z płaszczyzną tnąca. Pierwszy i ostatni przekrój poprzeczny o niezerowej powierzchni stanowi punkt początkowy i końcowy pręta wirtualnego. Oś redukcji jest linią prostą pomiędzy środkiem ciężkości znalezionego pierwszego i ostatniego przekroju poprzecznego. Oś redukcji nie musi biec równolegle do kierunku lokalnej osi x, ale od niej zależy.

Punkt i wektor odniesienia: Oś redukcji będzie linią przechodzącą przez dany punkt i równoległą do wybranego wektora odniesienia.



Dwa punkty: Oś redukcji przechodzi przez dwa wskazane punkty.

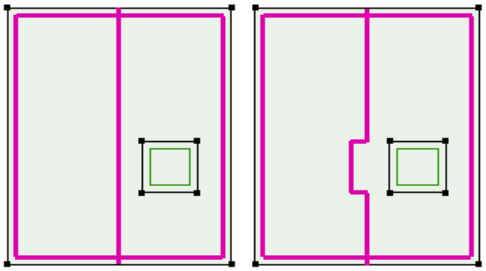
Oś redukcji pasma wirtualnego

Linia środkowa: Oś redukcji pokrywa się z linią środkową pasma wirtualnego, która to linia jest zbiorem punktów środka ciężkości przekrojów prostopadłych do linii wyznaczonej przez dwa punkty końcowe pasma.

Mimośrodowa: Tworzenie przekrojów jest identyczne jak wyżej, ale siły wewnętrzne są redukowane do odcinka umieszczonego mimośrodowo względem punktów końcowych pasma. Mimośród jest regulowany przez odsunięcie od punktów końcowych pasma.

Uwzględnij wewnętrzne obszary

Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, to podczas wyszukiwania linii środkowej i całkowania wyników, program również będzie uwzględniał niewybrane obszary wewnętrzne.
Jeżeli opcja jest odznaczona, to obszary wewnętrzne nie wnoszą nic do osi środkowej, a także są ignorowane podczas całkowania.



Uwzględnienie (po lewej) i ignorowanie (po prawej) obszarów wewnętrznych dla tego samego pręta wirtualnego

Odniesienia

Odniesienia są ustawiane automatycznie. Domyślny kierunek lokalnej osi x pręta wirtualnego jest równoległy do najdłuższego boku ramki ograniczającej wybrane obszary w przestrzeni globalnej. Lokalne kierunki osi y oraz z ustawiane są w ten sam sposób jak automatyczne odniesienia dla elementów prętowych. Odniesienia te mogą zostać dostosowane. **Patrz...** *4.9.21 Odniesienia*

Przekrój poprzeczny

Dla pręta i pasma wirtualnego użytkownik może zdefiniować własny przekrój poprzeczny. Przekrój ten może zostać także odczytany za pomocą COM i użyty w zewnętrznych programach do wymiarowania.

Tworzenie nowych folderów

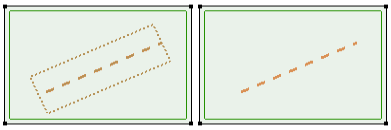
Tworzenie folderów umożliwia sortowanie prętów wirtualnych. Pręty wirtualne mogą być inaczej rozmieszczone poprzez przeciągnięcie ich do nowego położenia, ale w obrębie tej samej grupy (typu). Włączanie / wyłączanie folderu włącza / wyłącza wszystkie wirtualne pręty znajdujące się w nim. **[Ctrl]** oraz **[Shift]** w typowy sposób umożliwiają wielokrotne zaznaczenie.

Pręty wirtualne

Ta kontrolka steruje wyświetlaniem prętów wirtualnych na modelu.

Wyświetl szerokość pasma

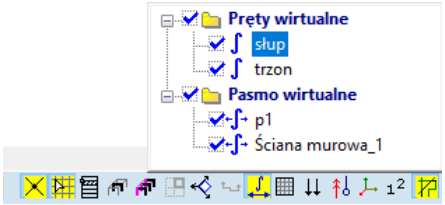
Ta kontrolka steruje wyświetlaniem szerokości pasma wirtualnego.



To samo pasmo wirtualne z włączonym (po lewej) i wyłączonym (po prawej) wyświetlaniem szerokości

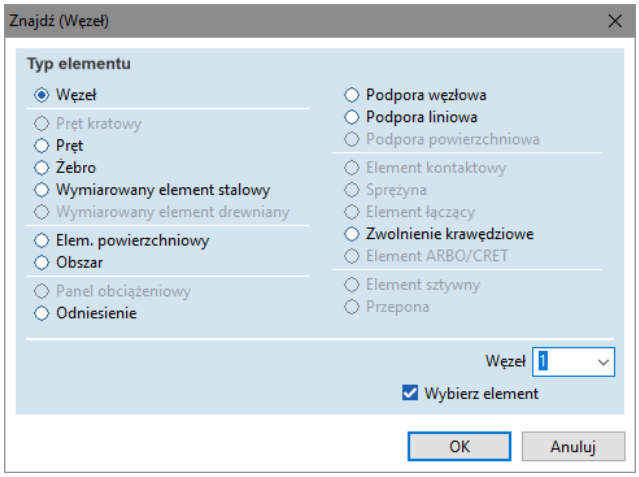
Przycisk szybkich ustawień

Dedykowany przycisk w pasku szybkich ustawień w prawym dolnym narożniku okna głównego programu pozwala sprawnie włączać/wyłączać wirtualne pasma i pręty.

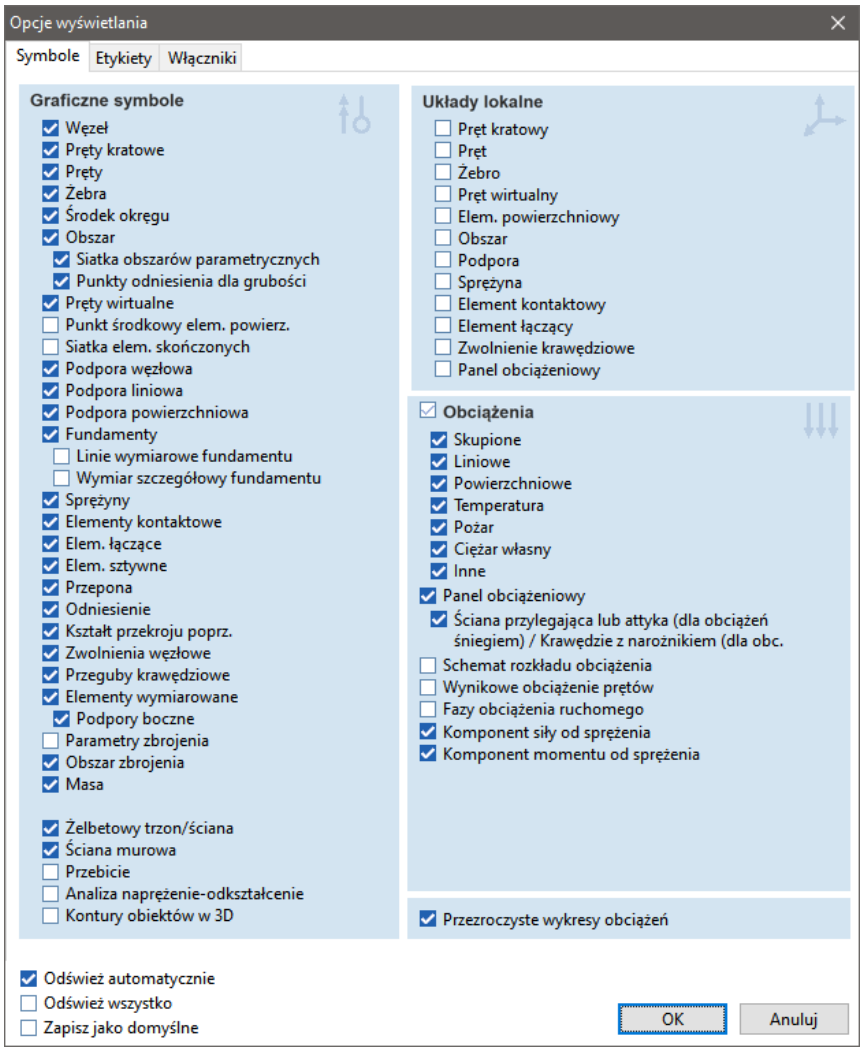


2.16.17 Znajdź

Znajduje obiekt o określonym indeksie i ustawia na nim kursor.
Jeżeli opcja *Wybierz element* jest włączona, to znaleziony element zostanie również wybrany (podświetlony na fioletowo).



2.16.18 Opcje wyświetlania



Symbole

Włącza/wyłącza wyświetlanie symboli.

Wspólne symbole można włączyć/wyłączyć za pomocą przycisku szybkich ustawień.
Symbole mogą być dostosowane przez użytkownika. Patrz *Ustawienia / Preferencje / Symbole graficzne*.

Symbole graficzne

Węzeł

Włącza wyświetlanie węzłów (małe czarne prostokąty).

Pręty kratowe, Pręty, Żebra

Włącza wyświetlanie elementów liniowych

Środek okręgu

- Włącza wyświetlanie środków okręgów jako małych krzyżyków.

Obszar

- Włącza wyświetlanie konturu obszaru.
  Kolor dla obszaru jest taki sam jak kolor typu powierzchni.
  Oznaczenia kolorystyczne: płyta = czerwony, tarcza = niebieski, powłoka = zielony.

Siatka obszarów parametrycznych

- Siatka ma kolor odpowiadający danemu typowi obszaru. Siatka parametrycznie użebrowanego obszaru lub użebrowanej płyty zespolonej przedstawiona jest za pomocą grubych linii, a siatka dla obszaru płyty kanałowej za pomocą cienkich, przerywanych linii.

Punkty odniesienia dla grubości

- Punkty odniesienia określane podczas definiowania obszarów o zmiennej grubości wyświetlane są jako symbole x rysowane cienką, przerywaną linią oraz połączone ze sobą za pomocą przerywanej cienkiej linii w tym samym kolorze.
  Przypisane do nich wartości wyświetlane są tylko w przypadku włączenia *Właściwości / Grubość* na zakładce *Etykiety*.

Pręty wirtualne

- Oś pręta wirtualnego rysowana jest grubą, jasnobrązową linią.

Punkt środkowy elem. pow.

Włącza wyświetlanie punktu środkowego (punktu wyboru) elementów powierzchniowych.

- Oznaczenia kolorystyczne: płyta = czerwony, tarcza = niebieski, powłoka = zielony.

Siatka elementów skończonych

Włącza wyświetlanie wewnętrznych linii i węzłów siatki elementów skończonych.

- Jeżeli ta opcja jest wyłączona, wygenerowane linie siatki nie są wyświetlane.

Podpora węzłowa

Włącza wyświetlanie podpór węzłowych.

- Podpory węzłowe zostają wyświetlone jako grube brązowe linie z symbolem na jej końcu oznaczającym ograniczony lub zwolniony obrót. Mogą także być prezentowane w sposób uproszczony za pomocą kolorów.
  Oznaczenia symbolami: ograniczony obrót wokół danej osi =pusty kwadrat, obrót wokół danej osi zwolniony= koło.
  Oznaczenia kolorami: sztywność po zadanym kierunku – brązowa linia, sztywność wokół danej osi – pomarańczowa linia.

Podpora liniowa

Włącza wyświetlanie podpór liniowych.

- Podpory liniowe wyświetlane są jako gruba krawędź.
  Oznaczenia kolorystyczne: przemieszczenie osiowe=żółty, obrót osiowy= pomarańczowy.

Podpora powierzchniowa

Włącza wyświetlanie podpór powierzchniowych.

- Podpory powierzchniowe wyświetlane są jako jasnobrązowe kreskowanie.

Fundamenty

- Fundamenty zwymiarowane w zakładce Wymiarowanie - Żelbet zostaną wyświetlone w obliczonym lub określonym kształcie i rozmiarze.

  Linie wymiarowe

  - Włącza wyświetlanie linii wymiarowych fundamentu.

Elementy łączące

Włącza wyświetlanie elementów łączących.

- *Elementy łączące węzeł-węzeł* wyświetlane są jako ciągła zielona linia ze strzałką wskazującą na lokalizację łącza.

Elementy łączące linia-linia wyświetlane są jako ciągła zielona linia z przełamaniem na środku, przerywanymi liniami na początku i końcu łącza oraz przerywaną linią, wskazującą na lokalizację łącza.

Elementy sztywne

- Włącza wyświetlanie elementów sztywnych. Wyświetlane są one jako grube, czarne linie.

Przepona

- Włącza wyświetlanie przepon jako grubych, przerywanych linii.

Odniesienie

Włącza wyświetlanie odniesień.

- Czerwony wektor, krzyżyk lub trójkąt.

Kształt przekroju poprzecznego

Włącza wyświetlanie kształtu przekroju poprzecznego pręta kratowego/pręta/żebra.

- Przekroje poprzeczne zdefiniowane przez użytkownika wyświetlane są jako prostokąty, które opisują kształt przekroju poprzecznego.

Zwolnienia węzłowe

Włącza wyświetlanie zwolnień węzłowych i przegubów krawędziowych

Zwolnienie węzłowe:

- Niebieski okrąg: przegub / ślizg
  Niebieski okrąg + krzyż węzeł podatny
  Czerwony okrąg: przegub kulisty
  Niebieski okrąg z wypełn.: przegub plastyczny

Przeguby krawędziowe:

- Okręgi z kreskami przy krawędziach.

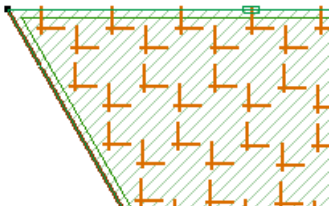
Elementy wymiarowane

Włącza wyświetlanie wymiarowanych elementów stalowych i drewnianych.

- Pomarańczowa linia wzdłuż elementu i jego numer.

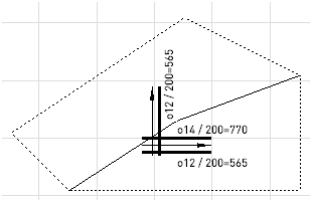
Parametry zbrojenia

- Włącza wyświetlanie dwóch przecinających się linii w środku elementu powierzchniowego, do których zostały przypisane parametry zbrojenia. Kierunki tych linii wskazują zdefiniowane kierunki prętów zbrojeniowych. **Patrz...** *6.5.1.1 Wymiarowanie zbrojenia (moduł RC1)*



Obszar zbrojenia

- Włącza wyświetlanie obszarów zbrojenia niezależnych od siatki elementów skończonych jako przerywane, brązowe kontury.
  Wyświetlone zostaje zarówno górne jak i dolne zbrojenie x i y. Dwa wierzchołki wielokąta obszaru zbrojenia połączone są ze środkiem za pomocą brązowych linii.



Masa

- Włącza wyświetlanie symbolu mas skupionych - brązowe wypełnione koło

Elementy ARBO-CRET

Elementy Aschwanden ARBO-CRET umieszczone w modelu.

- Wyświetlony zostaje schematyczny rysunek elementu.

Elementy AIRDECK

Elementy AIRDECK umieszczone w modelu.

- Wyświetlone zostają wkłady wypełniające jako okręgi w trybie modelu szkieletowego i kule w widoku zrenderowanym.

Zbrojenie trzonów i ścian

- Więcej szczegółów w opisie modułu *0 Wymiarowanie żelbetowych trzonów i ścian (moduł* RC5)

Parametry analizy naprężenie-odkształcenie

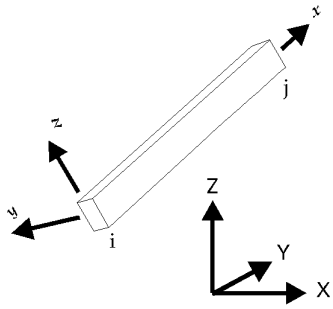
- Elementy konstrukcji z przypisanymi parametrami naprężenie-odkształcenie pokazywane są w oknie głównym za pomocą linii zygzakowej.

Kontury obiektów w 3D

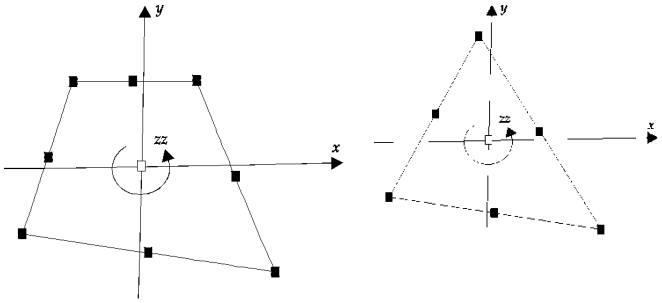
Wyświetla model analityczny z obrysami 3D (przekroje poprzeczne, grubości, mimośrody). Kolory elementów zależą od ich typu architektonicznego (słup, belka, ściana, płyta).

Układy lokalne

Umożliwia wyświetlanie osi elementów w ich lokalnym układzie współrzędnych.



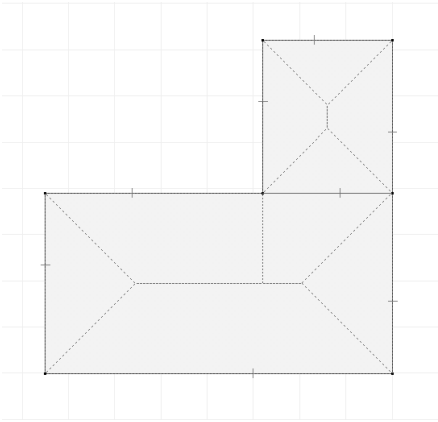
Lokalny układ współrzędnych pręta



Lokalne układy współrzędnych elementów powierzchniowych

Obciążenia

Wyświetlanie symboli obciążeń można ustawić dla każdego typu obciążenia oddzielnie (skupione, rozłożone wzdłuż linii, rozłożone na elemencie powierzchniowym, termiczne, obciążenie ciężarem własnym, ruchome, inne (defekt długości, rozciąganie/ściskanie).
Aby wyświetlić schemat rozkładu obciążenia powierzchniowego na prętach (patrz rysunek po prawej stronie), należy zaznaczyć opcję *Schemat obc. rozłożonego*. Aby wyświetlić wynikowe obciążenia prętów, należy zaznaczyć opcję *Wynikowe obciążenie pręta.*



Panel obciążeniowy

Obrys panelu to gruba, turkusowa linia przerywana. Jeżeli panel jest przyłożony do obszaru, to wokół obrysu wyświetlane są małe prostokąty symbolizujące to powiązanie.

Ściana przylegająca lub attyka (dla obciążeń śniegiem)

Podczas definiowania obciążenia od śniegu, można wybrać krawędzie paneli obciążeniowych do zdefiniowania ściany przylegającej lub attyki. Na krawędziach tych wyświetlane są zarysy tych elementów jako cienkie, brązowe prostokąty.

Wynikowe obciążenie pręta

Wyświetlanie wynikowego obciążenia prętów.

Fazy obciążenia ruchomego

Jeżeli ta opcja jest włączona, wszystkie fazy obciążenia ruchomego wyświetlane są na szaro. Jeżeli jest wyłączona, ruchome obciążenie wyświetlane jest tylko w pozycji ustalonej przez bieżący przypadek obciążenia.

Odśwież automatycznie

Jeżeli ta opcja jest włączona, każda zmiana w ustawieniach sprawi, że aktywny panel okna zostanie natychmiast przerysowany.

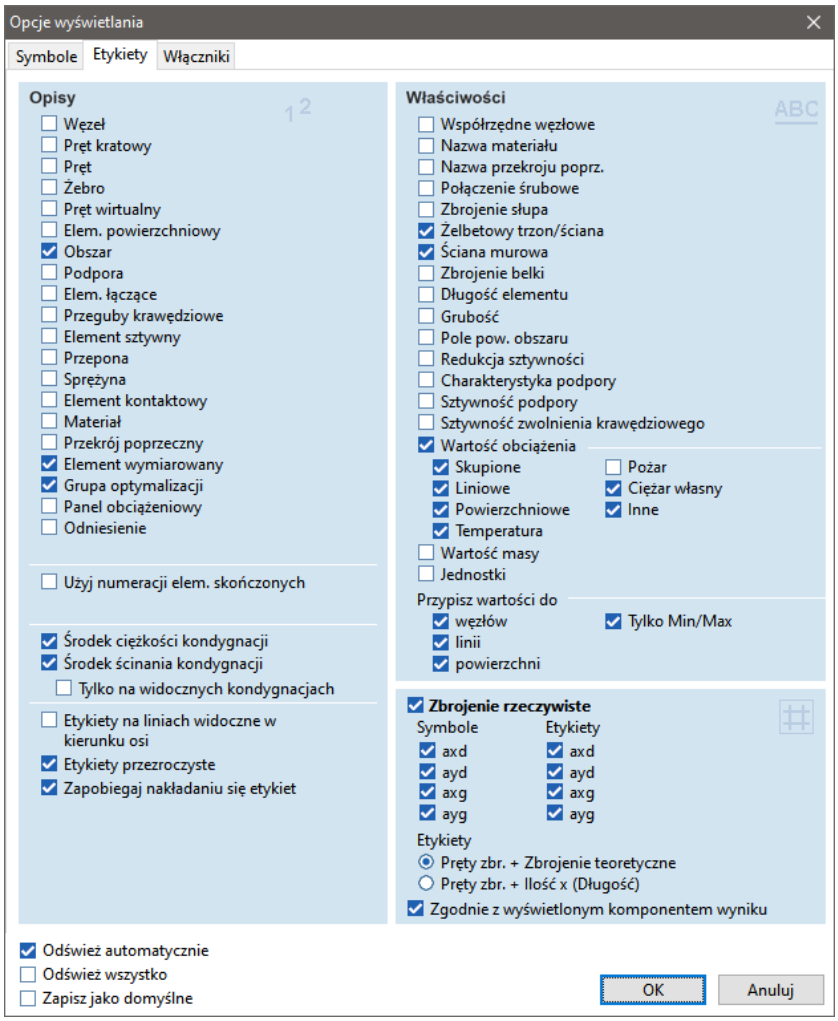
Odśwież wszystko

Zmiany będą dotyczyć wszystkich paneli w trybie wielu okien.

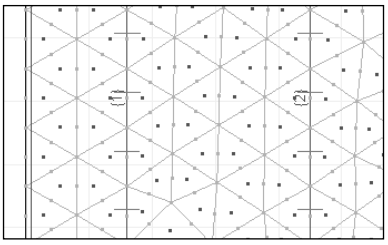
Zapisz jako domyślny

Zapisuje bieżące ustawienia opcji wyświetlania symboli jako domyślne dla nowych modeli.

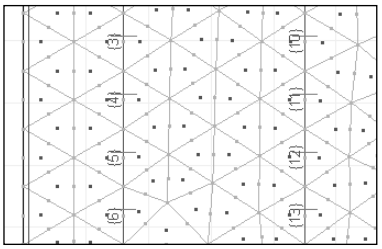
Etykiety



Opisy



Wyświetlanie numeracji węzłów, elementów, materiałów, przekrojów poprzecznych, odniesień.



W przypadku siatkowanych elementów liniowych, zaznaczenie opcji „Użyj numeracji elem. skończonych” wyświetli numerację poszczególnych elementów skończonych.

Użyj numeracji elem. skończonych

Ten włącznik zamienia numerację elementów konstrukcyjnych na rysunkach na numerację elementów skończonych. Tabele wyświetlają także wyniki na bazie elementu skończonego, a nie dla elementów konstrukcyjnych. **Patrz...** *3.2.14 Scalenie elementów konstrukcyjnych, 3.2.15 Rozdzielenie elementów konstrukcyjnych*

Etykiety na liniach widoczne w kierunku osi

Zaznaczenie/odznaczenie opcji *Etykiety na liniach widoczne w kierunku osi* włączy/wyłączy etykiety na liniach widocznych w kierunku patrzącego (widocznych jako punkty).

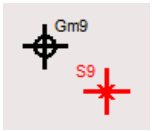
Etykiety przezroczyste

Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, to wszystkie etykiety są przezroczyste. W przeciwnym razie są one rysowane na prostokącie wypełnionym kolorem tła.

Zapobiegaj nakładaniu się etykiet

Jeżeli ta opcja została zaznaczona, to program będzie zapobiegał nakładaniu się etykiet poprzez ich przesuwanie i ukrywanie mniej istotnych z nich. W tym ostatnim przypadku powiększanie widoku modelu może zwiększać liczbę widocznych etykiet. Jeżeli do wyświetlenia jest bardzo duża liczba etykiet, to ta optymalizacja może być czasochłonnym procesem.

Środek ciężkości kondygnacji



Włącza wyświetlanie środka ciężkości każdej kondygnacji. AxisVM konwertuje obciążenia z przypadków użytych do znalezienia postaci własnych w analizie sejsmicznej do mas, a następnie oblicza środek ciężkości dla każdej kondygnacji. Środek ciężkości może wyświetlany jest jako czarny okrąg na czarnym krzyżyku z etykietą *Gmi*, gdzie *i* to indeks kondygnacji.

Środek ścinania kondygnacji

Włącza wyświetlanie środka ścinania każdej kondygnacji. AxisVM oblicza środek ścinania kondygnacji poprzez wyszukanie przekroi ścian i stosuje metodę jak dla przekrojów smukłych.
Środek ścinania wyświetlany jest jako czerwony „x" na czerwonym krzyżyku z etykietą *Si*, gdzie *i* to indeks kondygnacji.

Jeżeli opcja *Tylko na widocznych kondygnacjach* została włączona, to wybrane punkty środkowe ukrytych kondygnacji nie zostaną wyświetlone.

Właściwości

Umożliwia wyświetlanie nazwy i wartości dla materiałów, przekrojów poprzecznych, długości lub grubości elementów, wartości obciążeń, wartości mas itd.
Jeżeli pole wyboru opcji *Jednostki* jest aktywne, etykiety będą zawierały także jednostki.

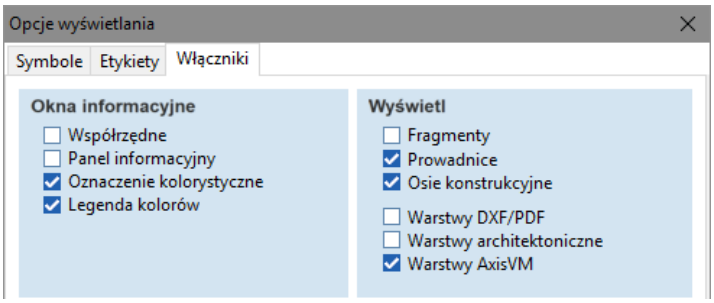
Przypisz wartości do

Steruje wyświetlaniem etykiet z wynikami na rysunku

Zbrojenie rzeczywiste

Umożliwia etykiety zbrojenia górnego i dolnego, osobno w kierunkach *x* i *y* oraz ustawia tryb etykietowania.
Włączenie opcji *Zgodnie z wyświetlonym komponentem wyników* sprawia, że jedynym wyświetlanym komponentem zbrojenia jest tylko ten bieżący.

Włączniki



Okna informacyjne

Współrzędne	**Patrz...** *2.19.1 Okno współrzędnych*
Panel informacyjny	**Patrz...** *2.19.2 Okno panelu informacyjnego*
Oznaczenia kolorów	**Patrz...** *2.19.3 Schemat kolorów*
Legenda kolorów	**Patrz...** *2.19.4 Okno legendy kolorów*

Wyświetl

Umożliwia włączenie/wyłączenie wyświetlania aktualnych fragmentów i prowadnic.

Fragmenty	Włącza/wyłącza wyświetlenie fragmentów użytkownika i fragmentów logicznych.
Prowadnice	Włącza/wyłącza wyświetlenie prowadnic.
Osie konstrukcyjne	Włącza/wyłącza wyświetlenie osi konstrukcyjnych.
Warstwy DXF/PDF	Włącza/wyłącza wyświetlanie warstw podkładu.
Warstwy architektoniczne	Włącza/wyłącza wyświetlanie zaimportowanych warstw obiektów architektonicznych.
Warstwy AxisVM	Włącza/wyłącza warstw zdefiniowanych za pomocą AxisVM.

2.16.19 Opcje modelu

Pozwala wybrać opcje ustawień parametrów rastra, kursora, edycji, rysunków i weryfikacji obciążeń.

2.16.19.1 Raster i kursor

Raster

Raster składa się z regularnej siatki punktów lub linii i ułatwia ustawienie pozycji kursora poprzez nawiązanie do widocznego odniesienia.

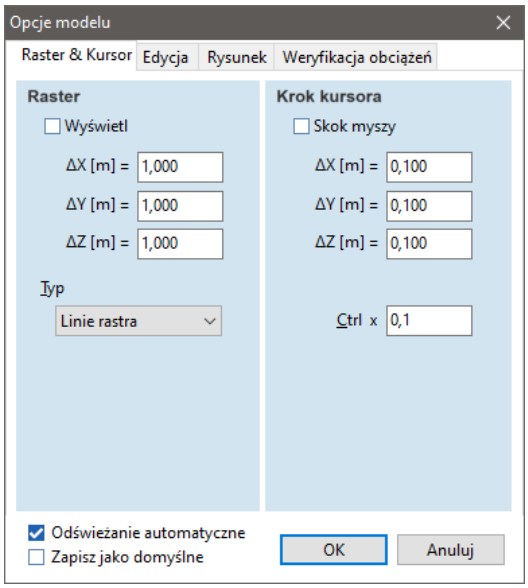
Wyświetl – włącza lub wyłącza widoczność rastra.

ΔX, ΔY, ΔZ – ustawia rozstaw punktów lub linii rastra po kierunku X, Y lub Z.

W zależności od *Typu*, raster może być wyświetlany jako:

Raster punktowy – główne osie układu wyświetlane są za pomocą żółtych krzyżyków, punkty rastra na szaro

Linie rastra – główne osie układu wyświetlane są na żółto, linie rastra na szaro.



Krok kursora

Pozwala na wybieranie współrzędnych na niewidzialnej siatce punktowej (nie raster).

Parametry kroku kursora można ustawić następująco:
Skok myszy - ogranicza ruch kursora myszy do niewidzialnej siatki punktowej, określonej przez wartości kroku kursora poniżej.

ΔX, ΔY, ΔZ - ogranicza ruch kursora do regularnych odstępów. Każde naciśnięcie przycisku ruchu kursora, poruszy kursor w odpowiednim kierunku (X, Y lub Z) o jeden krok (odpowiednio ΔX, ΔY lub ΔZ).

Ctrl x - ustawia wartość współczynnika, który zwiększa lub zmniejsza wielkość kroku kursora poprzez naciśnięcie klawisza **[Ctrl]**, podczas poruszania kursorem. Umożliwia to osiągnięcie odpowiedniej dokładności przy ustalaniu pozycji.

☞ **Krok kursora jest ignorowany, jeżeli kursor zostanie umieszczony na linii nierównoległej do globalnych osi współrzędnych. W takim przypadku kursor przesunie się wzdłuż linii.**
Jeżeli tolerancja edycji jest większa niż krok kursora, mysz będzie przestrzegać niewidzialnej siatki punktowej, określonej przez tolerancję edycji.

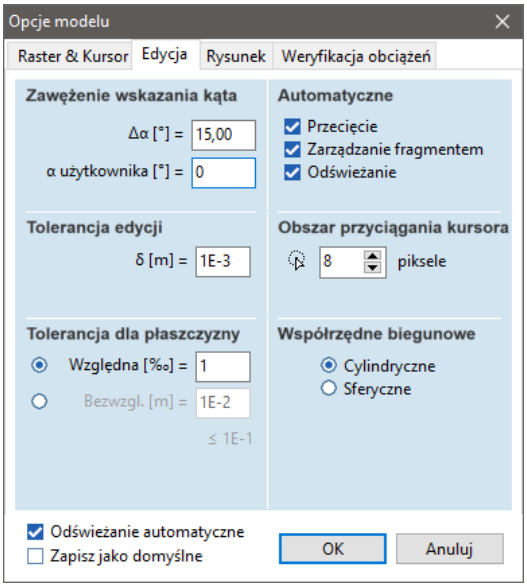
Jeżeli krok kursora jest używany z blokadami, wówczas stosuje się on do zablokowanego kierunku z wartością DX.
Patrz... *4.7.4 Wymuszone poruszanie się kursora*

☞ **Jeżeli rozstaw rastra i krok kursora ustawione będą na taką samą wartość, wówczas węzły zostaną umieszczone i przyciągnięte do rastra.**

2.16.19.2 Edycja

Zawężenie wskazania kąta

Podczas edytowania modelu ruch kursora może zostać ograniczony.
Naciskając klawisz **[Shift]** podczas poruszania kursorem można ustawić kierunek ruchu. W takim przypadku, ograniczony ruch kursora będzie opierać się na dwóch typach kątów (dla innego typu ograniczania ruchu **Patrz...** *4.7.4 Wymuszone poruszanie się kursora)*



Automatyczne

Ustawia polecenia, które są stosowane automatycznie, jeżeli odpowiadające pole wyboru zostało aktywowane.

Przecięcie:
Ustawia obsługę przecięcia linii. W punktach przecięcia linii zostanie wygenerowany węzeł, a linie zostaną przecięte. Jeżeli elementy powierzchniowe są przecięte przez linie, wówczas podzielą się, a powstałe elementy będą posiadać te same właściwości materiału i przekroju poprzecznego jak pierwotne.

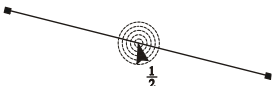
Zarządzanie fragmentem:
Gdy to pole wyboru jest zaznaczone, każdy element narysowany lub zmodyfikowany, będzie powiązany ze wszystkimi aktywnymi fragmentami.

Odświeżanie:
Ustawia automatyczny tryb odświeżania wyświetlania.

Tolerancja edycji

Jeżeli dwa węzły znajdują się w bliższej odległości niż jest ustawiona wartość tolerancji edycji, zostaną one scalone w przypadku weryfikacji siatki. Wartość ta jest także użyta podczas porównywania grubości powierzchni lub długości prętów.

Obszar identyfikacji kursora



Element pod kursorem zostaje rozpoznany, jeżeli znajduje się w obszarze identyfikacji kursora, który jest regulowany. Jednostką odległości dla obszaru identyfikacji kursora są piksele.

Jeżeli więcej niż jeden element znajduje się w tym zakresie, zidentyfikowany zostanie najbliższy z nich.
Patrz... *4.7.1 Identyfikacja kursora*

Tolerancja dla płaszczyzny

Węzły obszarów i powierzchni muszą znajdować się w płaszczyźnie. Jeżeli węzeł obszaru lub powierzchni odbiega od tej płaszczyzny dalej niż na określoną wartość, element zostanie usunięty. Tolerancja płaszczyzny może być określona na dwa sposoby:

Względna [‰]	przez tysiąc największego rozwinięcia wielokąta elementu
Bezwzgl. [m]	podana wartość

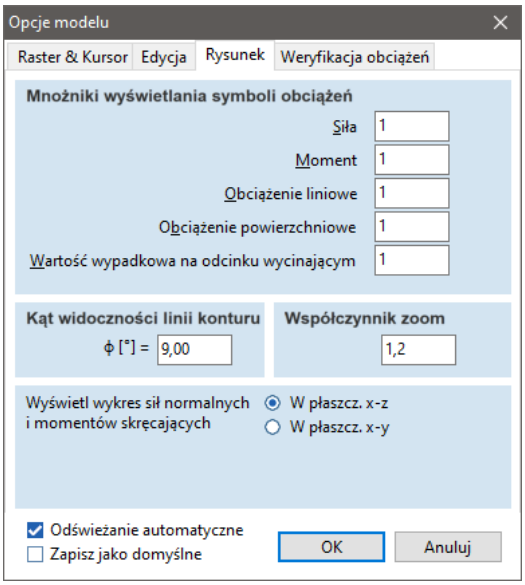
Współrzędne biegunowe

Cylindryczne lub sferyczne.
Patrz... *4.3.2 Współrzędne biegunowe*

2.16.19.3 Rysunek

Mnożniki wyświetlanych symboli obciążeń

Ustawia wielkość wyświetlania symboli obciążeń. Współczynnik ten zostanie zastosowany, jeżeli zaznaczono pole wyboru w *Opcje wyświetlania / Symbole / Obciążenia*.
Wartości współczynników nie wpływają na wartości obciążeń.



Siła

Ustawia wielkość wyświetlania symbolu obciążenia siłą skupioną.

Moment

Ustawia wielkość wyświetlania symbolu obciążenia momentem skupionym.

Obciążenie liniowe / powierzchniowe

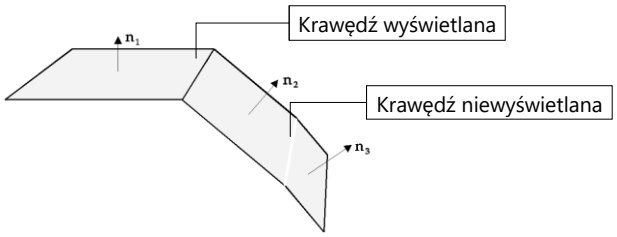
Ustawia wielkość wyświetlania symbolu obciążenia liniowego / powierzchniowego.

Wartość wynikowa na odcinku wycinającym

Ten współczynnik określa wielkość strzałki reprezentującej wartość wynikową nad odcinkiem wycinającym.

Kąt dla wyświetlania linii konturu

Ustawia wyświetlanie wewnętrznych linii siatki (pomiędzy sąsiadującymi elementami powierzchniowymi). Wspólna krawędź dwóch lub większej ilości elementów powierzchniowych jest wyświetlana, jeżeli kąt między normalnymi tych płaszczyzn jest większy niż ustawiona wartość.



Współczynnik zoom

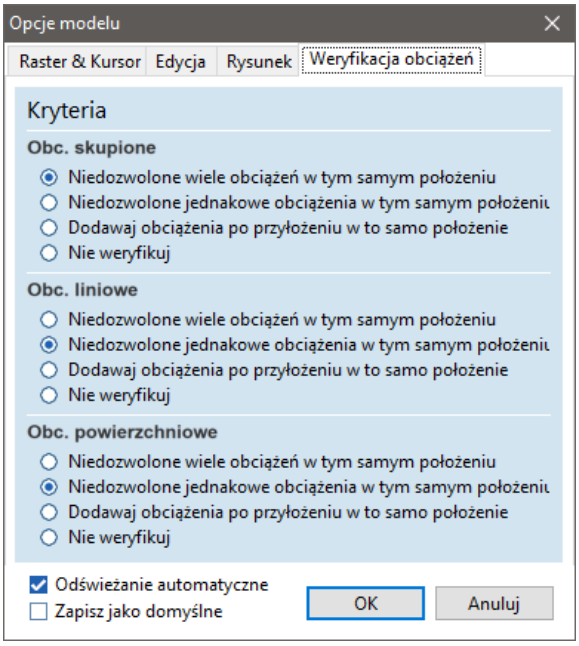
Ustawia skalę powiększenia/pomniejszenia używaną w poleceniach zoom, przypisanych do klawiszy **[+]** i **[-]**.

Wyświetl wykres sił normalnych i momentów skręcających

Do wersji AxisVM 12 siły normalne i momenty skręcające były zawsze wyświetlane w lokalnej płaszczyźnie x-z. Od wersji AxisVM 13 można ustawić również płaszczyznę wyświetlania na x-y.

2.16.19.4 Weryfikacja obciążeń

Kryteria



Okno służy do ustawienia sprawdzenia poprawności zadawanych obciążeń w ramach danego przypadku obciążenia. Weryfikacja uruchamiana jest automatycznie po zdefiniowaniu każdego obciążenia.
Obciążenia skupione odnoszą się do obciążeń węzłowych i skupionych na prętach i obszarach.
Obciążenia liniowe odnoszą się do obciążeń rozłożonych na pręty i liniowych na obszarach.
Obciążenia powierzchniowe zawierają wszystkie obciążenia zadane na powierzchnio panelu lub obszaru.

Dostępne opcje:

Niedozwolone wiele obciążeń w tym samym położeniu

Jeżeli obciążenie zostanie wstawione w miejsce istniejącego już obciążenia, to nowe obciążenie zostanie usunięte.

Niedozwolone jednakowe obciążenia w tym samym położeniu

Jeżeli obciążenie zostanie wstawione w miejsce istniejącego obciążenia o tej samej wartości, to nowe obciążenie zostanie usunięte.

Dodawaj obciążenia po przyłożeniu w to samo położenie

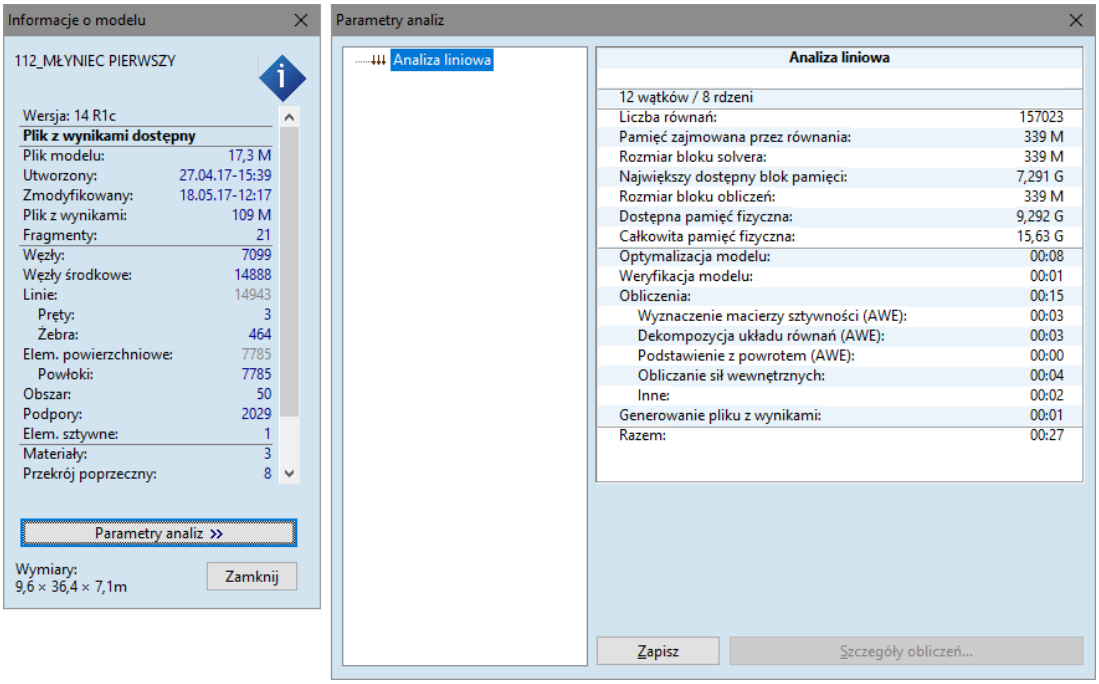
Jeżeli obciążenie zostanie wstawione w miejsce istniejącego już obciążenia, to nie zostanie ono utworzone, ale jego wartość zostanie dodana do obciążenia istniejącego.

Nie weryfikuj

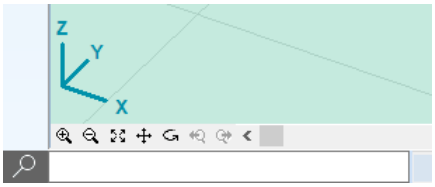
Dowolna liczba obciążeń może zostać zdefiniowana w tym samym położeniu.

2.16.20 Informacje o modelu

Wyświetla główne parametry modelu.
Kliknięcie na przycisk *Parametry analiz* umożliwia poznanie niektórych parametrów ostatniej analizy (użycie pamięci, czas działania). Te informacje są dostępne tylko, jeżeli model był analizowany za pomocą wersji 10 lub późniejszej.

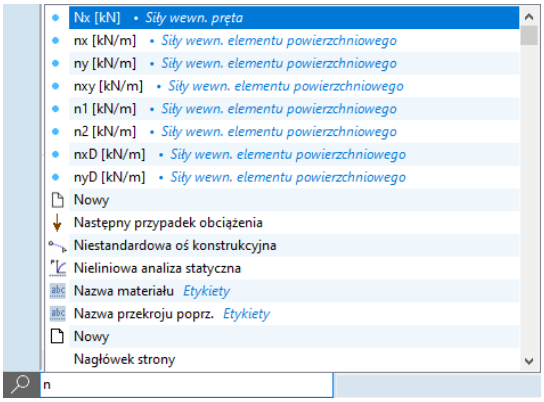


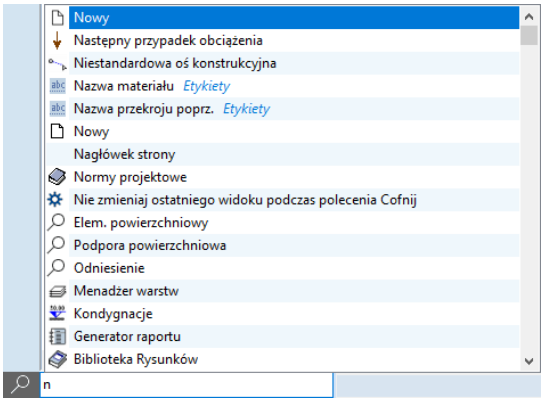
2.17 Wiersz poleceń i wyszukiwania



Większość poleceń i ustawień AxisVM jest dostępna bezpośrednio w specjalnym polu wyszukiwania, zwanym dalej wierszem poleceń i wyszukiwania. Aby z niego skorzystać wystarczy w kliknąć w to pole lub skorzystać ze skrótu *[Ctrl]+[F]* i zacząć wpisywać pierwsze litery polecenia w celu wyświetlenia listy pasujących komend. Funkcjonalność wiersza pozwala również na wyszukiwanie wpisanych liter będącym ciągiem wewnątrz szukanej nazwy, ale w pierwszej kolejności wyświetlone zostaną polecenia, które zaczynają się od wprowadzonych liter.

Zakres wyszukiwanych i dostępnych poleceń zależy od aktywnej zakładki (np. składniki wyników dostępne są na zakładce *Statyka*, ale niedostępne na zakładce *Obciążenia*, podczas gdy polecenie *Przypadek obciążenia* dostępne jest na każdej z nich).





Na wyświetlonej liście z wynikami, niektóre klawisze mają specjalną funkcjonalność

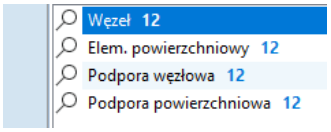
↑ ↓	Przesuń belkę wyboru na liście w górę lub w dół
Enter	Aktywuj polecenie podświetlone belką wyboru
Esc	Anuluj wyszukiwanie

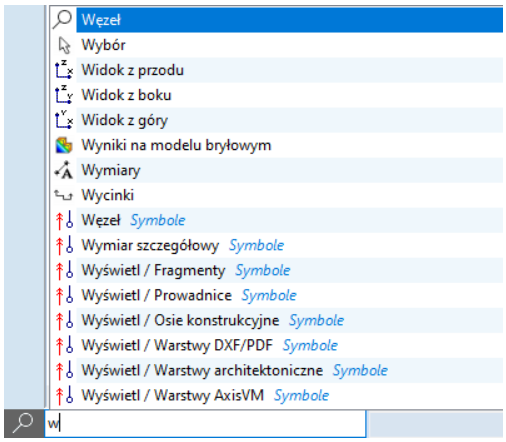
Lista zawiera następujące polecenia i ustawienia:

- Wszystkie polecenia z menu głównego, pionowego paska narzędziowego, okna ze współrzędnymi itd., które mogą mieć przypisywane skróty klawiaturowe
- Wszystkie symbole, etykiety i włączniki dostępne w oknie *Opcje wyświetlania* (*2.16.18 Opcje wyświetlania*)
- Nazwy przypadków obciążeń (na zakładce *Obciążenia* lub na zakładkach z wynikami analiz i wymiarowania)
- Komponenty wyników dla danej sytuacji obciążeniowej (na zakładkach wyświetlających wyniki)
- Ustawienia dostępne z menu *Ustawienia / Preferencje* (*3.3.11 Preferencje*)
- Opcje modelu dostępne z menu *Ustawienia / Opcje modelu* (*2.16.19 Opcje modelu*)
- Elementy mogą zostać znalezione za pomocą swojego numeru lub nazwy
- Elementy mogą zostać zaznaczone z lub bez kryterium filtrowania

Znajdowanie elementów

Przykład: *Znajdź węzeł nr 12.*
Po wprowadzeniu pierwszej litery wyszukiwanego elementu (tutaj węzeł), czyli **w** pojawi się lista pasujących komend. Po wpisaniu spacji oraz **12** lista wyników zawęzi się do elementów spełniających kryteria:





Wciśnięcie *[Enter]* dla podświetlonego elementu *Węzeł 12* wybierze węzeł 12 i przesunie kursor myszki w jego miejsce. Podsumowując, aby znaleźć węzeł 12 w linii poleceń wystarczy wpisać **w 12***[Enter]*.

Ponieważ wiersz poleceń wyszukuje wprowadzany ciąg również wewnątrz wyrażeń, to *podpora węzłowa 5* może również zostać znaleziona poprzez wpisanie **w 5***[Enter]*, wykorzystując fakt, że *Podpora węzłowa* pojawi się na liście po wpisaniu i zawężeniu dostępnych komend.

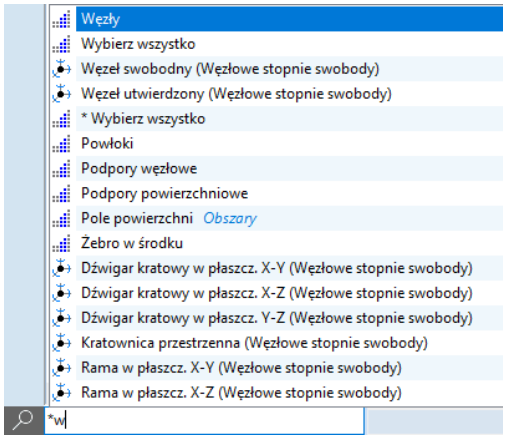
Zaznaczanie elementów

Za pomocą wiersza poleceń możliwe jest również zaznaczanie i odznaczanie pewnych elementów. Jeżeli użytkownik ograniczył zakres modelu w widoku za pomocą polecenia *Fragmenty*, to wiersz poleceń będzie również odnosił się tylko do widocznych części.

Proste zaznaczanie

Jeżeli wpisywany ciąg zostanie poprzedzony znakiem *, to lista wyświetli tylko elementy możliwe do zaznaczenia, a wybrane polecenie zaznaczy je.
Wpisanie ***-** przed ciągiem tekstowym odznaczy wybrane elementy.

Aby zaznaczyć wszystko wpisz ***[Enter]**, aby odznaczyć wszystko wpisz ***-***[Enter]*.
Aby zaznaczyć wszystkie węzły wpisz ***w***[Enter]*.
Węzły z ograniczonymi stopniami swobody mogą być również zaznaczane.
Zaznaczanie pozostałych elementów, takich jak pręty, żebra, obszary itd. działa na tej samej zasadzie.



Zaznaczanie na podstawie właściwości

Wpisz * oraz zacznij wpisywać nazwę materiału lub przekroju poprzecznego (lub wpisz **mat** lub **pr**), aby zaznaczyć elementy wykonane z tego materiału lub mające zadany przekrój poprzeczny. Wpisując ***podciąg**, ***nadciąg** lub ***żebro w środku** można zaznaczyć odpowiedni rodzaj żebra. Należy pamiętać, że wystarczające jest wpisanie pierwszych liter tych nazw, aby móc je wybrać z listy. Podobnie ***Zmienny przekrój poprzeczny** zaznacza takie elementy liniowe, a ***Zmienna grubość** zaznacza odpowiednie obszary. Obszary specjalnego typu mogą zostać zaznaczone poprzez wpisanie ***Użebrowany**, ***Płyta kanałowa**, ***Użebrowana płyta zespolona**, ***Strop zespolony**, ***XLAM**, ***Niestandardowa macierz**

sztywności. Można również wybrać elementy wg typów architektonicznych (***Słup**, ***Belka**, ***Ściana**, ***Płyta**).

Zaznaczanie na podstawie parametru

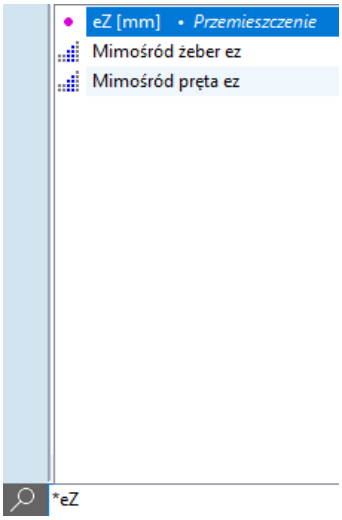
Elementy można zaznaczać na podstawie wartości ich parametrów. Na przykład, można zaznaczyć elementy liniowe o długości większej niż 5m. Po wpisaniu ***dł***[Enter]* w wierszu poleceń, wpis zostanie zamieniony na **Długość (m)*, a lista zostanie zastąpiona przez treść następującego komunikatu:

Wpisz kryterium filtrowania i naciśnij Enter.
Na przykład: >0, >=10, <>20, =30, <=40, <50

Należy następnie kontynuować wpisywanie, aby uzyskać ***Długość (m) > 5***[Enter]*. Po zatwierdzeniu zaznaczone zostaną elementy spełniające powyższy warunek.
Kryterium musi zawierać jeden z następujących warunków: >, >=, <>, =, <=, < oraz wartość liczbową.
Obsługiwane parametry to: ***Długość**, ***Mimośród żeber ey**, ***Mimośród żeber ez**, ***Mimośród pręta ey**, ***Mimośród pręta ez**.

Zaznaczanie wg wartości rezultatów

Jeżeli aktywna jest zakładka *Statyka* lub każda następna (włącznie z wymiarowaniem), to elementy mogą być zaznaczane wg wartości rezultatów. Wybrane wtedy zostaną odpowiednie elementy spełniające dany warunek w przekroju poprzecznym lub punkcie elementu skończonego.
Przykład: *Zaznacz elementy, w których eZ < 0*.
Wpisz ***ez***[Enter]*, a w wierszu poleceń pojawi się ***eZ [mm]**. Następnie kontynuuj wpisywanie, aby uzyskać taki efekt **eZ [mm] < 0***[Enter]*. Spowoduje to zaznaczenie wszystkich węzłów, węzłów środkowych, punktów środkowych elementów powierzchniowych, prętów i żeber, dla których globalna wartość *-Z-* przemieszczenia jest ujemna.



Jeżeli prezentowany składnik wyników na zakładce jest już ustawiony na *eZ*, to polecenie to można jeszcze bardziej skrócić i wpisać tylko ***<0***[Enter]*. Jest to kolejna ważna cecha – jeżeli w wierszu poleceń użytkownik nie określi żadnego składnika wyników w kryterium, to do kryterium program automatycznie użyje aktualnie wybrany składnik z zakładki.

Przykład: *Zaznacz elementy niespełniające warunków wymiarowania na zakładce Wymiarowanie – Stal.*
Wpisz ***sto***[Enter]*, aby wiersz poleceń uzupełnił dalszą treść na ***Stopień wykorzystania []**. Następnie wpisz **>1***[Enter]*. Po zatwierdzeniu program zaznaczy elementy stalowe z przypisanymi parametrami do wymiarowania, których wykorzystanie przekracza 1.

Selekcja na podstawie wielu kryteriów

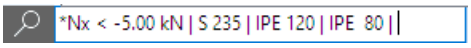
Aby zaznaczyć elementy na podstawie kilku kryteriów, kliknij prawym przyciskiem myszy na ikonce lupki obok wiersza poleceń i z menu podręcznego wybierz opcję *Selekcja na podstawie wielu kryteriów*. Wprowadzanie wielu kryteriów jest bardziej złożone, dlatego w podstawowych sytuacjach zaleca się stosowanie *Selekcja na podstawie jednego kryterium*.

Przykład: *Zaznacz wszystkie słupy, gdzie siła podłużna jest mniejsza niż -5kN.*
Wybierz opcję *Selekcja na podstawie wielu kryteriów* z menu podręcznego. W wierszu poleceń wpisz ***s***[Enter]*. W podstawowym trybie selekcji, ta komenda zaznaczyłaby wszystkie słupy. W selekcji złożonej wpis ten zamieni się na ***Słupy |** i będzie można kontynuować wpisywanie kolejnego warunku. Dopiero kolejne naciśnięcie *[Enter]* zaznaczyłoby wszystkie słupy. W tym przypadku należy kontynuować wpisywanie **nx<**, aby uzyskać taki efekt ***Słupy | Nx [kN]<** a następnie wprowadzić wartość **-5***[Enter]*. Spowoduje to dopisanie drugiego kryterium ***Słupy | Nx [kN]<-5.00 [kN] |**
Jest to ostatni warunek, dlatego należy nacisnąć *[Enter]*, aby zaznaczyć wszystkie słupy, w których wartość siły normalnej jest mniejsza niż -5kN.

Interpretowanie kryteriów wielokrotnych

Kryteria odnoszące się do różnych właściwości (jak do siły normalnej, materiału czy przekroju poprzecznego) są zawsze łączone za pomocą operatora logicznego AND („i" - iloczyn logiczny, czyli wszystkie kryteria muszą zostać spełnione).
Kryteria bazujące na wartościach wyników również łączone są za pomocą operatora AND. Możliwe jest jednak zaznaczenie elementów na podstawie takich kryteriów z operatorem OR (czyli „lub"). Aby uzyskać taki efekt, należy wykonać dwie, następujące po sobie selekcje:

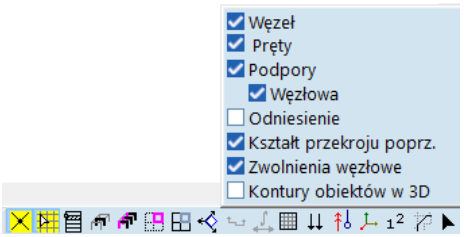
Wielokrotne kryteria określone przez użytkownika w obrębie materiału lub przekroju poprzecznego łączone są operatorem OR („lub"), czyli np. zaznaczone zostaną elementy pasujące do jakiegokolwiek z wprowadzonych przekroi poprzecznych, ale operator AND („i") będzie nadal odnosił się do pozostałych typów warunków. Na przykład:



zaznaczy wszystkie przekroje IPE 80 **lub** 120 pasujące do wszystkich pozostałych kryteriów.

2.18 Przyciski szybkich ustawień

Pasek narzędzi szybkich ustawień umożliwia zmianę ustawień wyświetlania bez potrzeby wchodzenia do okna dialogowego *Opcje wyświetlania* lub *Opcje* modelu. Ikony są zlokalizowane w prawym, dolnym narożniku obszaru graficznego.



Automatyczne przecięcie

Skok myszy

Kondygnacje

Fragmenty w widoku drzewa

Wyświetl fragmenty z wybranymi elementami

Wyświetla tylko zaznaczone elementy

Ukryj zaznaczone elementy

Płaszczyzny robocze

Wycinki po liniach, płaszczyzny wycinające i odcinki wycinające

Wirtualne pasma/pręty

Wyświetl siatkę

Wyświetl symbole obciążeń

Wyświetl symbole

Wyświetl układy lokalne

Numeracja

Warstwy podkładu (widoczność, wykrywanie, blokowanie)

Patrz *2.18.1 Przyciąganie do obiektu.*

☞ **Niektóre z tych ustawień dostępne są także poprzez *Ustawienia / Opcje wyświetlania*.**

2.18.1 Przyciąganie do obiektu

Umieść kursor nad tą ikoną, aby otworzyć okienko z kontrolkami polecenia przyciągania obiektów.

Typy przyciągania domyślnie aktywne w danym momencie oznaczone są w tle białym kółkiem. Aby zobaczyć listę typów kursora zobacz *4.7.1 Identyfikacja kursora*.

Kontrolki danego typu mogą być przełączane w tryb nieaktywny lub aktywny. Nieaktywne tryby przyciągania będą zawsze ignorowane przez kursor myszki, a aktywne tryby będą zawsze wykrywane, niezależnie od wykonywanej w danym momencie komendy.

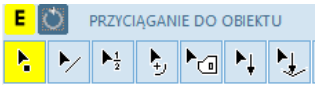
Pierwsze kliknięcie w dany tryb deaktywuje go (czerwone tło), drugie kliknięcie aktywuje (zielone tło), a trzecie kliknięcie przywraca stan domyślny.

Nieaktywny tryb przyciągania

Aktywny tryb przyciągania

Domyślny tryb przyciągania, zależny od aktualnego działania

Kliknięcie w przycisk *E* ustawia przyciąganie w tryb wyłączności. Tylko i wyłącznie kliknięta kontrolka przyciągania będzie aktywna i wykrywana. Tło wybranej kontrolki zostanie podświetlone na żółto.



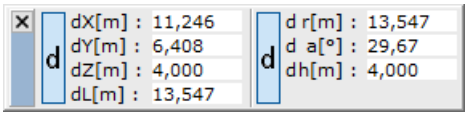
Ten przycisk resetuje tryby przyciągania do ich domyślnego stanu (zależnego od wykonywanego działania.

Błękitna ramka dookoła danej kontrolki przyciągania oznacza, że kursor jest powiązany z wieloma obiektami. Przykładowo kursor dla linii może wykrywać linie konstrukcyjne, linie na modelu architektonicznym lub podkładzie.

2.19 Okna informacyjne

Okna informacyjne znajdują się w obszarze graficznym. Można przemieszczać je po ekranie klikając na pasek tytułu, przytrzymując lewy przycisk myszy i przeciągając je do nowego położenia na ekranie.

2.19.1 Okno współrzędnych



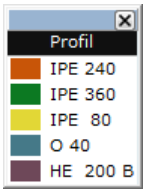
Patrz... *4.4 Okno współrzędnych*

2.19.2 Okno panelu informacyjnego

Dostarcza informacje dotyczące wyświetlania wyników takich jak: aktywny fragment(-y), ustawienia bieżącej perspektywy, typ analizy, bieżąca norma projektowa, bieżący przypadek obciążenia lub kombinacja obciążenia, błąd rozwiązania, bieżący komponent wyników.
Aby uzyskać więcej informacji na temat parametrów E(U), E(P), E(W), E(Eq) - **patrz** *5. Analiz* i *5.1 Analiza statyczna.*

Jeżeli aktywowany jest więcej niż jeden fragment, wyświetlona zostanie lista aktywnych fragmentów pod warunkiem, że liczba fragmentów nie przekracza zakresu. Zakres ten można ustawić klikając prawym przyciskiem myszy w okno panelu informacyjnego i polecenie Ustawienia.

2.19.3 Schemat kolorów



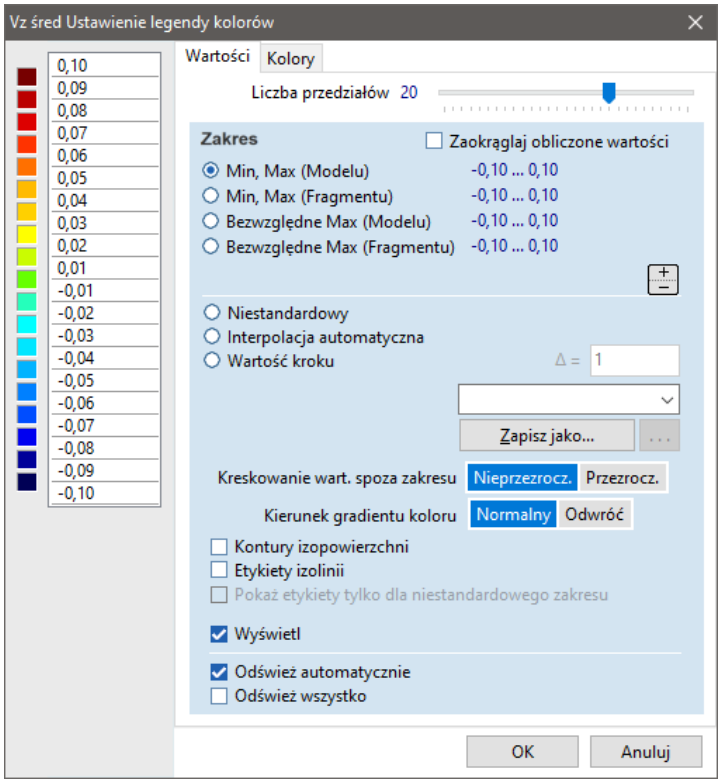
To okno informacyjne zostaje wyświetlone po aktywowaniu schematu kolorów (**Patrz...** *2.16.5 Schematy kolorów*), chyba że jest wyłączone w menu *Okno* (**Patrz...** *3.6.2 Okna informacyjne*).
Typ, do którego odnoszą się oznaczenia, wyświetlany jest w obrębie czarnego nagłówka.

2.19.4 Okno legendy kolorów

Legenda kolorów

Wyświetla legendę kolorów dla aktualnie wyświetlanego komponentu wyników. Użytkownik może zmienić wielkość okna i liczbę poziomów, przeciągając znacznik obok pola edycji liczby poziomów lub wpisując nową wartość. Kolory zostaną natychmiast aktualizowane.

Ustawienie legendy kolorów



Szczegóły legendy kolorów można ustawić w oknie dialogowym *Ustawienie legendy kolorów*. Aby otworzyć to okno dialogowe, należy wystarczy kliknąć na oknie legendy kolorów.

Pierwsza zakładka (*Wartości*) służy do ustawiania zakresu kolorów legendy oraz zawiera kilka opcji odnośnie do wyświetlania wyników i etykiet.

Druga zakładka (*Kolory*) służy do przypisania różnych gradientów kolorów do różnych komponentów wyników.

Wartości

Zakres Określenie kryteriów dla zakresu skali:

Min, Max (Modelu)

Ustawia dolną i górną wartość graniczną do minimalnych i maksymalnych wartości całego modelu. Wartości pośrednie są interpolowane.

Min, Max (Fragmentu)

Ustawia dolną i górną wartość graniczną do minimalnych i maksymalnych wartości aktywnych fragmentów. Wartości pośrednie są interpolowane.

Bezwzgl. Max (Modelu)

Ustawia dolną i górną wartość graniczną do maksymalnej wartości bezwzględnej całego modelu z odpowiednimi znakami dodatnimi i ujemnymi. Wartości pośrednie są interpolowane.

Bezwzgl. Max (Fragmentu)

Ustawia dolną i górną wartość graniczną do maksymalnej wartości bezwzględnej aktywnych fragmentów z odpowiednimi znakami dodatnimi i ujemnymi. Wartości pośrednie są interpolowane.

Zaokrąglaj obliczone wartości Jeżeli zakres skali pomiędzy minimalną i maksymalną wartością jest interpolowany (bez wprowadzonych wartości użytkownika lub zdefiniowanego kroku), wówczas interpolowane wartości mogą zostać zaokrąglone.

Utwórz zakres dodatni / ujemny

Naciśnięcie tego przycisku utworzy zakres składający się tylko z dwóch kolorów: jeden dla wartości dodatnich, a drugi dla wartości ujemnych. Ten dwukolorowy tryb może być przydatny na przykład przy wyświetlaniu różnicy zbrojenia rzeczywistego i teoretycznego.

Niestandardowy

Kliknij element na liście po lewej stronie, aby edytować jego wartość. Jeżeli znajdujesz się w trybie edycji wartości, możesz poruszać się po liście za pomocą klawiszy GÓRA / DÓŁ i edytować bieżący element. Klikając na przycisk OK, wartości odstępów muszą monotonicznie zmniejszać się od góry do dołu.

Interpolacja automatyczna

Jeżeli opcja *Interpolacja automatyczna* jest zaznaczona, ciąg zostanie przeliczony za każdym razem, gdy wprowadzona zostanie nowa wartość. Po wprowadzeniu nowej wartości górnej lub dolnej, ciąg zostanie przeliczony liniowo między wartością górną i dolną. Po wprowadzeniu nowej wartości pośredniej, przeliczony ciąg będzie dwuliniowy, tzn. liniowy pomiędzy wartością górną i nową oraz pomiędzy wartością nową i dolną, ale różnica między krokami może się różnić.

Wartość kroku

Wartości kolorów określane są przez dany krok Δ. Podczas wprowadzania nowej wartości dla danego poziomu, pozostałe poziomy zostaną przeliczone z wykorzystaniem tego kroku. Przełączając się z innego kryterium, szereg rozpocznie się od środkowej wartości wykorzystując ostatnią wartość kroku.

Ustawienia skali można zapisać za pomocą przycisku *Zapisz jako*. Aby przejrzeć zapisane ustawienia, należy kliknąć przycisk [**...**].

Kreskowanie dla wartości spoza zakresu — Kreskowanie dla wartości spoza zakresu można ustawić na *Nieprzezroczyste* lub *Przezroczyste.*

Kierunek gradientu koloru — Umożliwia zmianę kierunku gradientu koloru.

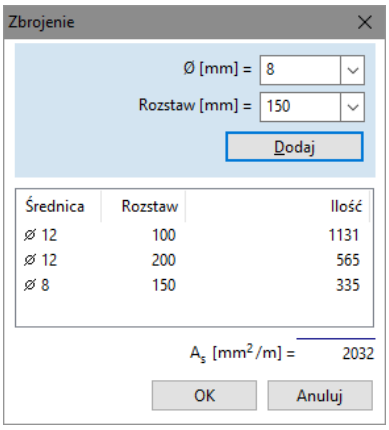
Kontury izopowierzchni — Jeżeli ta opcja jest włączona, na zarysie izopowierzchni wyświetlone zostaną linie ich konturów.

Etykiety izolinii — Zaznaczona opcja powoduje, że izolinie są automatycznie opisywane za pomocą etykiet.

Standardowe ustawienia zakresu odstępów dostępne są także z podręcznego menu legendy kolorów. Aby aktywować menu podręczne, należy kliknąć prawym przyciskiem myszy na okno legendy kolorów.

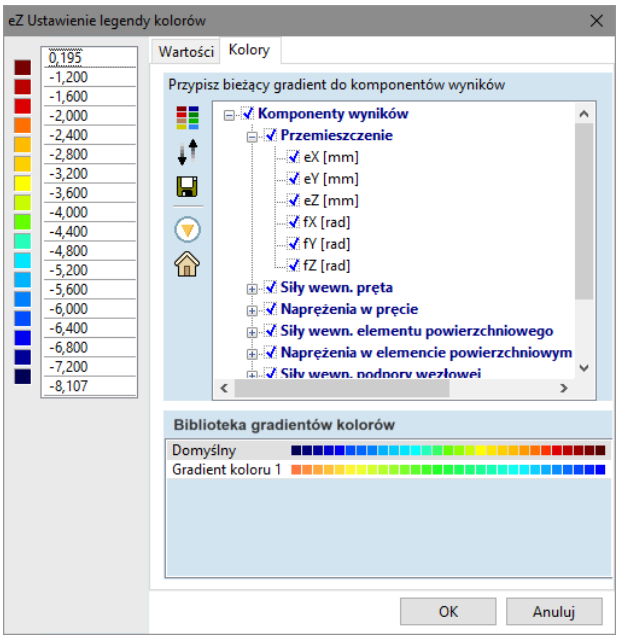
Obliczanie

Podczas wyświetlania wartości powierzchni zbrojenia, klikając w oknie na zakres *Użytkownika* i przycisk *Obliczanie* można pobrać całkowitą powierzchnię zbrojenia na podstawie wprowadzonych średnic prętów i ich rozstawów.



☞ **Wyświetlając schematy zbrojenia rzeczywistego (zastosowanego), program AxisVM nie przypisuje koloru do wartości liczbowych, lecz do konkretnych konfiguracji prętów zbrojeniowych. Można ustawić wyświetlanie wszystkich schematów lub tylko tych w obrębie aktywnych (widocznych) fragmentów.**

Kolory



Kolory można modyfikować przypisując gradient koloru do wartości. Gradient można przypisać do komponentów wyników, np.: przemieszczenia mogą być wyświetlane w innych kolorach niż siły wewnętrzne. Ustawienie gradientu od jasnego do ciemnego może rozwiązać niejednoznaczności przy wydruku w skali szarości.

Nowy gradient koloru
Nowy gradient koloru można zdefiniować przeciągając jego punkty końcowe na kole barw na żądaną pozycję.

Odwróć gradient koloru
Zamienia kolor początkowy gradientu z końcowym.

Zapisz gradient koloru do biblioteki gradientów koloru
Gradienty można zapisywać do biblioteki w celu ponownego użycia.

Zapisz bieżące ustawienia gradientów kolorów jako domyślne
Bieżące przypisane komponenty wyników będą domyślnymi ustawieniami dla nowych modeli.

Przywróć domyślne ustawienia gradientów kolorów
Ustawia domyślne ustawienia kolorów dla komponentów wyników.

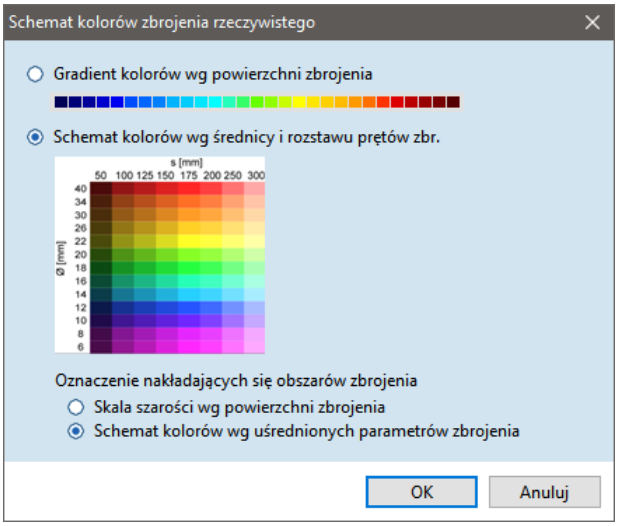
Kliknięcie w element z *Biblioteki gradientów kolorów* powoduje zastosowanie danego gradientu.

Schemat kolorów zbrojenia rzeczywistego

Jeżeli wyświetlany jest komponent wyników zbrojenia rzeczywistego (*xd*, *yd*, *xg*, *yg*) to legenda kolorów wyświetla wszystkie układy zdefiniowanego zbrojenia wg następującego formatu:

Ø16/200 (1005) [3,4]
tzn. *Øśrednica/rozstaw (pole pow. zbr.) [położenie pręta do jego osi]*

Kliknięcie w legendę kolorów wyświetla opcje schematu kolorów dla zadanych układów zbrojenia.



Gradient koloru wg powierzchni pręta

Kolor przypisany jest na podstawie skali kolorów i zadanej powierzchni zbrojenia.

Schemat kolorów wg średnicy i rozstawu prętów zbr.

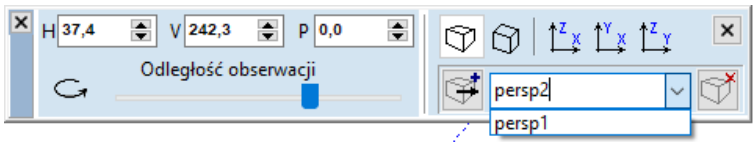
Kolor przypisany jest wg wyświetlanego poniżej schematu średnica-rozstaw prętów. Barwa zależy od średnicy, a jasność od rozstawu.
Jeżeli obszary zbrojenia nakładają się, to kolor obszarów nachodzenia może zostać określony jedną z następujących metod:

Skala szarości wg powierzchni pręta
Odcień szarości przypisany jest do powierzchni zbrojenia zgodnie z całkowitą jego zadaną powierzchnią.

Schemat kolorów wg uśrednionych parametrów zbrojenia
Uśrednione parametry zbrojenia nakładającego się obliczane są jako

$$s = \frac{1}{\sum_i \left(\frac{1}{s_i}\right)}; \quad d = s \cdot \sum_i \frac{d_i}{s_i}$$

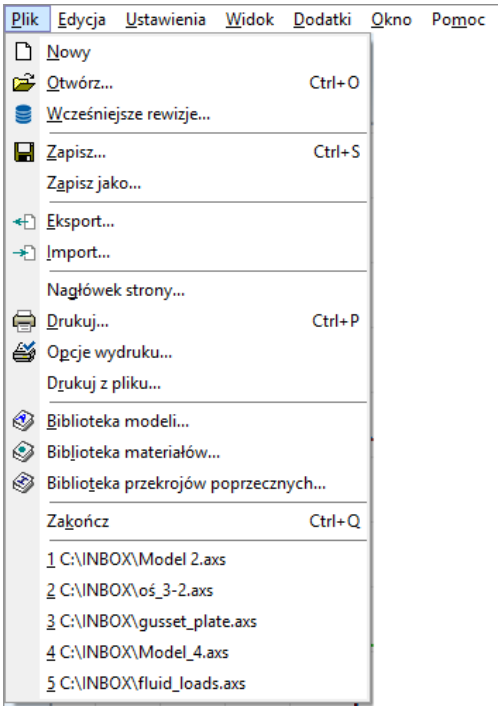
2.19.5 Narzędzie okna perspektywy



Patrz... *2.16.3 Widoki*

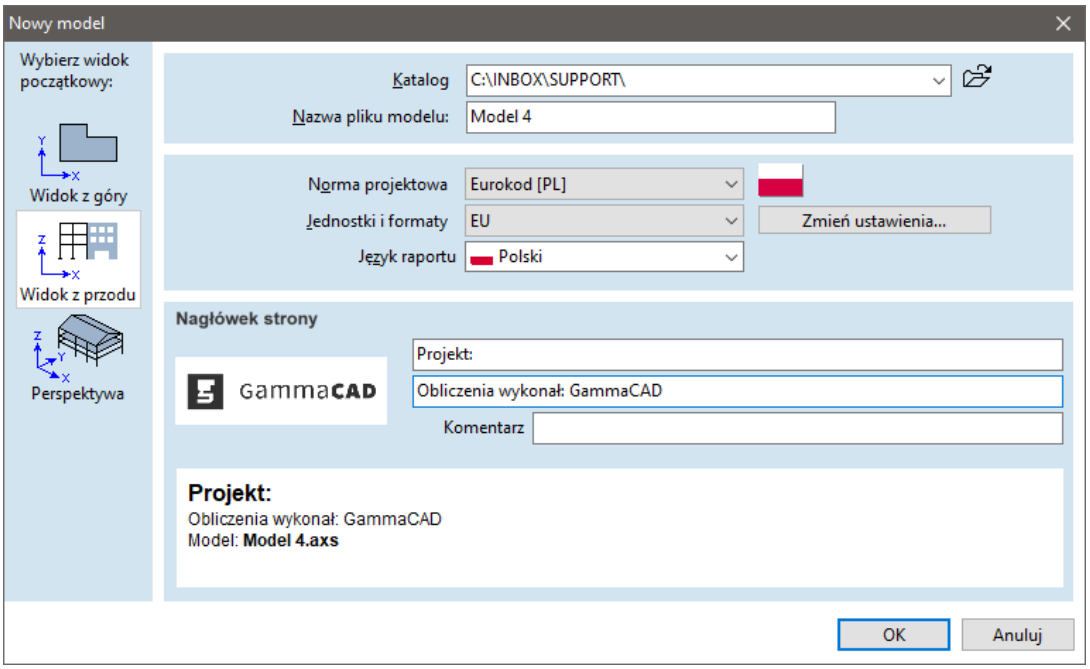
3 Menu główne

3.1 Plik



Polecenia menu zostały opisane poniżej.

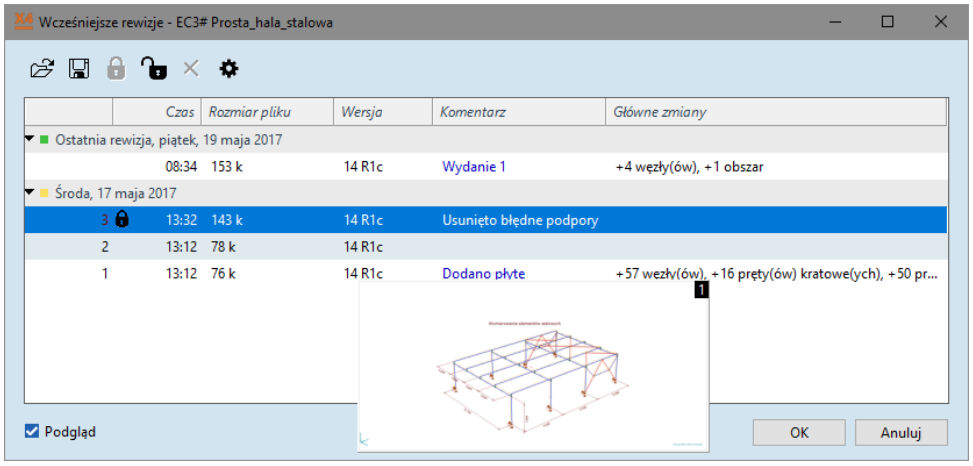
3.1.1 Nowy model



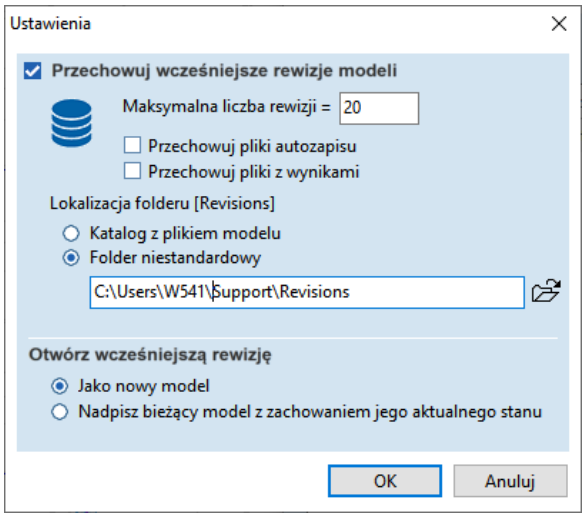
Tworzy nowy model bez nazwy. Użyj tego polecenia, aby zacząć nową sesję tworzenia modelu. Jeżeli bieżący projekt nie został jeszcze zapisany, wyświetli się komunikat z pytaniem o zapisanie najpierw aktualnego zadania. Dowiedz się więcej o poleceniach *Zapisz* i *Zapisz jako* w celu zapisania swojego bieżącego modelu.

Najpierw należy określić nazwę dla nowego modelu. Można wybrać odpowiedni standard i system jednostek. W sekcji Nagłówek można wprowadzić szczegółowe informacje, które pojawią się na każdej wydrukowanej stronie. Nowy model korzysta z domyślnych ustawień programu.
Jeżeli logo nagłówka strony zostało wybrane przy druku rysunków, tabel lub raportów to pojawi się również tutaj. Kliknij w logo lub w jego puste miejsce, aby je zmienić lub wejdź w *Ustawienia / Preferencje / Raport... / Logo firmy / Ustawienia...*

3.1.2 Wcześniejsze rewizje...



AxisVM może zachować poprzednie rewizje modelu. Opcja ta jest włączona domyślnie. Okno dialogowe *Wcześniejsze rewizje* wyświetla listę rewizji w odwróconym porządku chronologicznym (najnowsza rewizja jest na górze listy). Kolumna *Rozmiar pliku* pokazuje rozmiar pliku modelu oraz rozmiar pliku z wynikami (jeżeli taki istnieje).
Rewizje mogą być wczytywane oraz zablokowywane. Istnieje możliwość wprowadzenia komentarza do rewizji, poprzez kliknięcie w komórkę *Komentarz*.



Maksymalna liczba rewizji może zostać ustawiona w oknie dialogowym *Ustawienia*. Jeżeli liczba rewizji osiągnie ustawioną maksymalną liczbę rewizji, to najstarsza rewizja jest usuwana podczas zapisu nowej. Możliwe jest także przechowywanie automatycznie zapisanych rewizji i plików z wynikami (ustawienia automatycznego zapisu znajdują się w *Ustawienia / Preferencje / Bezpieczeństwo danych*. **Patrz...** *3.3.11 Preferencje*)
Pliki z autozapisu wyświetlane są w kolorze szarym, a ich numer rewizji znajduje się w nawiasie.
Folder *Revisions* zawierający kolejne wersje modelu jest domyślnie tworzony w folderze z plikiem modelu, ale lokalizację tego folderu można zmienić.

Pliki autozapisu wyświetlane są na liście rewizji w kolorze szarym a ich numer rewizji w nawiasie.

Wcześniejsza rewizja może zostać otwarta na dwa sposoby: *Jako nowy model* lub *Nadpisz bieżący model z zachowaniem jego aktualnego stanu*.
Druga opcja zapisuje rewizję aktualnego stan modelu, a następnie otwiera wcześniejszą rewizję nadpisując model.

Powyższe okno ustawień dostępne jest także z poziomu *Ustawienia / Preferencje / Bezpieczeństwo danych*.

Otwórz – Zapisuje wybraną rewizję jako nowy plik modelu i otwiera go. Podczas tej operacji możliwe jest zachowanie w nowym pliku modelu jego wcześniejszych rewizji.

Zapisz wcześniejszą rewizję – Zapisuje wybraną rewizję pod nową nazwą. Podczas tej operacji możliwe jest zachowanie w nowym pliku modelu jego wcześniejszych rewizji.

Zablokuj rewizję – Blokuje wybrane rewizje. Zablokowane rewizje nie są usuwane, nawet w sytuacji, gdy liczba zapisanych rewizji osiągnie ich liczbę maksymalną, zdefiniowaną w *Ustawieniach*.

Odblokuj rewizję – Odblokowuje wybrane rewizje. Jeżeli rewizja jest odblokowana, to w razie konieczności może zostać usunięta.

Usuń – Usuwa wybrane rewizje. Zablokowane rewizje są pomijane.

☞ **Wcześniejsze rewizje są przechowywane w podfolderze** *Revisions**Nazwa_modelu***, utworzonym w folderze z plikiem modelu. Kopiowanie lub przenoszenie samego pliku z modelem nie kopiuje i nie przenosi tych podfolderów. W celu skopiowania lub przeniesienia rewizji, konieczne jest skopiowanie lub przeniesienie wspomnianych podfolderów do nowego położenia.**

3.1.3 Otwórz

[Ctrl]+ [O]

Otwiera istniejący model AxisVM. Jeżeli bieżący projekt nie został jeszcze zapisany, wyświetli się komunikat z pytaniem o zapisanie najpierw aktualnego zadania. Dowiedz się więcej o poleceniach *Zapisz* i *Zapisz jako* w celu zapisania swojego bieżącego modelu.
Wybranie tego polecenia wywoła okno dialogowe Otwórz.
Jeżeli folder, który pojawi się w oknie dialogowym jest tym właściwym, należy wpisać nazwę pliku do pola edycyjnego lub wybrać go z listy. Jeżeli katalog nie jest właściwy, wybierz nazwę dysku i katalogu oraz nazwę pliku.

☞ **Program AxisVM zapisuje dane modelu w plikach o nazwach** `Nazwamodelu.AXS` **(dane wejściowe) i** `Nazwamodelu.AXE` **(wyniki). Oba pliki zawierają ten sam unikalny identyfikator dla każdego zapisu, dzięki czemu program może sprawdzić czy pliki AXS i AXE należą do tej samej wersji modelu.**

Okno dialogowe *Otwórz* wygląda inaczej w systemach operacyjnych Windows XP oraz Vista / Windows 7 / Windows 8.

3.1.4 Zapisz

[Ctrl]+ [S]

Zapisuje model pod nazwą wyświetlaną u góry ekranu AxisVM.
Jeżeli bieżący projekt nie został jeszcze zapisany, automatycznie wyświetlone zostanie okno dialogowe *Zapisz jako*, sugerujące wpisanie nazwy. Użyj polecenia *Zapisz jako* jeśli zmieniasz istniejący model, ale chcesz zachować pierwotną wersję.
Aby tworzyć kopie zapasowe pliku, zaznacz pole wyboru *Twórz kopię zapasową* w *Ustawienia / Preferencje / Integralność danych / Autozapis*.
Jeżeli zaznaczono opcję *Ustawienia / Preferencje / Integralność danych / Skompresowany plik AXS* to plik z modelem będzie zapisywany z formacie skompresowanym. Średni wielkość pliku skompresowanego wynosi ok. 10% wielkości pierwotnej. Kompresja jest bardziej wydajna przy dużych plikach.

3.1.5 Zapisz jako

Nazywa i zapisuje model. Tego polecenia używa się, aby nadać nazwę i zapisać model, który wcześniej nie był zapisany lub wprowadzając zmiany do istniejącego modelu, ale chcąc zachować pierwotną wersję.
Wybranie tego polecenia wywoła okno dialogowe *Zapisz jako*.

Konwertowanie modeli

Modele utworzone we wcześniejszych wersjach programu AxisVM (jeżeli takie istnieją), zostaną przekonwertowane podczas ich pierwszego otwarcia, do bieżącej wersji formatu pliku.

☞ **Polecenie** *Plik / Zapisz jako / Format pliku* **umożliwia zapisanie modelu we wcześniejszych wersjach.**

Okno dialogowe *Zapisz* wygląda inaczej w systemach operacyjnych Windows XP oraz Vista / Windows 7 / Windows 8.

3.1.6 Eksport

Polecenia eksportu tworzą różne typy plików, służące do przenoszenia danych do innych programów inżynierskich.

3.1.6.1 Eksport do DXF

AutoCAD (.dxf)*

Format ten zapisuje geometrię modelu do pliku `DXF` w celu użycia w innych programach CAD. Geometria zostaje zapisana w rzeczywistych wymiarach w pliku *`Nazwamodelu`**`.DXF`***.

Wybranie tego polecenia menu wywoła okno dialogowe, które umożliwi określenie jednostek miary w eksportowanym pliku. Wyniki ustawione w bieżącym widoku (wykresy, izopowierzchnie itd.) mogą również zostać wyeksportowane.

Możliwe są następujące rodzaje formatów zapisu DXF:

- *Plik AutoCAD 2004 DXF*
- *Plik AutoCAD 2000 DXF*
- *Plik AutoCAD R12 DXF*
- *Plik AutoCAD ze zbrojeniem*
- *Plik AutoCAD 2004 ze zbrojeniem*

Pliki AutoCAD ze zbrojeniem zawierają izolinie wymaganego zbrojenia powierzchniowego wyeksportowanego z etykietami i legendą kolorów. Każdy kierunek zbrojenia ma przypisaną w DXF osobną warstwę. Aby wyeksportować te dane do pliku DXF, należy uruchomić proces eksportu z zakładki *Wymiarowanie – Żelbet*, przy włączonych wynikach dla zbrojenia wymaganego (teoretycznego).

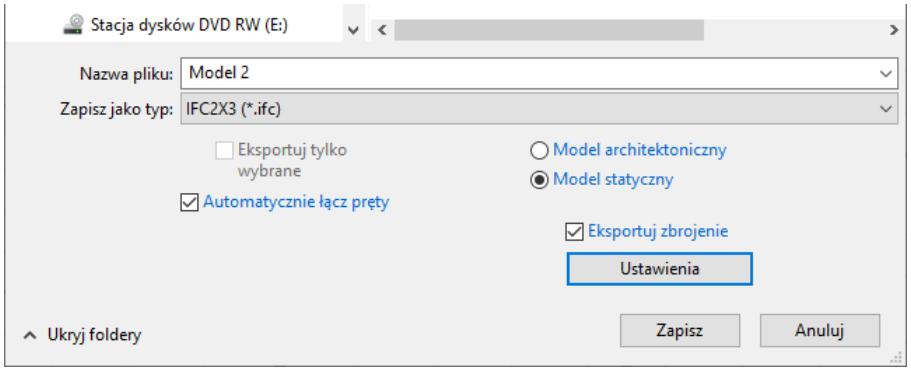
Zaleca się używanie formatu AutoCAD 2004, aby uniknąć utraty danych. Wcześniejsze formaty DXF obsługują tylko paletę 256 kolorów i tylko znaki ASCII.
Dodatkowe formaty eksportu do DXF zostały opisane w *3.1.6.8 Eksport do innych programów*

3.1.6.2 Eksport do IFC

IFC 2x, 2x2, 2x3 (.ifc)*

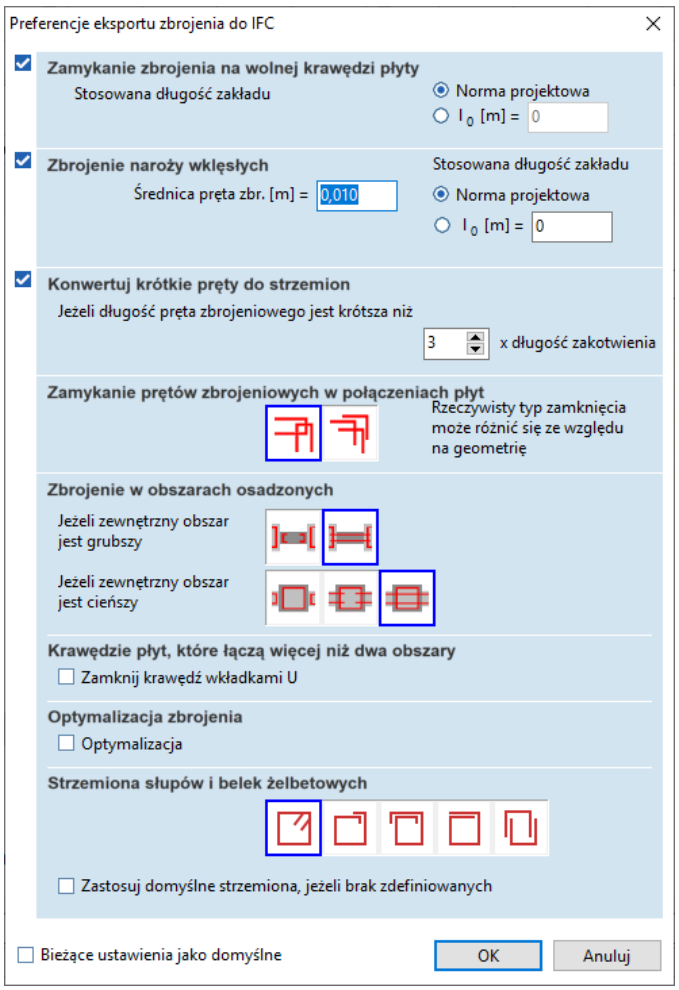
Eksport do tego formatu wymaga **modułu IFC.**
Eksportuje plik IFC opisujący model za pomocą obiektów architektonicznych (ściany, płyty, słupy, belki). Pliki IFC można importować do programów ArchiCAD, AutoDesk ADT, Revit, Nemetschek Allplan, Tekla oraz innych programów.

Od wersji 13 R1 użytkownik ma możliwość eksportu zbrojenia do pliku IFC.



Zaznaczenie opcji *Eksportuj zbrojenie* i kliknięcie przycisku *Preferencje* wyświetli okno dialogowe, w którym można ustawić parametry eksportowanego zbrojenia rzeczywistego.

Wbudowany w AxisVM algorytm pomaga wyeksportować nie tylko zadane przez użytkownika średnicę i rozstaw zbrojenia, ale również kształt wkładek jak np.: kształtki U, L itd.



Zamykanie zbrojenia na wolnej krawędzi płyty
wolne krawędzie mogą zostać zamknięte za pomocą wkładek U, których długość wyznaczana jest na podstawie długości zakładu pręta. Długość zakładu obliczana jest wg ustawień wybranej w programie normy lub podana przez użytkownika jako wartość l_0.

Zbrojenie naroży wklęsłych
naroża wklęsły mogą zostać wzmocnione za pomocą prostych prętów, których długość wyznaczana jest na podstawie długości zakładu pręta. Długość zakładu obliczana jest wg ustawień wybranej w programie normy lub podana przez użytkownika jako wartość l_0. Opcja ta może być włączona lub wyłączona.

Konwertuje krótkie pręty do strzemion
Aby uniknąć zbędnego wstawiania prętów, algorytm może mieć zdefiniowaną minimalną długość prętów prostych. Długość tę określa się jako wielokrotność długości zakotwienia. Pręty proste o długości mniejszej niż zdefiniowana wartość będą zamieniane na strzemiona.

Zamykanie prętów zbrojeniowych w połączeniach płyt
Wzdłuż wspólnej krawędzi płyt, które nie leżą w jednej płaszczyźnie algorytm może połączyć zbrojenie poszczególnych płyt za pomocą wkładek U lub L. Rzeczywista geometria tych wkładek zależy od grubości i kąta połączonych płyt. W niektórych przypadkach może także zrewidować i zmienić wybór użytkownika. Wymiary wkładek uwzględniają minimalną długość zakotwienia.

Zbrojenie w obszarach osadzonych
Metoda zamykania zbrojenia w obszarach osadzonych w innych obszarach może zostać wybrana przez użytkownika. Zbrojenie obszarów może być traktowane niezależnie, może zostać wpuszczone w jeden i drugi obszar lub jeżeli obszar osadzony jest dość mały to pręty zewnętrznego obszaru mogą być przez niego przepuszczone.

Krawędzie płyt, które łączą więcej niż dwa obszary
W takich przypadkach nie ma automatycznego rozwiązania, więc użytkownik może wybrać, czy chce je całkowicie pominąć, czy też zamknąć je niezależnie od siebie.

Optymalizacja zbrojenia
Optymalizacja służy do równomiernego rozłożenia prętów, gdy obszary zbrojenia się nakładają. Obliczona długość całkowita wkładki jest zawsze zaokrąglana w górę do najbliższej wartości z następującego zakresu: 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0, 2.4, 3.0, 4.0, 6.0, 12.0m.

Strzemiona słupów i belek żelbetowych
Strzemiona zostaną wyeksportowane do pliku zgodnie z ustawieniami jakie zostały im przypisane podczas wymiarowania elementów. Jeżeli ustawienia te z jakiegoś powodu są niedostępne, to

użytkownik za pomocą powyższej opcji może przyjąć ich rozstaw zgodnie z wymogami normowymi lub całkowicie je pominąć. Kształt przyjmowanych strzemion można wybrać poprzez kliknięcie odpowiedniej ikony spośród pięciu dostępnych.

Eksportuj dane modelu

Jeżeli wybrana została opcja *Model architektoniczny*, wyeksportowane zostaną tylko obiekty architektoniczne. Jeżeli wybrana została opcja *Model statyczny*, w pliku IFC uwzględnione zostaną siatki elementów skończonych, obciążenia, przypadki obciążeń, grupy obciążeń oraz kombinacje obciążeń. Nie zostaną uwzględnione obciążenia dynamiczne, linia wpływu oraz obciążenia ruchome.

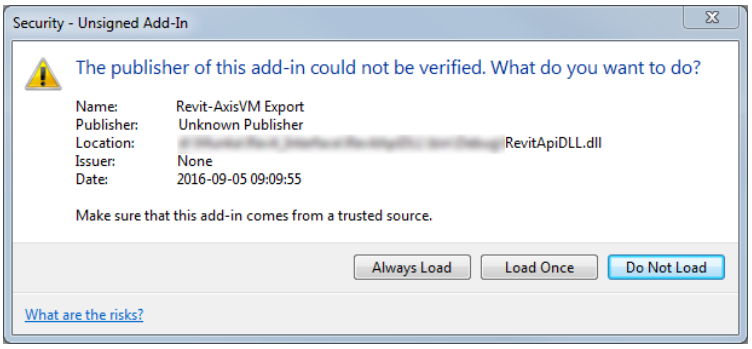
3.1.6.3 Eksport do Revit

Eksport do Revit

AxisVM może wyeksportować dane poprzez bezpośrednie połączenie z Autodesk Revit (wersja 2015 lub wyższa). Metoda ta bazuje na API programu Revit, który zezwala innym programom na wysyłanie zapytań oraz modyfikację jego własnej bazy danych.
Na zakończenie procesu instalacyjnego programu AxisVM, jego instalator tworzy w katalogu AxisVM nowy katalog o nazwie ''RevitImport'' i kopiuje do niego wszystkie potrzebne pliki.
Plik o rozszerzeniu .addin utworzony zostaje w katalogu C:\Użytkownicy\<Nazwa użytkownika>\AppData\Roaming\Autodesk\Revit\Addins\yyyy\, gdzie ''yyyy'' opisuje liczbę większą lub równą 2015. Zarówno ten plik jak i cała zawartość katalogu ''RevitImport'' są niezbędne dla poprawnej komunikacji pomiędzy tymi dwoma programami.

Jeżeli program Revit jest zainstalowany na komputerze, to dodatek Revit zostanie automatycznie zainstalowany wraz z instalacją AxisVM, niezależnie od tego czy moduł ten jest wykupiony w danej konfiguracji AxisVM czy też nie.

☞ **Od wersji Revit 2017 pojawia się poniższe dodatkowe okienko w momencie inicjalizacji każdego dodatku lub wywołania oprogramowania innych firm.**



W tej sytuacji należy kliknąć „Load Once" jeżeli dodatek ma zostać wczytany lub „Always Load" jeżeli to okna ma się nie pojawiać przy następnym ładowaniu dodatku.

Eksportowane dane

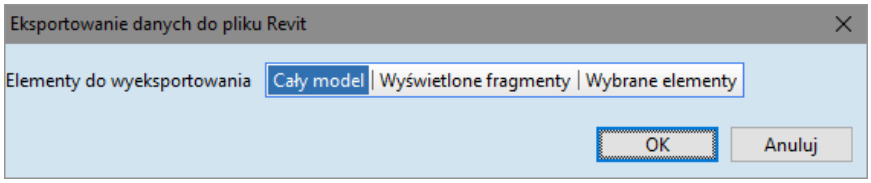
W obecnej wersji eksportowane do Revit są tylko dane geometryczne:

- elementy prętowe z przypisanym materiałem i profilem
- obszary z materiałem
- podpory

Używanie modułu REV

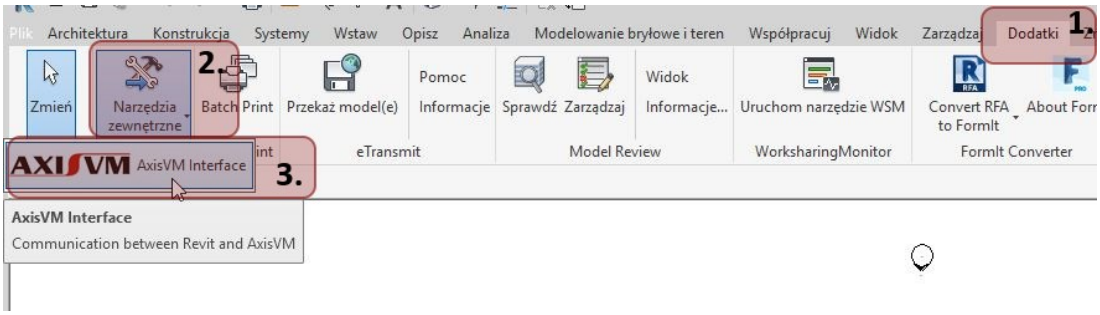
Proces eksportu musi zostać zainicjowany zawsze z AxisVM w następujący sposób:
Menu Plik -> Eksport -> Eksport do Revit (*.are)

Po wybraniu przycisku Ustawienia, można wybrać kilka opcji eksportu:



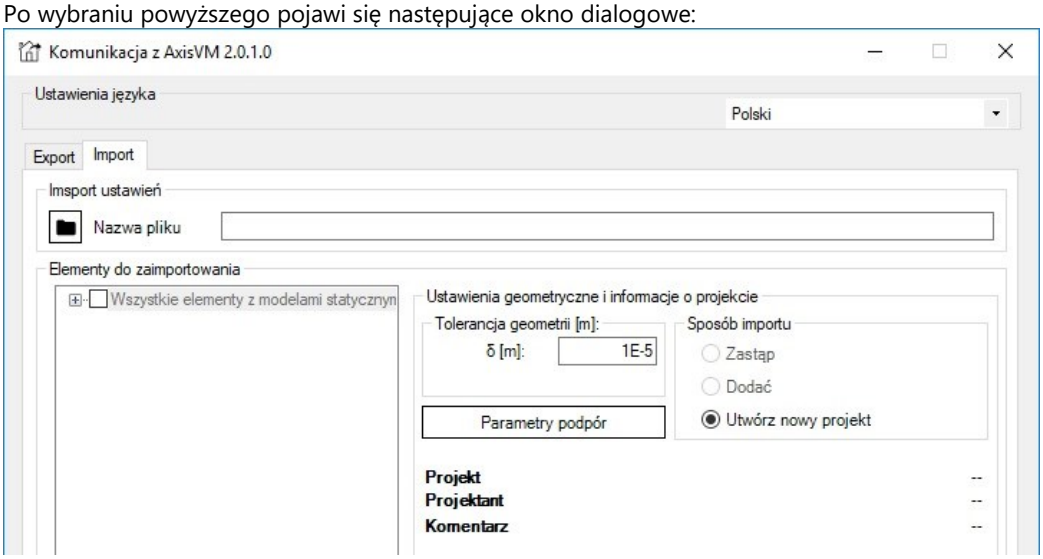
- Cały model – wszystkie dane całego modelu nadające się do eksportu zostaną wyeksportowane
- Wyświetlone fragmenty – wszystkie wyświetlone części konstrukcji zostaną wyeksportowane
- Wybrane elementy – tylko zaznaczone wcześniej elementy zostaną wyeksportowane

Mając zapisany plik z rozszerzeniem *.are*, można przystąpić do zaimportowania go w REVIT zgodnie z załączonym obrazkiem:



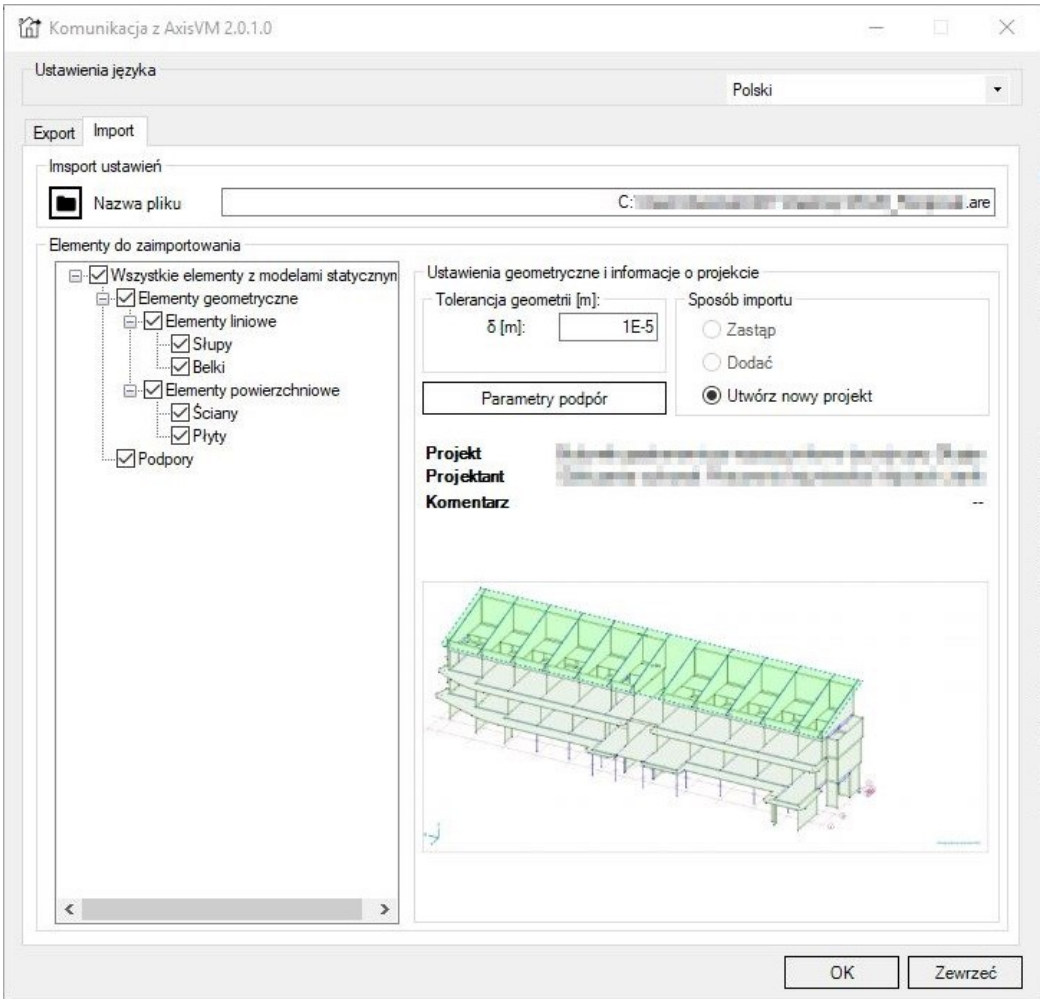
Dodatki / Narzędzia zewnętrzne / AxisVM interfejs

Po wybraniu powyższego pojawi się następujące okno dialogowe:



Jeżeli w Revit otwarty jest projekt, to dostępna będzie zarówno zakładka Import oraz Eksport. W przeciwnym razie pojawi się tylko Import.

Aby zaimportować plik z rozszerzeniem *.are*, należy kliknąć przycisk obok tekstu *Filename*. W wyniku tego, lista w postaci drzewka z zawartością pliku odświeży się po lewej stronie okna dialogowego, a w prawym dolnym rogu pojawi się podgląd importowanego modelu. Elementy, które mają zostać zaimportowane można wybrać zaznaczając je w drzewiastej liście po lewej stronie.



Metody importu

Jeżeli podczas importu do Revit, wcześniejszy projekt jest w nim otwarty, to istnieje możliwość wybrania jednej z poniższych opcji:

- Nadpisz - wszystkie elementy w projekcie zostaną usunięte (poza tymi, które zostały przypięte), a nowe elementy zostaną zaimportowane do wyczyszczonego projektu
- Dodaj - nowe elementy zostaną dodane do projektu z zachowaniem starszych elementów
- Utwórz nowy projekt - otwarty wcześniej projekt pozostanie bez zmian, a importowane elementy zostaną wczytane do zupełnie nowego projektu

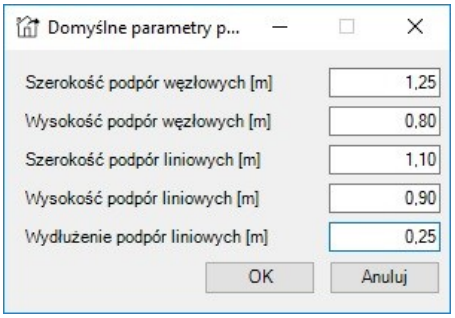
Jeżeli podczas importu żaden projekt nie został otwarty w Revit, to nowy zostanie automatycznie utworzony.

Należy zwrócić uwagę, że jeżeli projekt został otwarty w trybie *Tylko do odczytu*, to dostępna będzie tylko trzecia metoda importu.

Parametry podpór

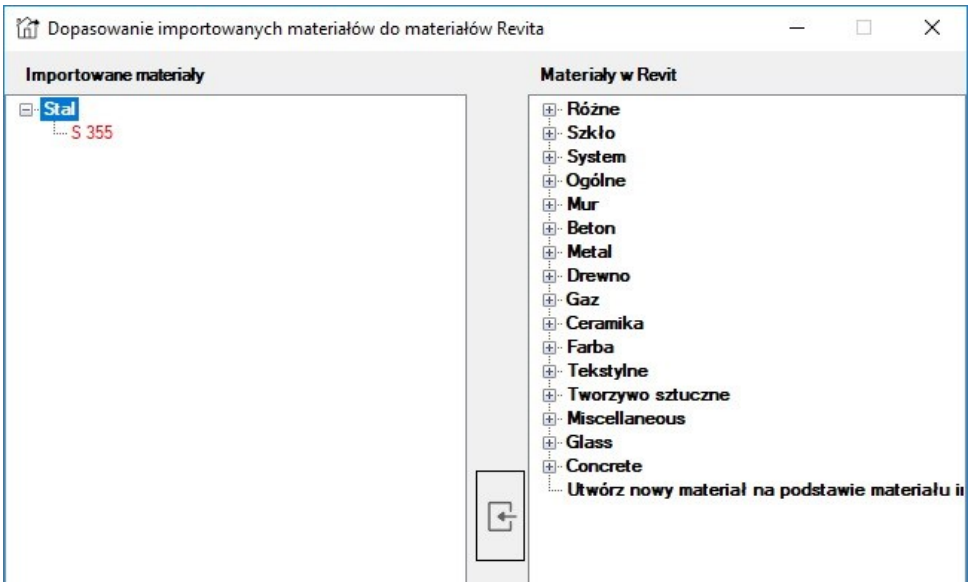
Podpory są importowane na podstawie poniższego założenia:

Jeżeli do określonych podpór w AxisVM została przypisana jakaś geometria, to zostanie ona wykorzystana. W przeciwnym razie zostanie ono utworzona na podstawie domyślnych parametrów, które mogą zostać ustawione po kliknięciu w przycisk “Parametry podpór”.



Przypisywanie materiałów

Ponieważ dane o materiale z AxisVM nie mogą zostać bezpośrednio przeniesione do materiałów Revit, wymagana jest interakcja z użytkownikiem, która pozwoli prawidłowo przenieść i przypisać poszczególne dane. Formularz przypisywania materiału widoczny jest poniżej:



Proces importowania może być kontynuowany, tylko w przypadku odpowiedniego przypisania wszystkich materiałów w tym oknie. Aby wykonać prawidłowe przypisanie materiału z AxisVM do odpowiadającego materiału Revit, należy wskazać go po lewej stronie okna, a następnie wskazać jego odpowiednik na liście po prawej stronie. Zatwierdzenie materiału odbywa się poprzez kliknięcie w przycisk znajdujący się pomiędzy tymi listami. Po zatwierdzeniu, zaznaczenie na liście po lewej stronie przeskoczy automatycznie na kolejny element listy. Nieprzetworzone elementy listy oznaczone są kolorem czerwonym, a przetworzone elementy kolorem czarnym.
Przypisywanie materiałów nie musi odbywać się element po elemencie. Zamiast tego, można zaznaczyć cały węzeł z kilkoma elementami i przypisać te elementy do wybranego materiału Revit.
Wybranie ostatniej pozycji na liście materiałów Revit (po prawej stronie) spowoduje dodanie do bazy materiałów Revit nowej pozycji, która odziedziczy właściwości z wybranego materiału AxisVM.

Po zakończeniu przypisywania wszystkich materiałów, uaktywni się przycisk OK, który pozwoli kontynuować proces importowania.

3.1.6.4 Eksport do Tekla Structures

Tekla Structures

Dostępne są dwa różne formaty plików:

Plik Tekla (TS) Structures ASCII (.asc)*
Zapisuje geometrię modelu do formatu pliku rozpoznawanego przez Tekla Structures. Plik zwiera współrzędne węzłów końcowych *i* oraz *j*, właściwości przekrojów poprzecznych oraz punkt odniesienia prętów kratowych i prętów.

Plik Tekla (TS) DSTV (.stp)*
Zapisuje dane elementów typu pręt kratowy i pręt (punkty końcowe, materiał, przekrój poprzeczny, odniesienie) jako standardowy plik DSTV. Ten format pliku obsługiwany jest przez kilka rodzajów oprogramowania CAD do projektowania konstrukcji stalowych.

Tekla Structures 2019 (i wersje późniejsze) obsługują dwukierunkową wymianę danych z programami zewnętrznymi. Moduł **TI** dostępny dla AxisVM może ustanowić takie połączenie, dlatego warto z niego korzystać zamiast wspomnianych wyżej formatów plików (**patrz...** *3.1.9.1 Dwukierunkowa wymiana danych z Tekla Structures 2019 i nowsze*)

3.1.6.5 Eksport do Nemetschek Allplan

Nemetschek AllPlan (.asf)*

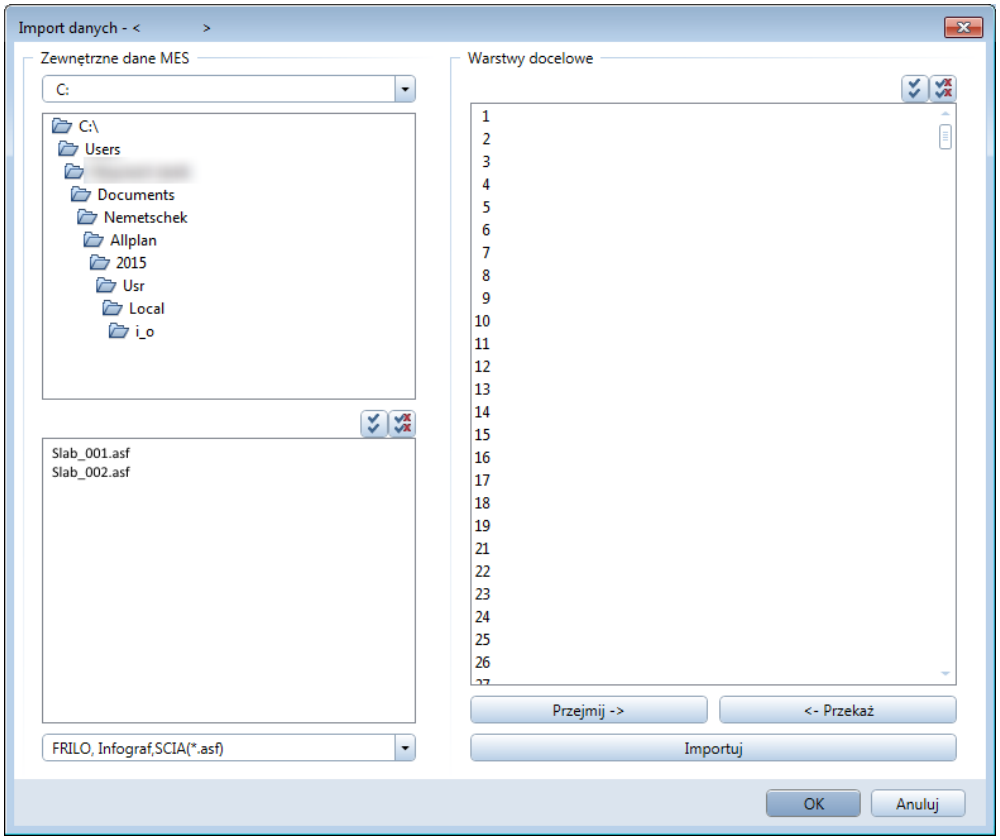
Eksport do tego formatu wymaga **modułu ALP.**
Eksportuje zbrojenie wszystkich aktywnych obszarów do oddzielnych plików (nazwapliku_001.asf...), które mogą być później zaimportowane do Nemetschek Allplan w trybie wsadowym (na raz). Z powodu ograniczeń importu oprogramowania Allplan, obszary są przekształcane do płaszczyzny XY lub XZ, w zależności od tego, która z nich znajduje się bliżej eksportowanego obszaru.

Zaimportowane zostaje tylko zbrojenie obszaru, a zdefiniowane pojedyncze powierzchnie zostaną pominięte. Dla trójkątnych elementów siatki eksportowane są trzy wartości zbrojenia, a cztery wartości dla czworokątów.
Wybierz opcję *Przesuń do początku układu współrzędnych*, aby przenieść eksportowane obszary do początku układu (węzeł konturu wielokąta położony najbliżej początku zostanie do niego wyrównany). Należy także wybrać typ zbrojenia, który ma zostać eksportowany: wymagane (obliczone), rzeczywiste (zastosowane) lub maksimum z obu.

☞ **Eksport do pliku ASF jest dostępny tylko na zakładce *Wymiarowanie żelbetu*.**

Importowanie pliku ASF do programu AllPlan

- Aby zaimportować plik o rozszerzeniu ASF, należy w menu Allplan wybrać ***Utwórz / Import Eksport / Importuj dane MES***.
- Z listy katalogów w górnej, lewej części okna wybierz katalog z plikami asf. Pliki z rozszerzeniem ASF są widoczne w dolnej, lewej części okna dialogowego. Wybierz z listy jeden lub więcej plików ASF i wybierz położenie tych plików, klikając w wierszu listy po prawej stronie (Warstwy docelowe).
- Kliknij w przycisk *Przejmij* **->**, a wybrane pliki pojawią się na liście.
- Kliknij w przycisk *Importuj*, a wybrane pliki zostaną zaimportowane do programu Allplan.
- Zamknij okna za pomocą *OK*.



Wyświetlanie zaimportowanego zbrojenia w Allplan

Przykład:

- Kliknij w menu Allplan na ***Utwórz / Inżynieria / Zbrojenie prętami / Kolorowy obraz zbrojenia***
- Kliknij na wybranym pliku ASF
- Wybierz warstwę (górna/dolna) i typ (ściskanie/rozciąganie) importowanych wartości dla zbrojenia

Kliknij **OK**

3.1.6.6 Eksport do formatu SAF

Eksport do tego typu pliku wymaga **modułu SAF**.

Jest to format obsługiwany przez Excel, służący do wymiany danych o modelu analitycznym z innymi aplikacjami wspierającymi ten format. Plik składa się z ustandaryzowanych arkuszy zawierających dane o geometrii, właściwościach konstrukcji oraz obciążeniach na modelu, dlatego może być przeglądany i edytowany za pomocą programu Excel. Protokół SAF jest wspierany przez ArchiCAD, AllPlan, SCIA oraz RFEM.
Do pliku tego eksportowane są następujące dane

- pręty kratowe, belki, słupy, żebra, podpory, obszary i elementy łączące (przeguby, połączenia)
- przekroje poprzeczne
- sztywności podpór
- przypadki i kombinacje obciążeń

Sposób użycia

Wybierz menu *Plik / Eksport... / Eksport SAF (*.xlsx)*, określ położenie i nazwę pliku eksportu oraz kliknij *Zapisz*.

Opcje SAF

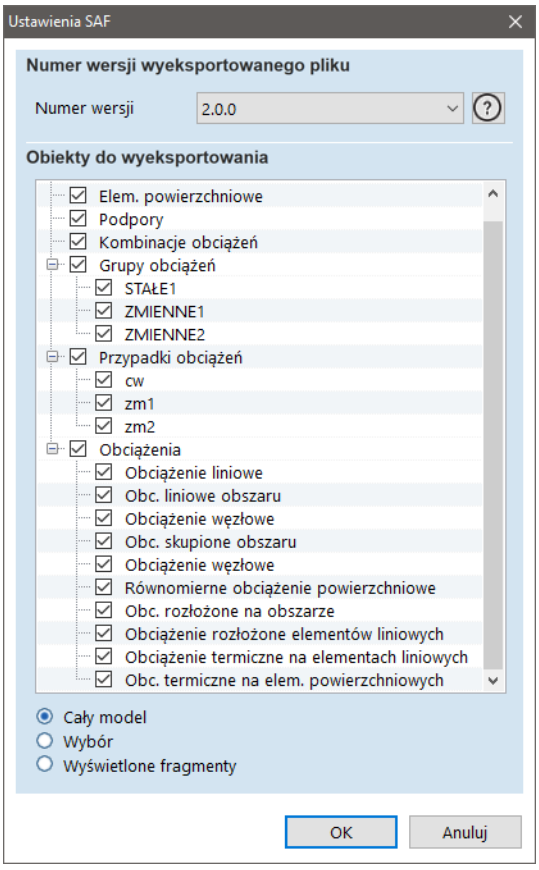
Eksportowane obiekty mogą być filtrowane.

Najpierw należy wybrać wersję eksportowanego pliku SAF (1.0.5 dp 2.0.0). Więcej informacji o różnicach pomiędzy wersjami można uzyskać klikając znak zapytania. Zaleca się używanie najnowszej wersji pliku, a w przypadku niewspierania jej przez program docelowy, należy wybrać odpowiednią najwyższą dla niego wspieraną wersję.

Lista dostępnych typów obiektów zawiera grupy i przypadki obciążeń zawart na modelu. W sytuacji występowania znacznej liczby obciążeń i ich przypadków, konieczne może być odznaczenie ich, aby zachować rozsądną wielkość pliku wynikowego.

Główne ustawienia filtru w dolnej części okna pozwalają eksportować:

- cały model,
- tylko wybrane części,
- tylko wyświetlone fragmenty.



3.1.6.7 Eksport do AxisVM

AxisVM Viewer (.axv)*

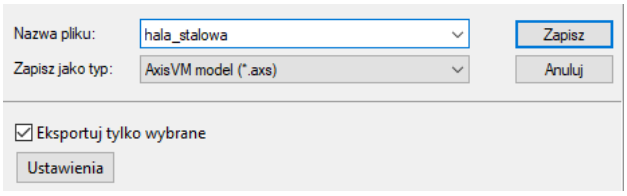
Zapisuje model do formatu AxisVM Viewer (*.axv). **Patrz...** *7 AxisVM Viewer i Viewer Expert*

AxisVM (.axs)*

Zapisuje model do formatu AxisVM (*.axs)

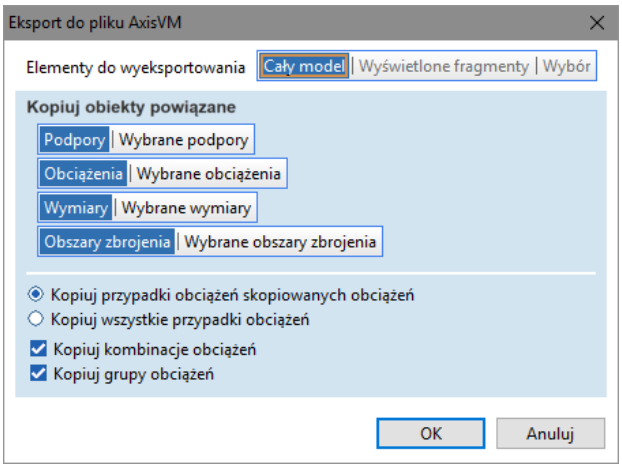
Eksportuj tylko wybrane

Eksportuje tylko elementy, które są aktualnie wybrane.



Ustawienia

Można eksportować następujące grupy elementów: całą konstrukcję, wyświetlone fragmenty lub wybrane elementy. Aby wybrać opcje eksportu (podobne do opcji kopiowania **patrz...** *3.2.8 Opcje Kopiuj / Wklej*), należy kliknąć na przycisk *Ustawienia* w oknie dialogowym *Eksport*.



3.1.6.8 Eksport do innych programów

Bocad (.sc1)*

Zapisuje geometrię modelu do formatu pliku rozpoznawanego przez oprogramowanie Bocad. Plik zawiera współrzędne węzłów końcowych *i* oraz *j*, właściwości przekrojów poprzecznych oraz punkt odniesienia elementów typu pręt kratowy i pręt.

StatikPlan (.dxf)*

Do StatikPlan, program AxisVM eksportuje plik DXF, zawierający na różnych warstwach: kontur płyty żelbetowej, zbrojenie teoretyczne (obliczone) jako izolinie i legenda wyników.

PianoCA (.pia)*

Generuje plik interfejsu *.pia dla PianoCA. Zawiera on dane, podpory, obciążenia, obliczone wyniki wybranych elementów prętowych.

CADWork (.dxf)*

Tworzy plik DXF do użytku w oprogramowaniu do rysowania zbrojenia CADWork.
Tylko wybrane obszary zostaną wyeksportowane.
Oprogramowanie CADWork funkcjonuje w 2D, więc wybrane obszary muszą znajdować się w tej samej płaszczyźnie.
Każdy obszar w pliku DXF jest przekształcany do lokalnego układu współrzędnych X-Y, a współrzędna Z reprezentuje obliczoną powierzchnię zbrojenia.

SDNF 2.0, 3.0 (.sdnf)*

Zapisuje model do pliku SDNF (Steel Detailing Neutral Format) odczytywalny przez programy do detalizowania konstrukcji stalowych (Advance Steel, SDS/2, Tekla Structures, PDMS).

Glaser -isb cad- (.fem)*

Eksportuje zbrojenie powierzchniowe do programu Glaser –isb.

3.1.7 Import

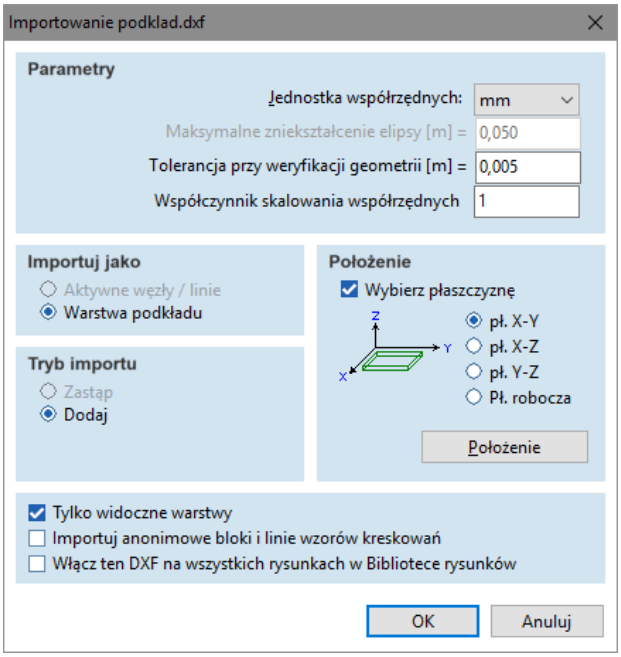
Polecenia importu odczytują i przetwarzają różne typy plików służące do przenoszenia danych z innych programów inżynierskich oraz umożliwiających pracę w ramach BIM (Building Information Modeling).

3.1.7.1 Import plików DXF

AutoCAD (.dxf)*

Importuje siatkę geometryczną konstrukcji z pliku DXF (Drawing Exchange Format) wyeksportowanego w formacie AutoCAD 12, 13, 14, 2000 lub 2004 do programu AxisVM. Warstwy importowanego pliku są wczytywane do *Menadżera warstw*. **Patrz...** *3.3.3 Menadżer warstw*
Jeżeli data zaimportowanego pliku różni się od daty pliku źródłowego to *Menadżer warstw* wyświetli komunikat z zapytaniem o zaktualizowanie warstw.

Wybranie polecenia importu z menu wywołuje okno dialogowe *Import DXF*.



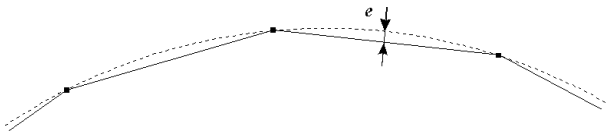
☞ **Elipsy zostaną przekonwertowane do wielokątów tylko, jeżeli zostaną wczytane jako aktywna siatka (nie podkład), w przeciwnym wypadku pozostaną elipsami**

☞ **W widoku z wynikami możliwe jest zaimportowanie podkładu tylko jako warstwy podkładu.**

Parametry

Jednostka współrzędnych
Należy określić jednostkę długości użytą w importowanym pliku DXF.

Maksymalne zniekształcenie łuku
Podczas importowania pliku DXF jako aktywnej siatki, elipsy zostaną przekonwertowane do wielokątów na podstawie tej wartości.



Tolerancja dla weryfikacji geometrii
Importując plik DXF jako aktywną siatkę geometrii (z utworzeniem węzłów i linii), program AxisVM sprawdza w modelu punkty pokrywające się (węzły) oraz linie i scala je.
Można ustalić maksymalną odległość dla scalania punktów. Punkty, które znajdują się bliżej niż określona odległość zostaną uznane za pokrywające się. Współrzędne scalonych punktów (węzłów) zostaną uśrednione.
Należy zawsze ustawić tę odległość jako małą liczbę względem wymiarów modelu.

Importuj jako

W tym miejscu należy określić, czy importowany plik DXF ma zostać użyty jako aktywna siatka geometrii czy warstwa podkładu.

Aktywne węzły / linie
Importowaną geometrię traktuje się, jakby została utworzona za pomocą poleceń programu AxisVM.
Warstwy DXF mogą zostać użyte do utworzenia fragmentów.

Warstwa podkładu
Importowana geometria użyta jest jako warstwa podkładu, która jest wyświetlana, lecz jest nieaktywna jako siatka (nie tworzy elementów typu węzeł / linia). Możliwe jest jednak przyciąganie do punktów charakterystycznych podkładu DXF. Plik DXF importuje się jako warstwę podkładu, gdy chcemy utworzyć model oparty na rzutach lub przekrojach architektonicznych. Obiekty na warstwie podkładu można wykorzystać jako odniesienie podczas edycji modelu.

Tryb importu — W tym miejscu można wybrać czy zastąpić poprzednią geometrię, czy też nowa geometria ma zostać dodana do poprzedniej.

Położenie — Umożliwia określenie płaszczyzny warstw DXF (X-Y, X-Z lub Y-Z).
Przycisk Położenie umożliwia graficzne umiejscowienie importowanego rysunku DXF w przestrzeni modelu.

Tylko widoczne warstwy — Za pomocą tej opcji program AxisVM importuje tylko warstwy ustawione jako widoczne w pliku DXF.

Importuj anonimowe bloki i linie wzorów kreskowań — Kreskowanie w pliku DXF przedstawione jest za pomocą pojedynczych linii, więc w większości przypadków nie zaleca się importowania go. Jeżeli kreskowanie jest potrzebne, należy zaznaczyć tę opcję.

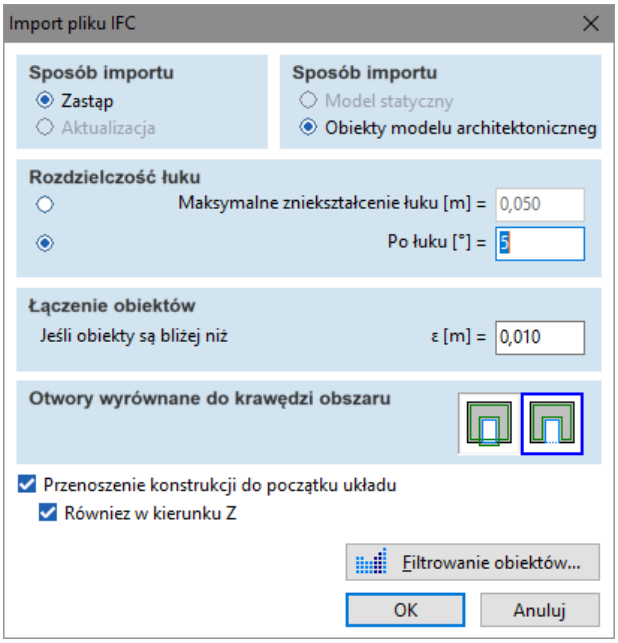
3.1.7.2 Import plików IFC

IFC 2x, 2x2, 2x3, 2x4 (.ifc)*

Import tego formatu wymaga **modułu IFC.**
Importuje obiekty z modelu architektonicznego zapisanego jako plik IFC. Importowane obiekty można wyświetlić jako warstwę podkładu 3D lub można je przekonwertować do macierzystego modelu poprzez przypisanie do nich materiałów, przekrojów poprzecznych itd. Istniejące modele architektoniczne zawsze zostają zastąpione przez nowe.

Można również importować obiekty na podstawie modeli architektonicznych z programów ArchiCAD, AutoDesk Architectural Desktop, Revit Structure, Revit Building, Nemetschek Allplan, Bocad, Tekla oraz Xsteel.

☞ **To polecenie jest dostępne tylko na zakładce Geometria, Elementy, Obciążenia oraz Siatka.**

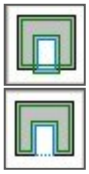


Import plików IFC może wyodrębnić model statyczny (jeżeli jest dostępny) lub obiekty architektoniczne, zastępując lub aktualizując istniejące dane w modelu AxisVM.

Model statyczny — Poczynając od wersji IFC 2x3 możliwe jest eksportowanie szczegółów modelu statycznego (węzły, topologia, podpory, obciążenia, kombinacje obciążeń). Opcja *Model statyczny* jest dostępna tylko, jeżeli plik zawiera takie dane. Jeżeli plik opisuje obiekty architektoniczne (słupy, belki, ściany, płyty, dachy), można automatycznie utworzyć model statyczny w AxisVM tylko po zaimportowaniu go.

Obiekty modelu architektonicznego — Ta opcja umożliwia zastąpienie lub zaktualizowanie istniejących informacji o modelu architektonicznym w modelu AxisVM. Program AxisVM potrafi odczytać słupy, belki, ściany, płyty i dachy. **Patrz...** *4.9.22 Tworzenie modelu obliczeniowego z modelu architektonicznego*

Otwory wyrównane do krawędzi obszaru

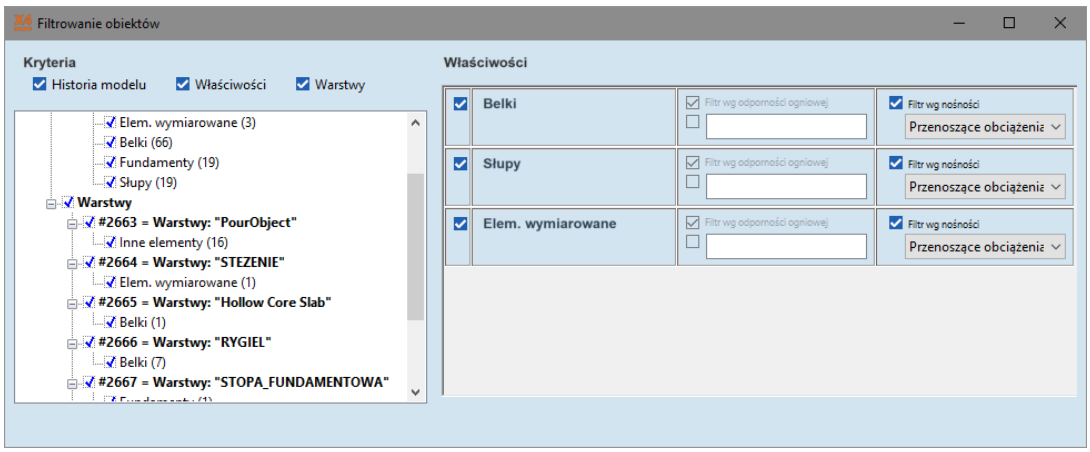


Importuj jako otwory

Skoryguj kontur obszaru

Przenoszenie konstrukcji do początku układu — Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, to AxisVM oblicza środek ciężkości (ŚC) importowanego modelu i przesuwa cały model tak, aby ŚC przypadł w (0, 0) globalnego układu współrzędnych. Opcja ta jest przydatna, gdy importowany model ma bardzo duże wartości współrzędnych.
Jeżeli zaznaczona została opcja *Również po kierunku Z*, to przesunięcie będzie wykonane również po tym kierunku tak, aby ŚC znalazł się na rzędnej 0.

Filtrowanie obiektów



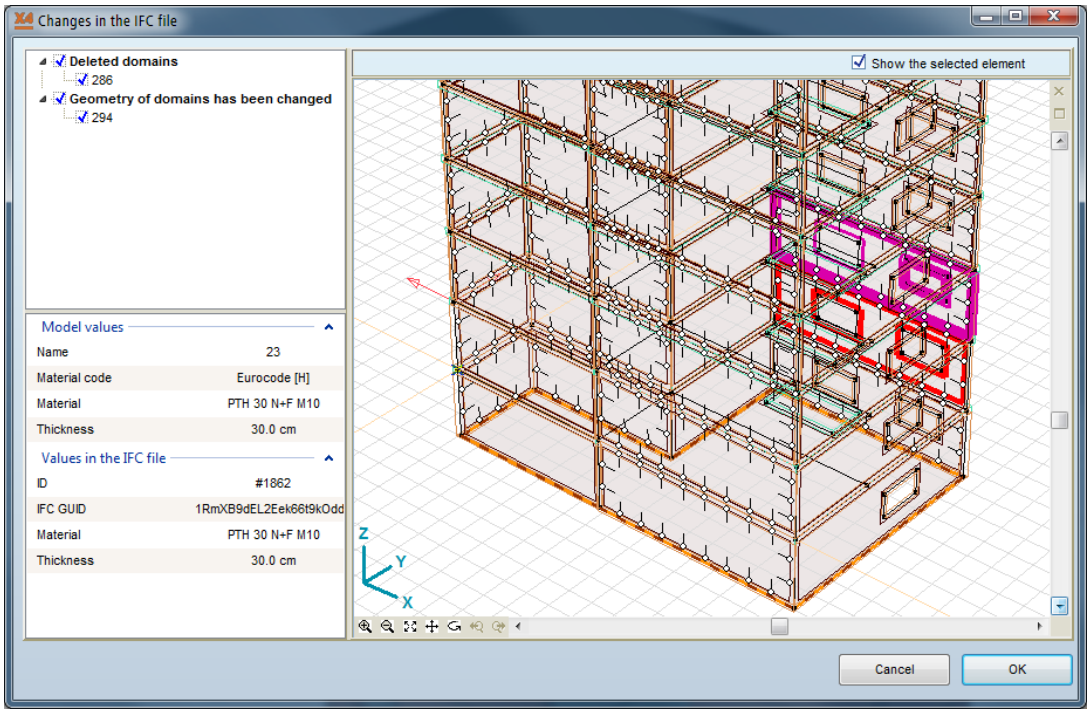
Filtrowanie wg *Historii modelu*
Użytkownik może wybrać, czy chce zaimportować zmodyfikowane czy niezmodyfikowane elementy. Ten typ filtrowania jest odpowiedni tylko dla plików IFC wcześniej wyeksportowanych z AxisVM, zmodyfikowanych w innym programie, a następnie ponownie importowanych do AxisVM.

Filtrowanie wg *Właściwości*
Użytkownik może wybrać elementy ze względu na to czy przenoszą obciążenia czy nie oraz ze względu klasę odporności ogniowej. Ten typ filtrowania działa poprawnie w sytuacji, gdy powyższe informacje zostały zawarte w pliku IFC.

Filtrowanie wg *Warstw*
Jeżeli plik IFC zawiera informacje o warstwach przypisanych do elementów, to użytkownik ma możliwość wybrania, które warstwy zaimportować, a które pominąć.

Automatyczne wykrywanie zmian

Podczas ponownego importu pliku IFC (aktualizacji) program wyświetla listę nowych, zmodyfikowanych i usuniętych obiektów. Każda zmiana może zostać zatwierdzona lub pominięta. Wybór zmian z listy drzewka pokazuje położenie wybranych elementów w bieżącym modelu.



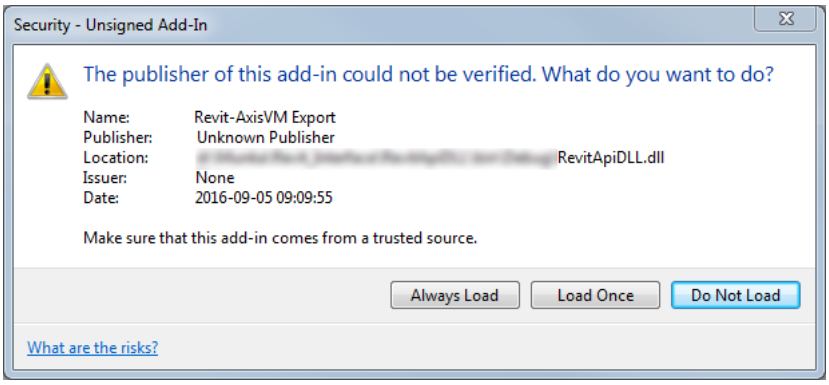
☞ **Podczas eksportu modelu z ADT (Architectural Desktop) przed utworzeniem pliku IFC, należy wyłączyć automatyczne przecięcia ścian.**

3.1.7.3 Import plików RAE (Revit)

Import z Revit

AxisVM umożliwia import poprzez bezpośrednie połączenie z Revit 2015 (lub nowszym). Jest to rozwiązanie oparte na API Revit, które pozwala innym programom wysyłać zapytania i modyfikować jego bazę danych.
Na zakończenie procesu instalacyjnego programu AxisVM jego instalator tworzy w katalogu AxisVM nowy katalog o nazwie ''RevitImport'' i kopiuje do niego wszystkie potrzebne pliki.
Plik o rozszerzeniu *.addin* utworzony zostaje w katalogu *C:\Użytkownicy\<Nazwa użytkownika>\AppData\Roaming\Autodesk\Revit\Addins\yyyy*, gdzie ''yyyy'' opisuje liczbę większą lub równą 2015. Zarówno ten plik jak i cała zawartość katalogu ''RevitImport'' są niezbędne dla poprawnej komunikacji pomiędzy tymi dwoma programami.

☞ **Od wersji Revit 2017 pojawia się poniższe dodatkowe okienko w momencie inicjalizacji każdego dodatku lub wywołania oprogramowania innych firm.**



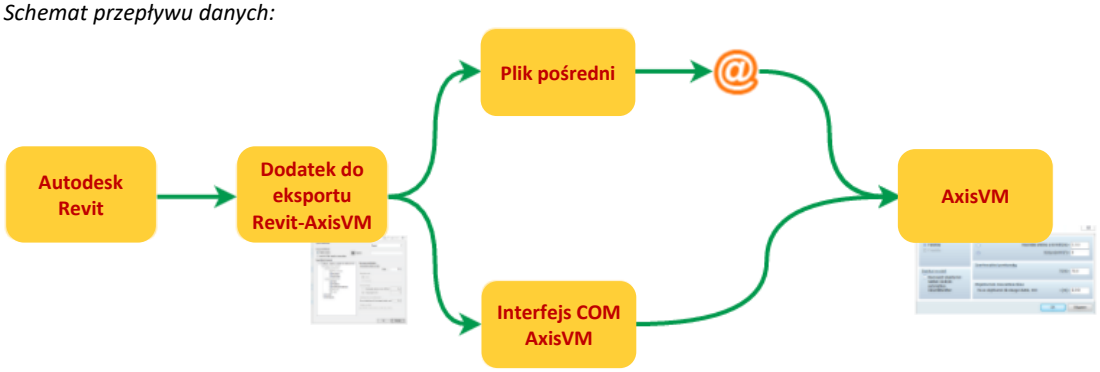
W tej sytuacji należy kliknąć „Load Once" jeżeli dodatek ma zostać wczytany lub „Always Load" jeżeli to okna ma się nie pojawiać przy następnym ładowaniu dodatku.

Istnieją dwie metody komunikacji

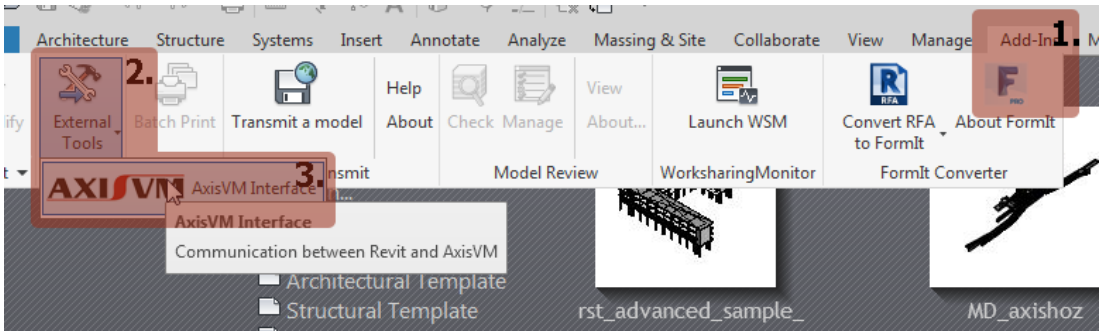
1. **Z użyciem pliku pośredniego**
2. **Poprzez bezpośrednie połączenie z interfejsem COM AxisVM**

Stosowanie

Schemat przepływu danych:

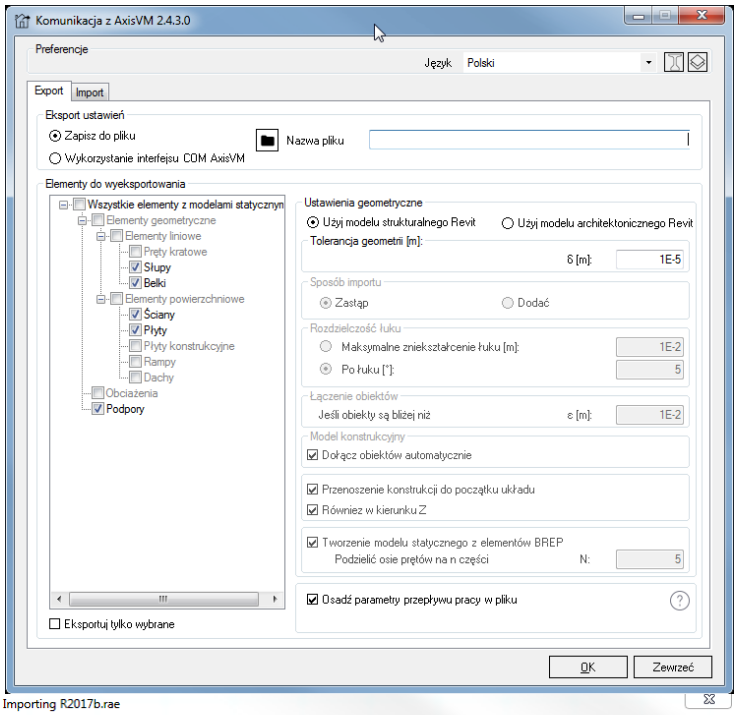


Proces musi rozpocząć się z programu Revit, tak jak pokazano to poniżej:
Dodatki / Narzędzia zewnętrzne / AxisVM Interface



Okno dialogowe *Eksport modelu analitycznego do AxisVM* pozwala wybrać jedną z dwóch metod eksportu. Wybór ten decyduje również o dostępnych ustawieniach w oknie dialogowym.

Wybranie *AxisVM COM interface* umożliwia ustawienie pewnych parametrów geometrycznych. Język może zostać wybrany z rozwijanej listy.
Jeżeli kliknięta jest opcja *Use Revit structural model* to dodatek model analityczny tak jak został zdefiniowany w Revit. W przeciwnym razie do utworzenia modelu analitycznego wykorzystany zostaje model architektoniczny.

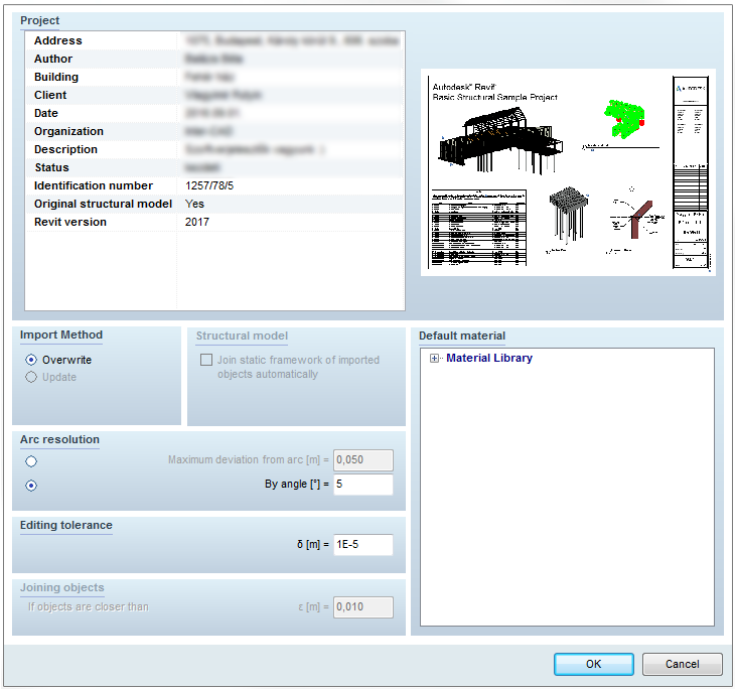


Import poprzez plik pośredni

Użytkownik powinien wybrać tę opcję, gdy chce wysłać plik do innego użytkownika lub na inny komputer.

W pierwszej kolejności konieczne jest określenie nazwy pliku, który ma zostać zapisany, a potem docelowej wersji AxisVM. Po udanej operacji zapisu, plik ten może zostać zaimportowany do określonej wersji AxisVM.

Podczas importu pliku do AxisVM pojawi się okno dialogowe:



Projekt Informacje o projekcie zadeklarowane w Revit widoczne są na liście w lewym górnym narożniku okna. Obrazek po prawej przedstawia zrzut projektu jaki jest widoczny w Revit.

Metoda importu Jeżeli model AxisVM nie jest pusty, to dostępne są dwie opcje: nadpisanie modelu lub jego aktualizacja.

Model analityczny Jeśli ta opcja jest aktywna, to AxisVM wykorzystuje same dane geometryczne, aby zbudować właściwy model analityczny. Kolidujące ze sobą pręty są łączone poprzez elementy sztywne, sąsiadujące obszary są również łączone, pręty przebiegające przez obszary konwertowane są do żeber. Część z tych obliczeń wymaga znacznych zasobów i może spowolnić proces importowania.

Rozdzielczość łuku Niektóre obliczenia geometryczne wymagają, aby łuki były przekształcone w polilinie. W tym miejscu można ustawić kryteria konwersji.

Tolerancja edycji Tolerancja stosowana przy wyznaczaniu geometrii.

Łączenie obiektów Aby poprawić efektywność wykrywania kolizji, obrysy elementów są lekko zwiększone. Wartość tej tolerancji może być ustawiona w tym miejscu.

Import poprzez AxisVM COM

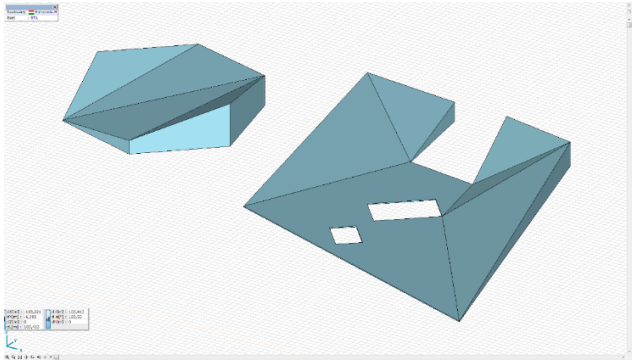
Opcja dla użytkowników, którzy sami przetwarzają dane uzyskane z Revit i mogą uruchomić Revit oraz AxisVM na tym samym komputerze. Po udanym eksporcie poprzez interfejs AxisVM COM, program AxisVM zostanie uruchomiony, a użytkownik może w nim dalej kontynuować edytowanie modelu. Następujące parametry geometryczne muszą zostać ustawione w oknie dialogowym eksportu w Revit.

Przenoszenie konstrukcji do początku układu

Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, to AxisVM oblicza środek ciężkości (ŚC) importowanego modelu i przesuwa cały model tak, aby ŚC przypadł w (0, 0) globalnego układu współrzędnych. Opcja ta jest przydatna, gdy importowany model ma bardzo duże wartości współrzędnych.
Jeżeli zaznaczona została opcja *Również po kierunku Z*, to przesunięcie będzie wykonane również po tym kierunku tak, aby ŚC znalazł się na rzędnej 0.

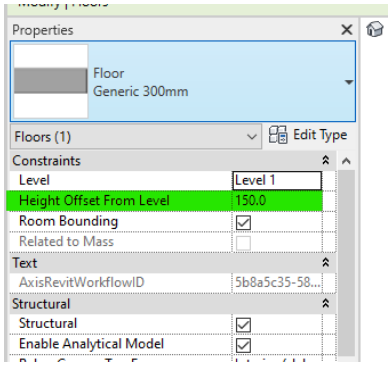
Elementy do eksportu

Typy elementów do eksportu mogą zostać ustawione przez wybranie ich w drzewku elementów.

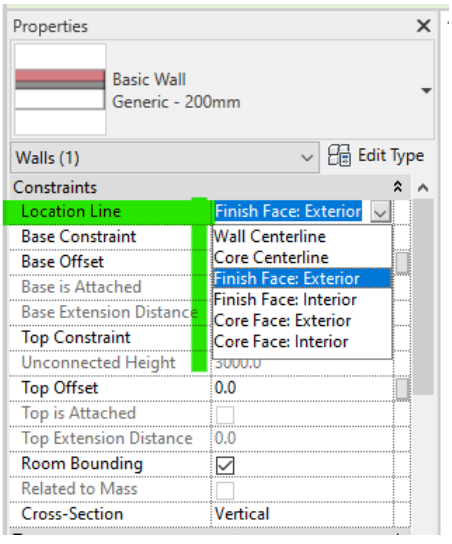


Od wersji AxisVM X5 regiony z mimośrodami i o zmiennej grubości mogą być także eksportowane.

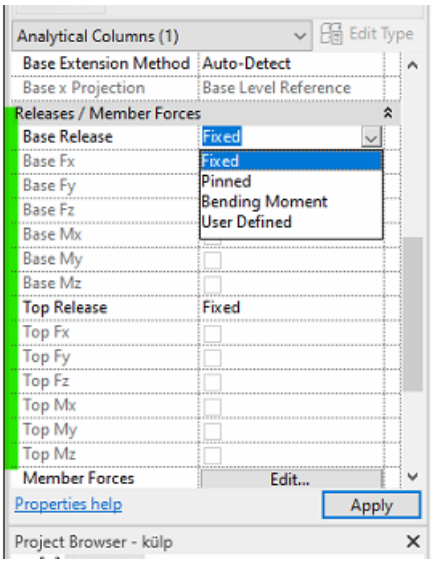
Od wersji AxisVM X6 rozpoznawany jest także mimośród obszarów oraz elementów prętowych. Mimośród płyt odczytywany jest z parametru podświetlonego na zielono *(Height Offset From Level)*.



Za mimośród ścian odpowiada parametr pokazany na rysunku obok. Opisuje on położenie linii odniesienia względem punktów podstawowych.

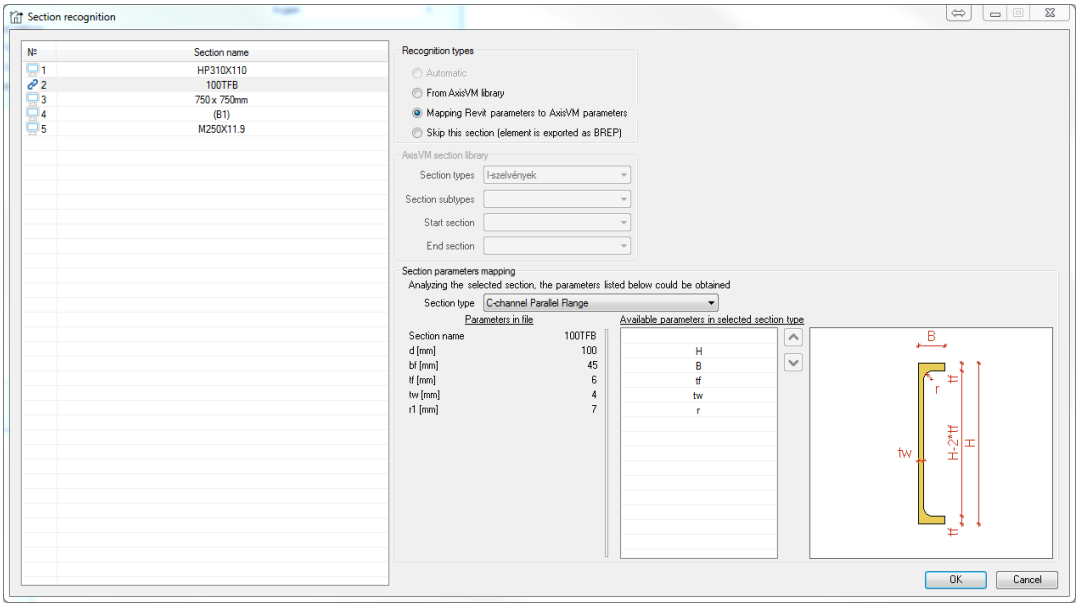


Od wersji X6 możliwe jest także importowanie i eksportowanie prętowych zwolnień węzłowych. Odpowiednik tych ustawień w programie REVIT pokazano obok.



Rozpoznanie przekroju

Niekiedy informacje o przekrojach odczytane z bazy danych Revit są ograniczone, dlatego w takim wypadku określenie przekrojów wymaga interwencji użytkownika. Dla takiej sytuacji zostanie wyświetlone poniższe okno dialogowe.



Istnieją trzy metody identyfikacji przekroju:

Automatyczny **–** Dodatek był w stanie pobrać pomyślnie dane o poszczególnych przekrojach z Revit.

Z biblioteki AxisVM - Jeśli nie powiodło się automatyczne rozpoznanie, to użytkownik może wybrać właściwy przekrój z *Biblioteki przekrojów AxisVM.*

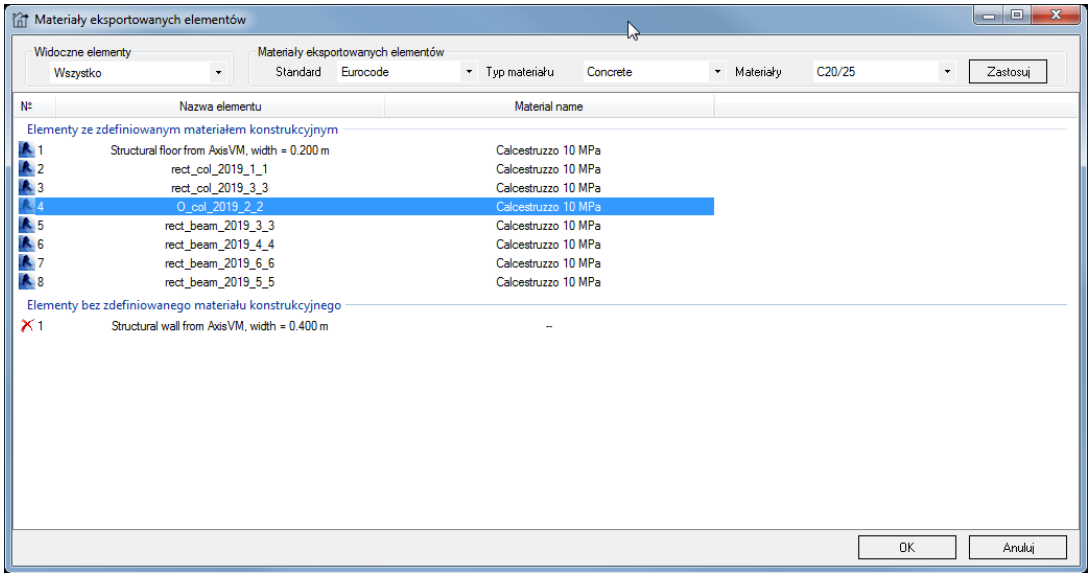
Mapowanie parametrów z Revit do AxisVM - Gdy parametry przekrojów przechowywane w Revit nie są spójne, może być potrzebne ich dopasowanie. Użytkownik może wybrać daną cechę z listy i przesunąć ją w górę lub w dół do właściwej pozycji, aby skojarzyć parametry w AxisVM i Revit.

☞ **Dodatek uczy się zdefiniowanych i dopasowanych przez użytkownika parametrów przekrojów, więc następnym razem zidentyfikuje te przekroje poprawnie, bez interwencji użytkownika.**

Pomiń ten przekrój – Opcja ta oznacza, że wszystkie elementy posiadające ten przekrój będą importowane jako ogólny obiekt z jego obrysem, ale bez ich modelu analitycznego.

Ustawienie materiałów

Wyodrębnienie właściwej informacji o materiale z Revit może rodzić podobne problemy. Jeśli AxisVM nie rozpozna materiału poprosi użytkownika o pomoc, w celu jego identyfikacji. Użytkownik może wtedy skojarzyć nazwę materiału w AxisVM z elementem.



Istnieje możliwość pozostawienia nieprzypisanych elementów. W fazie importu AxisVM przypisze do nich materiał domyślny.

Błąd instalatora...

Jeśli z jakiegoś powodu proces instalacji nie powiedzie się, w efekcie czego Revit nie będzie mógł odnaleźć folderu z dodatkiem, to można zainstalować go ręcznie przez uruchomienie *!REGISTER_Revit.BAT* z folderu, w którym zainstalowany został AxisVM.

☞ **Ważne jest, aby użytkownik był świadomy faktu, że komunikacja pomiędzy tymi dwoma programami opiera się na interfejsie API Revit. Model analityczny elementów pobierany jest z bazy danych Revit (jeśli Revit nie dostarcza tych informacji, AxisVM może zaimportować jedynie model szkieletowy elementów). Model analityczny wymaga jeszcze drobnych zmian i dopasowań, aby stał się użyteczny do celów obliczeniowych. AxisVM stara się łączyć obiekty (jeśli taka opcja została wybrana), jednak czasami użytkownik musi edytować model, aby uzyskać poprawny model analityczny.**

Wymiana danych na podstawie porównania

Od wersji X5 oba programy (AxisVM i Revit) mogą współdzielić zmiany w modelach. W rzeczywistości jest oparte na porównywaniu modeli podczas eksportu-importu.
Za pomocą tej metody projektanci pracujący nad tym samym projektem mogą importować nowe lub zmodyfikowane elementy bez wpływu na niezmienione elementy.
Proces takiej współpracy może zostać zapoczątkowany zarówno w AxisVM jak i Revit.

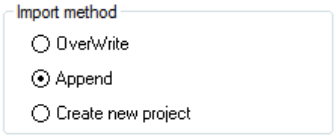
Uruchomienie tego procesu w Revit polega na zaznaczeniu opcji *Zastosuj parametry przepływu pracy* na dole głównego okna.

Aby niezbędne parametry zostały "wstrzyknięte" do pliku z projektem, konieczna jest zgoda użytkownika i zapis tego pliku po tej operacji. Jeżeli zabraknie, któregoś z powyższych elementów, to eksportowany plik nie będzie zawierał niezbędnych parametrów dla przepływu pracy. W takim wypadku AxisVM będzie mógł nadal odczytać tak wygenerowany plik, ale import poprzez porównanie nie będzie możliwy.

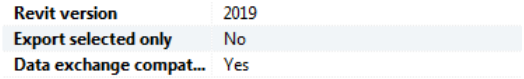
Uruchomienie tego procesu z poziomu AxisVM nie wymaga takich zabiegów. Wszystkie niezbędne parametry zostaną automatycznie dołączone do pliku.

Import w oparciu o porównanie zmian jest możliwy tylko wtedy, gdy model został wcześniej otwarty w każdej z aplikacji.

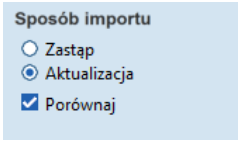
W Revit przełączniki muszą zostać ustawione jak poniżej:



Poniższe informacje będą widoczne w AxisVM podczas importowania pliku z zapisanymi wcześniej parametrami przepływu pracy:



Aby porównać importowany plik z obecnym stanem, należy zaznaczyć opcję jak poniżej:



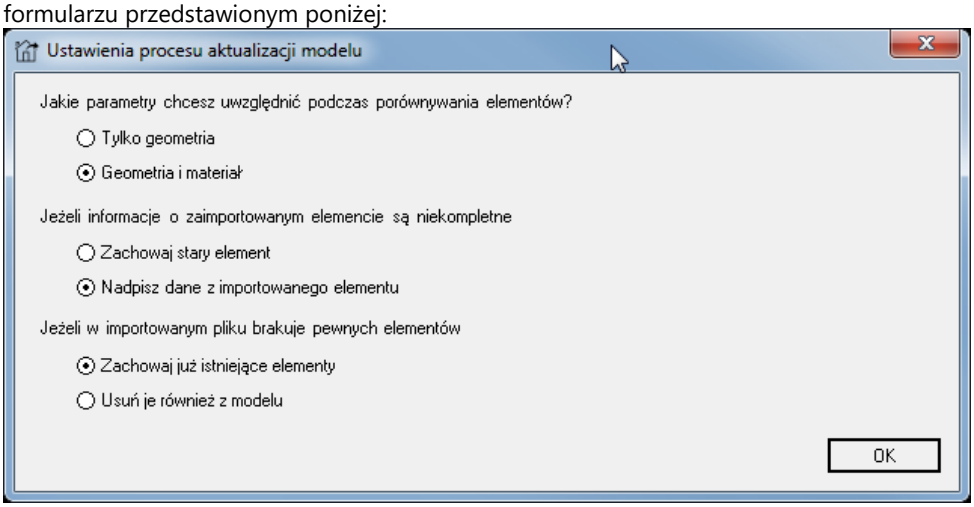
Podczas importu obsługiwane są trzy podstawowe przypadki:

1. Importowany element nie może zostać znaleziony w aktualnym modelu, więc może zostać przetworzony i zaimportowany.
2. Jeden lub kilka elementów aktualnego modelu nie może zostać znaleziony w importowanym pliku, więc użytkownik może wybrać: czy chce usunąć te elementy lub czy chce to zignorować i zostawić je bez zmian.
3. Importowany element został znaleziony w aktualnym modelu. W takim przypadku program wykonuje porównanie elementów na podstawie ich:
    a. materiału
    b. modelu analitycznego
    c. profilu lub grubości

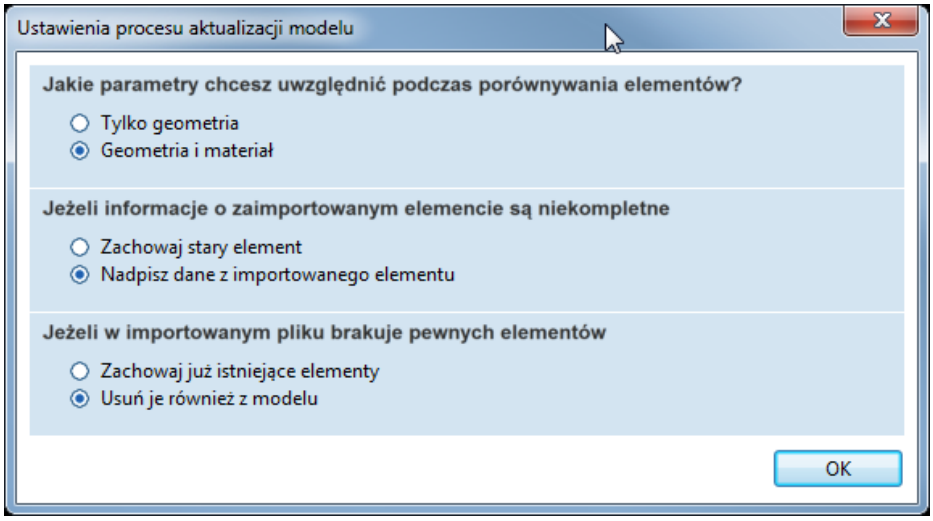
Jeżeli po takim porównaniu zostanie stwierdzone, że elementy są identyczne to ich import jest pomijany. W przeciwnym razie importowany element jest przetwarzany, a jego poprzedni odpowiednik usuwany. Jeżeli z jakiegoś powodu proces porównania nie może zostać w pełni przeprowadzony, użytkownik może wybrać, czy chce zachować obecny element czy też zaimportować nowy.

Wymienione ustawienia użytkownika można dostosować przed samym procesem importowania na formularzu przedstawionym poniżej:

Okno dialogowe z programu Revit



Okno dialogowe z programu AxisVM



3.1.7.4 Import z Tekla Structures

Tekla Structures do wersji 2019 wspierała tylko komunikację jednokierunkową (patrz... *3.1.9.2 Jednokierunkowa wymiana danych z Tekla Structures (wersje sprzed 2019)*)

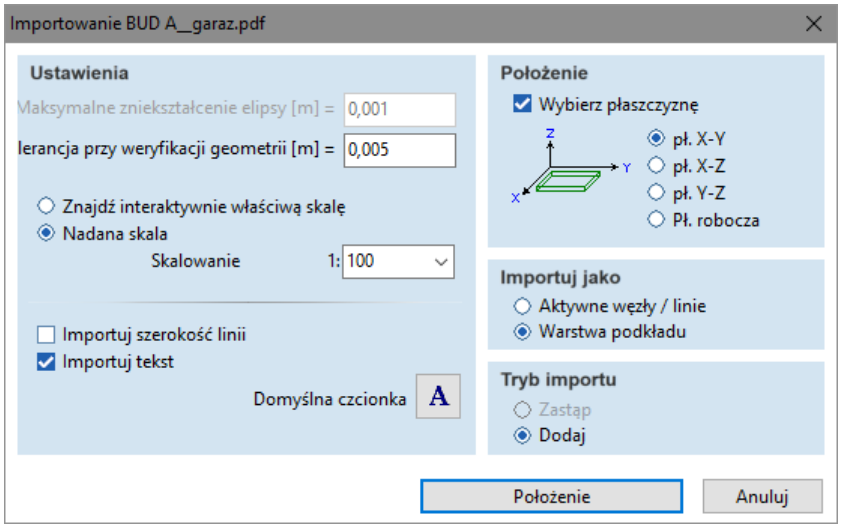
Dla Tekla Structures od wersji 2019 i późniejszych zalecane jest używanie modułu TI, który pozwala zastosować połączenie dwukierunkowe wymiany danych pomiędzy AxisVM oraz Tekla (patrz... *3.1.9.1 Dwukierunkowa wymiana danych z Tekla Structures 2019 i nowsze*)

3.1.7.5 Import plików PDF (moduł PDF)

PDF (.pdf)*

Do zaimportowania rysunków z pliku PDF jako warstwa podkładu lub linie AxisVM wymagany jest moduł PDF w konfiguracji programu.
Przetwarzane są tylko linie, krzywe i obiekty tekstowe, a obrazy i inne elementy są pomijane.
Ostateczny wymiar importowanego rysunku może zostać ustawiony interaktywnie na ekranie (odpowiada za to opcja *Znajdź interaktywnie właściwą skalę*) lub dopasowany poprzez określoną skalę (*Nadana skala*).
Import szerokości linii i tekstów jest opcjonalny.

☞ **Niektóre programy generujące PDF eksportują tekst jak ciąg obiektów graficznych, co uniemożliwia rozróżnienie grafiki i tekstu.**



Możliwe jest ustawienie czcionki domyślnej (*Domyślna czcionka*), która zostanie użyta w przypadku wyświetlania tekstu z niedostępną czcionką. Po kliknięciu przycisku *Położenie,* należy wprowadzić numer strony w przypadku dokumentów wielostronicowych. Można importować tylko jedną stronę na raz.

Informacje o pozostałych ustawieniach i poleceniach można znaleźć w części powyżej, opisującej importowanie plików DXF.

3.1.7.6 Import plików SAF

Import tego typu pliku wymaga **modułu SAF**.

Jest to format obsługiwany przez Excel, służący do wymiany danych o modelu analitycznym z innymi aplikacjami wspierającymi ten format. Plik składa się z ustandaryzowanych arkuszy zawierających dane o geometrii, właściwościach konstrukcji oraz obciążeniach na modelu, dlatego może być przeglądany i edytowany za pomocą programu Excel. Protokół SAF jest wspierany przez ArchiCAD, AllPlan, SCIA oraz RFEM.
Przez ten plik można zaimportować następujące dane

- pręty kratowe, belki, słupy, żebra, podpory, obszary i elementy łączące (przeguby, połączenia)
- przekroje poprzeczne
- sztywności podpór
- przypadki i kombinacje obciążeń

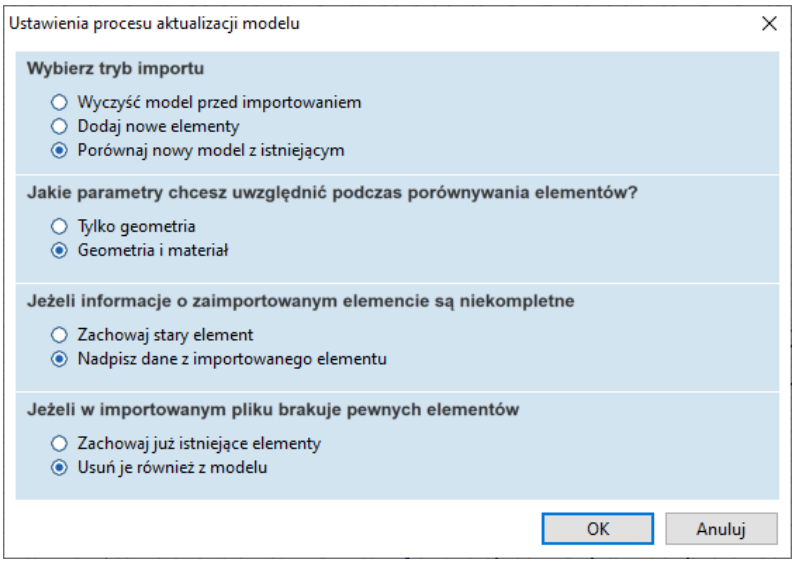
Sposób użycia

Wybierz menu *Plik / Import... / Import pliku SAF (*.xlsx)*, wskaż importowany plik oraz kliknij *Otwórz*. Innym sposobem wczytania jest przeciągnięcie importowanego pliku i upuszczenie go w oknie głównym AxisVM.

Import

Proces importu różni się w zależności od tego, czy w AxisVM jest właśnie otwarty jakiś model czy nie.

- Jeżeli nie, to AxisVM po prostu przetworzy plik i zaimportuje dane.
- W przypadku otwartego wcześniej modelu, wyświetlone zostanie poniższe okno dialogowe



Wybierz tryb importu

- *Wyczyść model przed importowaniem*;
  Usuwa wszystkie elementy z istniejącego modelu i dopiero potem importuje dane z pliku
- *Dodaj nowe elementy*;
  Wszystkie dane z pliku są dodawane do istniejącego modelu
- *Porównaj nowy model z istniejącym*;
  Program dokonuje porównania istniejącego modelu z importowanym i do procesu importu bierze tylko te elementy, które są:
  - nowe
  - albo zmodyfikowane (materiał lub geometria).

Jakie parametry chcesz uwzględnić podczas porównywania elementów?
Jeżeli wybrana została opcja porównująca nowy model z istniejącym, to użytkownik może wybrać

- *Tylko geometria*
  Porównanie następuje tylko na poziomie geometrii dwóch modeli
- *Geometria i materiał*
  Porównanie wykonane jest zarówno dla geometrii jak i zastosowanych materiałów

Porównanie geometrii odnosi się do porównania osi oraz przekroju poprzecznego elementów prętowych, a także wielokąta konturu i grubości obszaru.

Jeżeli informacje o zaimportowanym elemencie są niekompletne
Ustawienie to służy do obsłużenia sytuacji, gdy zaimportowane dane są niekompletne lub pojawi się z nimi jakiś nieoczekiwany problem. Użytkownik może wybrać

- zignorowanie importowanego elementu
- lub mimo wszystko spróbować zastąpić istniejący element

Jeżeli w importowanym pliku brakuje pewnych elementów
Opcja pozwalająca użytkownikowi kontrolować przypadek, gdy pewnych elementów brakuje w importowanym pliku.

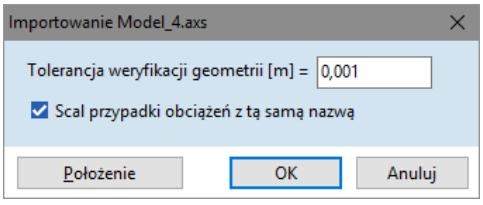
- Zachowaj już istniejące elementy
- Usuń je również z modelu

☞ **Obecnie aktualizacja na podstawie importowanego pliku wymiany obsługuje tylko elementy prętowe, obszary i podpory.**

3.1.7.7 Import plików AxisVM

AxisVM (.axs)*

Importuje model z istniejącego pliku AxisVM do programu AxisVM i scala go z bieżącym modelem. Podczas procesu scalania, polecenie Weryfikacja geometrii (**Patrz...** sekcja *4.8.19 Weryfikacja geometrii*) zostaje automatycznie zastosowane.



Jeżeli różne właściwości przypisane są do tych samych scalonych elementów, właściwości bieżącego modelu zostaną zachowane. Grupy i kombinacje obciążeń (jeżeli istnieją) zostają dołączone do istniejących jako nowe grupy lub kombinacje, a przypadki obciążeń jako nowe przypadki. Jeżeli w importowanym modelu nie zostały zdefiniowane żadne grupy ani kombinacje obciążeń, to przypadki obciążeń zostaną dołączone do istniejących jako nowe przypadki.
Jeżeli ten sam przypadek obciążeń istnieje w obu modelach, obciążenia zostaną scalone, jeżeli zaznaczono pole wyboru *Czy scalić przypadki obciążeń z tą samą nazwą?*.

Jeżeli oba modele zawierają obciążenia, które mogą pojawić się tylko raz (np. termiczne) w tym samym przypadku obciążeń, zachowane zostanie tylko obciążenie w bieżącym modelu.
Fragmenty, wycinki po liniach i płaszczyzn wycinających o takich samych nazwach są scalane, w przeciwnym wypadku zostaną dołączone.

Za pomocą przycisku *Położenie* można umiejscowić graficznie importowany model w przestrzeni modelu.

3.1.7.8 Import plików z innych aplikacji

Stereo Lithography (.stl)*

Odczytuje trójkątną siatkę opisującą elementy powierzchniowe modelu z pliku w formacie STL (binarny lub tekstowy). Wielokrotne węzły i zniekształcone trójkąty zostają odfiltrowane. Import można także przeprowadzić do warstwy podkładu.

Bocad (.sc1)*

Otwiera plik z danymi utworzony przez oprogramowanie Bocad steel construction (*.sc1) i importuje przekroje i geometrię belek.

Glaser -isb cad- (.geo)*

Importuje pliki *.geo wyeksportowane przez Glaser -isb cad- opisujące modele prętowe i powierzchniowe.

Steel Detailing Neutral Format (.sdnf)*

Importuje pliki wyeksportowane do formatu Steel Detailing Neutral Format, używane do wymiany danych między programami do detalizowania konstrukcji stalowych.

DSTV (.stp)*

W bieżącej wersji, AxisVM jest w stanie zaimportować pliki STP z zaimplementowanym schematem „PSS_2000_04" bazujący na "Standard Description for Product Interface Steel Construction 4/2000". Ten typ pliku został przewidziany do przechowywania danych konstrukcji stalowych i opisuje zarówno elementy prętowe jak i płaskie regiony. Poprzez ten format mogą nawet zostać zaimportowane obliczenia statyczne, chociaż z ograniczonymi możliwościami.
Po uruchomieniu importu pojawia się poniższe okno dialogowe:

W parametrach importu użytkownik może wybrać pomiędzy importem modelu obliczeniowego lub samego modelu architektonicznego, o ile oba zawarte są w pliku STP. Podczas próby importu danych do istniejącego modelu, użytkownik może wybrać pomiędzy ich nadpisaniem lub dodaniem.

3.1.8 Konstrukcja parametryczna

„Konstrukcja parametryczna opiera się na założeniu, że określone liczby tj. parametry sterują geometrią. Aby w pełni wykorzystać ten potencjał, parametry te powiązane są ze sobą, a te więzy tworzą układ. W związku z tym możliwe jest, że poprzez modyfikację tylko jednego parametru zmieni się cała geometria. Załóżmy, że modyfikując jedynie rozpiętość kratownicy, automatycznie zmieniana jest wysokość i układ kratownicy zarówno w modelu 3D, jak i na rysunkach warsztatowych. Aby zbudować system, który będzie w stanie tego dokonać, wymagany jest czas.

Dlatego warto się zastanowić czy warto ten czas poświęcić na zbudowanie takiego modelu parametrycznego. Efektem zbudowania odpowiednich więzów parametrycznych z dynamicznie zmieniającym się modelem będzie bardzo elastyczne narzędzie."

Na podstawie artykułu: Péter Romvári: *Parametric design in practice* in epiteszforum.hu

Wtyczka AxisVM Eksport

Najczęściej wykorzystywanymi programami do parametryzacji konstrukcji budowlanych są Grasshopper oraz Dynamo. Są one często nazywane jako graficzne edytory algorytmów, które z łatwością można użyć do tworzenia parametrycznych modeli.
Za pomocą wtyczek do eksportu AxisVM, można wyeksportować do AxisVM parametryczny model utworzony w Grasshopper/Dynamo. Najpierw wtyczka AxisVM Eksport powinna zostać zainstalowana w Grasshopper / Dynamo. Wtyczka AxisVM Eksport komunikuje się z AxisVM poprzez jego interfejs API (interfejs COM). Proces eksportu wymaga, aby AxisVM i Grasshopper / Dynamo były zainstalowane na tym samym komputerze. Po rozpoczęciu eksportu automatycznie uruchamia się AxisVM, pokazując wyeksportowany model.

Zaletą tego interfejsu jest to, że można w łatwy sposób tworzyć modele parametryczne, a nawet szablony w Grasshopper / Dynamo. Na przykład parametry kratownicy mogą obejmować rozpiętość, wysokość, układ i rozmiary profili. Inną zaletą jest to, że w Grasshopper / Dynamo istnieje wiele funkcji geometrycznych, które umożliwiają tworzenie złożonych modeli przestrzennych.

Obecnie możliwe jest eksportowanie do AxisVM modeli zawierających linie proste. Dostępne są dwie opcje eksportu:

- Eksport linii
- Eksport elementów (wymaga zdefiniowania typu elementu (pręt kratowy, pręt, żebro), materiału i przekroju poprzecznego)

Aktualnie możliwe jest użycie następujących właściwości:

- Materiał (zgodnie z biblioteką Eurokodów z Biblioteki materiałów AxisVM)
- Przekrój poprzeczny (dwuteownik, rura okrągła i prostokątna, przekrój okrągły i prostokątny z biblioteki przekrojów AxisVM)

3.1.8.1 Wtyczka Grasshopper/Rhinoceros

Grasshopper /Rhinoceros (.gh) (*.3dm)*

Grasshopper to narzędzie do parametrycznego projektowania w środowisku programu Rhinoceros, oprogramowania typu CAD. Grasshopper może zostać uruchomiony z poziomu Rhinoceros.
Aby wyeksportować zawartość z pliku o rozszerzeniu **.gh*, konieczne jest zainstalowanie dodatku GrasshopperToAxisVM w Grasshopper dla Rhinoceros w wersji 6 lub 7. Po instalacji, funkcje (komponenty) do modelowania i eksportu będą dostępne w menu Grasshoppera na zakładce AxisVM. Przed eksportem do AxisVM należy załadować plik do Grasshoppera.

Po zmianie parametrów w Grasshopper, odpowiednie modyfikacje zostaną przekazane do zadania w AxisVM, w którym tak utworzony model będzie automatycznie podążał za kolejnymi zmianami tych parametrów. Po wyeksportowaniu, finalny model w AxisVM może być w nim dalej edytowany przez użytkownika. Jednak tak dokonane modyfikacje użytkownika nie generują już zwrotnej informacji do Grasshoppera, czyli nie mają wpływu na parametry w Grasshopperze.

Wspomniany dodatek AxisVM może zostać pobrany z https://www.food4rhino.com/en/app/grasshoppertoaxisvm. Więcej informacji wraz z przykładowymi plikami oraz przewodnikiem instalacji: https://axisvm.eu/axisvm-downloads/ w części AXISVM POSSIBILITIES FOR PARAMETRIC DESIGN.

3.1.8.2 Dynamo/Revit plugin

Dynamo /Revit (.dyn) (*.rvt files)*

Dynamo jest narzędziem do parametrycznego projektowania w programie Autodesk Revit. Dynamo może zostać uruchomione z poziomu Revit lub jako niezależny program (Dynamo Studio, Dynamo Sandbox).
Aby wyeksportować plik z rozszerzeniem **.dyn*, wtyczka Eksport AxisVM musi być zainstalowana w Dynamo. Po zainstalowaniu funkcje dotyczące modelowania i eksportu dostępne są w menu Dynamo po lewej stronie, w menu rozwijanym pod nazwą AxisVM. Pliki Revit (**.rvt*) powinny zostać wczytane do Dynamo przed eksportem do AxisVM.

Przed eksportem należy utworzyć najpierw nowy model w Dynamo za pomocą *AxModel node*. Ciężar własny, obciążenie węzłowe i podpory węzłowe mogą zostać dodane do parametrycznych danych modelu konstrukcyjnego. Po uruchomieniu eksportu tworzony jest jednokierunkowy link pomiędzy modelem parametrycznym a modelem AxisVM. Oznacza to, że modyfikacja parametrów geometrycznych lub konstrukcyjnych w Dynamo automatycznie aktualizuje model konstrukcyjny w AxisVM. W AxisVM można w dalszych krokach dodawać nowe elementy, ale nie wpływa to na parametryczny model w Dynamo.
Z poziomu Dynamo możliwe jest uruchomienie liniowej analizy statycznej w AxisVM.
Połączenie pomiędzy modelami zostaje zerwane w przypadku zamknięcia jednego z modeli.

Najprostszym sposobem pobrania wtyczki Eksport AxisVM jest zrobienie tego z poziomu samego programu Dynamo. W tym celu należy wybrać z menu Dynamo -> Packages, a następnie Search for a Package i wpisać AxisVM Export.
W celu dalszych informacji, plików przykładowych i instrukcji instalacji zajrzyj tutaj:
https://github.com/AxisVM/DynamoToAxisVM/wiki

3.1.9 Połączenie Tekla Structures – AxisVM (moduł TI)

AxisVM może łączyć się z programem Tekla Structures w różny sposób, w zależności od wersji:

- wersja Tekla Structures 2019 i późniejsze,
- wersja Tekla Structures do 2019.

3.1.9.1 Dwukierunkowa wymiana danych z Tekla Structures 2019 i nowsze

Instalacja

Jeżeli podczas instalacji AxisVM użytkownik zaznaczy również plugin Tekla, to instalator skopiuje wszystkie niezbędne pliki, włącznie z plikami pluginu dla Tekli *AxisVM Import &Export*. Żadne dodatkowe działanie nie jest potrzebne. Jeżeli moduł **TI** jest zawarty w konfiguracji AxisVM, to dwukierunkowe połączenie z Teklą będzie działać po zakończeniu instalacji AxisVM.

Plugin *AxisVM Import &Export* dla Tekla Structures może zostać również zainstalowany oddzielnie. W tym celu należy pobrać instalator ze strony AxisVM.

3.1.9.1.1 Przekazywanie modelu z AxisVM do Tekla Structures

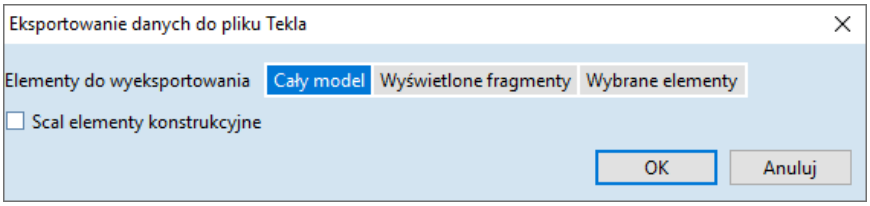
AxisVM z modułem **TI** może eksportować model do Tekla Structures poprzez utworzenie pliku z rozszerzeniem ATE. Plik ten może być następnie odczytany przez dedykowany dla Tekla Structures plugin, który utworzy model za pomocą poleceń Tekla Open API.

Eksportowane elementy

AxisVM może wyeksportować następujące typy elementów: pręty kratowe, pręty, żebra, obszary, podpory oraz zbrojenie rzeczywiste. Plugin *AxisVM Import & Export* dla Tekli ma również możliwość filtrowania elementów. Wyeksportowane elementy zawierają informacje o geometrii, materiale i przekroju poprzecznym elementu prętowego, materiale obszaru oraz sztywności podpór węzłowych. Przypadki i kombinacje obciążeń nie są jeszcze obsługiwane.

Eksport do pliku ATE

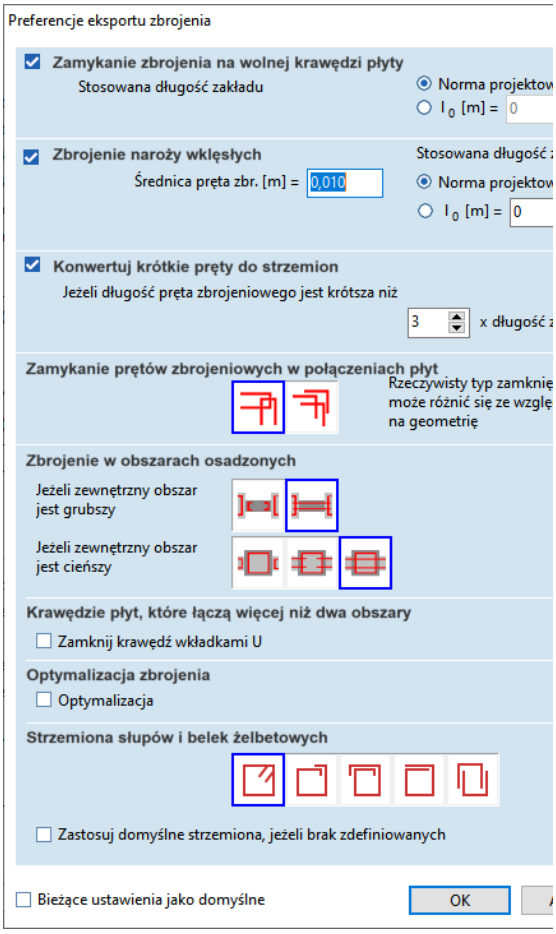
Polecenie eksportu może zostać uruchomione z menu głównego AxisVM: *Plik / Eksport / Eksport do Tekla (*.ate)*.
Po kliknięciu przycisku *Ustawienia* wyświetlone zostaną dostępne opcje.



Cały model:	zostaną wszystkie dane
Wyświetlone fragmenty:	wyeksportowane zostaną tylko bieżące, aktywne fragmenty
Wybrane elementy:	wyeksportowane zostaną tylko zaznaczone elementy
Scal elementy konstrukcyjne:	elementy współliniowe o tych samych właściwościach zostaną scalone w jeden element konstrukcyjny

Eksport zbrojenia rzeczywistego

Od wersji X5 R4 użytkownik może wyeksportować do pliku .ate również zbrojenie rzeczywiste.



AxisVM pozwala wyeksportować nie tylko zastosowaną powierzchnię zbrojenia w postaci prętów prostych o zadanej średnicy i rozstawie, ale również dodatkowe pręty odgięte (zamykające kształtki U, pręty zagięte itd.).
Obliczona długość całkowita wkładki jest zawsze zaokrąglana w górę do najbliższej wartości z następującego zakresu: 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0, 2.4, 3.0, 4.0, 6.0, 12.0m.

Zamykanie zbrojenia na wolnej krawędzi płyty

Wolne krawędzie mogą zostać zamknięte za pomocą wkładek U, których długość wyznaczana jest na podstawie długości zakładu pręta. Długość zakładu obliczana jest wg ustawień wybranej w programie normy lub podana przez użytkownika jako wartość l_0. Opcja ta może zostać wyłączona.

Zbrojenie naroży wklęsłych

Naroża wklęsłe mogą zostać wzmocnione za pomocą prostych prętów, których długość wyznaczana jest na podstawie długości zakładu pręta. Długość zakładu obliczana jest wg ustawień wybranej w programie normy lub podana przez użytkownika jako wartość l_0. Opcja ta może zostać wyłączona.

Konwertuj krótkie pręty do strzemion

Aby uniknąć zbędnego wstawiania prętów, algorytm może mieć zdefiniowaną minimalną długość prętów prostych. Długość tę określa się jako wielokrotność długości zakotwienia. Pręty proste o długości mniejszej niż zdefiniowana wartość będą zamieniane na strzemiona. Opcja ta może zostać wyłączona.

Zamykanie prętów zbrojeniowych w połączeniach płyt

Wzdłuż wspólnej krawędzi płyt, które nie leżą w jednej płaszczyźnie algorytm może połączyć zbrojenie poszczególnych płyt za pomocą wkładek U lub L. Rzeczywista geometria tych wkładek zależy od grubości i kąta połączonych płyt. W niektórych przypadkach program może także zrewidować i zmienić wybór użytkownika. Wymiary wkładek uwzględniają minimalną długość zakotwienia.

Zbrojenie w obszarach osadzonych

Metoda zamykania zbrojenia w obszarach osadzonych w innych obszarach może zostać wybrana przez użytkownika. Zbrojenie obszarów może być traktowane niezależnie, może zostać wpuszczone w jeden i drugi obszar lub jeżeli obszar osadzony jest dość mały to pręty zewnętrznego obszaru mogą być przez niego przepuszczone.

Krawędzie płyt, które łączą więcej niż dwa obszary

W takich przypadkach nie ma automatycznego rozwiązania, więc użytkownik może wybrać, czy chce je całkowicie pominąć, czy też zamknąć je niezależnie od siebie.

Optymalizacja zbrojenia

Optymalizacja służy do równomiernego rozłożenia prętów, gdy obszary zbrojenia się nakładają. Opcja może spowodować wydłużenie procesu eksportowania.

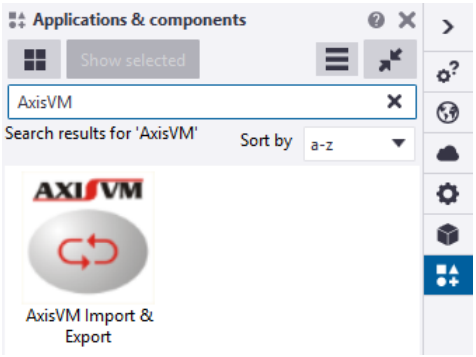
Strzemiona słupów i belek żelbetowych

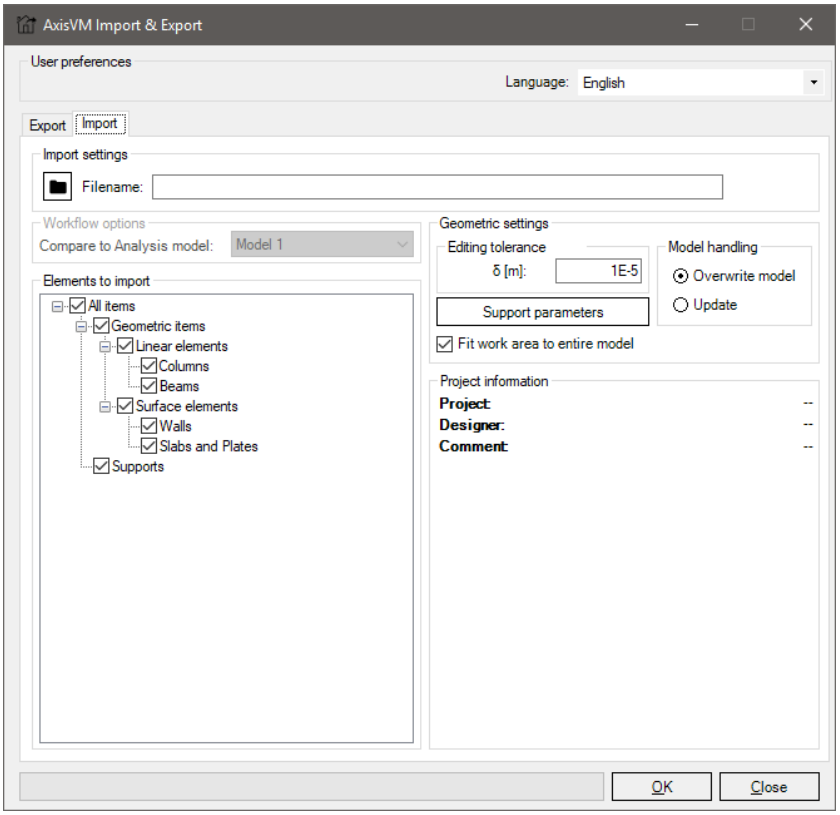
Strzemiona zostaną wyeksportowane do pliku zgodnie z ustawieniami jakie zostały im przypisane podczas wymiarowania elementów. Jeżeli ustawienia te z jakiegoś powodu są niedostępne, to użytkownik za pomocą powyższej opcji może przyjąć ich rozstaw zgodnie z wymogami normowymi lub całkowicie je pominąć. Kształt przyjmowanych strzemion można wybrać poprzez kliknięcie odpowiedniej ikony spośród pięciu dostępnych.

Importowanie pliku ATE do Tekla Structures

Plik z rozszerzeniem ATE może zostać zaimportowany do Tekla Structures za pomocą dedykowanego pluginu. Przed importem wskazane jest zamknięcie okna dialogowego *Analysis & Design models*. W przeciwnym razie proces importu zostanie znacznie spowolniony.

Aby uruchomić import znajdź “AxisVM” w katalogu *Applications & components* Tekla Structures i kliknij dwa razy na *AxisVM Import & Export*. Otwarte zostanie poniższe okno dialogowe





Import settings Kliknij przycisk po lewej stronie tekstu *Filename*. Po wskazaniu pliku podgląd modelu zostanie wyświetlony w prawym dolnym rogu.

Elements to import Importowane elementy mogą zostać filtrowane poprzez zaznaczenie ich na liście.

Workflow options Opcja aktywna tylko, gdy *Model handling* został ustawiony na *Update*. Istnieje wtedy możliwość wskazania modelu analitycznego do porównania.

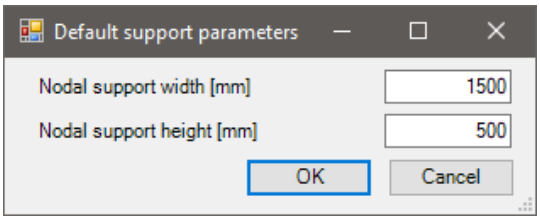
Editing tolerance Wartość tolerancji użyta podczas wyznaczania geometrii.

Model handling

Overwrite model Wszystkie istniejące obiekty zostaną usunięte przez zaimportowaniem modelu.

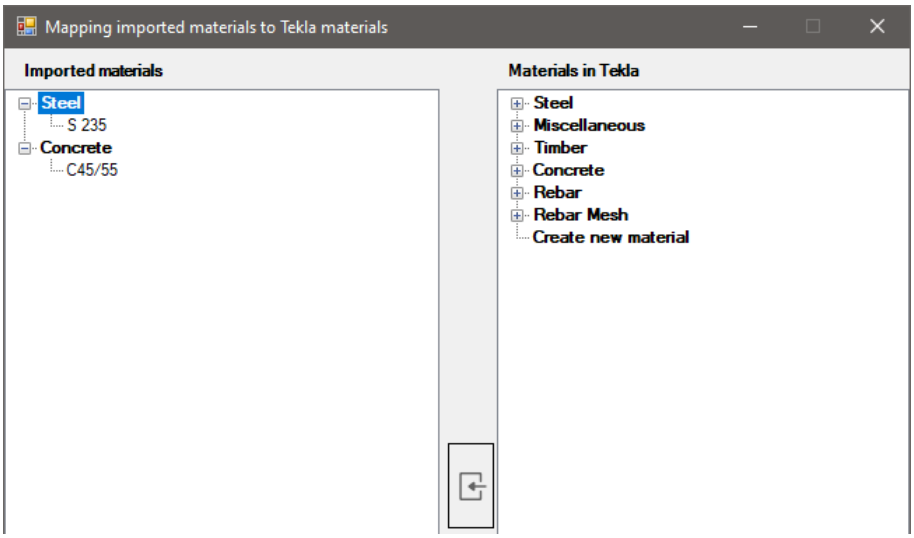
Update Aby porównać istniejący model z importowanym, należy zaznaczyć tę opcję. Elementy zmienione zostaną zaktualizowane. Po kliknięciu przycisku OK zostaną wyświetlone dalsze opcje.

Support parameters Geometria podpór węzłowych w Tekla zostanie utworzona na podstawie parametrów domyślnych. Kliknięcie przycisku *Support parameters* pozwala ustawić te parametry.



Project information Informacje o modelu wyeksportowanym w AxisVM.

Mapowanie materiałów Ponieważ odpowiadające materiały z Tekla nie mogą zostać automatycznie wyszukane w AxisVM, konieczne jest zmapowanie materiałów, które należy przeprowadzić ręcznie w poniższym oknie dialogowym.



W tym celu należy wybrać materiał AxisVM z listy po lewej stronie i odpowiadający jemu materiał w Tekla po prawej stronie, a następnie kliknąć przycisk znajdujący się pomiędzy tymi listami. Po tej operacji zaznaczona pozycja po lewej stronie przeskoczy do następnej. Nazwa przypisanego materiału zmieni kolor na czerwony. Materiały nieprzypisane pozostaną czarne.
Jeżeli na liście po lewej stronie zostanie zaznaczona cała kategoria materiałów (a nie tylko pojedynczy materiał), to wszystkie materiały z tej kategorii zostaną przypisane do wybranej pozycji z Tekla.
Możliwe jest także utworzenie na bazie właściwości materiału w AxisVM nowego materiału dla Tekla, poprzez kliknięcie *Create new material* z listy po prawej stronie.
Jeżeli wszystkie materiały zostaną dopasowane, to przycisk OK stanie się aktywny i będzie możliwe kontynuowanie importowanie modelu.

3.1.9.1.2 Przekazywanie modelu analitycznego z Tekla Structures do AxisVM

Plugin Tekla Structures *AxisVM Import & Export* może eksportować dane modelu do pliku o rozszerzeniu TAE. Plik ten może być następnie zaimportowany w AxisVM.

Eksportowane dane

Plugin eksportuje następujące typy elementów: elementy prętowe z ich materiałem i przekrojem poprzecznym, obszary z ich materiałem, podpory węzłowe, przypadki i kombinacje obciążeń.
Wyeksportowane z Tekli zostaną tylko elementy modelu analitycznego. Podpory muszą zostać zdefiniowane jako oddzielne podpory punktowe. Elementy prętowe z niestandardowymi przekrojami poprzecznymi nie są konwertowane do modelu statycznego i są eksportowane tylko jako profile użytkownika.

Przygotowanie

Ważne jest, aby poprawnie przygotować model analityczny w Tekla. Dzięki temu model w AxisVM będzie mógł zostać użyty bez dalszych poprawek. W celu uzyskania poprawnego modelu zaleca się ustawienie właściwości jak na obrazku obok.

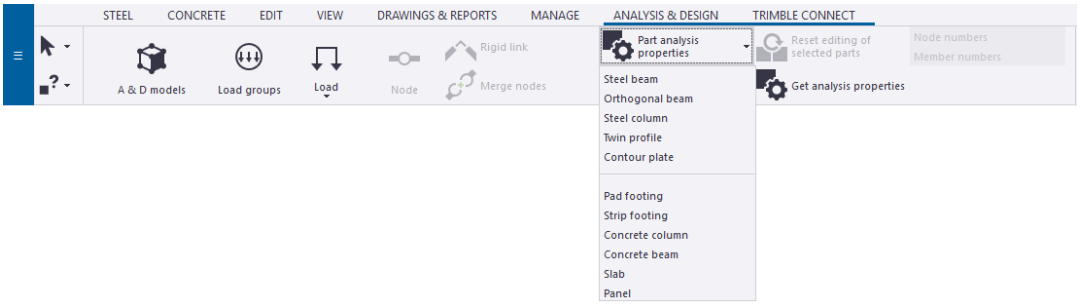
Optymalne ustawienie może różnić się w zależności od modelu i może być konieczne indywidualne ustawienie tych właściwości.

Przed utworzeniem modelu analitycznego pomocne jest wyświetlenie odpowiednich elementów. We właściwościach widoku można ustawić odpowiedni zakres elementów do wyświetlenia.

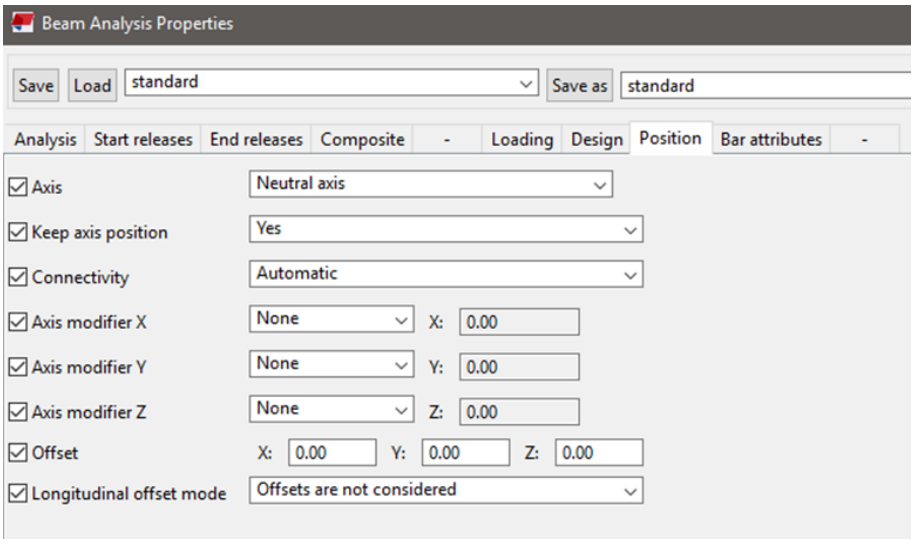
Dla wyświetlonych odpowiednich elementów zaznacz cały model i ustaw właściwości analityczne każdej części. Tak ustawiony model analityczne powinien mieć właściwe cechy i powinien zminimalizować potrzebę późniejszych poprawek.

Ustawienie właściwości analitycznych części

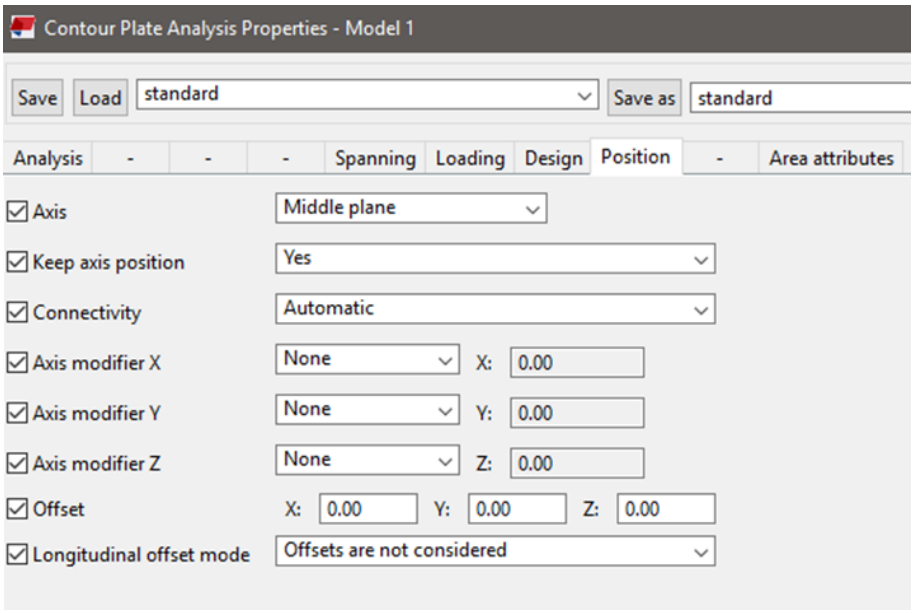
Dostęp do właściwości znajduje się w menu. Patrz obrazek poniżej.



Dla belek i słupów ustaw poniższe parametry na zakładce *Position*:



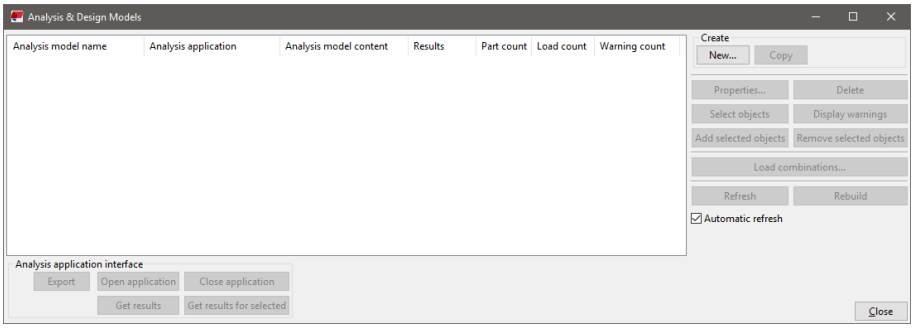
Dla konturów płyt, stropów i paneli ustaw następujące parametry na zakładce *Position*:



Utworzenie modelu analitycznego

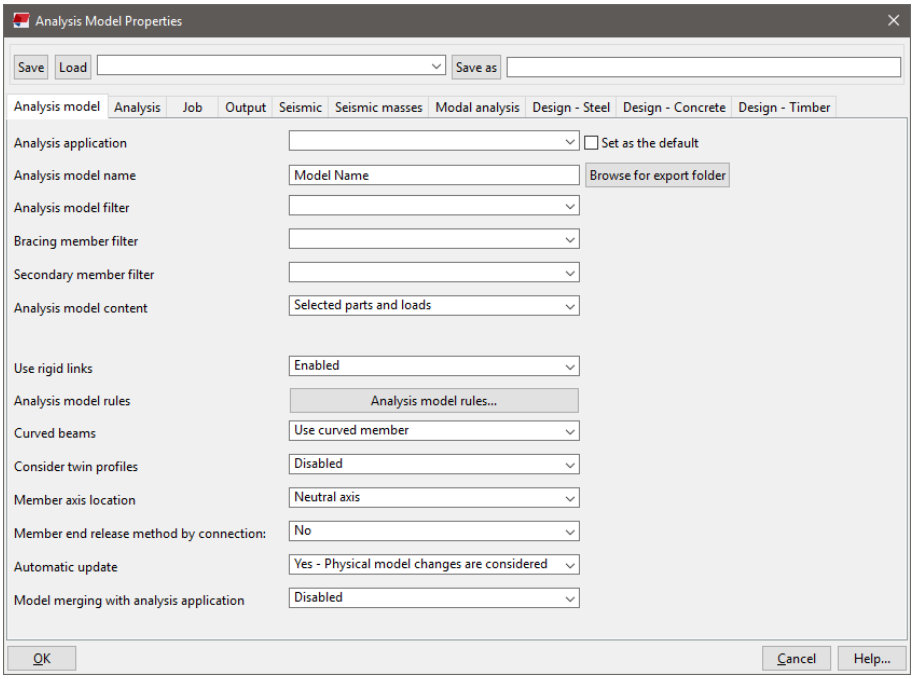
Po ustawieniu właściwości analitycznych każdej części można przejść do tworzenia modelu.

1. Otwórz okienko dialogowe *Analysis & Design*



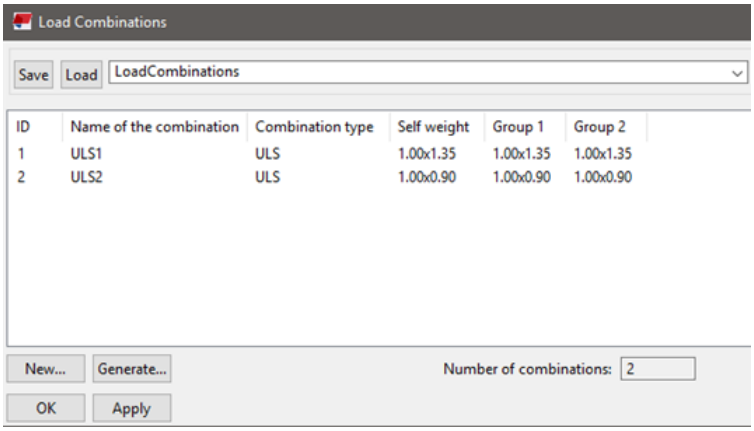
2. Wybierz *New...*, aby utworzyć nowy model analityczny z poniższymi parametrami
Press *New...* to create a new analysis model with the parameters below:

Analysis Model Properties



3. Wybierz części i obciążenia, które mają zostać dodane do modelu analitycznego i kliknij przycisk *Add selected objects*.
Aby usunąć elementy z modelu analitycznego zaznacz je i kliknij *Remove selected objects*.

4. Naciśnij *Load combinations...*, aby skonfigurować kombinacje obciążeń.



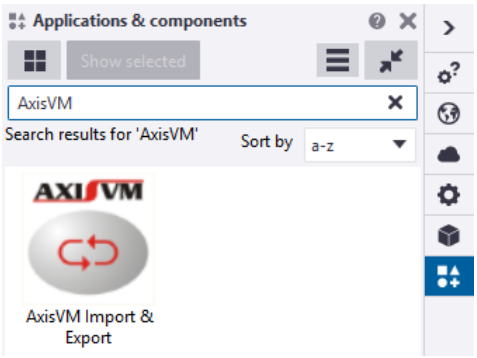
5. Sprawdź, czy wystąpiły jakieś ostrzeżenia wskazane przez Tekla Structures i spróbuj je najpierw rozwiązać.

Eksport modelu analitycznego do pliku TAE

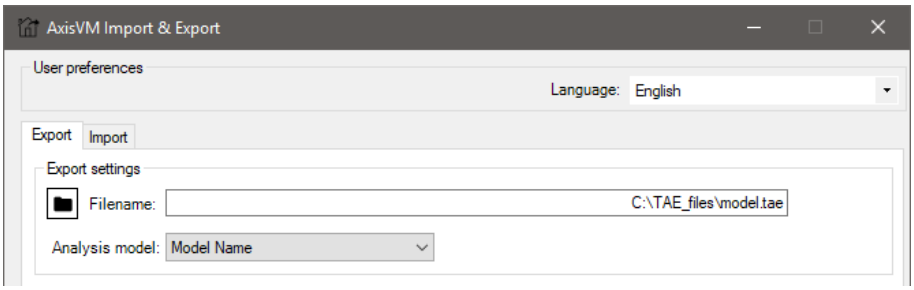
1. Znajdź "AxisVM" w katalogu *Applications & components* i otwórz plugin *AxisVM Import & Export* poprzez jego dwukrotne kliknięcie.

2. Wybierz miejsce zapisu pliku TAE oraz jego nazwę. Należy także wybrać, który model analityczny ma zostać wyeksportowany.

Kliknięcie OK uruchomi proces eksportu.



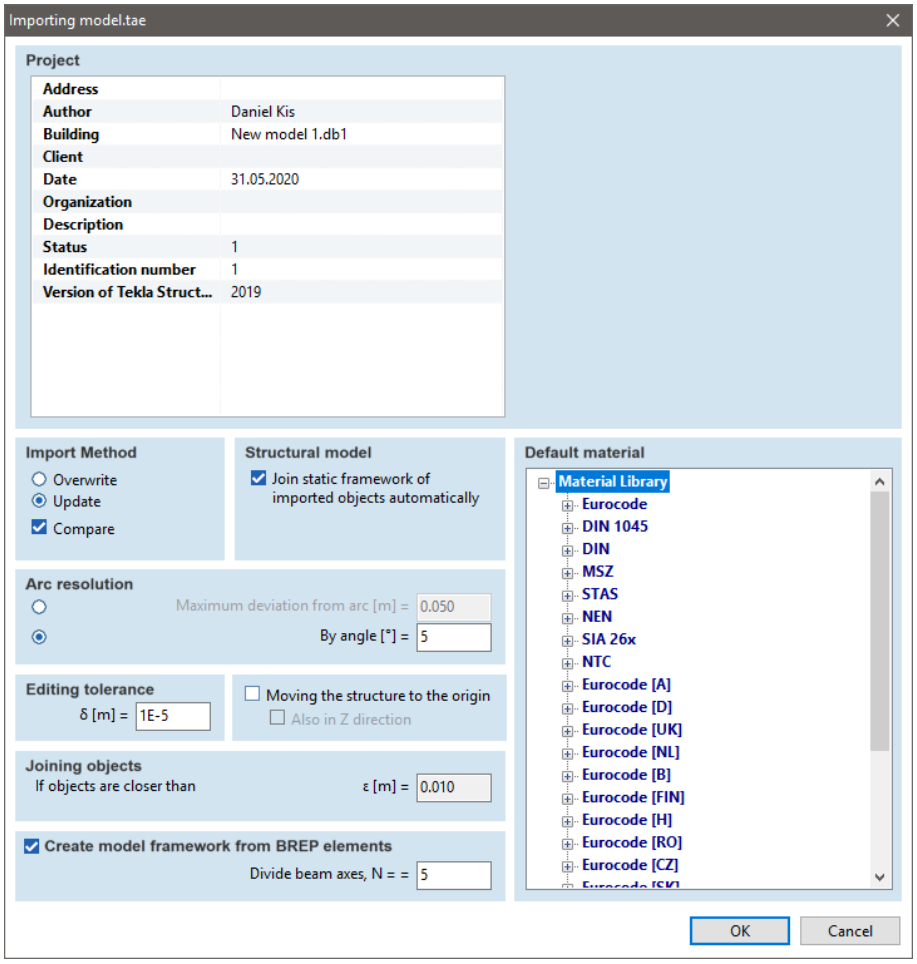
Export the model



Jeżeli wyświetlony został komunikat *Exporting data succeded* oznacza to, że operacja zakończyła się pomyślnie.
Utworzony plik o rozszerzeniu TAE może teraz zostać przeciągnięty do okna programu AxisVM lub wczytany do niego za pomocą *Plik / Import*.

Import pliku TAE w AxisVM

Podczas importu pliku w AxisVM wyświetlone zostanie poniższe okno dialogowe:



Project Informacje o projekcie zdefiniowane w Tekla.

Import method Jeżeli przestrzeń modelu w AxisVM nie jest pusta, to zostaną wyświetlone dwie opcje: zastąpienie modelu lub jego aktualizacja.

Structural model Jeżeli ta opcja jest aktywna, to AxisVM będzie zmieniał samą geometrię układu, aby zbudować właściwy model szkieletowy. Kolidujące pręty łączone są za pomocą elementów sztywnych, sąsiadujące obszary są łączone, pręty w płaszczyźnie obszaru zamieniane są na żebra. Niektóre z tych obliczeń wymagają znacznych zasobów obliczeniowych i mogą spowolnić proces importu.

Arc resolution Niektóre obliczenia geometryczne wymagają zastąpienia łuków za pomocą wielokątów. W tym miejscu można ustawić kryterium konwersji.

Editing tolerance Tolerancja użyta podczas analizy geometrii układu.

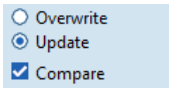
Joining objects Aby zwiększyć skuteczność wykrywania kolizji, obrysy obiektów są trochę zawyżane. W tym miejscu steruje się wartością tej tolerancji. Kontrolka jest aktywna tylko wtedy, gdy zaznaczono opcję w *Structural model*.

Default material Użytkownik może wybrać materiał do przypisania do elementów, dla których nie dostarczono takich informacji z Tekla.

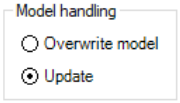
3.1.9.1.3 Współpraca pomiędzy AxisVM i Tekla Structures

AxisVM i Tekla Structures mogą wymienić między sobą informacje niezbędne do współpracy. Polega to na porównywaniu modeli podczas importu-eksportu. Dzięki temu inżynier pracujący nad tym samym projektem może importować nowe lub zmodyfikowane elementy modelu bez ingerencji w niezmienione elementy.
Proces współpracy może zostać uruchomiony zarówno z AxisVM jak i Tekla Structures.
Aby aktualizacja modelu była możliwa, należy wybrać opcję *Update* i zaznaczyć *Porównaj*.

AxisVM:



Tekla:



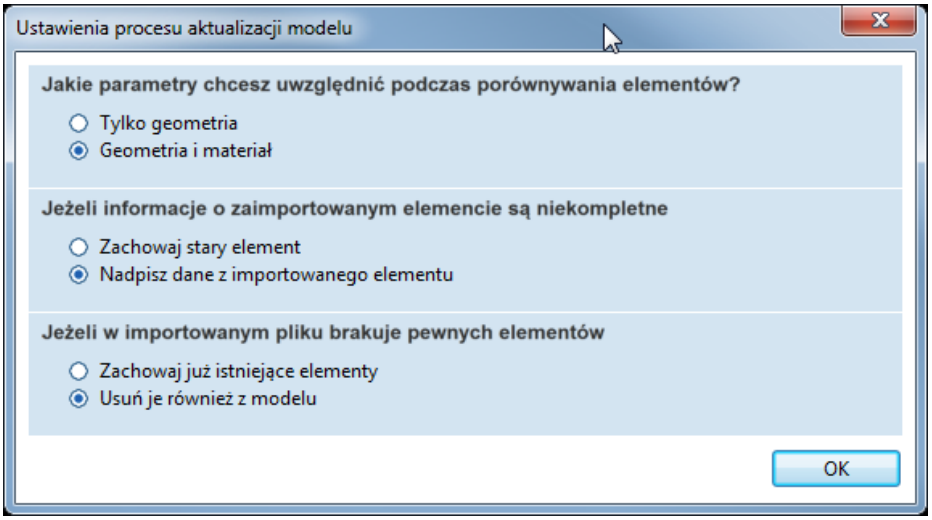
Podczas importu możliwe są następujące przypadki:

1. Importowany element nie może zostać znaleziony w istniejącym modelu analitycznym, więc może zostać bez przeszkód zaimportowany.
2. Jeden lub więcej elementów istniejącego modelu nie może zostać znalezionych w importowanym modelu. W takiej sytuacji użytkownik może wybrać, czy chce te elementy usunąć czy też zignorować je i zostawić je bez zmian.
3. Importowany element został znaleziony w istniejącym modelu. W takim przypadku program dokonuje porównania na podstawie:
    a) materiału elementów,
    b) modelu statycznego elementów,
    c) profilu lub grubości elementów.

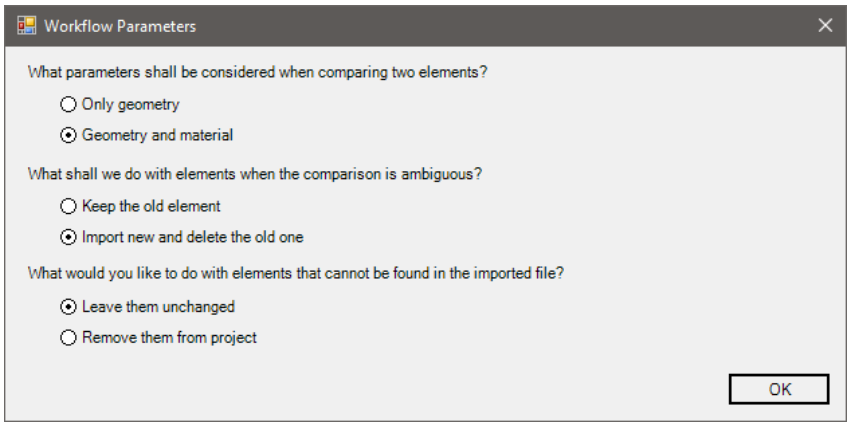
Jeżeli na podstawie takiego porównania zostanie stwierdzone, że elementy są równe, to importowany element jest pomijany. W przeciwnym razie, gdy okaże się, że elementy są różne, to dalej przetwarzany jest element przychodzący, a poprzedni jest usuwany z modelu.
Jeżeli z jakiegoś powodu wykonanie porównania jest niemożliwe, decyzję czy zachować istniejący czy importowany element musi podjąć użytkownik.

Preferencje te można dostosować przed samym procesem importu w poniższym oknie:

Okno z ustawieniami AxisVM



Okno z ustawieniami Tekla

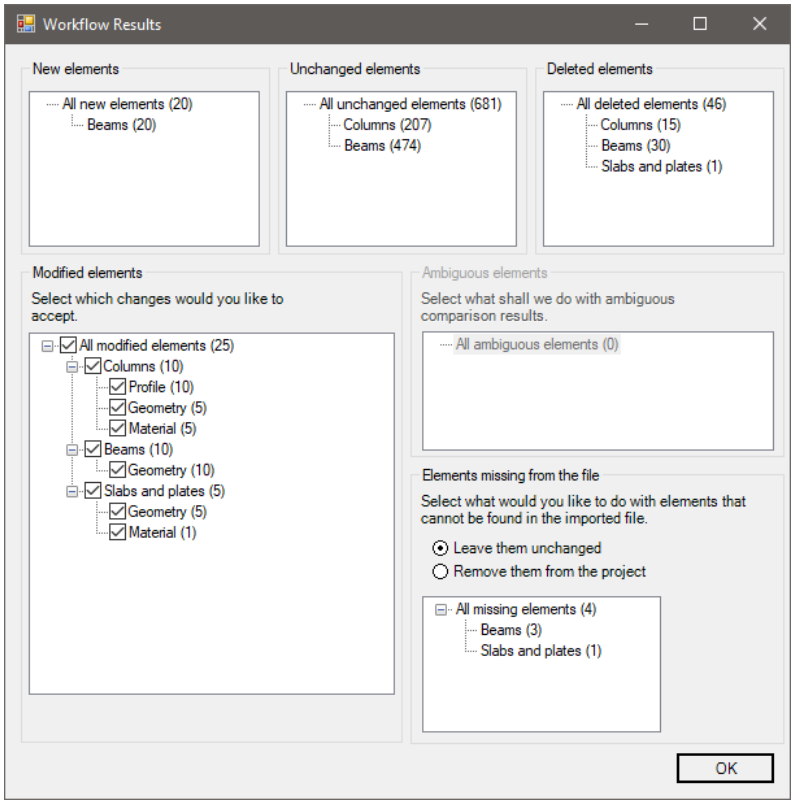


Importowanie do Tekla Structures

Podczas importowania modelu AxisVM do Tekla Structures wykonywana jest weryfikacja pod kątem:

a) materiału elementów
b) układu statycznego elementów
c) profilu oraz grubości elementów
d) charakterystyk sprężyn

Po porównaniu powyższych parametrów istnieje możliwość przejrzenia podsumowania zmodyfikowanych elementów i dopasowania dalszego działania.



Nowe elementy Lista zawiera elementy utworzone w AxisVM od ostatniego eksportu z AxisVM. Elementy te będą zawsze utworzone po zaimportowaniu.

Niezmienione elementy Na tych elementach nie przeprowadzono żadnych modyfikacji. Pozostaną one tak jak były.

Usunięte elementy Elementy te zostały usunięte w AxisVM od ostatniego eksportu. Zostaną również usunięte w Tekla po zakończeniu procesu importu.

Zmodyfikowane elementy Lista zawiera elementy zmodyfikowane w AxisVM. Wszystkie składowe listy są domyślnie zaznaczone. Odznaczenie ich spowoduje pominięcie ich zmian podczas importu.

Brakujące elementy Elementy te nie zostały znalezione podczas importu, ale są obecne na modelu w programie Tekla. Można wybrać jedną z dwóch opcji: usunąć te elementy lub zignorować je i pozostawić bez zmian.

Elementy niejednoznaczne

Jeżeli jakiś element ma niepełne dane lub nie może zostać z jakichś powodów zweryfikowany podczas porównania, to zostanie umieszczony na tej liście. Można zdecydować wtedy, czy element taki ma zostać nadpisany czy też poprzednia wersja elementu ma pozostać na modelu.

3.1.9.2 Jednokierunkowa wymiana danych z Tekla Structures (wersje sprzed 2019)

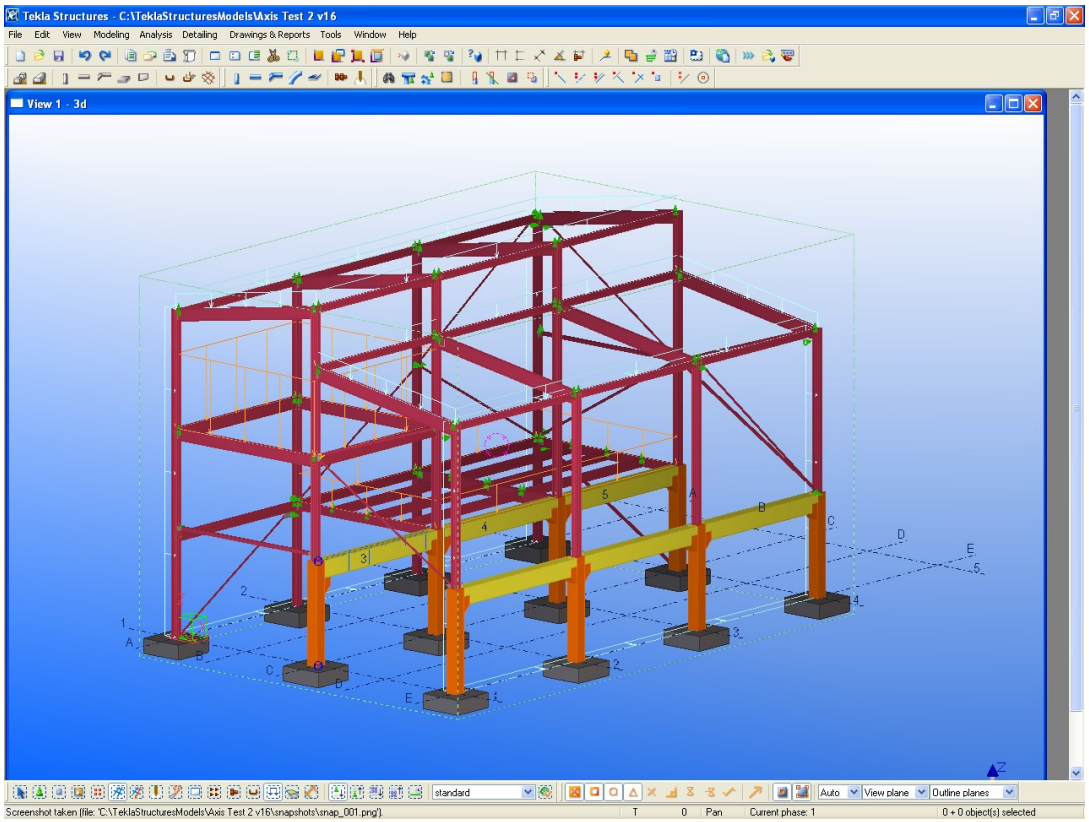
Połączenie tych dwóch programów przeprowadzone jest przez uaktywniony serwer COM, który uruchamia program AxisVM. Aby nawiązać połączenie, serwer COM musi zostać zarejestrowany w systemie operacyjnym (w Rejestrze systemu), a następnie Tekla Structures musi zostać powiadomiona o dostępności kompatybilnego serwera.
Program instalacyjny AxisVM automatycznie przeprowadza rejestrację, jeżeli jednak program Tekla Structures nie jest zainstalowany, druga rejestracja nie będzie mogła zostać ukończona. Dlatego po zainstalowaniu Tekla Structures należy rozpocząć rejestrację ponownie, uruchamiając dwa pliki wsadowe z folderu AxisVM:

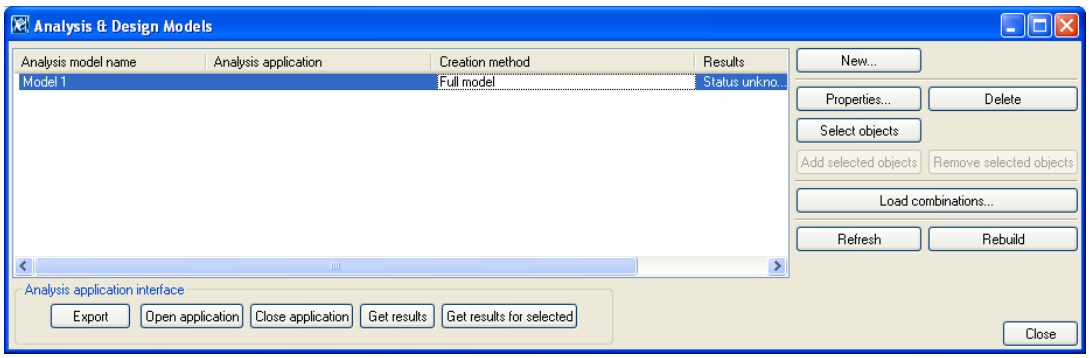
```
!REGISTER_AXISVM_X64.BAT
!REGISTER_TEKLA_X64.BAT
```

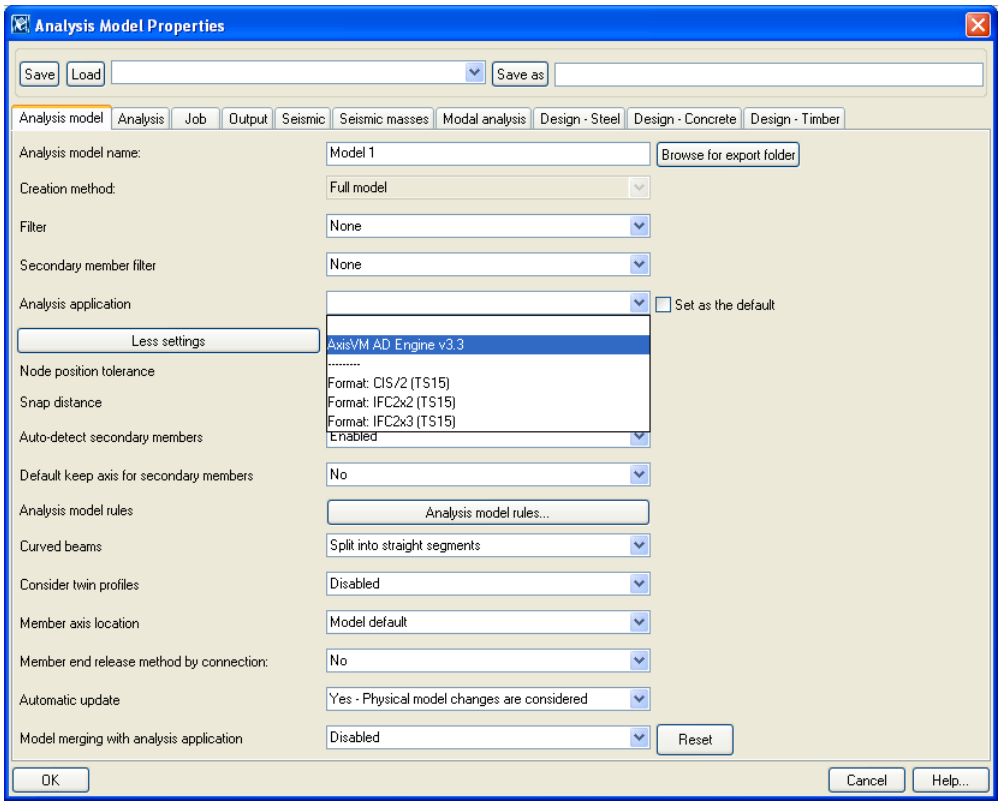
Jeżeli połączenie przestanie działać w jakimś momencie, zaleca się na nowo przeprowadzić rejestrację.

Połączenie

Gdy rejestracja zostanie ukończona, model utworzony w Tekla Structures można przenieść do AxisVM w następujący sposób: kliknij *Analysis & Design models...* w menu *Analysis*, a następnie przycisk *Properties*, aby ustawić AxisVM AD Engine jako *Analysis engine*.

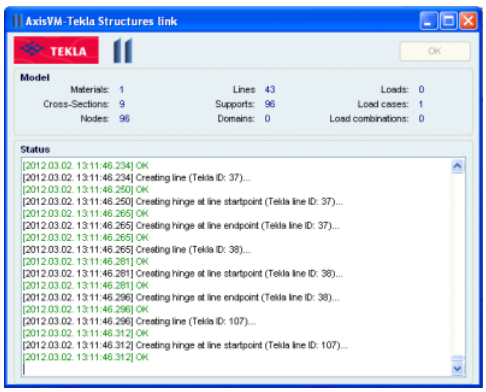




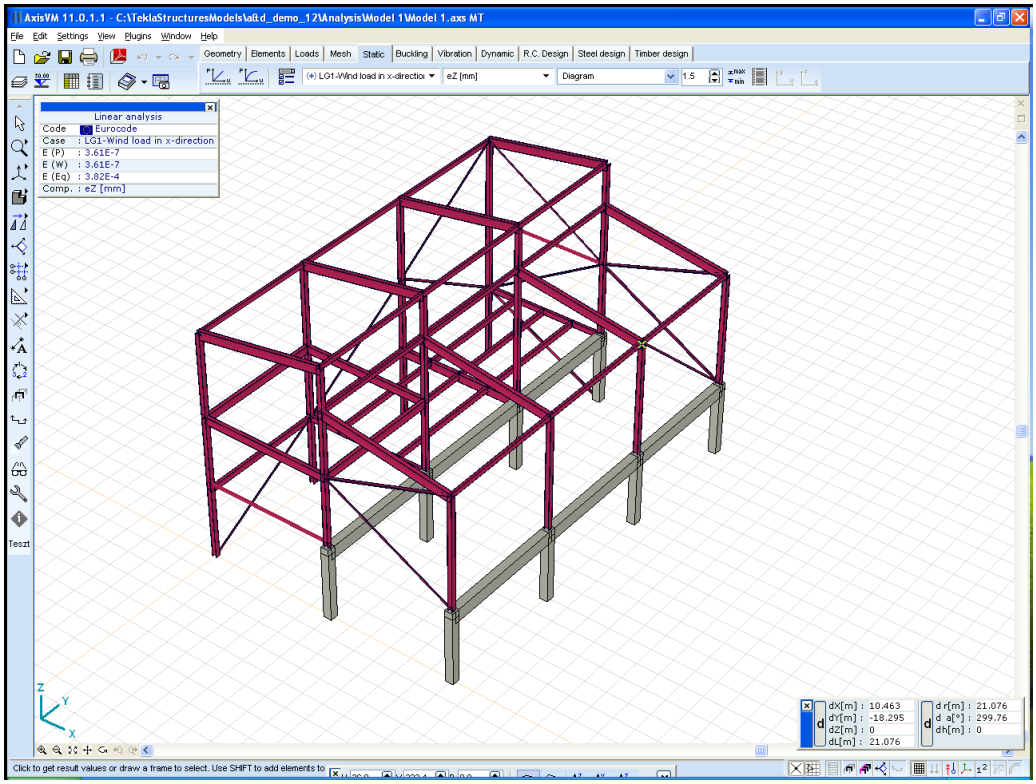


Jeżeli AxisVM AD Engine nie pojawi się na rozwijanej liście, oznacza to, że rejestracja nie powiodła się i musi zostać powtórzona.

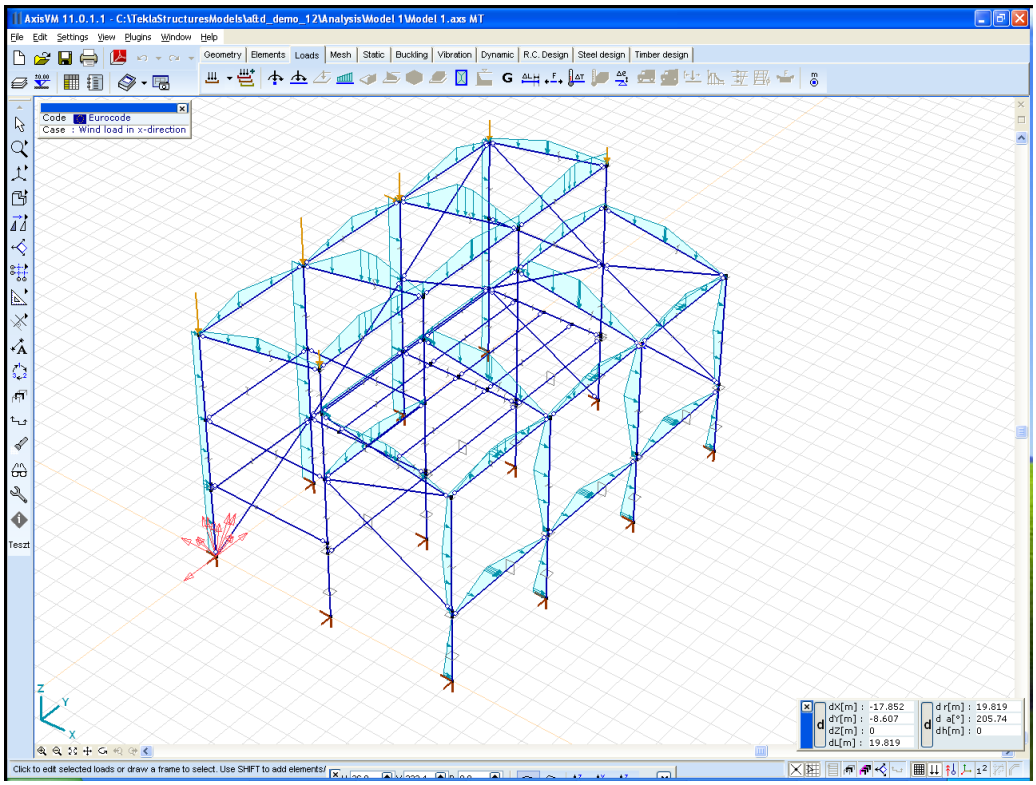
Powracając do okna dialogowego *Analysis & Design models*, należy kliknąć *Run*, aby rozpocząć przenoszenie modelu. Status procesu zostanie wyświetlony w oknie dialogowym. Gdy przeniesienie zostanie zakończone, należy kliknąć przycisk OK, aby wyświetlić model w programie AxisVM.



Model przeniesiony do programu AxisVM:

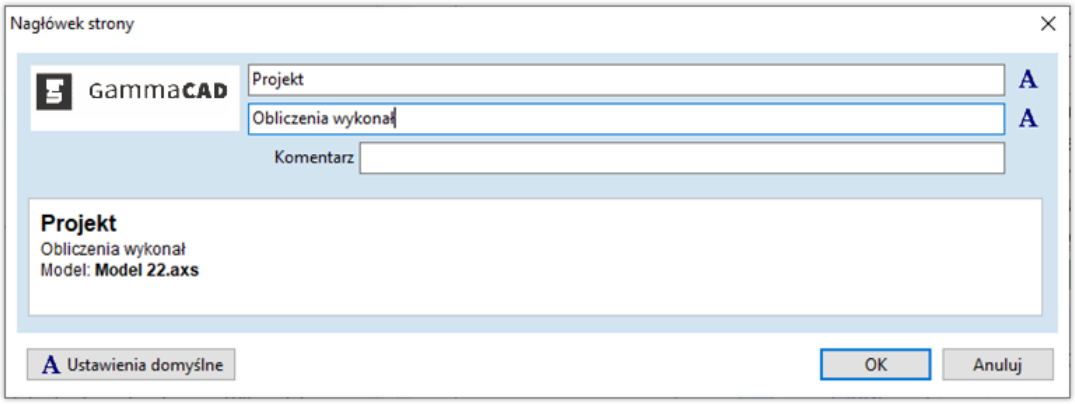


Obciążenia i przypadki obciążeń określone w Tekla Structures zostaną także przekonwertowane.



3.1.10 Nagłówek strony

Umożliwia określenie tekstu nagłówka (dwie linijki), który zawiera nazwę projektu i projektanta. Nagłówek pojawi się u góry każdej, drukowanej strony. Można również dołączyć dodatkową linijkę komentarza.



Jeżeli logo nagłówka strony zostało wybrane przy druku rysunków, tabel lub raportów to pojawi się również tutaj. Kliknij w logo lub w jego puste miejsce, aby je zmienić lub wejdź w *Ustawienia / Preferencje / Raport... / Logo firmy / Ustawienia...*

3.1.11 Opcje wydruku

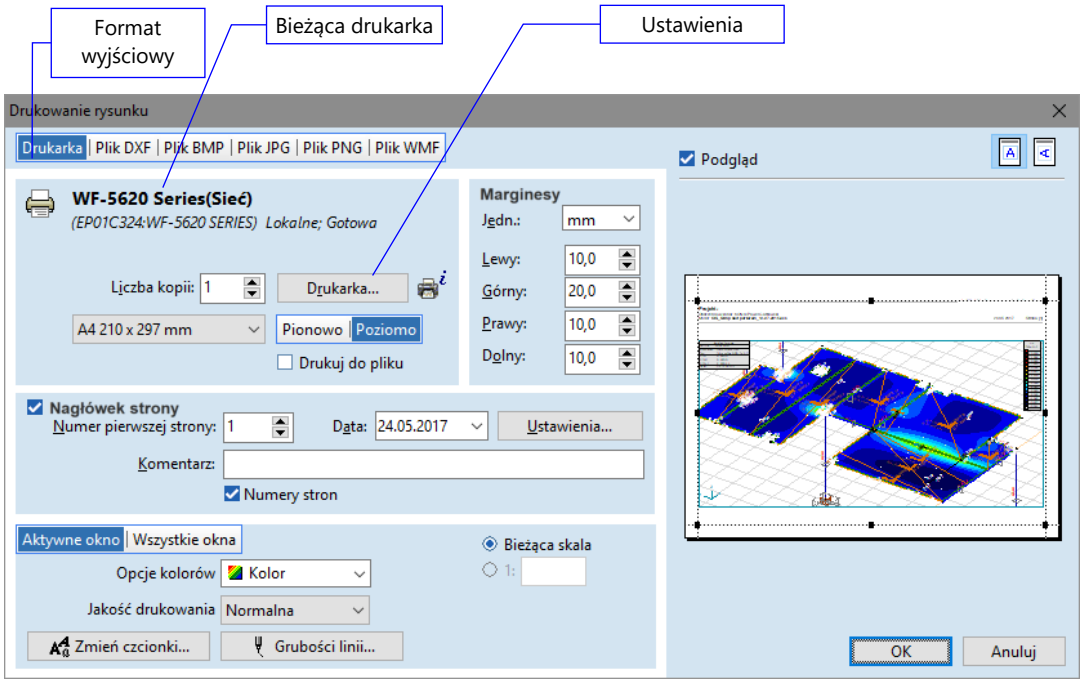
Umożliwia ustawienie parametrów domyślnej drukarki.
Jest to standardowe okno dialogowe Windows, więc jego język odpowiada językowi zainstalowanego systemu operacyjnego.

3.1.12 Drukuj

[Ctrl]+ [P]

Umożliwia drukowanie modelu zgodnie z bieżącymi ustawieniami wyświetlania. Umożliwia również ustawienia drukarki i strony.

Drukowanie rysunku



Wyślij do

Umożliwia wysłanie danych wyjściowych bezpośrednio do drukarki/plotera lub do pliku graficznego (DXF, BMP lub Windows Metafile [WMF/EMF]).

Drukarka

Umożliwia wybór i ustawienie drukarki.

Jeżeli jako wyjście ustawiony jest plik, drukowanie zostanie zachowane w pliku *Nazwa.prn*, gdzie *Nazwa* to nazwa pliku do wprowadzenia.

Można ustawić żądaną liczbę kopii.

Przycisk *Ustawienia...* wywołuje standardowe okno Windows ustawienia wydruku, w którym można zmienić drukarkę, a także szczegółowe ustawienia drukarki.

Skalowanie

Umożliwia ustawienie skali rysunku do wydruku. W przypadku widoku zrenderowanego lub perspektywy lub jeżeli dane wyjściowe są wysłane do metapliku Windows, ustawienie skalowania nie jest możliwe.

Marginesy (Drukarka / DXF)

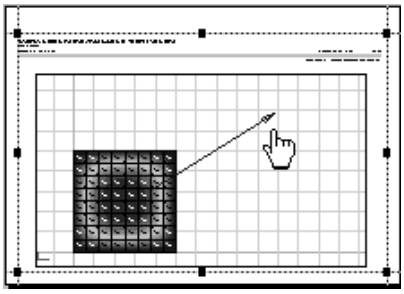
Umożliwia ustawienie wielkości i jednostek dla marginesów na stronie. Linie marginesów można również przeciągać w obrębie obszaru podglądu za pomocą uchwytów narożnych lub środkowych.

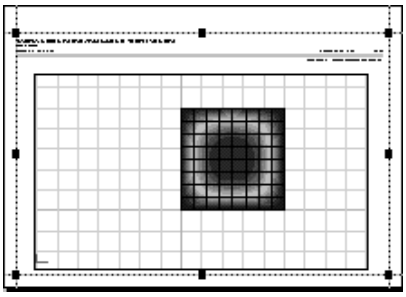
Rozmiar bitmapy (BMP, JPG)

Umożliwia ustawienie rozmiarów bitmapy w pikselach, calach, milimetrach lub centymetrach i rozdzielczość bitmapy w dpi (punkty na cal).

Podgląd

Umożliwia wyświetlenie podglądu drukowanego obrazu przed wydrukowaniem. Po wybraniu Drukarki jako urządzenia docelowego, kursor graficzny zmieni się w rączkę za każdym razem, gdy znajdzie się w obszarze podglądu. Naciskając lewy przycisk myszy i poruszając nią, można określić dodatkowo przesunięcie widoku, które wpłynie tylko na drukowane dane wyjściowe.





Nagłówek strony

Umożliwia ustawienie daty i komentarza, które zostaną wyświetlone na każdej stronie oraz numeru początkowego dla numeracji stron. Jeżeli pole wyboru *Numery stron* jest wyłączone, po słowie *Strona* pojawi się puste pole, umożliwiając ręczne wpisanie numerów stron.

Ustawienia... wyświetlają okno dialogowe *Nagłówek strony* (**Patrz...** *3.1.10 Nagłówek strony*), w którym można zmienić logo firmy.

Orientacja

Umożliwia ustawienie orientacji strony.

Opcje kolorów

Umożliwia wybór drukowania w skali szarości, w kolorze lub na biało-czarno.

Jeżeli dana drukarka nie ma opcji drukowania w kolorze, w pierwszych dwóch opcjach można uzyskać różne rezultaty.

Po wybraniu drukowania w skali szarości, dane wyjściowe zostaną przekonwertowane do skali szarości za pomocą wewnętrznej palety szarości AxisVM. Po wybraniu drukowania w kolorze, konwersja do skali szarości zostanie przeprowadzona przez program obsługi drukarki Windows. Zaleca się wypróbować obie wersje, aby dowiedzieć się, która lepiej sprawdzi się w danym przypadku.

Po wybraniu drukowania na biało-czarno, wszystkie obiekty zostaną wydrukowane na czarno.

Rozmiar papieru

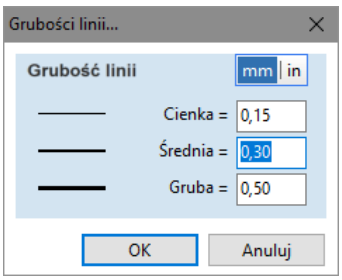
Umożliwia wybranie rozmiaru papieru.

Zmień czcionki

Umożliwia wybranie czcionek oraz ich rozmiaru, które mają zostać użyte podczas drukowania.

Grubość linii

Ustawia grubość linii do wydruku.
Grube linie są używane do rysowania podpór i elementów sztywnych,
średnie linie do rysowania izolinii i wycinków,
a cienkie do elementów, geometrii i innych obiektów.



Okna do wydruku

Umożliwia drukowanie aktywnego okna lub wszystkich wyświetlonych okien.

Drukuj do pliku

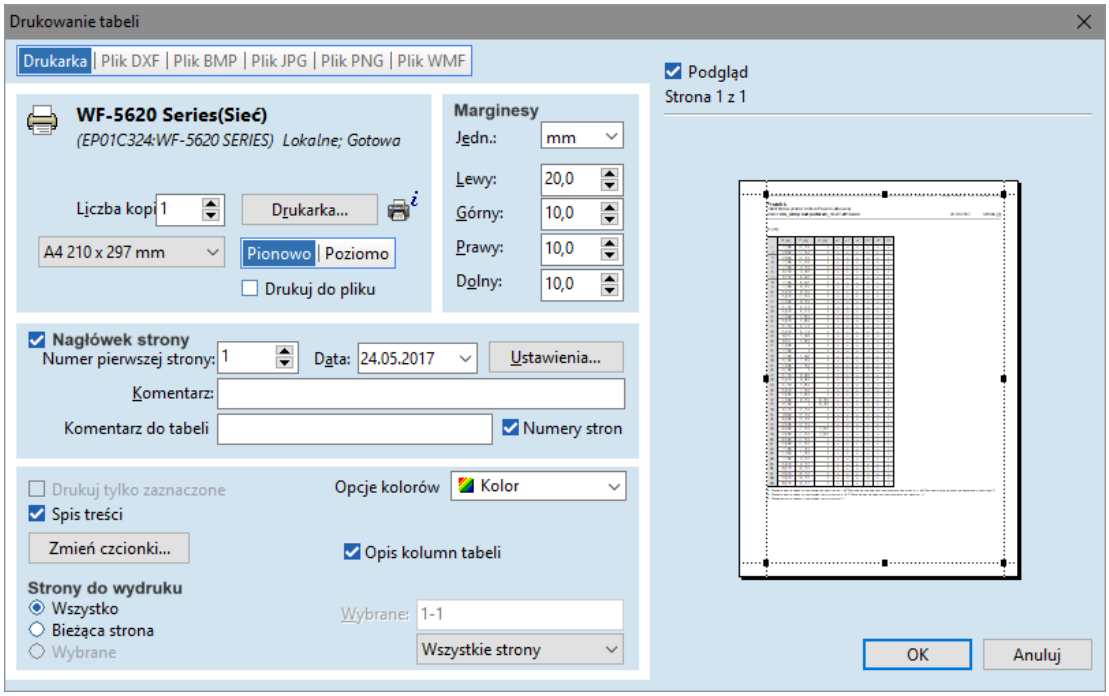
Jeżeli wybrana została opcja *Drukuj do pliku*, drukowanie zostanie przekierowane do pliku `nazwa.prn`, który można wydrukować później w dowolnym momencie.

Jeżeli plik `nazwa.prn` już istnieje, można dodać do niego swój wydruk lub zastąpić go.

Drukowanie tabeli

Drukując z Przeglądarki tabel można ustawić strony (wszystkie / parzyste / nieparzyste), które mają zostać wydrukowane ze wszystkich / bieżących / wybranych stron.

Przykład: Wpisując 1, 3, 7-10, 20-18 do pola Wybrane, wydrukowane zostaną strony w tej kolejności: 1, 3, 7, 8, 9, 10, 20, 19, 18.



Drukuj tylko zaznaczone

Aktywne tylko podczas drukowania raportu. Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, drukowane będą tylko elementy raportu wybrane w Generatorze raportu. Gdy jest odznaczona, wówczas drukowane jest cały raport.

Spis treści

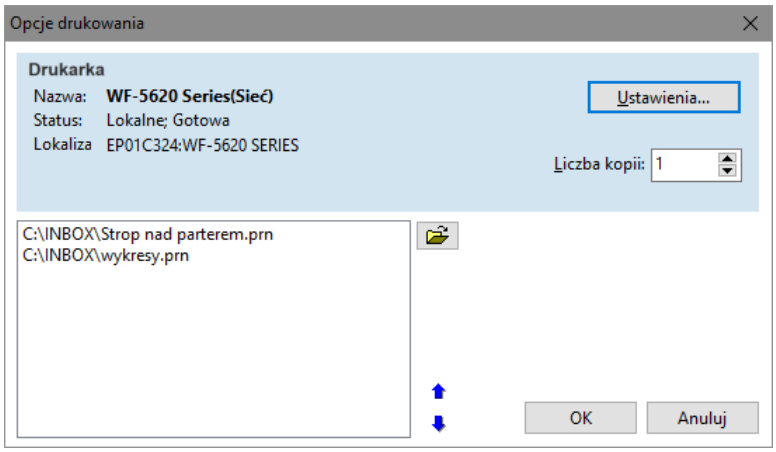
Drukowanie spisu treści na początku raportu jest opcjonalne.

Opis kolumn tabeli

Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, to pod każdą tabelą pojawi się podsumowanie opisujące znaczenie nagłówków kolumn danej tabeli.

3.1.13 Drukowanie z pliku

Utworzony wcześniej plik PRN można wydrukować z poniższego okna.

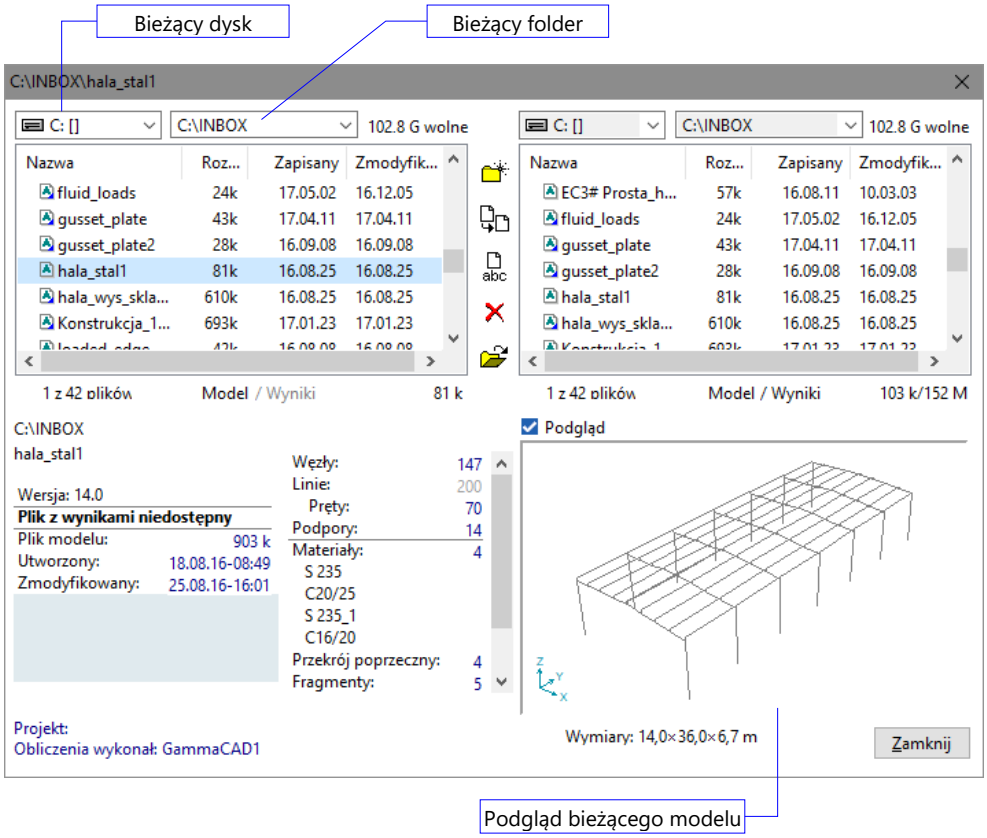


Jednorazowo można wydrukować więcej niż jeden plik PRN. Kolejność drukowania można ustawić przy pomocy strzałek góra/dół po prawej stronie listy plików lub przeciągając nazwy plików na nową pozycję za pomocą myszy.

3.1.14 Biblioteka modeli

Polecenie *Plik / Biblioteka modeli* umożliwia podgląd, uzyskanie informacji i zarządzanie plikami modeli. Tak jak w przypadku okien dialogowych Otwórz i Zapisz, wyświetlone zostaje standardowe okienko dialogowe dostępu do plików z tą różnicą, że w polu listy można wybrać wiele plików.

Pliki modelu programu AxisVM oznaczone są symbolem . Jeżeli model posiada plik z wynikami, wtedy prawy dolny róg symbolu zaznaczony jest na niebiesko .



Nowy
Tworzy nowy podfolder z nazwą określoną przez użytkownika, w bieżącym folderze.

Kopiuj
Kopiuje wybrane pliki do innego folderu. Można określić czy pliki z wynikami także mają zostać skopiowane.

Zmień nazwę/Przesuń
Zmienia nazwę wybranych plików w bieżącym folderze lub przenosi je do innego folderu.

Usuń
Usuwa wybrane pliki z bieżącego folderu. Można określić czy usunięte mają zostać wszystkie pliki, czy tylko pliki z wynikami.

Otwórz
Otwiera wybrany plik do edycji.

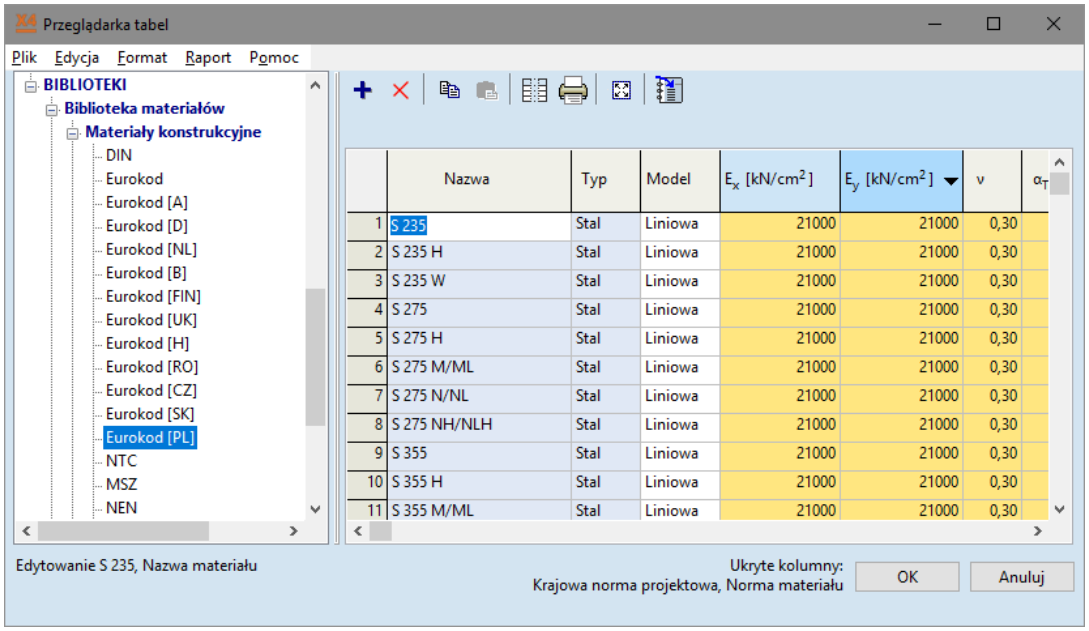
Pliki programu AxisVM oznaczone są symbolem . Jeżeli dostępny jest plik z wynikami, wtedy prawy dolny róg symbolu zaznaczony jest na niebiesko ..

Podgląd
Wyświetla model szkieletowy w widoku z przodu, z boku, z góry lub perspektywy w zależności od wymiarów modelu. Informacje na temat modelu zostają wyświetlone na liście.

Zamknij
Zamyka Bibliotekę modeli.

3.1.15 Biblioteka materiałów

Program AxisVM udostępnia preinstalowaną Bibliotekę materiałów (która zawiera najczęściej używane materiały konstrukcyjne) i umożliwia tworzenie zestawów charakterystyk materiałowych, które można wykorzystać ponownie w różnych modelach. Każdemu zestawowi należy przypisać inną nazwę.



Okno Biblioteki materiałów można otworzyć także za pomocą ikony Przeglądarki tabel i wybierając *Biblioteki / Biblioteka materiałów*. **Patrz**... *4.9.8 Elementy liniowe, 4.9.22 Tworzenie modelu obliczeniowego z modelu architektonicznego*
Patrz szczegółowy opis w rozdziale *2.9 Przeglądarka tabel.*

Właściwości materiałów

Tabela ta zawiera charakterystyki materiałów często używane w konstrukcjach budowlanych, zgodnie z normami MSz, Eurokod, DIN-1045, DIN-1045-1, NEN, SIA-162, STAS oraz normami włoskimi. Można dodawać, modyfikować i usuwać dane istniejących materiałów. W przypadku dodawania nowego materiału o istniejącej już nazwie, materiał zostanie dodany jako **nazwamateriału_numer**. Materiały te można wykorzystać w każdym modelu.

☞ **Zmiany w Bibliotece materiałów nie wpływają na zmodyfikowane materiały w modelach.**

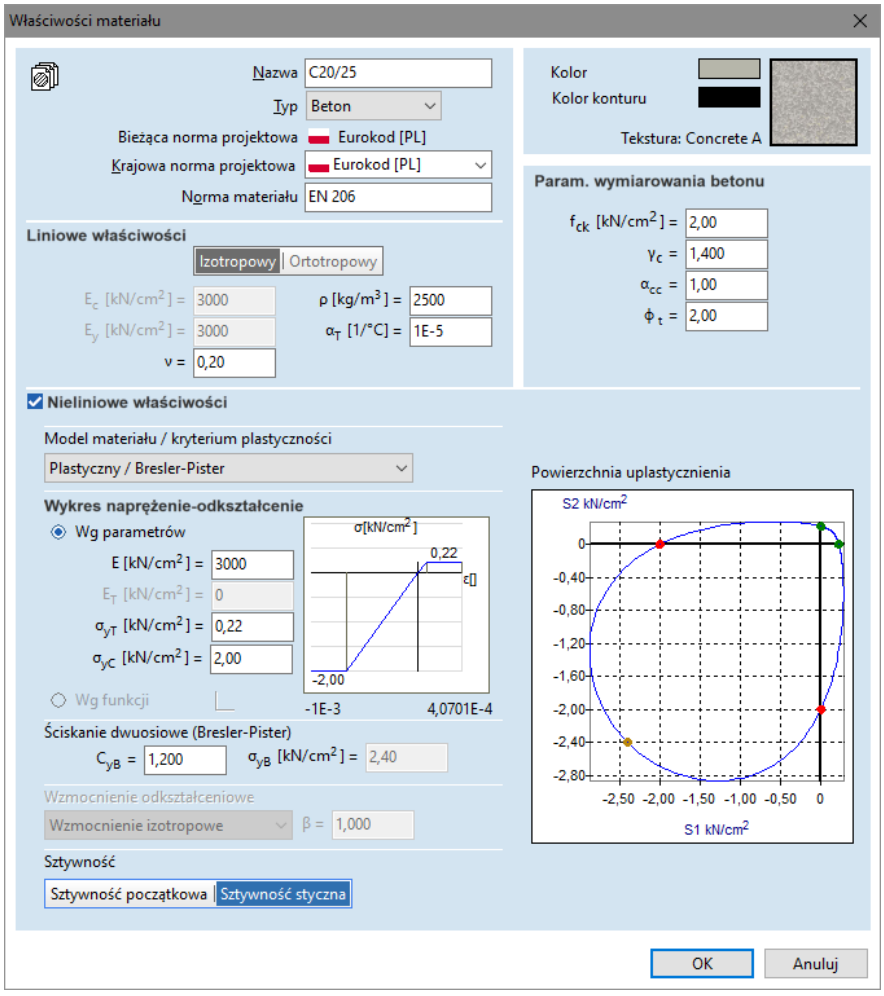
Podczas wprowadzania nowego materiału wyświetlone zostanie następujące okno dialogowe:

Definiuj nowy materiał

[Ctrl+Ins]

Zmień właściwości materiału

Definiując nowy materiał lub klikając na nieedytowalną kolumnę (np. krajowa norma projektowa, typ), wyświetlone zostanie okno dialogowe, które umożliwia zdefiniowanie i wprowadzenie zmian do wszystkich właściwości materiału oraz parametrów obliczeniowych i do wymiarowania. Pola zawierające podstawowe charakterystyki, niezależne od normy projektowej, można edytować w tabeli.
Gdy wprowadzany materiał zostanie nazwany identycznie jak inny materiał, to do nazwy dodany zostanie indeks (*nazwa_indeks*), aby rozróżnić go od istniejącego materiału.
Jeżeli do materiału nie została przypisana żadna tekstura, należy kliknąć na prostokąt z próbką, aby wybrać teksturę z biblioteki. **Patrz...** *2.16.4 Tryb prezentacji*



Właściwości materiału

Dla każdego materiału przechowywane są następujące właściwości:

Typ materiału: [stal, beton, drewno, aluminium, mur, inne]
Norma projektowa, norma materiałowa
Nazwa materiału
Kolor wypełnienia na ekranie
Kolor konturu na ekranie
Tekstura

Właściwości liniowe

Model materiału może być izotropowy lub ortotropowy.

E_x [kN/cm^2]	Moduł sprężystości (Younga) w kierunku x-lokalny
E_y [kN/cm^2]	Moduł sprężystości (Younga) w kierunku y-lokalny
ν	Współczynnik Poissona
α_T [1/°C]	Współczynnik rozszerzalności cieplnej
ρ [kg/m^3]	Gęstość masy

Obliczenia pozostałych właściwości materiału

$$E_z = \max\{E_x, E_y\}; \quad \nu_{ij} = \begin{cases} \nu & \text{if } E_i \geq E_j \\ \nu \frac{E_i}{E_j} & \text{if } E_i < E_j \end{cases}; \quad G_{ij} = \frac{E_i E_j}{E_i + E_j + 2\nu_{ij} E_j}$$

gdzie $ij = \{xy, xz, yz\}$

W przypadku materiałów typu drewno:

ρ jest gęstością drewna w stanie powietrznosuchym (12% wilgotności), a moduł sprężystości E oparty jest na wynikach badań zginania. Działanie czasu (relaksacja) nie jest uwzględniane.

Właściwości nieliniowe

Modele materiału dostępne w programie odnoszą się tylko do przypadku małych odkształceń.

Model materiału / kryterium uplastycznienia	*Typ materiału*		
	Stal	Beton, mur	Inne
NL sprężysty / na podstawie energii odkształcenia	✓	—	✓
Plastyczny / von Mises	✓	—	✓
Plastyczny / Bresler-Pister	—	✓	✓

Wykres naprężenie-odkształcenie

Wg parametrów

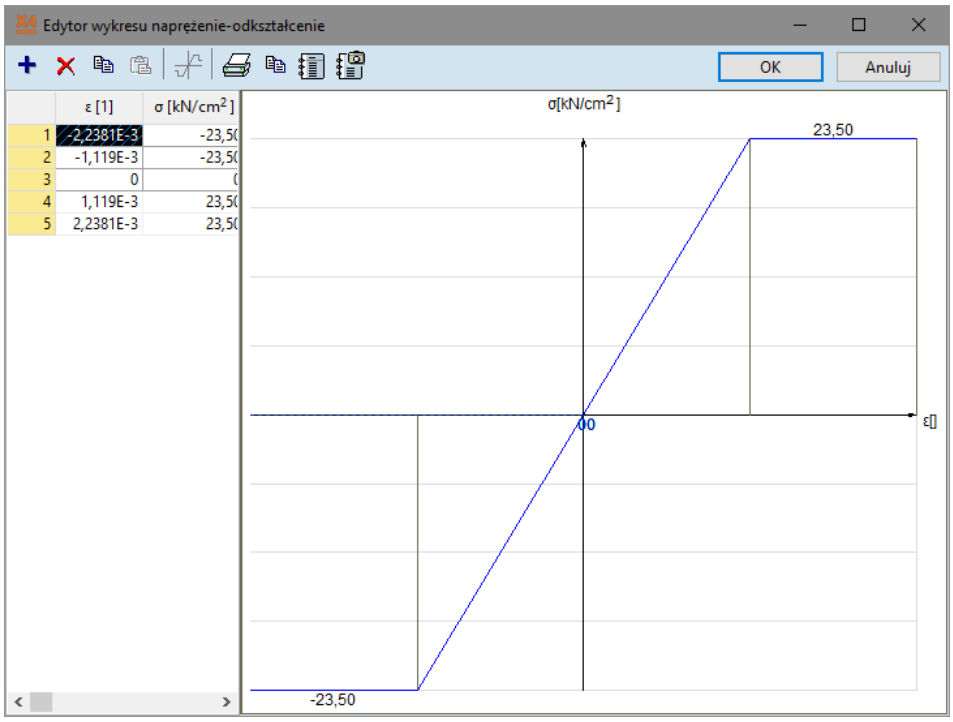
E [kN/cm^2] Moduł sprężystości (Younga) dla analizy nieliniowej (wzrost początkowego odcinka wykresu **σ-ε**)

E_T [kN/cm^2] Moduł sprężystości (Younga) dla analizy nieliniowej (wzrost stycznego odcinka wykresu **σ-ε**)

σ_{yT} [kN/cm^2] Rozciągające naprężenie uplastyczniające

σ_{yC} [kN/cm^2] Ściskające naprężenie uplastyczniające

Wg funkcji



Edytor wykresu naprężenie-odkształcenie

Większość funkcji paska narzędzi jest taka sama jak w edytorze wykresu przebiegu w czasie. **Patrz...** *4.10.30 Obciążenia dynamiczne (dla analizy zależnej od czasu).*

Funkcja symetryczna. Jeżeli ta opcja jest aktywna, definiowanie dodatniego fragmentu funkcji definiuje także fragment ujemny.

Dwuosiowe ściskanie

C_{yB} [] Współczynnik dla dwuosiowego ściskania

σ_{yB} [kN/cm^2] Naprężenie uplastyczniające dla dwuosiowego ściskania $\sigma_{yB} = C_{yB} \cdot \sigma_{yC}$

Ograniczenia parametrów

Model materiału / kryterium uplastycznienia	E_T	σ_{yC}	C_{yB}	*wykres σ-ε*
NL sprężysty / na podstawie energii odkształcenia	$E_T \geq 0$	$\sigma_{yC} \geq 0$	nd.	dowolny
Plastyczny / von Mises	$E_T \geq 0$	$\sigma_{yC} = \sigma_{yT}$	nd.	symetryczny
Plastyczny / Bresler-Pister	$E_T = 0$	$\sigma_{yC} \geq \sigma_{yT}$	$1 \leq C_{yB} \leq 1.2$	nd.

☞ **Wykres σ-ε musi być co najmniej bilinearny zarówno po stronie rozciąganej jak i ściskanej. Funkcja wykresu musi być monotonicznie rosnąca, a jej nachylenie musi być monotonicznie malejące.**

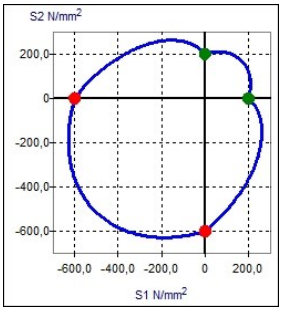
Wizualizacja powierzchni granicznej (uplastycznienia)

Wykres przedstawia przekrój powierzchni uplastycznienia w płaszczyźnie reprezentowanej przez naprężenia główne S1-S2. Ta krzywa graniczna należy do płaskiego stanu naprężenia.

NL sprężysty / na podstawie energii odkształcenia

Ten model materiału charakteryzuje się nieliniową odpowiedzią sprężystą. Oznacza to, że punkt opisujący aktualny stan przesuwa się wzdłuż krzywej σ-ε przy zwiększaniu lub zmniejszaniu obciążenia i brak jest nieodwracalnych deformacji.

Dostępne asymetryczne (inne po stronie ściskanej i rozciąganej) zachowanie σ-ε.



$\sigma_{yT} = 200$ MPa , $\sigma_{yC} = 600$ MPa

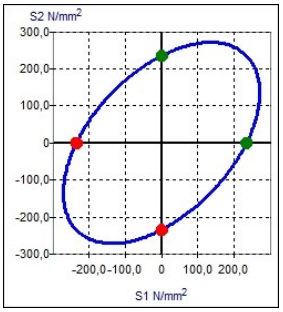
Odpowiedź plastyczna

Wzrost obciążenia przesuwa punkt opisujący aktualny stan materiału wzdłuż krzywej σ-ε, natomiast redukcja obciążeń przesuwa go równolegle do początkowego odcinka krzywej.

Plastyczny / von Mises

Ten model materiału jest zalecany dla stali. Dla tego modelu dostępny jest tylko symetryczny wykres σ-ε (taki sam po stronie ściskanej i rozciąganej) [35]

https://en.wikipedia.org/wiki/Von_Mises_yield_criterion

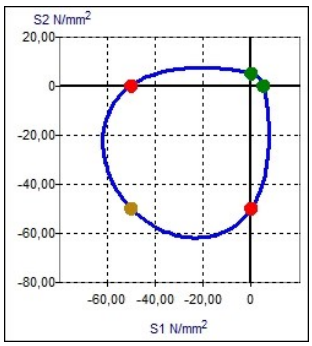


$\sigma_{yT} = 200$ MPa , $\sigma_{yC} = 200$ MPa

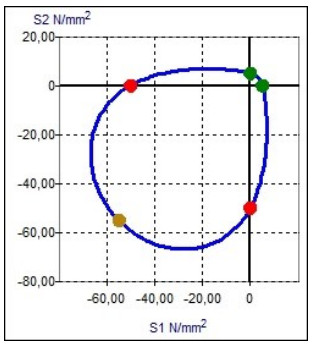
Plastyczny / Bresler-Pister

Ten model zalecany jest do opisu materiału typu beton i mur, ponieważ może odzwierciedlić niską wytrzymałość na rozciąganie i wysoką na ściskanie, zarówno dla jednoosiowego jak i dwuosiowego ściskania [36]

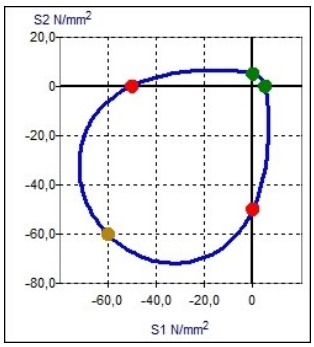
https://en.wikipedia.org/wiki/Bresler_Pister_yield_criterion



$\sigma_{yT} = 5$ MPa , $\sigma_{yC} = 50$ MPa
$C_{yB} = 1.0$
$\sigma_{yB} = C_{yB} \cdot \sigma_{yC} = 50$ MPa



$\sigma_{yT} = 5$ MPa , $\sigma_{yC} = 50$ MPa
$C_{yB} = 1.1$
$\sigma_{yB} = C_{yB} \cdot \sigma_{yC} = 55$ MPa



$\sigma_{yT} = 5$ MPa , $\sigma_{yC} = 50$ MPa
$C_{yB} = 1.2$
$\sigma_{yB} = C_{yB} \cdot \sigma_{yC} = 60$ MPa

Sztywność

Sztywność początkowa

Do analizowania globalnej macierzy sztywności wykorzystywana jest materiałowo liniowa macierz sztywności początkowej. Obliczenia trwają dłużej (potrzeba więcej iteracji), ale łatwiej uzyskać zbieżność.

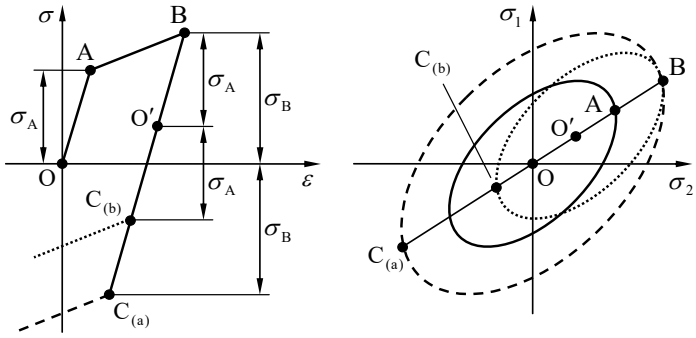
Sztywność styczna

Do analizowania globalnej macierzy sztywności wykorzystywana jest materiałowo nieliniowa macierz sztywności stycznej. Obliczenia są krótsze (mniej iteracji), ale gdy przyrosty nie są wystarczająco małe, mogą wystąpić problemy ze zbieżnością.

Wzmocnienie odkształceniowe

Wzmocnienie odkształceniowe może być:

Izotropowe: β = 1
Kinematyczne: β = 0



W przypadku wzmocnienia kinematycznego wielkość obszaru plastycznego nie ulega zmianie, ale jego środek przesuwa się z początku układu w położenie *O'* (patrz rysunek powyżej). W takim przypadku naprężenia względne $\sigma_{r,i} = \sigma_i - \sigma_{O',i}$ w odniesieniu do aktualnego położenia są podstawiane do równania na naprężenia efektywne, obliczonego na podstawie kryterium plastyczności. **Patrz...** *6.1.20 Odkształcenia sprężyn.*

W przypadku wzmocnienia izotropowego dla naprężeń elementów prętowych oraz powierzchniowych $\sigma_{O',i} = 0$ oraz $\sigma_{r,i} = \sigma_i$.

Parametry wymiarowania

Parametry wymiarowania zależą od typu materiału i normy projektowej.

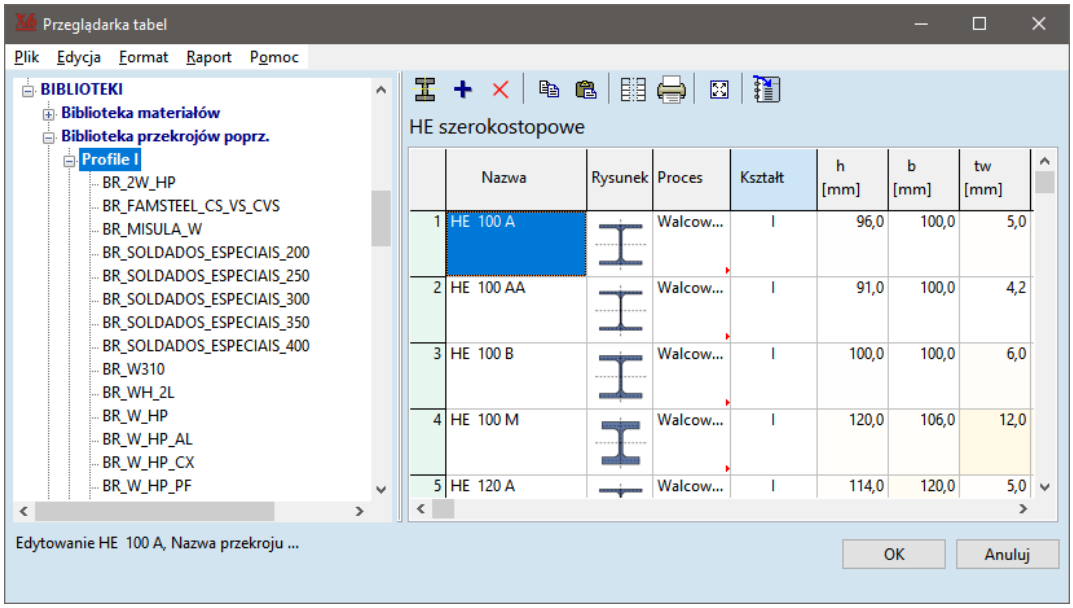
Stal

EC, DIN 1045-1, SIA 26x, Norma włoska	f_y	Granica plastyczności
	f_u	Wytrzymałość na rozciąganie
	f_y*	Granica plastyczności (40mm < t < 100mm)
	f_u*	Wytrzymałość na rozciąganie (40mm < t < 100mm)
NEN	f_{yd}	Granica plastyczności
	f_{yt}	Wytrzymałość na rozciąganie
	f_{yd}	Granica plastyczności (40mm < t < 100mm)
	f_{yt}*	Wytrzymałość na rozciąganie (40mm <t< 100mm)

Beton	EC, Norma włoska	f_{ck}	Charakterystyczna wytrzymałość walcowa na ściskanie betonu po 28 dniach
		γ_c	Współczynnik częściowy
		α_{cc}	Współczynnik redukcyjny wytrzymałości betonu uwzględniający wpływ obciążenia długotrwałego
		Φ_t	Współczynnik pełzania
	DIN 1045-1	f_{ck}	Charakterystyczna wytrzymałość walcowa na ściskanie betonu po 28 dniach
		$f_{ck,\ cube}$	Charakterystyczna wytrzymałość kostki sześciennej na ściskanie
		γ_c	Współczynnik częściowy
		α	Współczynnik redukcyjny wytrzymałości betonu uwzględniający wpływ obciążenia długotrwałego
		Φ_t	Współczynnik pełzania
	SIA 26x	f_{ck}	Charakterystyczna wytrzymałość walcowa na ściskanie betonu po 28 dniach
		γ_c	Współczynnik częściowy
		Φ_t	Współczynnik pełzania
	NEN	f_{ck}'	Charakterystyczna wytrzymałość walcowa na ściskanie betonu po 28 dniach
		Φ	Współczynnik pełzania
Drewno	EC	$f_{m,k}$	Charakterystyczna wytrzymałość na zginanie
		$f_{t,0,k}$	Charakterystyczna wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien
		$f_{t,90,k}$	Charakterystyczna wytrzymałość na rozciąganie w poprzek włókien
		$f_{c,0,k}$	Charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien
		$f_{c,90,k,y}$	Charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie w poprzek włókien *(y)* (dla drewna litego i klejonego $f_{c90,k,y} = f_{c90,k,z} = f_{c90,k}$)
		$f_{c,90,k,z}$	Charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie w poprzek włókien *(z)* (dla drewna litego i klejonego $f_{c90,k,y} = f_{c90,k,z} = f_{c90,k}$)
		$f_{v,k,y}$	Charakterystyczna wytrzymałość na ścinanie (y) (dla drewna litego i klejonego $f_{v,k,y} = f_{v,k,z} = f_{v,k}$)
		$f_{v,k,z}$	Charakterystyczna wytrzymałość na ścinanie (z) (dla drewna litego i klejonego $f_{v,k,y} = f_{v,k,z} = f_{v,k}$)
		$E_{0,mean}$	Średni moduł sprężystości wzdłuż włókien *(x)*
		$E_{90,mean}$	Średni moduł sprężystości w poprzek włókien *(y)*
		$E_{0.05}$	5% kwantyl modułu sprężystości wzdłuż włókien *(x)*
		G_{mean}	Średni moduł odkształcenia postaciowego
		ρ_k	Charakterystyczna gęstość
		ρ_{mean}	Średnia gęstość
		γ_M	Współczynnik częściowy materiału
		s	Współczynnik wpływu wymiaru (dla materiałów LVL)
Mur	EC	f_b	Znormalizowana wytrzymałość elementu murowego na ściskanie
		f_k	Charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie
		f_{vk0}	Początkowa wytrzymałość charakterystyczna muru na ścinanie
		f_{xk1}	Charakterystyczna wytrzymałość muru na zginanie w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych
		f_{xk2}	Charakterystyczna wytrzymałość muru na zginanie w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych

3.1.16 Biblioteka przekrojów poprzecznych

Program AxisVM dostarcza predefiniowane biblioteki przekrojów poprzecznych, które zawierają najczęściej używane profile stalowe i betonowe. Umożliwiają one tworzenie standardowych zestawów właściwości przekrojów poprzecznych, których można użyć ponownie w wielu różnych modelach. Biblioteki uwzględniają produkty producentów z całego świata.
Opis przeglądarki tabel **Patrz...** *2.9 Przeglądarka tabel*



☞ **Polecenie *Cofnij* nie działa w przypadku wprowadzania zmian do bibliotek.**

Utwórz nową bibliotekę

Bibliotekę przekrojów poprzecznych użytkownika można utworzyć za pomocą polecenia *Plik / Nowa tabela przekrojów* w Przeglądarce tabel. Należy wtedy określić nazwę pliku biblioteki, jej nazwę w tabeli i typ profilu, służący do kategoryzacji biblioteki w Przeglądarce tabel. Dodatkowo można wprowadzić dane o regionie geograficznym oraz producencie. Te ostatnie dwa pola mogą później zostać wykorzystane przy filtrowaniu profili podczas przypisywania ich na modelu. **Patrz...** *4.9.2.1 Przeglądaj bibliotekę przekrojów poprzecznych*.

Standardowe pliki biblioteki przekrojów poprzecznych oraz te tworzone przez użytkownika (rozszerzenie *.sec) są przechowywane w folderze, w którym znajduje się aplikacja.

Przypisz nazwę do każdego przekroju poprzecznego i określ następujące właściwości:

Nazwa

Proces wytwarzania	*walcowany, spawany, zimnogięty, inny.*
Kształt	*I (H, W), U, L, rura okrągła, okrągłe profile, prostokątne profile, C, Z, S, J, T, profil skrzynkowy, użytkownika*

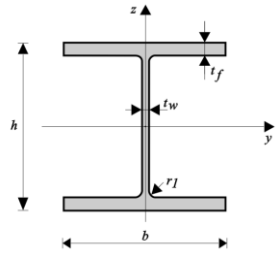
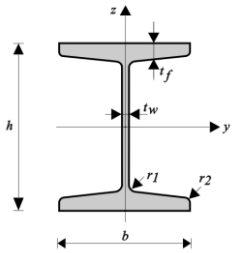
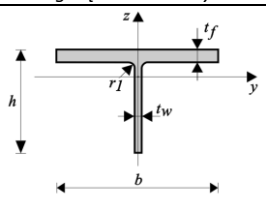
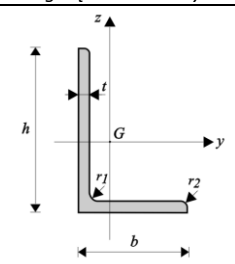
Właściwości przekroju poprzecznego

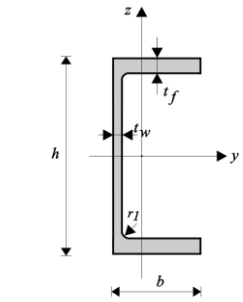
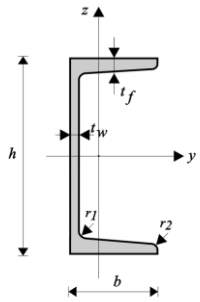
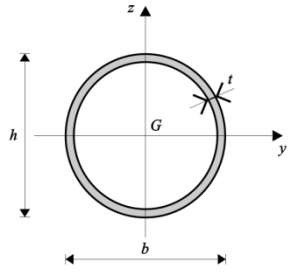
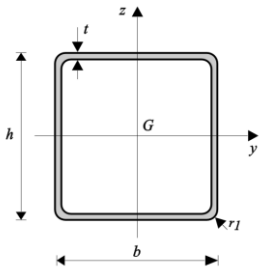
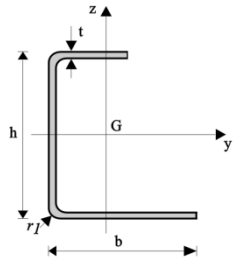
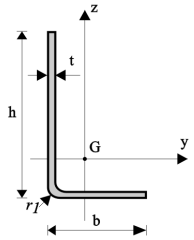
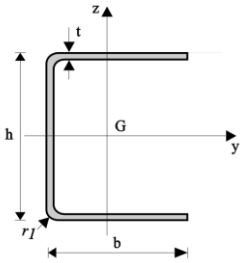
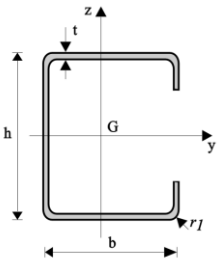
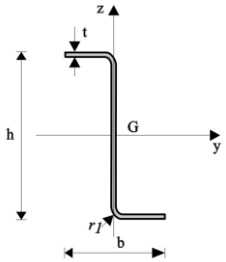
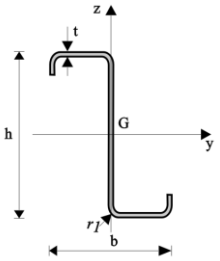
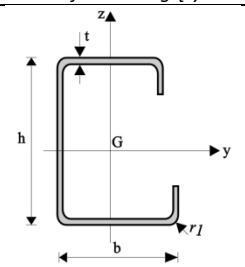
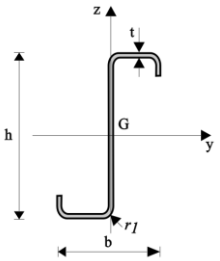
Tworząc nowy przekrój poprzeczny w tabeli należy wprowadzić wszystkie wartości dla jego właściwości.

h	Wymiar przekroju po kierunku lokalnym ***z*** (wysokość)
b	Wymiar przekroju po kierunku lokalnym ***y*** (szerokość)
tw	Grubość ścianki środnika
tf	Grubość półki
Ax	Pole powierzchni przekroju poprzecznego
Ay	Pole powierzchni przy ścinaniu od sił tnących
Az	Pole powierzchni przy ścinaniu od sił tnących
Ix	Moment bezwładności skrętnej
Iy	Moment bezwładności wokół osi *y*-lokalny
Iz	Moment bezwładności wokół osi *z*-lokalny
Iyz	Moment dewiacji
I_1, I_2	Główny moment bezwładności wokół lokalnej osi pierwszej / drugiej
Iω	Wycinkowy moment bezwładności (używany przy wymiarowaniu kształtowników stalowych)
$W_{1,el,g}$	Wskaźnik wytrzymałości przy zginaniu sprężystym, górny = I_1 / *e2_max* (patrz wykres poniżej)
$W_{1,el,d}$	Wskaźnik wytrzymałości przy zginaniu sprężystym, dolny = I_1 / *e2_min*
$W_{2,el,g}$	Wskaźnik wytrzymałości przy zginaniu sprężystym, górny = I_2 / *e1_max*
$W_{2,el,d}$	Wskaźnik wytrzymałości przy zginaniu sprężystym, dolny = I_2 / *e1_min*
$W_{1,pl}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
$W_{2,pl}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
i_y	Promień bezwładności wokół lokalnej osi pierwszej
i_z	Promień bezwładności wokół lokalnej osi drugiej
Hy, Hz	Wymiary gabarytowe przekroju w lokalnym kierunku *y* oraz *z*.
y_G, z_G	Położenie środka ciężkości przekroju w lokalnym kierunku *y* oraz *z* względem lewego dolnego narożnika opisanego prostokąta
y_s,z_s	Położenie środka ścinania w lokalnych kierunkach *y* oraz *z* względem środka ciężkości
r1, r2, r3	Promienie zaokrągleń (krawędzi zewnętrznych i wewnętrznych)
P.n.	Obliczeniowe punkty naprężeń

Stalowy przekrój poprzeczny

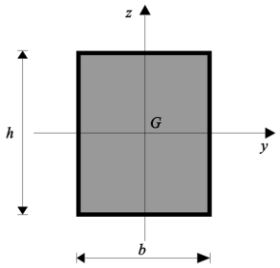
Biblioteka przekrojów poprzecznych zawiera następujące typu przekrojów poprzecznych:

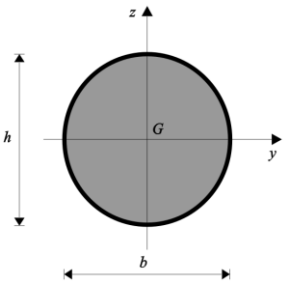
<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Dwuteownik równoległościenny gorącowalcowany</td><td>Dwuteownik o pochylonych półkach gorącowalcowany</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Teownik gorącowalcowany</td><td>Kątownik gorącowalcowany</td></tr>
</table>

	
Ceownik (U) równoległościenny gorącowalcowany	*Ceownik (U) o pochylonych półkach gorącowalcowany*
	
Rura okrągła zimnogięta	*Rura prostokątna (RHS) zimno- i gorącowalcowana*
	
Profil J zimnogięty	*Kątownik zimnogięty*
	
Ceownik (U) zimnogięty	*Ceownik zimnogięty*
	
Profil Z zimnogięty	*Profil S zimnogięty*
	
Profil C zimnogięty (LINDAB)	*Profil Z zimnogięty (LINDAB)*

Betonowe przekroje poprzeczne

Betonowe przekroje poprzeczne umieszczone są na liście, zaczynając od rozmiaru 20x20cm do 80x80cm w krokach co 2 oraz 5 cm.





3.1.16.1 Edytor przekrojów poprzecznych

Edytor przekrojów poprzecznych umożliwia edytowanie smukłych i masywnych przekrojów poprzecznych oraz tworzenie przekrojów zespolonych złożonych z dwóch lub trzech różnych materiałów. Użytkownik może korzystać z parametrycznych profili okrągłych, prostokątnych, pierścieniowych oraz wielokątnych, a także z dowolnych profili znajdujących się w bibliotekach przekrojów poprzecznych, aby tworzyć przekroje złożone. Profile użyte do tworzenia nowego przekroju poprzecznego nazywa się komponentami i muszą być utworzone z tego samego materiału.
Wskazane komponenty można przesuwać, kopiować, obracać, odbijać w sposób lustrzany i przenosić w dowolnym momencie podczas edycji. Jeżeli komponent umieszczony jest w swojej lokalizacji w sposób graficzny, obliczone zostaną osie główne i właściwości złożonego przekroju poprzecznego.
Można korzystać ze skrótów klawiszowych w taki sam sposób jak w głównych oknach edycji.

Przycisk **OK** zamyka okno edytora przekrojów poprzecznych, zachowując bieżący przekrój w tabeli przekrojów poprzecznych modelu pod określoną nazwą.

Edytor przekrojów znajduje się na pasku narzędzi Biblioteki przekrojów poprzecznych i może zostać uruchomiony także z okna dialogowego elementów liniowych. **Patrz...** *4.9.8 Elementy liniowe.*
Edytor można wykorzystać podczas tworzenia macierzystego modelu z modelu architektonicznego poprzez interfejs IFC. **Patrz...** *4.9.22 Tworzenie modelu obliczeniowego z modelu architektonicznego.*

Klawisze edytora

Patrz... *2.5 Używanie kursora, klawiatury, myszy*

Pasek narzędzi

Najważniejsze funkcje dostępne są z paska narzędzi.

Drukuje przekrój poprzeczny. **Patrz...** *3.1.12 Drukuj*

Dodaje obraz przekroju poprzecznego do Galerii.
Patrz... *3.2.12 Zapisywanie rysunków i tabel z wynikami wymiarowania*

Cofa poprzednią operację.

Przywraca cofniętą operację.

Kopiuje obraz przekroju poprzecznego do schowka.

Import z biblioteki przekrojów poprzecznych

Wczytuje przekrój poprzeczny z Biblioteki przekrojów poprzecznych. Dostępne są tylko smukłe lub masywne przekroje poprzeczne, w zależności od pozycji zakładki w edytorze przekrojów. **Patrz** *4.9.2.1 Przeglądaj bibliotekę przekrojów poprzecznych*.

Import z pliku DXF

Kontur masywnych przekrojów poprzecznych można importować także z pliku DXF.

Punkty naprężeń

Za pomocą tego polecenia można określić punkty, dla których mają zostać obliczone naprężenia. Domyślnym punktem naprężenia jest środek ciężkości. Dla każdego przekroju można określić maksymalnie 9 punktów do obliczania naprężeń.
Stosując polecenie przesuń, punkty naprężeń także mogą zostać przesunięte.

☞ **Obliczenia naprężeń dokonywane się tylko w określonych punktach naprężeń. Jeżeli żadne punkty naprężeń nie zostaną określone, naprężenie zostanie obliczone tylko w środku ciężkości. Oznacza to, że nie pojawi się żadne naprężenie od zginania.**

Pasek Ikon

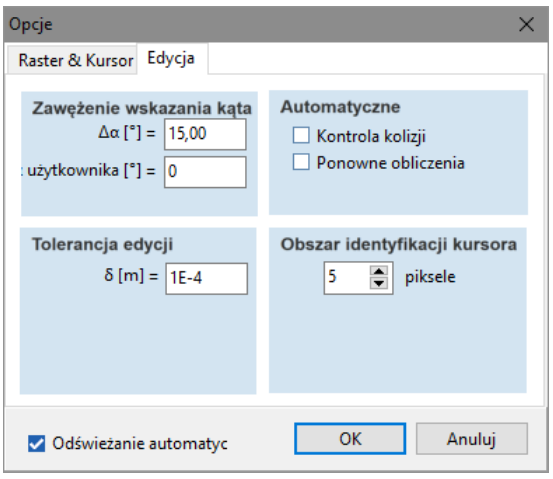
Funkcje i ustawienia edytora można znaleźć na pasku ikon po lewej stronie. Pasek ikon działa na tych samych zasadach co główny pasek ikon. **Patrz...** *2.16 Pasek Ikon.*
Jedyną różnicą jest to, że ten pasek ikon może być przesunięty na wierzch menu u góry lub u dołu, ale nie można go tam zakotwiczyć.

Transformacje geometryczne

Dostępne są wszystkie standardowe transformacje geometryczne (przenoszenie, obracanie, tworzenie odbić lustrzanych, skalowanie). Wszystkie operacje przeprowadzane są w płaszczyźnie y-z edytora przekrojów poprzecznych.

Wymiary

Z górnej części paska narzędzi można wybrać typ linii wymiarowej przekroju (ortogonalna, dopasowana, kąt).
Dolna część paska narzędzi zawiera przyciski przeznaczone do ustawienia właściwości linii wymiarowych i wybrania opcji inteligentnych linii wymiarowych, które umieszczają automatycznie wiele linii wymiarowych pomiędzy punktem początkowym a końcowym.



Okno dialogowe *Opcje* umożliwia edytowanie zawężenia wskazania kąta i tolerancji edycji.

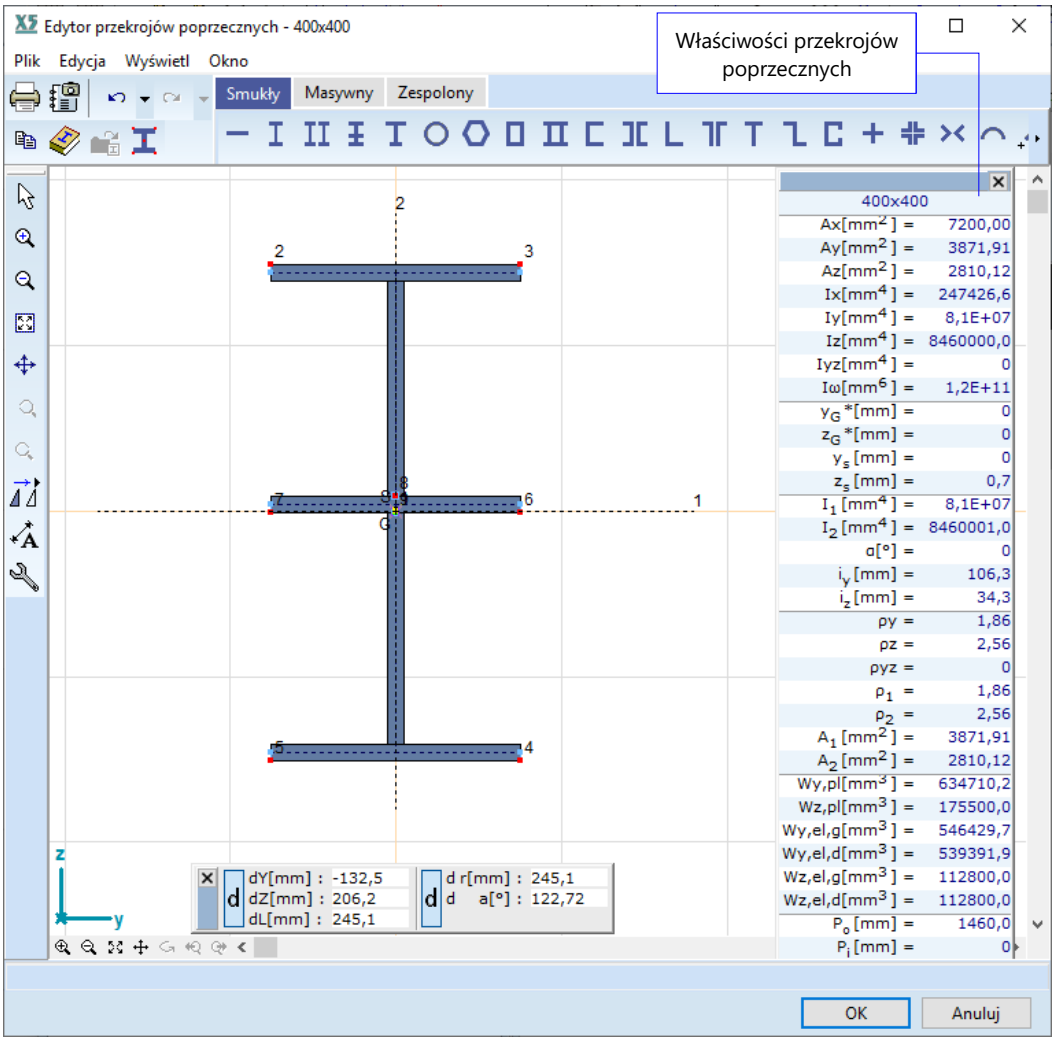
Automatyczna kontrola kolizji podświetla tymczasowy kontur kształtu na czerwono, jeżeli w swojej bieżącej pozycji nachodzi na inny kształt.

Automatyczne ponowne obliczenia za każdym razem, gdy kształt się zmienia, oblicza na nowo parametry przekroju poprzecznego.

Definiowanie przekroju poprzecznego

W Edytorze można stworzyć własny profil smukły, masywny lub zespolony. Komponenty przekrojów złożonych mają zawsze taki sam materiał. Uwaga ta nie dotyczy przekrojów zespolonych, które są przekrojami parametrycznymi i złożone są z dwóch lub trzech materiałów.

Smukłe przekroje poprzeczne



Do przekroju użytkownika można dołożyć dowolny dodatkowy profil należący do kategorii smukłych przekrojów.

Punkt bazowy Dla każdego komponentu przekroju poprzecznego można wybrać punkt bazowy, który umożliwia ustalenie pozycji komponentu podczas edytowania, w zależności od jego kształtu i ostatecznej lokalizacji w obrębie złożonego przekroju poprzecznego.

Standardowe kształty można definiować parametrycznie. W takim przypadku, w oknie dialogowym należy zdefiniować następujące parametry:

Proces wytwarzania Istnieją trzy opcje (walcowany, spawany, zimnogięty).

Wymiary Wartości zależące od typu przekroju poprzecznego (wysokość, szerokość, grubość, promień zaokrąglenia krawędzi zewnętrznych i wewnętrznych, średnica itd.).

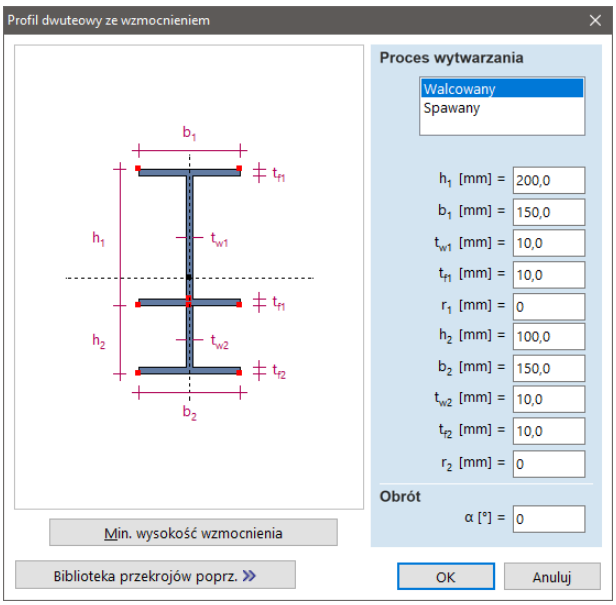
Obrót Umożliwia zdefiniowanie obrotu o kąt α. Wartość domyślna to 0.

Profil dwuteowy

Profil dwuteowy ze wzmocnieniem

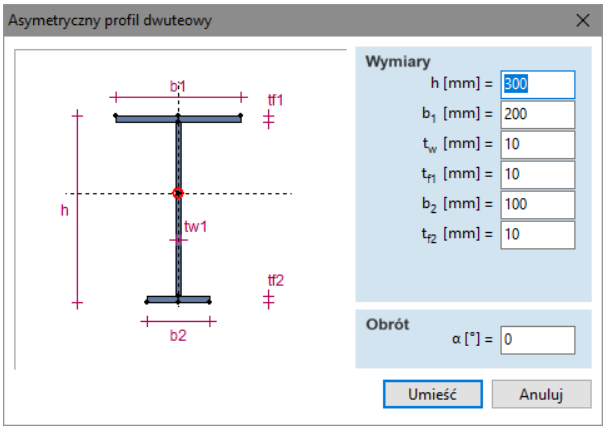
Profil dwuteowy z podwójnym wzmocnieniem

Definiowanie profilu dwuteowego lub profilu dwuteowego ze wzmocnieniem na podstawie jego wysokości, szerokości, grubości środnika i półki oraz promienia zaokrąglenia.
Przycisk *Min. wysokość wzmocnienia* automatycznie ustawia najmniejszą możliwą wysokość wzmocnienia, co ułatwia definicję końcowego przekroju poprzecznego o zmiennej wysokości.
Przycisk *Biblioteka przekrojów poprz.* pozwala dla komponentów dwuteownika ze wzmocnieniem wczytać z biblioteki parametry gotowego przekroju (dla profilu podstawowego i/lub wzmocnienia I / T).



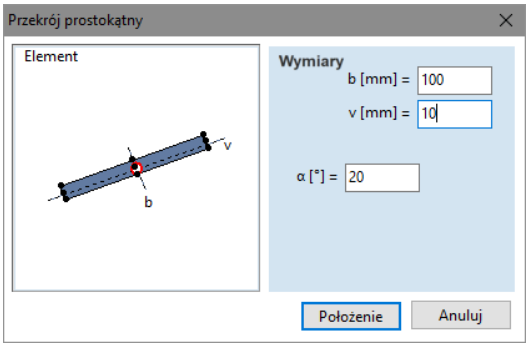
Asymetryczny profil dwuteowy

Definiowanie asymetrycznego profilu dwuteowego na podstawie jego wysokości, szerokości i wymiarów środnika oraz górnej/dolnej półki.



Profil prostokątny

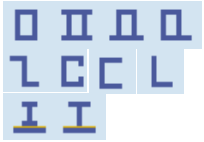
Definiowanie przekroju prostokątnego na podstawie jego parametrów b (szerokość), v (grubość) oraz α, przy b>v.



Profil rurowy

Definiowanie profilu rurowego na podstawie jego parametru d (średnica zewnętrzna) oraz v (grubość). Za linię środkową uważa się kontur zamkniętego obszaru, który jest wyświetlany kreskowaną linią.

Inne profile



Definiowanie przekrojów poprzecznych na podstawie wysokości, szerokości, grubości i w przypadku walcowanych lub giętych przekrojów poprzecznych, także promienia zaokrąglenia krawędzi zewnętrznych i wewnętrznych.

Podwójne profile

Bazowe przekroje poprzeczne można definiować parametrycznie (szerokość, wysokość, grubość środnika i półek) lub pobrać z Biblioteki przekrojów poprzecznych.
Specjalne parametry dla podwójnych profili:

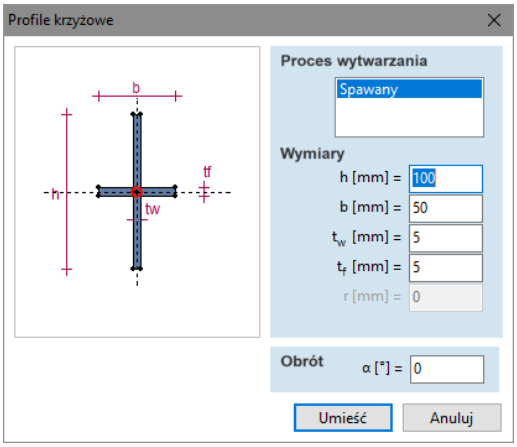
rozstaw: *a*

orientacja: przodem do siebie lub tyłem do siebie (w przypadku 2U)

Profile krzyżowe

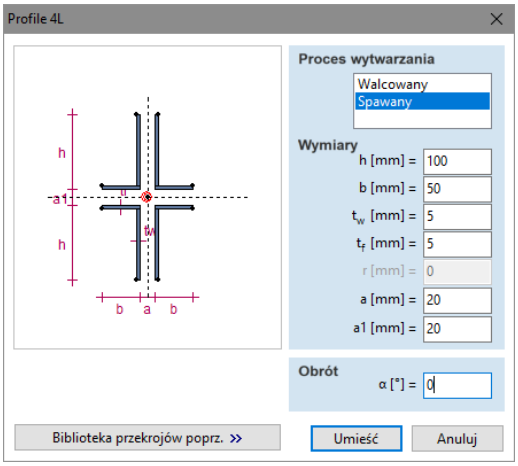
Profile krzyżowe z dwuteowników

Definiowanie przekroju krzyżowego na podstawie jego parametrów *h* (wysokość), *b* (szerokość), *tw* (grubość ścianki), *tf* (grubość półki).



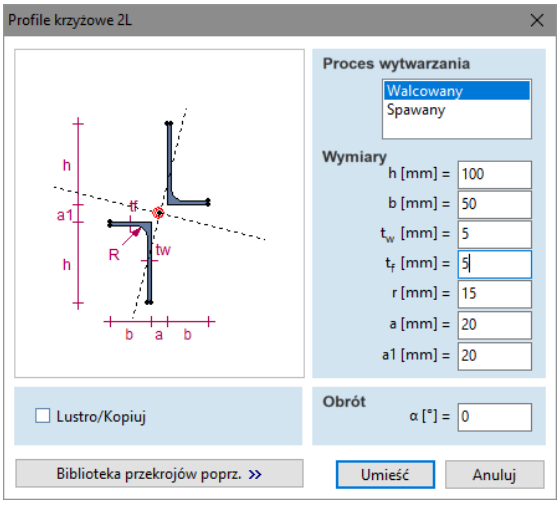
Profile 4L

Definiowanie przekroju typu 4L na podstawie jego parametrów *h* (wysokość), *b* (szerokość), *tw* (grubość ścianki), *tf* (grubość półki), *a, a1* (rozstaw), *r* (zaokrąglenie).



Profile krzyżowe 2L

Definiowanie przekroju krzyżowego typu 2L na podstawie jego parametrów *h* (wysokość), *b* (szerokość), *tw* (grubość ścianki), *tf* (grubość półki), *a, a1* (rozstaw), *r* (zaokrąglenie).



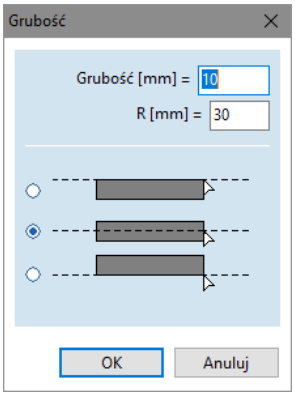
Profile wielokątowe

Definiowanie profilu wielobocznego.

Przed zdefiniowaniem należy określić położenie linii odcinka:

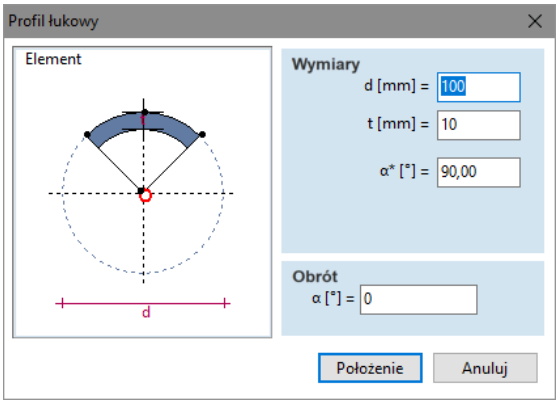
1. lewa strona
2. linia środkowa
3. prawa strona

Parametr *R*: Promienie zaokrąglenia (krawędzi zewnętrznych i wewnętrznych)

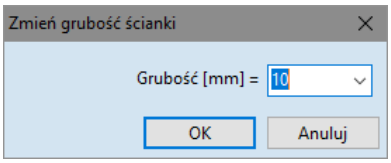


Profil łuku

Definiowanie profilu łukowego na podstawie jego średnicy, kąta środkowego i grubości.



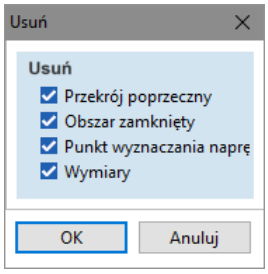
Zmień grubość ścianki



W przypadku smukłych przekrojów poprzecznych, grubość wybranych segmentów można zmieniać indywidualnie. W przypadku profili parametrycznych, grubość ścianek można zmienić za pomocą parametrów.

Usuń

Za pomocą klawisza **[Del]** można wywołać pasek ikon wyboru i wybrać komponenty, które mają zostać usunięte.

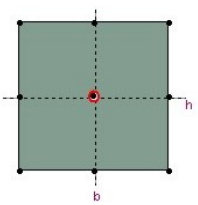


☞ **Nie można usunąć domyślnego punktu wyznaczania naprężenia (w środku ciężkości).**

Masywne przekroje poprzeczne

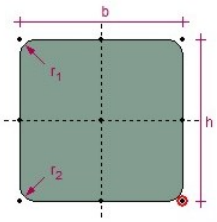
Przekroje parametryczne:

Prostokąt



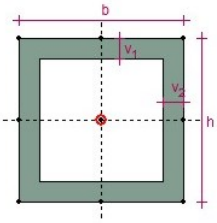
Prostokąt o szerokości *b* i wysokości *h*.

Zaokrąglony prostokąt



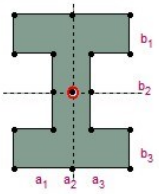
Prostokąt z zaokrąglonymi narożnikami o szerokości *b*, wysokości *h* oraz promieniom narożników *r1, r2*.

Rura prostokątna



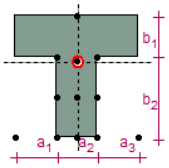
Rura prostokątna o szerokości *b*, wysokości *h* oraz grubościami ścianek v_1, v_2.

Profil dwuteowy



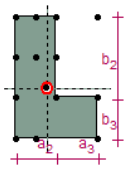
Profil dwuteowy definiowany jest przez parametry *a1, a2, a3, b1, b2, b3*.
Jeden z parametrów (*a1, a3*) i (*b1, b3*) może zostać ustawiony na wartość równą 0, aby zdefiniować kształt T, U lub L.

Profil T



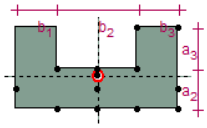
Definiowanie jak dla przekroju dwuteowego, gdzie *b3* = 0.

Profil L



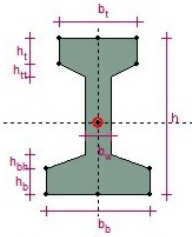
Definiowanie jak dla przekroju dwuteowego, gdzie *a1* oraz *b3 wynoszą* 0.

Profil U



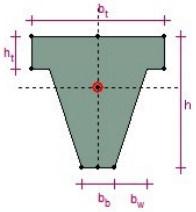
Definiowanie jak dla przekroju dwuteowego, gdzie *a1* = 0.

Profil dwuteowy ze skośnymi półkami



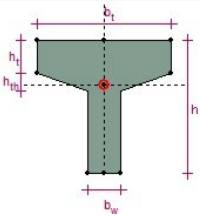
Profil dwuteowy ze skosami definiowany jest przez grubość środnika b_w, szerokość górnej i dolnej półki b_t, b_b, wysokość całkowitą oraz parametry h_t, h_{th}, h_b, h_{bh}.

Profil teowy ze skośnym środnikiem



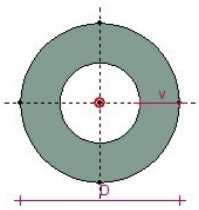
Profil teowy ze skośnym środnikiem definiowany jest przez szerokości b_w, b_b, b_t, wysokość całkowitą *h* oraz grubość półki h_t.

Profil teowy ze skośną półką



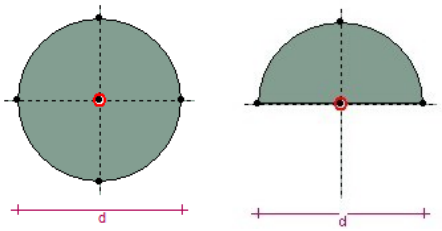
Profil teowy ze skośną półką definiowany jest przez szerokość środnika b_w, szerokość całkowitą b_t, wysokość całkowitą *h* oraz parametry h_t, h_{th}.

Rura okrągła



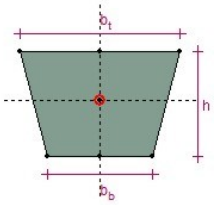
Rura okrągła definiowana jest przez zewnętrzną średnicę *D* oraz grubość ścianki *v*.

Profil okrągły, półokrągły



Profil okrągły lub półokrągły definiowany jest przez średnicę *d*.

Symetryczny trapez



Symetryczny trapez definiowany jest przez szerokość górną i dolną b_t, b_b oraz wysokość *h*.

Profil wielokątny

Definiowanie profilu wielokątnego poprzez narysowanie wielokąta złożonego. Aby zakończyć edycję wielokąta, należy nacisnąć klawisz *Esc*, kliknąć prawym przyciskiem myszy lub zamknąć wielokąt. Podczas edytowania zostanie wyświetlony następujący pasek podręczny:

Linia

Styczna

Łuk z punktem środkowym

Łuk przez trzy punkty

Łuk styczny

Łuk z określoną styczną

Wprowadź wierzchołek

Wprowadzenie nowego wierzchołka na konturze przekroju poprzecznego. Kształt przekroju poprzecznego może zostać zmieniony poprzez przeciągnięcie wierzchołka za pomocą myszy.

Kontur

Jeżeli przycisk Kontur jest wciśnięty, można zdefiniować przekrój poprzeczny. Jeżeli przycisk Otwór jest wciśnięty, można określić otwór.

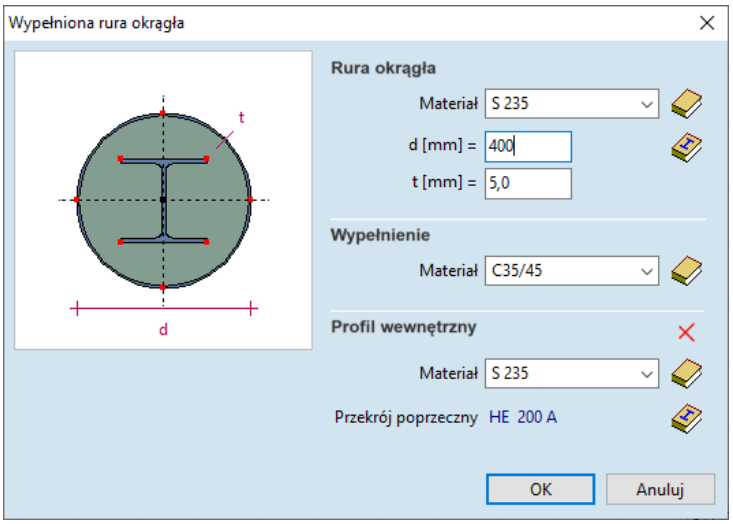
Otwór

Można określić otwór w komponentach profilu prostokątnego, okrągłego i zamkniętego wielokątowego. Otwór może mieć kształt prostokąta, koła lub zamkniętego wielokąta.

Zespolone przekroje poprzeczne

Przekroje zespolone wykonane są z dwóch lub trzech różnych materiałów.
Jeżeli przekrój zespolone zawiera profil wewnętrzny, to środek ciężkości wewnętrznego profilu zostanie umieszczony w środku ciężkości zewnętrznego przekroju poprzecznego.
Jeżeli profil wewnętrzny jest zbyt duży, aby umieścić go w przekroju zewnętrznym, to rysunek w oknie definicji zostanie zastąpiony przez przekreślony prostokąt.

Wypełniona rura okrągła



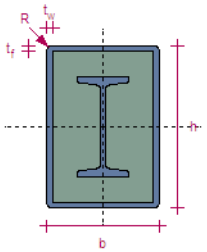
Zdefiniowanie rury okrągłej wypełnionej betonem wymaga następujących parametrów: materiał, średnica *d*, grubość rury *t*, materiał wypełnienia. Opcjonalnie można zdefiniować profil wewnętrzny.

Materiał może zostać wczytany z Biblioteki materiałów. **Patrz...** *3.1.15 Biblioteka materiałów*

Parametry przekroju rury mogą zostać wprowadzone parametrycznie lub wybrane z Biblioteki przekrojów poprzecznych (patrz... *3.1.16 Biblioteka przekrojów poprzecznych*). Profil wewnętrzny (osadzony) należy wybrać z Biblioteki przekrojów poprzecznych.

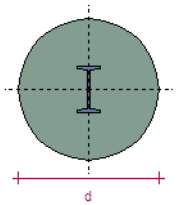
Polecenie to służy do usunięcia zdefiniowanego profilu wewnętrznego.

Wypełniona rura prostokątna



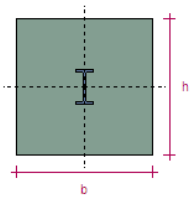
Zdefiniowanie rury prostokątnej wypełnionej betonem wymaga następujących parametrów: materiał, szerokość *b*, wysokość *h*, grubości ścianek *tf* oraz *tw*, materiał wypełnienia. Opcjonalnie można zdefiniować profil wewnętrzny.

Betonowy przekrój okrągły z profilem stalowym



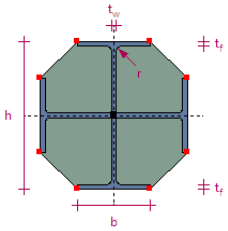
Zdefiniowanie betonowego przekroju okrągłego z osadzonym profilem stalowym wymaga następujących parametrów: materiał i średnica *d* przekroju okrągłego oraz materiał i profil osadzony.

Betonowy przekrój prostokątny z profilem stalowym



Zdefiniowanie betonowego przekroju prostokątnego z osadzonym profilem stalowym wymaga następujących parametrów: materiał, szerokość *b* oraz wysokość *h* przekroju prostokątnego oraz materiał i profil osadzony.

Obetonowany przekrój krzyżowy 2I



Zdefiniowanie obetonowanego przekroju krzyżowego 2I wymaga następujących parametrów: materiał dwuteownika oraz wypełnienia, wysokość *h*, szerokość półki *b*, grubość środnika *tw* oraz grubość półki *tf*.

Usuń

Za pomocą klawisza **[Del]** można wywołać okno wyboru i wybrać komponenty, które mają zostać usunięte.
Usunięcie komponentu skutkuje usunięciem punktów do obliczania naprężeń.

Wielokąt

Usuwa wybrane komponenty.

Punkt naprężenia Usuwa wybrane punkty do obliczania naprężeń.

☞ **Nie można usunąć domyślnego punktu do obliczania naprężeń (ze środka ciężkości).**

Opcje Umożliwia ustawienie wielkości rastra, kroku kursora i współczynników zoom.

Obliczone właściwości

Obliczane są następujące właściwości przekrojów poprzecznych:

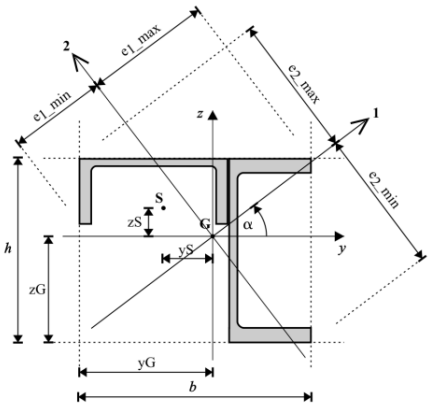
AxisVM oblicza *Ax, Iy, Iz, Iyz* przez całkowanie, a *Ay, Az, Ix, Iω, ρ_y, ρ_z, ρ_{yz}, ρ_1, ρ_2, A1, A2* wykonując analizę elementów skończonych przekroju poprzecznego.

☞ **Jeżeli przekrój poprzeczny składa się z dwóch lub większej liczby niezależnych fragmentów, to parametry A_y, A_z, ρ_y, ρ_z, ρ_{yz}, ρ_1, ρ_2, A_1, A_2 nie są określane.**

A_x	Pole powierzchni przekroju poprzecznego
A_y	Pole powierzchni przy ścinaniu w kierunku ***y***-lokalny
A_z	Pole powierzchni przy ścinaniu w kierunku ***z***-lokalny
I_x	Moment bezwładności skrętnej
I_y	Moment bezwładności wokół osi ***y***-lokalny
I_z	Moment bezwładności wokół osi ***z***-lokalny
I_{yz}	Moment dewiacji
$I_1^{(*)}$	Główny moment bezwładności wokół lokalnej osi 1-szej
$I_2^{(*)}$	Główny moment bezwładności wokół lokalnej osi 2-giej
α	Kąt między 1-szą lokalną osią a lokalną osią ***y***.
I_ω	Wycinkowy moment bezwładności (używany przy wymiarowaniu kształtowników stalowych)
ρ_y	Współczynnik ścinania w kierunku ***y***-lokalny
ρ_z	Współczynnik ścinania w kierunku ***z***-lokalny
ρ_{yz}	Współczynnik ścinania dla krzyża ***yz***
ρ_1	Współczynnik ścinania dla lokalnego kierunku 1-go
ρ_2	Współczynnik ścinania dla lokalnego kierunku 2-go
$A_1^{(*)}$	Pole powierzchni przy ścinaniu od sił tnących w lokalnym kierunku 1-szym
$A_2^{(*)}$	Pole powierzchni przy ścinaniu od sił tnących w lokalnym kierunku 2-gim
$W_{1,el,g}^{(*)}$	Wskaźnik wytrzymałości przy zginaniu sprężystym, górny = I_1 / *e2_max* (patrz wykres poniżej)
$W_{1,el,d}^{(*)}$	Wskaźnik wytrzymałości przy zginaniu sprężystym, dolny = I_1 / *e2_min*
$W_{2,el,g}^{(*)}$	Wskaźnik wytrzymałości przy zginaniu sprężystym, górny = I_2 / *e1_max*
$W_{2,el,d}^{(*)}$	Wskaźnik wytrzymałości przy zginaniu sprężystym, dolny = I_2 / *e1_min*
$W_{1,pl}^{(*)}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
$W_{2,pl}^{(*)}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
i_1	Promień bezwładności wokół lokalnej osi 1-szej
i_2	Promień bezwładności wokół lokalnej osi 2-giej
y_G	Położenie środka ciężkości przekroju w lokalnym kierunku ***y*** względem lewego dolnego narożnika opisanego prostokąta
z_G	Położenie środka ciężkości przekroju w lokalnym kierunku ***z*** względem lewego dolnego narożnika opisanego prostokąta
y_s, z_s	Położenie środka ścinania w lokalnych kierunkach ***y*** i ***z*** względem środka ciężkości
P_o	Obwód zewnętrzny (obrys przekroju)
P_i	Obwód wewnętrzny (otwory)

(*) Jeżeli pierwsza i druga oś główna jest także lokalną osią ***y*** i ***z***, powyższe wartości oznaczone z (*) zostaną wyświetlone odpowiednio z indeksami ***y*** i ***z***.

Główny moment bezwładności



$$I_1 = \frac{I_x + I_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + I_{xy}^2}$$

$$I_2 = \frac{I_y + I_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_y - I_z}{2}\right)^2 + I_{yz}^2}$$

$$\tan(2\alpha_n) = \frac{2n_{xy}}{n_x - n_y}$$

$-90° < \alpha \leq +90°$ względem lokalnej osi *y* przekroju poprzecznego

Obliczenie wskaźnika wytrzymałości przekroju poprzecznego

$$W_{1,el,górny} = \frac{I_1}{e_{2,max}} \qquad W_{1,el,dolny} = \frac{I_1}{e_{2,min}}$$

$$W_{2,el,górny} = \frac{I_2}{e_{1,max}} \qquad W_{2,el,dolny} = \frac{I_2}{e_{1,min}}$$

Odkształcenia przy ścinaniu

Dla elementów prętowych odkształcenia przy ścinaniu nie są uwzględniane nawet, jeżeli przekrój poprzeczny wprowadzony został z różnym od zera polem powierzchni przy ścinaniu.

Pola powierzchni przy ścinaniu wykorzystywane są w elementach żebrowych i muszą mieć dodatnie wartości $A_y > 0$ oraz $A_z > 0$.

W module do wymiarowania stali wykorzystywane są pola powierzchni przy ścinaniu, obliczane zgodnie z odpowiadającą normą projektową, zamiast wprowadzonych tu wartości.

$A_y = \frac{A_x}{\rho_y}$ $A_z = \frac{A_x}{\rho_z}$ gdzie $\rho =$ współczynnik ścinania

Pojęcie pola powierzchni przy ścinaniu i współczynnika ścinania umożliwia poprawne odwzorowanie zmieniających się w sposób ciągły deformacji od ścinania ($\gamma_{xy}(y,z)$ oraz $\gamma_{xz}(y,z)$) rzeczywistego przekroju poprzecznego za pomocą uśrednionych deformacji od ścinania ($\gamma_{xy,avg}$ oraz $\gamma_{xz,avg}$). Poprawne odwzorowanie zapewnia, że praca wykonana przez wypadkowe siły tnące V_y oraz V_z na długości uśrednionej deformacji od ścinania równa jest pracy wykonanej przez zmieniające się w sposób ciągły naprężenia ścinające $\tau_{xy}(y,z)$ oraz $\tau_{xz}(y,z)$ przekroju rzeczywistego [16; 6.3, 45; s. 219-221].
Równanie wewnętrznych sił tnących po kierunku -z-

$$\frac{1}{2}V_z\,\gamma_{xz,avg} = \frac{1}{2}\int\left[\tau_{xy}(y,z)\gamma_{xy}(y,z) + \tau_{xz}(y,z)\gamma_{xz}(y,z)\right]dA$$

Rozkład naprężeń w przekroju poprzecznym od siły tnącej V_z można wyprowadzić z funkcji naprężenia ścinającego $\Phi_z(y,z)$ wyznaczonego metodą elementów skończonych:

$$\tau_{xy}(y,z) = \frac{V_z}{A_x}\frac{\partial\Phi_z}{\partial y} \qquad \tau_{xz}(y,z) = \frac{V_z}{A_x}\frac{\partial\Phi_z}{\partial z}$$

Prawo Hook'a dla odkształcenia i naprężeń od ścinania:

$$\tau_{xy}(y,z) = G\gamma_{xy}(y,z) \qquad \tau_{xz}(y,z) = G\gamma_{xz}(y,z)$$

Po podstawieniu do całki otrzymujemy wzór na średnie odkształcenie od ścinania:

$$\gamma_{xy,avg} = \frac{V_z}{GA_x^2}\int\left[\left(\frac{\partial\Phi_z}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial\Phi_z}{\partial z}\right)^2\right]dA$$

Wprowadzając współczynnik ścinania przekroju poprzecznego $\rho_z = \frac{A_x}{\int\left[\left(\frac{\partial\Phi_z}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial\Phi_z}{\partial z}\right)^2\right]dA}$ wzór na odkształcenia średnie można zapisać w postaci:

$$\gamma_{xy,avg} = \frac{V_z}{G\frac{A_x}{\rho_z}} = \frac{V_z}{GA_z}$$

Z tego wzoru wynika, że średnie odkształcenie od ścinania może być liczone tak, jakby pole powierzchni przekroju poprzecznego określające sztywność na ścinanie elementu skończonego wynosiło A_z zamiast rzeczywistej wartości A_x.
To samo można zastosować do ścinania po kierunku -*y*-.

☞ **Należy zauważyć, że zredukowana powierzchnia na ścinanie może być wykorzystana tylko do uzyskania sztywności na ścinanie elementu skończonego. Średnie naprężenia ścinające muszą zostać obliczone na podstawie rzeczywistej powierzchni:**

$$\tau_{xy,avg} = \frac{V_y}{A_x} \qquad \tau_{xz,avg} = \frac{V_z}{A_x}$$

☞ **Jednoczesne występowanie siły tnącej po kierunku *-y-* oraz *-z-* wymagałoby wprowadzenia dedykowanego pola przekroju poprzecznego ρ_{yz} [16; 6.3]. Jednak tak obliczona wartość ma charakter jedynie orientacyjny, ponieważ składniki opisujące interakcję sił tnących po kierunkach *-y-* oraz *-z-* są pomijane podczas tworzenia macierzy sztywności dla elementów skończonych żeber.**

Obliczane charakterystyki przekrojów zespolonych

Charakterystyki przekroju zespolonego obliczane są jako suma charakterystyk ważonych (sprowadzonych) względem modułów Younga. Moduł odniesienia E_{ref} oraz G_{ref} należą do materiału zewnętrznego.

$$A_x = \frac{1}{E_{ref}} \sum E_i A_{x,i} \qquad I_x = \frac{1}{G_{ref}} \sum G_i I_{x,i} \qquad \rho_y = \frac{G_{ref} A_x}{\sum \frac{G_i A_{x,i}}{\rho_{y,i}}}$$

$$A_y = \frac{1}{G_{ref}} \sum G_i A_{y,i} \qquad I_y = \frac{1}{E_{ref}} \sum E_i I_{y,i} \qquad \rho_z = \frac{G_{ref} A_x}{\sum \frac{G_i A_{x,i}}{\rho_{z,i}}}$$

$$A_z = \frac{1}{G_{ref}} \sum G_i A_{z,i} \qquad I_z = \frac{1}{E_{ref}} \sum E_i I_{z,i} \qquad \rho_{yz} = \frac{G_{ref} A_x}{\sum \frac{G_i A_{x,i}}{\rho_{yz,i}}}$$

$$I_{yz} = \frac{1}{E_{ref}} \sum E_i I_{yz,i}$$

$$y_G = \frac{\sum y_{G,i} E_i A_i}{E_{ref} A_x}$$

$$z_G = \frac{\sum z_{G,i} E_i A_i}{E_{ref} A_x}$$

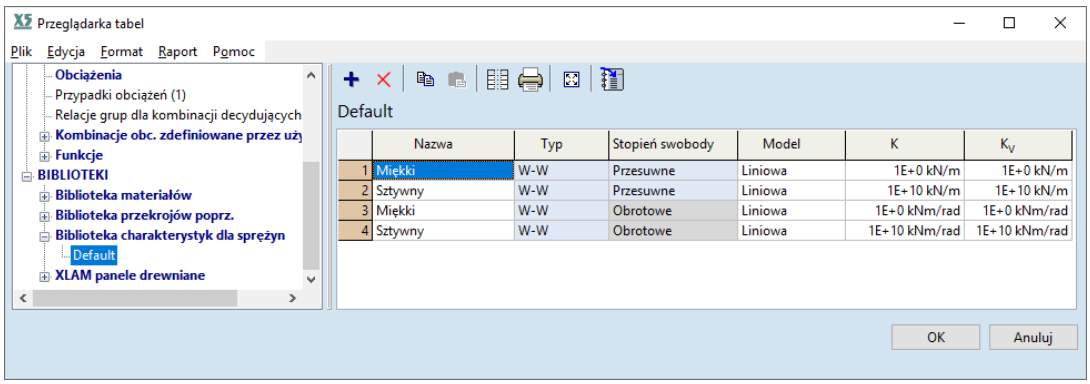
$$y_\omega = \frac{I_{yz} \sum E_i \left(z_{S,i} I_{z,i} - y_{S,i} I_{yz,i}\right) - I_z \sum E_i \left(z_{S,i} I_{yz,i} - y_{S,i} I_{y,i}\right)}{E_{ref} \left(I_y I_z - I_{yz}^2\right)}$$

$$z_\omega = \frac{I_y \sum E_i \left(z_{S,i} I_{z,i} - y_{S,i} I_{yz,i}\right) - I_{yz} \sum E_i \left(z_{S,i} I_{yz,i} - y_{S,i} I_{y,i}\right)}{E_{ref} \left(I_y I_z - I_{yz}^2\right)}$$

$$I_\omega = \frac{1}{E_{ref}} \sum E_i \left[I_{\omega,i} + \left(y_{S,i} - y_S\right)^2 I_{y,i} + \left(z_{S,i} - z\ \right)^2 I_{z,i} - 2\left(y_{S,i} - y_S\right)\left(z_{S,i} - z_S\right) I_{yz,i}\right]$$

☞ **Metoda obliczania parametrów ważonych bazuje na założeniu, że pomiędzy składowymi częściami przekroju zespolonego zapewnione jest trwałe, niepodatne połączenie. O ile nie ma to wpływu na parametry Ax, Iy, Iz, Iyz, y_G, z_G ze względu na pokrywanie się środka ciężkości składowych przekroju, to w przypadku wystąpienia ścinanego połączenia podatnego, wartości Ay, Az, Ix, Iω, y_S, z_S, ρ_y, ρ_z, ρ_{yz} byłyby inne.**

3.1.17 Biblioteka charakterystyk dla sprężyn



Biblioteka z charakterystykami sprężyn może zostać otwarta również poprzez kliknięcie w ikonę *Przeglądarka tabel* i wybranie *BIBLIOTEKI / Biblioteka charakterystyk dla sprężyn*. Dodatkowo w celu łatwego wyboru, dostęp do tej biblioteki jest możliwy z kilku innych okien dialogowych. **Patrz...** *4.9.16 Sprężyna*.

Biblioteka zawiera domyślne charakterystyki sprężyn (Miękki, Sztywny) dla przesuwnych i obrotowych stopni swobody. Charakterystyki te są automatycznie dodawane na każdym nowym modelu.
Użytkownik może dodać nową, zmodyfikować lub rozszerzyć istniejącą bibliotekę. W przypadku biblioteki utworzonej przez użytkownika, jej składniki zostaną dodane do modelu tylko wtedy, gdy zostaną dołączone do charakterystyki sprężyny (*4.9.16.1 Charakterystyka sprężyn*) w Przeglądarce tabel lub zostaną wybrane z biblioteki podczas definiowania nowej sprężyny.
Biblioteka ta pozwala również na parametryczną definicję izolatorów sejsmicznych.

Kolumny tabeli mogą zawierać następujące charakterystyki:

Nazwa	Nazwa charakterystyki
Typ	Sprężyna typu węzeł-węzeł (nie można modyfikować)
Stopień swobody	Przesuwne/obrotowe stopnie swobody
Model	Odpowiedź sprężyny (*Liniowa / NL sprężysta / Plastyczna*)
K	Sztywność początkowa
K_v	Sztywność modalna
Typ tłumienia	Model *Kelvin-Voigt* lub *Maxwell*
C	Współczynnik tłumienia
Typ izolatora	*Łożysko elastomerowe, Łożysko soczewkowe, Inny typ*
E_{xy}	Efektywna wartość sztywności poziomej
ξ	Współczynnik tłumienia
E_z	Wartość sztywności pionowej
F_1	Siła uplastyczniająca
K_T	Wartość sztywności poziomej w stanie plastycznym
μ	Współczynnik tarcia
R	Równoważny promień krzywizny

Współczynnik tłumienia jest wyświetlany tylko wtedy, gdy przynajmniej jedna charakterystyka sprężyny ma tę wartość większą od zera.

☞ **Zmiany w Bibliotece charakterystyk sprężyn nie wpływają na charakterystyki zastosowane na modelu.**

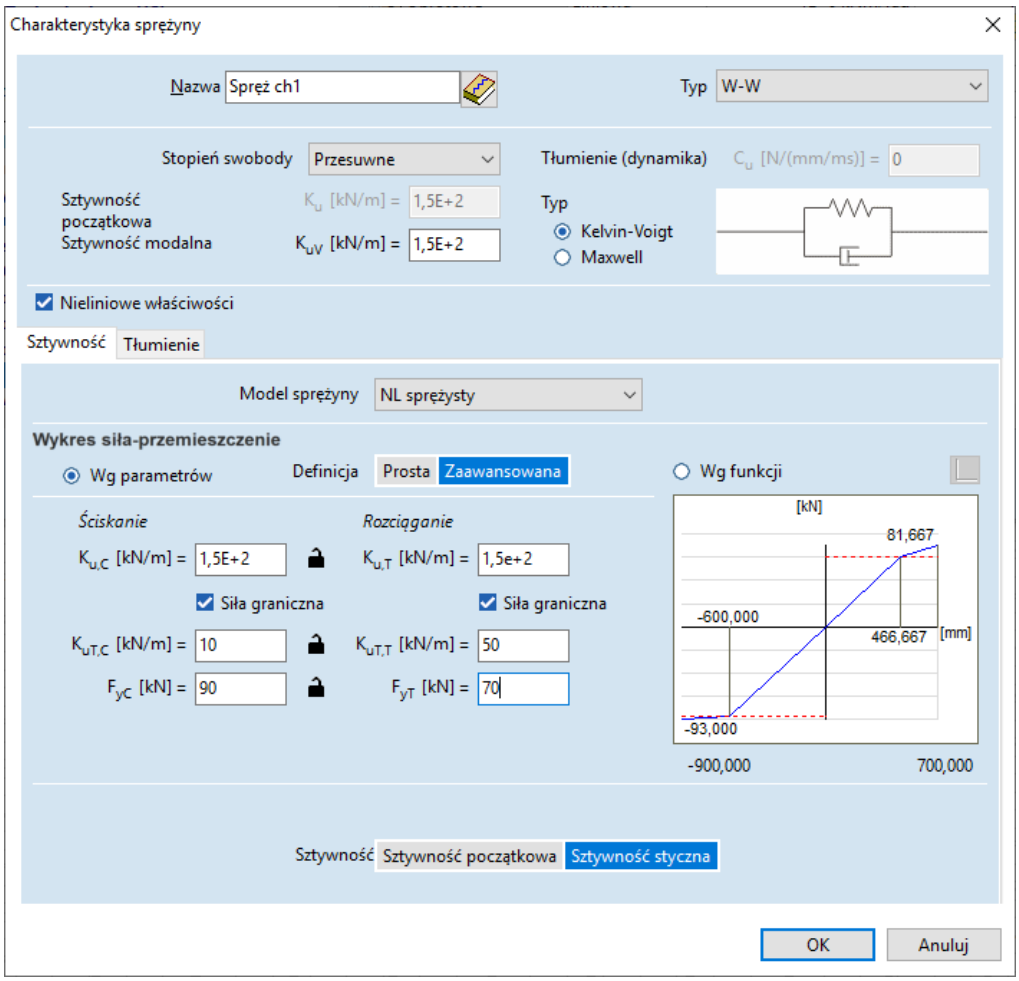
Zdefiniuj nową charakterystykę sprężyny

[Ctrl+Ins]

Podczas definicji nowej charakterystyki dla sprężyny lub kliknięciu w zawartość tabeli (z wyjątkiem *Nazwa*) wyświetlane jest następujące okno dialogowe, gdzie można określić lub zmienić wszystkie charakterystyki sprężyny.
Charakterystyki dla danego typu stopnia swobody (przesuwny lub obrotowy) muszą mieć różne nazwy. Jeżeli zostanie wprowadzona istniejąca już nazwa, to na jej końcu pojawi się kolejna liczba.

/ Zmień właściwości

Charakterystyka sprężyny ma następujące właściwości: *Nazwa*, *Typ*, *Stopień swobody, Typ tłumienia.*



Kliknięcie w tę ikonę otwiera okno dialogowe umożliwiające zaimportowanie istniejącej charakterystyki.

3.1.17.1 Sprężyna typu węzeł-węzeł

Sztywność / Tłumienie

W ustawieniu domyślnym sprężyny działają na zasadzie charakterystyki liniowo-sprężystej. W tabeli, w kolumnie *Model* widnieje wówczas odpowiedni opis przyjętego modelu zachowania.

Sztywności dla przesuwnego stopnia swobody:

K_u	kN/m	sztywność początkowa
K_{uV}	kN/m	sztywność modalna
C_u	kN/(m/s)	Współczynnik tłumienia

Sztywności dla obrotowego stopnia swobody

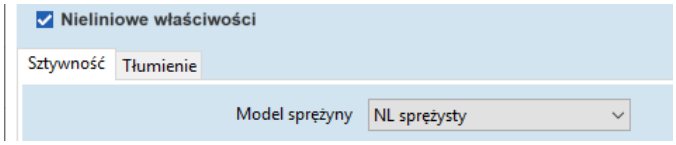
K_r	kNm/rad	sztywność początkowa
K_{rV}	kNm/rad	sztywność modalna
C_r	kNm/(rad/s)	Współczynnik tłumienia kątowego

Nieliniowe właściwości

Sprężyna, tak jak materiał może mieć właściwości nieliniowe. Parametry dla nieliniowej odpowiedzi dostępne są po zaznaczeniu opcji *Nieliniowe właściwości*.

Sztywność

Parametry sztywności i tłumienia mogą być ustawiane na oddzielnych zakładkach



Model sprężyny

Typ	*Sposób obliczania*
NL sprężysty	Charakterystyka nieliniowa bez nieodwracalnych odkształceń
Plastyczny	Nieodwracalne odkształcenia pojawią się po osiągnięciu granicznej siły lub momentu

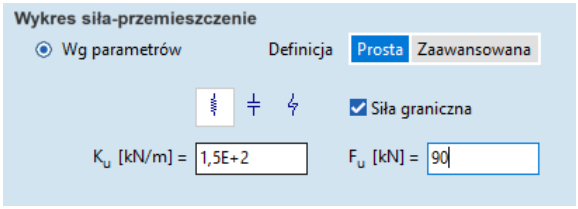
Wykres siła - przemieszczenie

Wg parametrów: funkcja charakterystyki sprężyny może być definiowana tak samo jak nieliniowa podpora węzłowa znana z poprzednich wersji (typ definicji *Prosta*) lub jak wykres naprężenie-odkształcenie dla materiału (typ definicji *Zaawansowany*). Jednostki zależą od typu stopnia swobody. Model plastyczny wymaga zawsze *Zaawansowanej* definicji.

Wg funkcji: można zdefiniować niestandardową charakterystykę za pomocą edytora funkcji siła-przemieszczenie.

Definicja wg parametrów / Prosta

W przypadku prostej definicji charakterystyka może zostać zdefiniowana jak dla podpory nieliniowej. Dostępne opcje obejmują dwukierunkowe liniowe działanie, tylko ściskanie, tylko rozciąganie oraz wartość siły granicznej.



Dwukierunkowe działanie (ściskanie i rozciąganie)

Tylko ściskanie

Tylko rozciąganie

Przesuwny stopień swobody

Siła graniczna Charakterystyka siły granicznej

K_u *[kN/m]* Sztywność początkowa

F_u *[kN]* Siła graniczna

Obrotowy stopień swobody

Moment graniczny Charakterystyka momentu granicznego

K_r *[kNm/rad]* Sztywność początkowa

M_r *[kNm]* Moment graniczny

Ustawienie opcji *Tylko ściskanie* lub *Tylko rozciąganie* nie prowadzi do przyjęcia w elemencie nieaktywnej sztywności równej zero. Ponieważ prowadziłoby to do numerycznej niestabilności, wprowadzana jest pomijalnie mała sztywność.

$$\boldsymbol{K_{u0} = \min\left\{10^{-3}\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}}\,;\; K_u \cdot 10^{-8}\right\};\; K_{r0} = \min\left\{10^{-3}\,\frac{\mathrm{kNm}}{\mathrm{rad}}\,;\; K_r \cdot 10^{-8}\right\}}$$

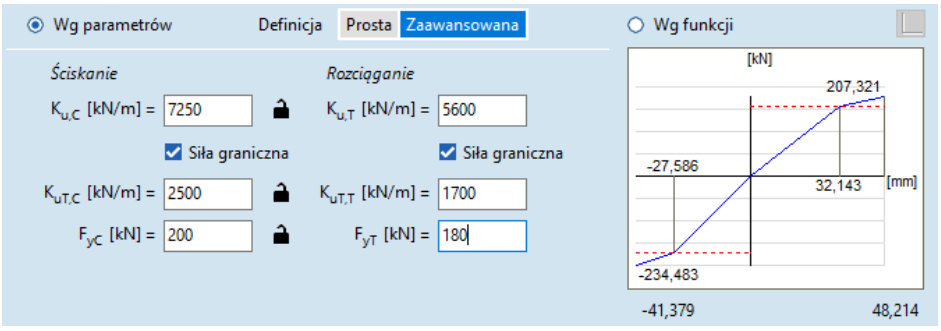
Jeżeli przemieszczenia takiego elementu są bardzo duże, to nawet tak mała sztywność może prowadzić do powstania znacznych sił. W takim przypadku, należy wybrać opcję *Definicja / Zaawansowana* i zdefiniować charakterystykę z siłą graniczną po stronie nieaktywnej.

Definicja wg parametrów / Zaawansowana

W przypadku zaawansowanej definicji część wykresu opisująca ściskanie może być różna od części rozciąganej. Jeżeli model odpowiedzi sprężyny ustawiony jest jako plastyczny to wartości $K_{u,T}$ oraz $K_{u,C}$ muszą być takie same (wartość $K_{u,C}$ jest nieedytowalna).

Za pomocą opcji *Siła graniczna* można określić graniczną siłę/moment oraz sztywność styczną po osiągnięciu siły granicznej. Jeżeli opcja *Siła graniczna* jest wyłączona, to uzyskany zostanie prosty wykres liniowy.

Czerwona linia przerywana przedstawia wartości graniczne F_{yC}, F_{yT} oraz M_{yC}, M_{yT}.



Przesuwny stopień swobody

$K_{u,T}$ *[kN/m]* Sztywność początkowa przy rozciąganiu

$K_{u,C}$ *[kN/m]* Sztywność początkowa przy ściskaniu

	$K_{uT,T}$ [kN/m]	Nachylenie wykresu po osiągnięciu siły granicznej przy rozciąganiu
	$K_{uT,C}$ [kN/m]	Nachylenie wykresu po osiągnięciu siły granicznej przy ściskaniu
	F_{yT} [kN]	Siła graniczna przy rozciąganiu
	F_{yC} [kN]	Siła graniczna przy ściskaniu
Obrotowy stopień swobody	$K_{r,T}$ [kNm/rad]	Sztywność początkowa przy obrocie dodatnim
	$K_{r,C}$ [kNm/rad]	Sztywność początkowa przy obrocie ujemnym
	$K_{rT,T}$ [kNm/rad]	Nachylenie wykresu po osiągnięciu momentu granicznego przy obrocie dodatnim
	$K_{rT,C}$ [kNm/rad]	Nachylenie wykresu po osiągnięciu momentu granicznego przy obrocie ujemnym
	M_{yT} [kNm]	Moment graniczny przy obrocie dodatnim
	M_{yC} [kNm]	Moment graniczny przy obrocie ujemnym

Zaawansowana definicja charakterystyki aktywnej tylko przy ściskaniu lub rozciąganiu

Tryb zaawansowany umożliwia definiowanie nieliniowej charakterystyki sprężystej aktywnej tylko po jednej stronie wykresu. Najprostszym rozwiązaniem jest ustawienie na zero parametrów po stronie nieaktywnej. Trzeba jednak pamiętać, że taka wyidealizowana jednostronna charakterystyka jest najmniej stabilna pod względem numerycznym w pobliżu zmiany stanu aktywny/nieaktywny.

$\boldsymbol{K_{u,T} = 0}$; $\boldsymbol{F_{y,T} = 0}$

Zamiast tak wyidealizowanej charakterystyki lepiej jest zastosować taką, która ma tę samą sztywność początkową i pomijalnie mała siłę graniczną po stronie nieaktywnej. Zapewnia to stabilność numeryczną przy określonym stanie rozciągania lub ściskania, podczas gdy wartość siły granicznej może być przyjęta tak mała, że dla danej tolerancji wyświetlania będzie widoczna jako zero.

$\boldsymbol{K_{u,T} = 0}$; $\boldsymbol{F_{y,T} > 0}$

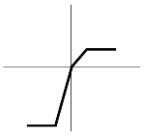
W niektórych przypadkach również i to rozwiązanie może prowadzić do numerycznej niestabilności. Niespodziewana odpowiedź modelu może prowadzić do sytuacji, że sztywność aktywna nie zapewni równowagi. W takim przypadku obliczenia nie będą prowadzić do uzyskania zbieżności.

Problem stabilności może zostać rozwiązany poprzez ustawienie bardzo małego, ale niezerowego nachylenia części liniowej wykresu po stronie nieaktywnej. W ten sposób dostatecznie duże przemieszczenia mogą zapewnić równowagę układu również po stronie nieaktywnej, a nierealnie duże przemieszczenia będą ostrzeżeniem przed niespodziewaną odpowiedzią modelu. Należy jednak wziąć pod uwagę, że jeśli zamierzoną odpowiedzią układu są duże przemieszczenia po kierunku nieaktywnym, to mogą tam również powstać znaczne, odrealnione siły.

$\boldsymbol{K_{u,T} > 0}$

Zaawansowana definicja charakterystyki z zadaną siłą graniczną

Charakterystyka z zadaną siłą graniczną może być również zdefiniowana jako wyidealizowana, gdzie sztywność staje się stała po osiągnięciu danej granicy. Jednak zerowe nachylenie wykresu może prowadzić do niestabilności numerycznych, a niespodziewana odpowiedź ze strony układu może powodować, że sprężyny takie nie zapewnią odpowiedniej równowagi. W takim przypadku obliczenia nie będą prowadzić do uzyskania zbieżności.



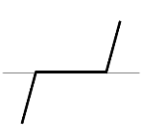
$\boldsymbol{K_{uT,TC} = K_{uT,T} = 0}$

Ten problem można również rozwiązać poprzez ustawienie różnego od zera, ale bardzo małego nachylenia po osiągnięciu siły granicznej. W ten sposób dostatecznie duże przemieszczenia mogą zapewnić równowagę układu, a nierealnie duże przemieszczenia będą ostrzeżeniem przed niespodziewaną odpowiedzią modelu. Jeżeli jednak zamierzoną odpowiedzią układu są duże przemieszczenia, to może również powstać znaczna siła, która przekracza zadaną wartość siły granicznej.

$\boldsymbol{K_{uT,C} > 0}$; $\boldsymbol{K_{uT,T} > 0}$

Zaawansowana definicja charakterystyki z zadanym luzem

Luz po danym kierunku może być zasymulowany poprzez zdefiniowanie małej sztywności początkowej, po której następuje zmiana na nieliniowy stan sprężysty o dużej wartości sztywność. Zaleca się w takich sytuacjach unikać wyidealizowanej charakterystyki początkowej o zerowej sztywności, a zamiast niej wprowadzić niewielkie nachylenie na wykresie i mała siłę graniczną. Wyidealizowana charakterystyka musi zostać



$\boldsymbol{K_{u,C} = K_{u,T} = 0}$

$\boldsymbol{K_{u,C} = K_{u,T} > 0}$

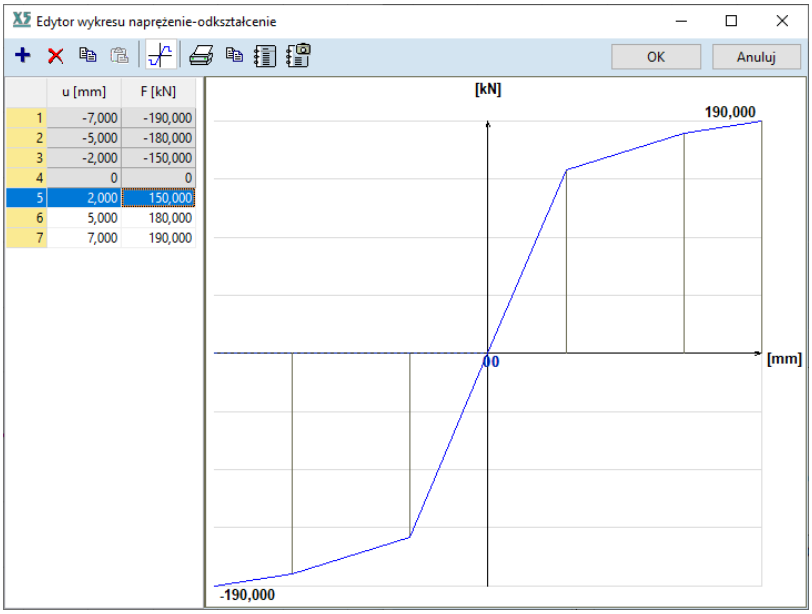
zdefiniowana w edytorze funkcji (nie można tego zrobić poprzez definicję parametryczną).

Definicja wg funkcji

Kliknij tę ikonkę, aby wyedytować wykres.
Edytor funkcji jest dostępny zarówno dla *NL sprężystego* jaki i *Plastycznego* modelu sprężyny.

Edytor wykresu siła – przemieszczenie

Elementy menu tego okna są w większości takie same jak w *4.10.30 Obciążenia dynamiczne (dla analizy zależnej od czasu) (moduł DYN)*.

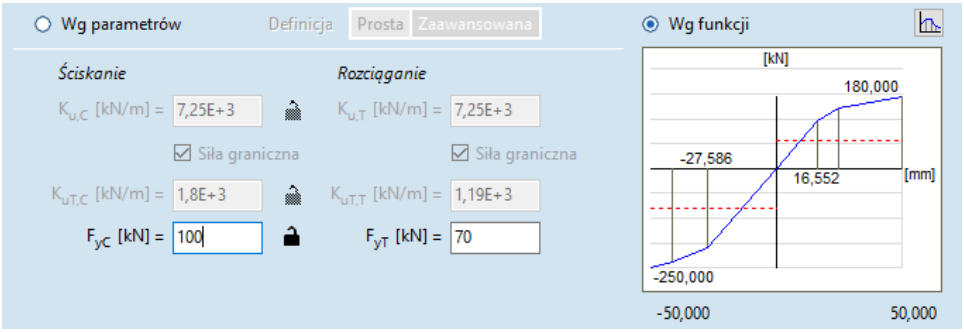


Wartości parametrów charakterystyki sprężyny w trybie *Zaawansowany* ustawiane są na podstawie funkcji zdefiniowanej w edytorze funkcji w następujący sposób:

$K_{u,T}$ [kN/m]	Nachylenie pierwszego odcinka po stronie rozciąganej wykresu
$K_{u,c}$ [kN/m]	Nachylenie pierwszego odcinka po stronie ściskanej wykresu
$K_{uT,T}$ [kN/m]	Nachylenie ostatniego odcinka wykresu po stronie rozciąganej
$K_{uT,C}$ [kN/m]	Nachylenie ostatniego odcinka wykresu po stronie ściskanej
$F_{y,T}$ [kN]	Model plastyczny – pierwszy punkt przełamania po stronie rozciąganej Model NL sprężysty – wartość pozostaje edytowalna
$F_{y,C}$ [kN]	Model plastyczny – pierwszy punkt przełamania po stronie ściskanej Model NL sprężysty – wartość pozostaje edytowalna

Użytkownik może zdefiniować wartości sił granicznych tylko w przypadku modelu *NL sprężystego*. W takim przypadku stopień wykorzystania będzie odnosił się do tej wartości.
Dla plastycznego modelu sprężyny wartości te nie mogą być edytowane i wynoszą $K_{u,T} = K_{u,c}$.

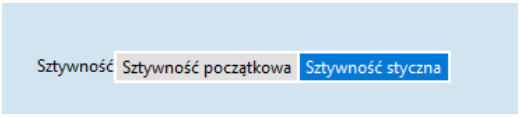
☞ **Wykres siła-przemieszczenie musi być monotonicznie rosnący.**
W przypadku charakterystyki plastycznej, nachylenie wykresu musi być monotonicznie malejące.



Wzmocnienie odkształceniowe

Dostępne tylko, gdy wybrany został model *Plastyczny* materiału.
Wzmocnienie izotropowe oznacza, że wzrastają zarówno siły graniczne dla ściskania jak i rozciągania.
Wzmocnienie kinematyczne oznacza, że przy rozciąganiu siła graniczna na rozciąganie wzrasta przy spadku wartości siły granicznej na ściskanie lub przy ściskaniu siła graniczna na ściskanie wzrasta przy spadku wartości siły granicznej na rozciąganie. Różnica pomiędzy siłami granicznymi pozostaje zawsze stała. **Patrz** *3.1.15 Biblioteka materiałów*

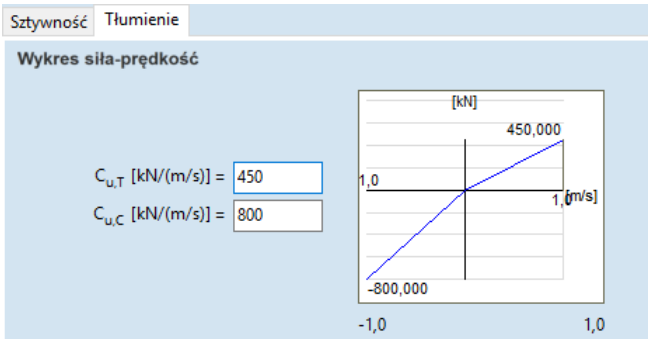
Sztywność



Sztywność początkowa Przy agregacji i analizy globalnej macierzy sztywności wykorzystywane są macierze sztywności elementów o materiałowej charakterystyce liniowej ze sztywnością początkową.
Obliczenia są wolniejsze (potrzebna większa liczba iteracji), ale zbieżność jest łatwiej osiągalna.

Sztywność styczna Przy agregacji i analizy globalnej macierzy sztywności wykorzystywane są macierze sztywności elementów o materiałowej charakterystyce nieliniowej ze sztywnością styczną.
Obliczenia są szybsze (potrzebna mniejsza liczba iteracji), ale przy niedostatecznie małych przyrostach mogą wystąpić problemy ze zbieżnością zadania.

Tłumienie Wartości współczynników tłumienia mogą być różne przy ściskaniu i rozciąganiu, stąd możliwe jest utworzenie bilinearnego wykresu funkcji tłumienia.



$C_{u,T}$ *[kN/(m/s)]* Współczynnik tłumienia przy rozciąganiu
$C_{u,c}$ *[kN/(m/s)]* Współczynnik tłumienia przy ściskaniu

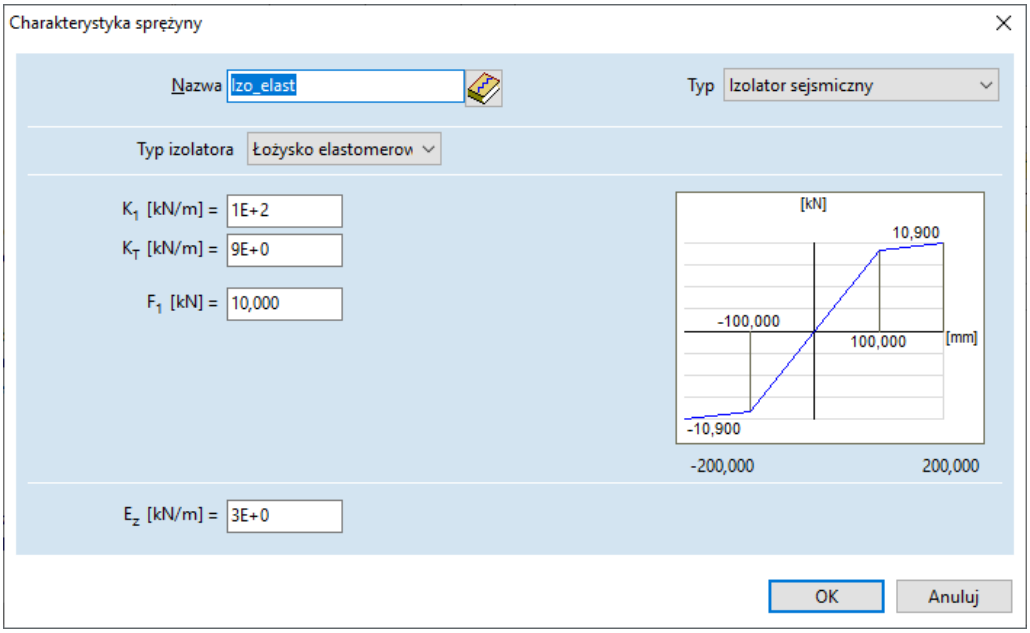
Jeżeli w analizie wykorzystuje się materiał o modelu liniowym, to współczynnik tłumienia przyjmowany jest jako wartość średnia: $_u = \frac{C_{u,T}+C_{u,C}}{2}$

3.1.17.2 Izolator sejsmiczny

Typ

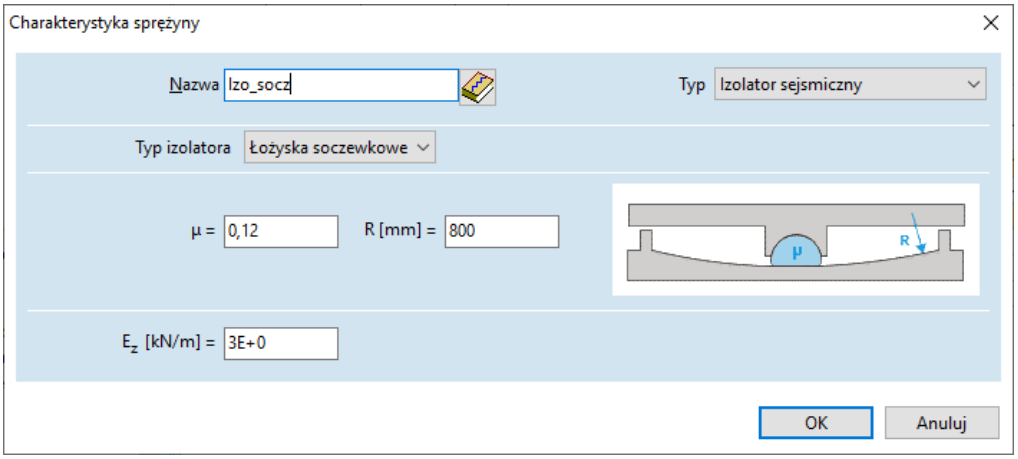
W programie dostępne są trzy typy izolatorów: *Łożysko elastomerowe, Łożysko soczewkowe, Inny typ*.

Łożysko elastomerowe



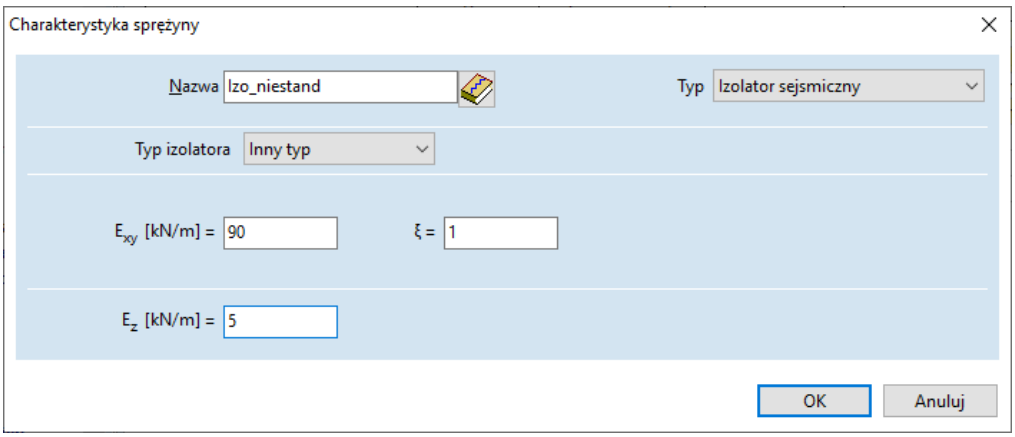
K₁ [kN/m] Wartość początkowej sztywności poziomej
K_T [kN/m] Wartość sztywności poziomej w stanie plastycznym
F₁ [kN] Siła uplastyczniająca
E_z [kN/m] Sztywność pionowa

Łożysko soczewkowe



μ Współczynnik tarcia
R [mm] Równoważny promień krzywizny
E_z [kN/m] Sztywność pionowa

Inny typ



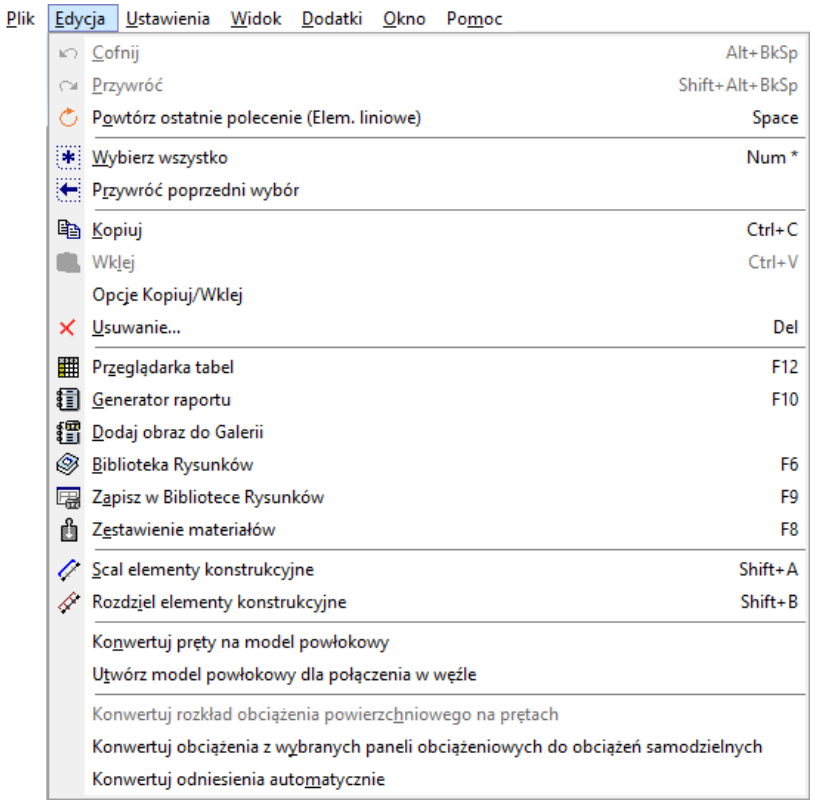
E_{xy} [kN/m] Efektywna wartość sztywności poziomej
ξ Współczynnik tłumienia
E_z [kN/m] Sztywność pionowa

Więcej szczegółów patrz... *4.9.18 Izolator sejsmiczny*

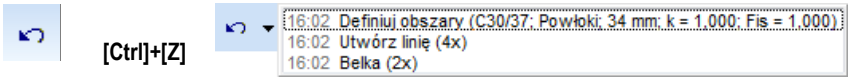
3.1.18 Zakończ

[Ctrl]+[Q] Zamyka program.

3.2 Edycja



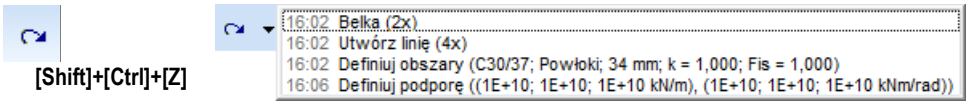
3.2.1 Cofnij



[Ctrl]+[Z]

Cofa efekt poprzedniego polecenia. Aby cofnąć ciąg operacji (więcej kroków), należy kliknąć na strzałkę w dół obok ikony Cofnij, a następnie wybrać operacje, które mają zostać cofnięte na podstawie czasu lub typu polecenia.
W oknie dialogowym *Menu główne / Ustawienia / Preferencje / Integralność danych* można ustawić liczbę pamiętanych kroków do cofnięcia/przywrócenia (maksimum 99).

3.2.2 Przywróć



[Shift]+[Ctrl]+[Z]

Cofa polecenie cofnij lub przywraca jedno lub większą ilość poleceń, które zostały cofnięte. Możliwe jest wybranie operacji, które mają zostać przywrócone na podstawie czasu lub typu polecenia.

3.2.3 Powtórz ostatnie polecenie

[Spacja]

Uruchamia ostatnio używane polecenie, które zostało wywołane poprzez kliknięcie w ikonę lub przez wybranie skrótu klawiaturowego.
Obok tej pozycji w menu pojawia się także nazwa ostatniego polecenia.

3.2.4 Wybierz wszystko

[Ctrl]+[A]

Patrz... *2.16.1 Wybór elementów*

3.2.5 Przywróć poprzedni wybór

[Ctrl]+[Shift]+[R]

Patrz... *2.16.1 Wybór elementów*

3.2.6 Kopiuj

[Ctrl]+[C]

Kopiuje wybrane elementy modelu do schowka. Jeżeli nic nie wybrano, ale są aktywne fragmenty, to zostaną one skopiowane. Jeżeli nie wybrano żadnych elementów, ani nie ma aktywnych fragmentów, skopiowany zostanie cały model.
Funkcja ta kopiuje rysunek z bieżącego okna graficznego do schowka tak jak we wcześniejszych wersjach, ale ta operacja może zostać dezaktywowana.

3.2.7 Wklej

[Ctrl]+[V]

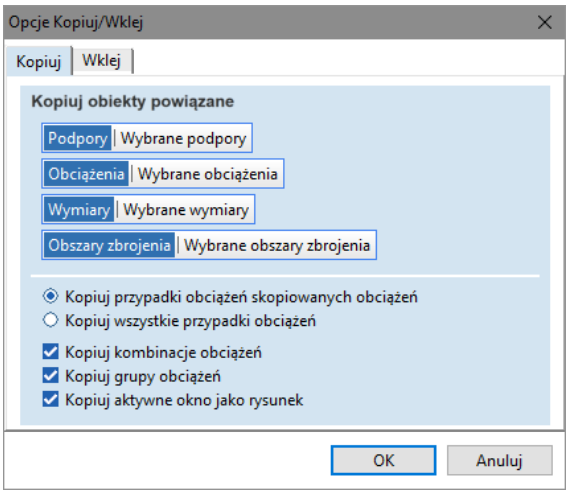
Wkleja elementy AxisVM ze schowka. Aby uzyskać więcej informacji na temat opcji wklejania patrz następny rozdział: Opcje Kopiuj / Wklej.

3.2.8 Opcje Kopiuj / Wklej

Opcje kopiowania

Wybrane elementy są zawsze kopiowane do schowka. Fragmenty zdefiniowane przez użytkownika, zawierające wybrane elementy, także zostają skopiowane.
Jeżeli kopiowane są obszary, pręty, żebra i pręty kratowe, to razem z nimi kopiowane są także inne określone obiekty powiązane (podpory, obciążenia, linie wymiarowe, obszary zbrojenia).

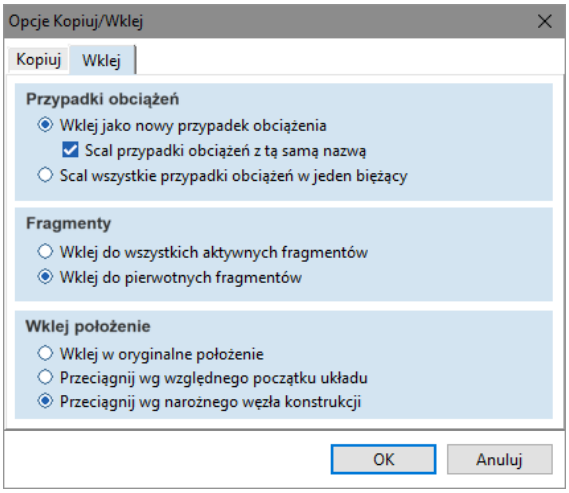
Aby móc kontrolować, które obiekty mają być skopiowane, należy je zaznaczyć i wybrać jedną lub kilka z następujących opcji: *Wybrane podpory / Wybrane obciążenia / Wybrane wymiary / Wybrane obszary zbrojenia*.
Przypadki obciążeń kopiowane są razem z obciążeniami. Aby skopiować wszystkie przypadki obciążeń, należy wybrać opcję *Kopiuj wszystkie przypadki obciążeń* zamiast opcji *Kopiuj przypadki obciążeń skopiowanych obciążeń*.
Można również kopiować kombinacje i grupy obciążeń.
Włączona opcja *Kopiuj aktywne okno jako rysunek* umożliwia skopiowanie również aktywnego okna jako grafiki.



Opcje wklejania

Przypadki obciążeń

Wklejanie przypadków obciążeń można kontrolować za pomocą następujących opcji:
Wklej jako nowy przypadek obciążenia: przypadki obciążeń ze schowka kopiowane są jako nowe przypadki. Jeżeli zaznaczono opcję *Czy scalić przypadki obciążeń z tą samą nazwą?*, a model posiada przypadki obciążeń o takiej samej nazwie jak przypadek ze schowka, to te przypadki zostaną scalone (obciążenia z przypadku ze schowka zostaną dodane do tego na modelu). Ta opcja musi być włączona podczas kopiowania w obrębie modelu, aby uniknąć tworzenia niepotrzebnych przypadków obciążeń.



Czy scalić obciążenia wszystkich przypadków obciążeń w bieżący?. Ta opcje kopiuje wszystkie obciążenia z przypadków obciążeń ze schowka do bieżącego przypadku obciążenia w modelu.

Fragmenty

Fragmenty zdefiniowane przez użytkownika zawierające wybrane elementy są także kopiowane do schowka. Pierwsza opcja polega na wklejeniu elementów z fragmentów do wszystkich aktywnych fragmentów w modelu. Druga opcja polega na wklejeniu ich jako pierwotnych fragmentów.

Wklej położenie

Istnieją trzy opcje wklejania położenia.
Wklej w oryginalne położenie: wklejone elementy znajdą się we współrzędnych ich pierwotnego położenia.
Przeciągnij wg względnego początku układu / Przeciągnij wg narożnego węzła konstrukcji: Jeżeli wybrana zostanie jedna z tych opcji, można zdefiniować wybraną pozycję wklejenia, klikając lewym przyciskiem myszy. W pierwszym przypadku pozycja wstawienia ustawiana jest względem początku lokalnego układu współrzędnych z modelu źródłowego. W drugim przypadku pozycja wstawienia określana jest na podstawie kliknięcia węzła konstrukcji, wybranego z tymczasowo wklejonych kopiowanych elementów w lewym dolnym narożniku przestrzeni graficznej.

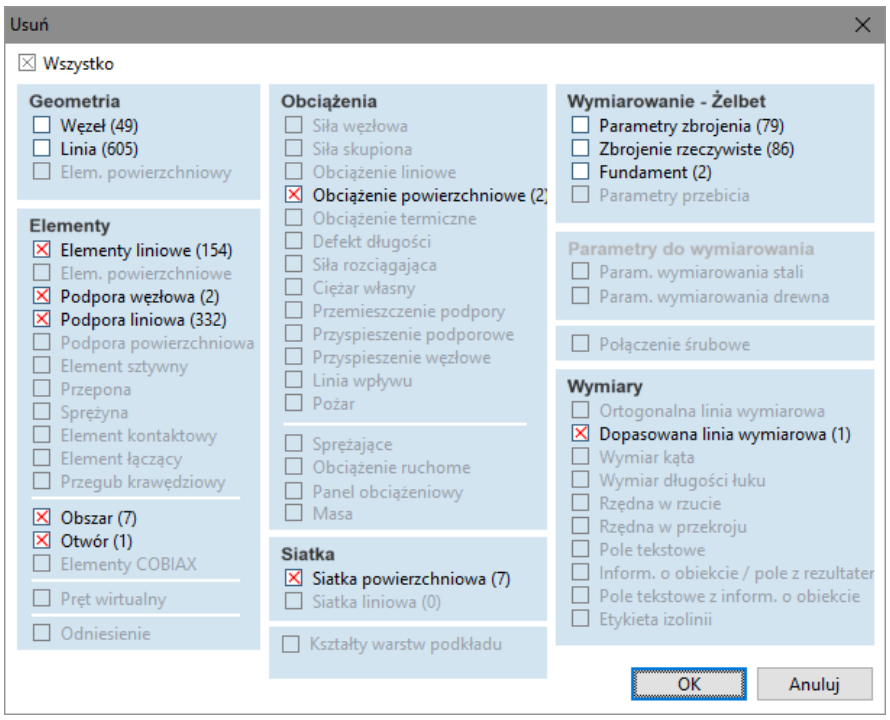
3.2.9 Usuń

[Del]

Usuwa wybrane obiekty. Jeżeli nie wybrano żadnych elementów, wyświetlony zostanie pasek ikon Wyboru, a następnie okno dialogowe Usuń.
Użytkownik może w ten sposób usunąć wybrane geometryczne obiekty.
Aby usunąć:

1. Wybierz geometryczne obiekty, które mają zostać usunięte. Można je wybrać przyciskając klawisz **[Shift]** podczas klikania na obiekty lewym przyciskiem myszy lub korzystając z paska ikon Wyboru.
2. Naciśnij klawisz **[Del]**. Jeżeli nie dokonano żadnego wyboru, wyświetlony zostanie pasek narzędzi, który umożliwia wybranie obiektów do usunięcia. **Patrz...** *2.16.1 Wybór elementów*.
3. Zaznacz pola wyboru obiektów, które mają zostać usunięte.
4. Naciśnij przycisk **OK**, aby zakończyć i zamknąć okno dialogowe.

Pola wyboru w oknie dialogowym są aktywne lub nieaktywne w zależności od zawartości bieżącego wyboru przeznaczonego do usunięcia.



Geometria Umożliwia wybranie obiektów geometrycznych, które mają zostać usunięte. Usunięcie obiektów geometrycznych, które miały przypisane elementy skończone, spowoduje usunięcie tych elementów skończonych i powiązanych obciążeń.

Elementy Umożliwia wybranie elementów skończonych, które mają zostać usunięte. Usunięcie elementów skończonych nie spowoduje usunięcia odpowiedniego obiektu geometrycznego, ale usunie obciążenia.

Odniesienia Umożliwia wybranie odniesień, które mają zostać usunięte. Wszystkie elementy skończone, które korzystały z usuniętych odniesień oraz powiązane obciążenia zostaną także usunięte.

Siatka Umożliwia usunięcie siatkowania obszarów.

Wymiarowanie - Żelbet Umożliwia wybranie parametrów zbrojenia powiązanych z wybranymi elementami, które mają zostać usunięte. Można również usuwać parametry fundamentów.

Wymiarowanie – Stal/Drewno Umożliwia wybranie parametrów wymiarowania stali / drewna powiązanych z wybranymi elementami, które mają zostać usunięte.

Wymiary Umożliwia wybranie linii wymiarowych, pól tekstowych itp., które mają zostać usunięte.

3.2.10 Przeglądarka tabel

[F12]

Patrz... *2.9 Przeglądarka tabel*

3.2.11 Generator raportu

[F10]

Patrz... *2.10 Generator raportu*

3.2.12 Zapisywanie rysunków i tabel z wynikami wymiarowania

Dodaj rysunek do galerii **[F9]**

Rysunki z AxisVM można zapisywać w różnych kontekstach: można zapisać główne okna AxisVM, wykresy przemieszczeń i sił wewnętrznych prętów, wyniki wymiarowania stali, wyniki obliczeń nieliniowych, wykresy dla słupów i belek żelbetowych, wykresy dla połączeń śrubowych. W przypadku widoku podzielonego na kilka okien, można wybrać i zapisać wszystkie okna lub tylko to aktywne.

☞ **Biblioteka rysunków stanowi kolejny sposób na zapisanie wykresów. Galeria zawiera statyczne pliki graficzne, podczas gdy Biblioteka rysunków korzysta ze skojarzonych rysunków, podążających za zmianami w modelu.**
Patrz... *2.13 Biblioteka Rysunków*

Jakiego formatu pliku użyć?

Formaty bitmap (*.BMP, .JPG)* przechowują pojedyncze piksele dla wykresu, tak więc metapliki Windows będą zapewniać lepszą rozdzielczość podczas drukowania. JPG to skompresowany format, który traci trochę na jakości, ale pliki te są o wiele mniejsze niż pliki BMP.

Metapliki Windows *(.WMF, .EMF)* przechowują ciąg poleceń rysujących, dlatego można je przeskalowywać i drukować w dowolnym rozmiarze bez utraty jakości. Jednak wybierając opcję ukrycia niewidocznych linii lub widok zrenderowany przerysowany przez technologię OpenGL, metapliki będą zawierać wyłącznie bitmapy.
Aby uzyskać widok zrenderowany o wysokiej rozdzielczości należy wydrukować plik bezpośrednio.

Rysunki zostaną zapisane w podfolderze *Images_nazwamodelu*, utworzonym automatycznie w folderze, gdzie znajduje się plik modelu. Rysunki te można wstawiać do raportu. Nie należy zmieniać nazwy podfolderu *Images_nazwamodelu.*

3.2.13 Zestawienie materiałów

[F8]

Umożliwia wyświetlenie w formie tabelarycznej ciężaru całego modelu, wybranych elementów lub innych danych posortowanych wg materiału, przekroju poprzecznego lub typu powierzchni.
Ciężar wg materiału zawiera również ciężar fundamentów.
Dodatkowo w zestawieniu znajduje się również *Zestawienie prętów zbr.*, które wyświetla całkowitą ilość wkładek zbrojeniowych zastosowanych w elementach powierzchniowych, belkach i słupach.
Natomiast pozycja *Szczegółowe zestawienie prętów zbr.* segreguje dane zbrojenie wg typu elementu (płyta, belka, słup) i średnicy.

Szczegółowe zestawienie prętów zbr.

Element	Typ	Położenie pręta zbr.	Ø	Σ L [m]	m* [kg/m]	Σ m [kg]	Σ A_c [m^2]	Σ V_c [m^3]	Σ m/Σ V_c [kg/m^3]
1	Płyta	axd/axd	Ø16	100,000	1,578	157,834	20,000	4,000	39
2		ayd/ayd	Ø16	100,000	1,578	157,834	20,000	4,000	39
3		axg/axg	Ø16	100,000	1,578	157,834	20,000	4,000	39
4		ayg/ayg	Ø16	100,000	1,578	157,834	20,000	4,000	39
5	Elem. powierzchniowe	axd+ayd/axd+ayd	Ø16	200,000	1,578	315,667	20,000	4,000	79
6		axg+ayg/axg+ayg	Ø16	200,000	1,578	315,667	20,000	4,000	79
8	Belka	Dolne	Ø16	10,000	1,578	15,783	---	0,800	20
9		Górne	Ø14	10,000	1,208	12,084	---	0,800	15
10	Słup	---	Ø16	96,000	1,578	151,520	---	1,920	79
11	Strzemiona słupa		Ø8	77,280	0,395	30,493	---	1,920	16
			Razem	**593,281**		**841,215**	**20,000**	**6,864**	**123**

3.2.14 Scalenie elementów konstrukcyjnych

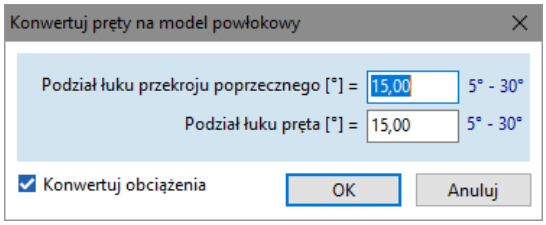
AxisVM traktuje elementy liniowe jako elementy konstrukcyjne. Oznacza to, że opcja *Generowanie siatki dla elementu liniowego* w zakładce *Siatka* tworzy elementy skończone, ale sam element liniowy nie jest podzielony. Polecenie z menu *Scalenie elementów konstrukcyjnych* łączy sąsiadujące elementy liniowe do pojedynczego elementu, aż do punktu przerwania. Punkt przerwania definiowany jest przez różne kierunki lokalne ***x*** lub ***z***, różny materiał, przekrój poprzeczny lub mimośród, zwolnienie węzłowe lub granicę obszaru. Elementy liniowe muszą leżeć na tej samej linii lub łuku.

3.2.15 Rozdzielenie elementów konstrukcyjnych

Polecenie z menu *Rozdzielenie elementów konstrukcyjnych* rozdziela elementy konstrukcyjne do pojedynczych elementów liniowych.

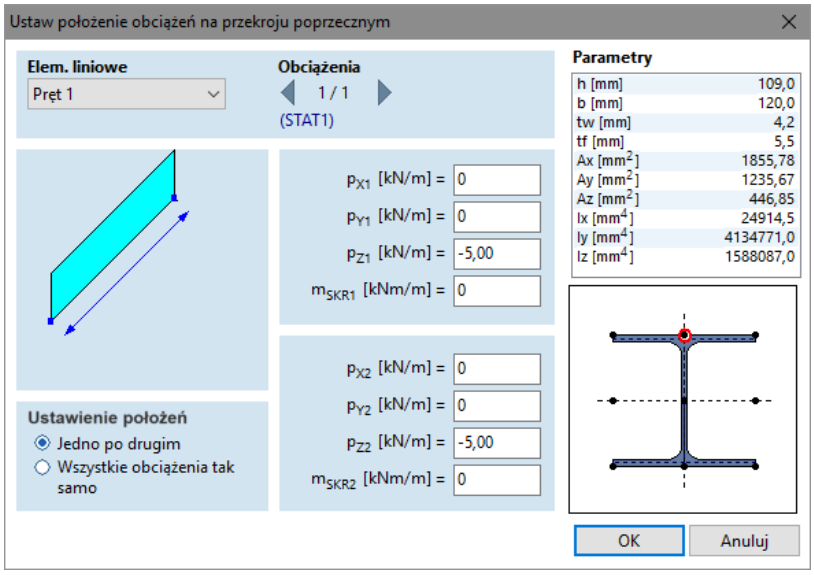
3.2.16 Konwertuj pręty na model powłokowy

Wybrane pręty można przekonwertować do modeli powłokowych. Model powłokowy składa się z elementów powierzchniowych typu powłoka, utworzonych i połączonych zgodnie z długością pręta i przekrojem poprzecznym. Preferencje dla konwersji łuków w przekroju poprzecznym i łuków pręta w wielokąty, można ustawić w oknie dialogowym parametrów.



Konwertuj obciążenia

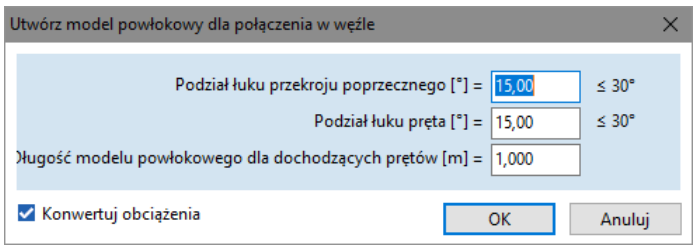
Jeżeli wybrano opcję *Konwertuj obciążenia*, obciążenia prętów mogą zostać przekonwertowane do obciążeń powłokowych. W tym celu użytkownik musi określić pozycję tego obciążenia w obrębie przekroju poprzecznego. Można wybrać dowolny z dziewięciu punktów na prostokątnym obrysie przekroju poprzecznego, ale zaleca się wybranie punktu, który rzeczywiście leży na profilu. Położenia obciążeń można ustawiać jedno po drugim lub za jednym razem dla wszystkich obciążeń.



Użytkownik musi wybrać z listy element liniowy oraz wybrać obciążenie, które ma zostać konwertowane. Wartości obciążeń w razie potrzeby można także zmienić. Po przekonwertowaniu wszystkich obciążeń, można zamknąć okno dialogowe.

3.2.17 Utwórz model powłokowy dla połączenia w węźle

Części prętów połączonych z węzłami można konwertować do modelu powłokowego. Parametry są takie same jak w powyższym przypadku, ale można ustawić dodatkowo długość elementów do konwersji. Model powłokowy połączony zostanie z pozostałą częścią pręta poprzez elementy sztywne.
Opcja *Konwertuj obciążenia* działa w taki sam sposób jak opisano powyżej.



3.2.18 Konwertuj rozłożone obciążenia powierzchniowe na pręty

To polecenie z menu konwertuje wybrane obciążenia powierzchniowe rozłożone na pręty na pojedyncze obciążenia rozłożone prętów.

3.2.19 Konwertuj obciążenia z wybranych paneli obciążeniowych do obciążeń samodzielnych

Obciążenie wygenerowane przez rozkład na panelu obciążeniowym może zostać przekonwertowane na obciążenia samodzielne. Po przekonwertowaniu mogą być modyfikowane lub usuwane, lecz nie mogą zostać zmienione z powrotem w obciążenie panelu.

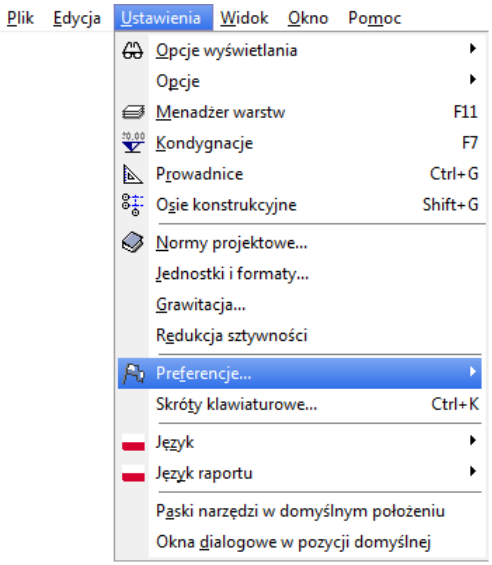
3.2.20 Konwertuj automatyczne odniesienia

To polecenie menu konwertuje odniesienia automatyczne, przypisane do elementów liniowych lub powierzchniowych, do wektorów odniesień.

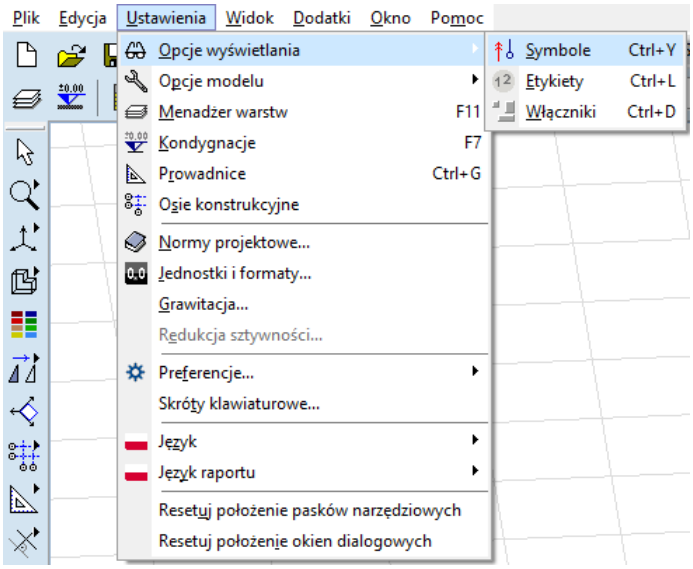
3.2.21 Konwertuje rzeczywiste żebra zdefiniowane parametrycznie na niezależne

Jeżeli model zawiera obszary użebrowane parametrycznie lub użebrowaną płytę zespoloną (patrz *4.9.5.4 Parametryczne płyty użebrowane*, *4.9.5.2 Obszar użebrowanej płyty zespolonej*), wygenerowane z włączoną opcją *Utwórz rzeczywiste żebra*, to polecenie konwersji zamieni takie obszary na obszary typu normalnego. Żebra parametrycznej siatki żeber nie zostaną usunięte, ale staną się niezależnymi elementami.

3.3 Ustawienia



3.3.1 Opcje wyświetlania



Symbole
[Ctrl]+ [Y]

Patrz... *2.16.18 Opcje wyświetlania*

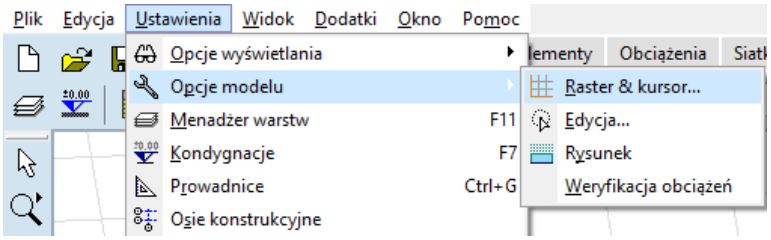
Etykiety
[Ctrl]+ [L]

Patrz... *2.16.18 Opcje wyświetlania*

Włączniki
[Ctrl]+ [D]

Patrz... *2.16.18 Opcje wyświetlania*

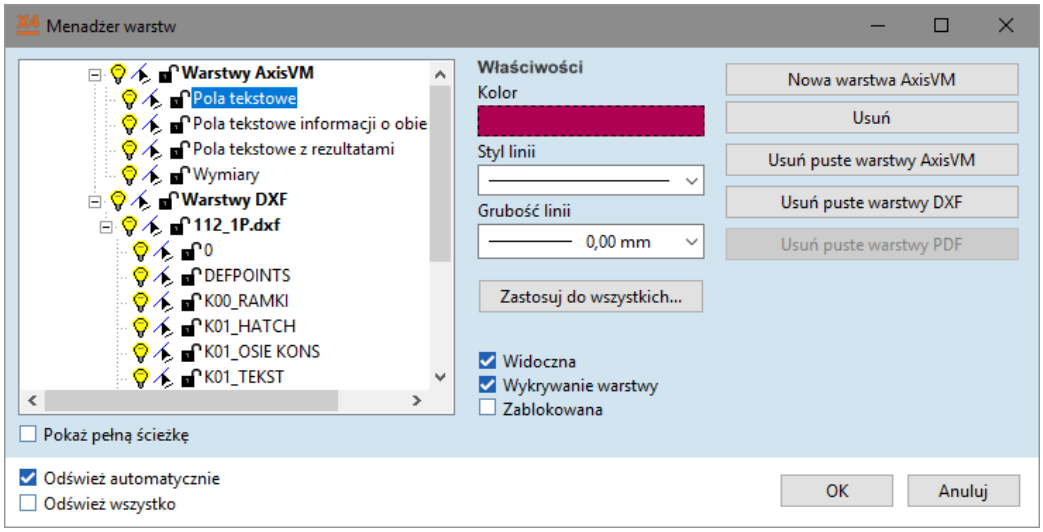
3.3.2 Opcje modelu



Patrz... *2.16.19 Opcje modelu*

3.3.3 Menadżer warstw

[F11]



Menadżer warstw umożliwia zarządzanie warstwami AxisVM oraz importowanymi warstwami DXF lub ArchiCAD. Można importować zbiorowo warstwy DXF, ale tylko jedną warstwę ArchiCAD.
Jeżeli nie zdefiniowano żadnych warstw AxisVM, to program automatycznie utworzy nową warstwę dla linii wymiarowych o nazwie *Wymiary*.
Po lewej stronie okna dialogowego Menadżer warstw wyświetlane jest drzewo z dostępnymi warstwami. Po wybraniu (podświetleniu) warstwy DXF w drzewie, można modyfikować jej właściwości po prawej stronie (nazwa, kolor, styl, grubość). Po wybraniu nadrzędnego wpisu dla pliku DXF w drzewie, można modyfikować wszystkie warstwy DXF na raz.
Właściwości warstw konstrukcyjnych AxisVM nie można modyfikować.

Zastosuj do wszystkich: Okno dialogowe, które pojawia się po kliknięciu w ten przycisk, umożliwia wybranie obiektów na warstwach DXF, które będą posiadać ich właściwości w oparciu o ustawienia warstwy.

Widoczność warstw lub plików DXF można również ustawić klikając na żarówkę lub symbol kursora (oznaczającego przyciąganie do warstw) obok warstwy lub nazwy pliku.

Nowa warstwa AxisVM — Tworzy nową warstwę AxisVM. Można ustawić jej nazwę, kolor, styl linii oraz grubość.

Usuń — Możliwe jest wybranie jednej warstwy lub grupy warstw i usunięcie ich za pomocą klawisza **[Del]**.

Usuń puste warstwy AxisVM — Usuwa wszystkie puste warstwy AxisVM (niezawierające obiektów).

Usuń puste warstwy DXF — Usuwa wszystkie importowane puste warstwy DXF (niezawierające obiektów).

Usuń puste warstwy PDF — Usuwa wszystkie importowane puste warstwy PDF (niezawierające obiektów).

Zastosuj do wszystkich — Stosuje wybrane właściwości warstwy (kolor, styl linii i grubość) do wszystkich obiektów na tej warstwie.

Widoczna

Ustawia widoczność warstwy.
Jest to odpowiednik kliknięcia w ikonkę żarówki.

Wykrywanie warstwy

Aktywowanie tej opcji spowoduje, że mysz będzie wykrywać obiekty warstwy leżące pod kursorem. Jest to odpowiednik kliknięcia w ikonkę strzałki.

Zablokowana

Zablokowane warstwy nie mogą być edytowane.
Jest to odpowiednik kliknięcia w ikonkę zamkniętej kłódki.

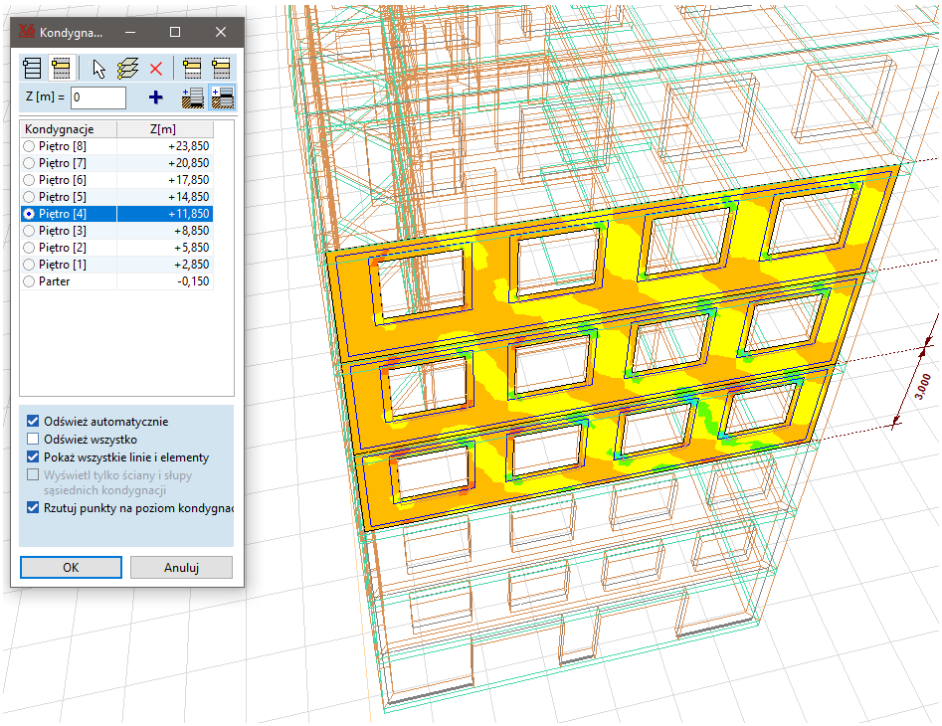
Pokaż pełną ścieżkę
Aktywowanie tej opcji spowoduje, że w widoku drzewa wyświetlone zostaną nazwy zaimportowanych plików z ich pełną ścieżką.

Odśwież automatycznie
Aktywowanie tej opcji spowoduje, że zmiana właściwości lub widoczności warstwy natychmiast zaktualizuje okno główne.

Odśwież wszystko
Aktywowanie tej opcji spowoduje, że wszystkie widoki okna głównego będą odzwierciedlać zmiany. W przeciwnym razie tylko aktywny widok zostanie odświeżony.

3.3.4 Kondygnacje

[F7]

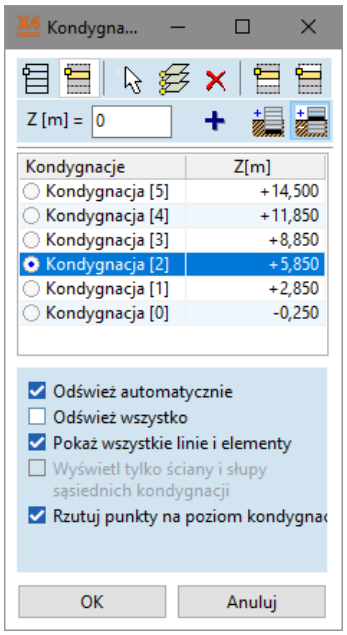


Kondygnacje mają za zadanie ułatwić przeglądanie i edytowanie modelu. Mogą być zdefiniowane przed utworzeniem modelu lub przypisane do istniejącej konstrukcji.
Kondygnacja to płaszczyzna robocza równoległa do globalnej płaszczyzny X-Y o określonej pozycji Z. Jeżeli wybrano daną kondygnację, to ruchy myszy będą rzutowane na płaszczyznę tej kondygnacji nawet, jeżeli wskazywany element znajduje się na innej rzędnej Z. Współrzędne punktów będą zawsze rzutowane na płaszczyznę kondygnacji, aby ułatwić śledzenie obiektów z innych poziomów.
Kondygnacje są zawsze wylistowane według malejącej rzędnej oraz z przypisanymi automatycznie nazwami. Zmiana języka raportu zmieni również nazwy kondygnacji.
Elementy traktowane są jako część kondygnacji, jeżeli ich najniższa rzędna jest większa lub równa poziomowi kondygnacji, ale mniejsza niż poziom kolejnej kondygnacji. Dlatego też, jeżeli wielokondygnacyjny słup lub ściana zdefiniowane były jako pojedyncze elementy, zostaną one wyświetlone tylko na najniższym poziomie. Aby to zmienić, element musi być przecięty płaszczyznami kondygnacji. Nowe elementy zostają automatycznie połączone do ich kondygnacji.

☞ **Kondygnacje to fragmenty logiczne modelu, utworzone do celów edycji i nie wpływają one na wyniki analiz.**

Jeżeli w analizie sejsmicznej należy uwzględnić efekty skręcania, kondygnacje sejsmiczne należy zdefiniować oddzielnie w oknie parametrów sejsmicznych.

Kondygnacjami można zarządzać w poniższym oknie dialogowym.



Wyłącz kondygnacje

Po wciśnięciu tego przycisku żadne kondygnacje nie są wyświetlane. Okna będą wyświetlać całą konstrukcję lub jej aktywne fragmenty. W tym trybie można również dodawać i usuwać kondygnacje.

Wyświetl aktualną kondygnację

Jeżeli ten przycisk jest wciśnięty i wybrano aktywną kondygnację, zostanie ona wyświetlona. Aktywną kondygnację można wybrać klikając na przycisk wyboru przed jej nazwą. Wybór ten jest niezależny od statusu podświetlenia obiektów na liście.
Możliwe jest zaznaczenie więcej niż jednej kondygnacji (np. w celu usunięcia). Wciśnięcie klawisza **[Ctrl]** + kliknięcie, doda pojedyncze obiekty listy do wyboru, a **[Shift]** + kliknięcie doda zakres do wyboru.

☞ **Tylko jedna kondygnacja może być aktywna. Możliwe jest jednak wyświetlanie sąsiadujących kondygnacji. Edycja pozostanie ograniczona do aktywnej kondygnacji.**

Pobierz

Kliknięcie na tę ikonę spowoduje powrót do modelu, gdzie należy kliknąć na jeden lub kilka węzłów, aby pobrać współrzędne Z. Aby zakończyć tę operację, należy kliknąć na pusty obszar. Współrzędne Z zostaną dodane do listy kondygnacji.

Wprowadź nową kondygnację

Należy wprowadzić współrzędną Z do pola edycji i kliknąć przycisk **+**. Do listy dodana zostanie nowa kondygnacja.

Znajdź

Jeżeli użytkownik ma już wprowadzoną konstrukcję wielokondygnacyjną z płytami, może jednym kliknięciem znaleźć i dodać do listy współrzędne Z poziomych obszarów. Jeżeli nie wszystkie poziome obszary odnoszą się do rzeczywistych kondygnacji, można później usunąć niepotrzebne kondygnacje.

☞ **Położenia kondygnacji nie można zmienić. Należy usunąć kondygnację i zdefiniować nową.**

Usuń

Usuwa wybrane kondygnacje. Pozostałe kondygnacje otrzymają nowe nazwy, a przypisanie elementów do kondygnacji zostanie automatycznie zaktualizowane.

☞ **Usunięcie kondygnacji nie usuwa żadnych elementów z modelu.**

Wyświetl kondygnację poniżej (lub powyżej) aktualnej kondygnacji

Jeżeli jeden z tych przycisków jest wciśnięty, elementy z kondygnacji poniżej/powyżej względem kondygnacji aktywnej zostaną wyświetlone, aby ułatwić lokalizację obiektów na niej.

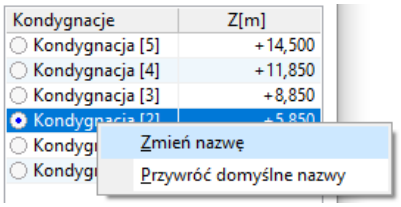
☞ **Aby wyświetlić więcej kondygnacji, należy otworzyć okno dialogowe Fragmenty, gdzie można włączyć fragmenty logiczne dla dowolnej kondygnacji.**

Definiuje nową kondygnację

Numerowanie kondygnacji

Za pomocą tych przycisków można zarządzać numeracją kondygnacji. Jeżeli wciśnięty jest przycisk po lewej (*Numerowanie kondygnacji od najniższej*), najniższe piętro zostanie uznane za parter i pozostałe kondygnacje otrzymają dodatni numer. Jeżeli wybrana zostanie opcja *Numerowanie kondygnacji +/-*, kondygnacja najbliżej poziomu zerowego zostanie uznana za parter. Kondygnacje podziemne otrzymają numery ujemne, a pozostałe dodatnie.

Zmiana nazewnictwa kondygnacji



Kliknij prawym przyciskiem myszy na jednym z elementów listy, aby wywołać menu kontekstowe. W ten sposób może zostać zmieniona nazwa kondygnacji lub przywrócona jej domyślna nazwa.
Dodatkowe opcje mogą zostać wybrane za pomocą poniższych przełączników.

Odśwież automatycznie Model zostanie natychmiast przerysowany.

Odśwież wszystko Ustawienia kondygnacji zostaną zastosowane do wszystkich okien.

Pokaż wszystkie linie i elementy Jeżeli kondygnacja jest aktywna, to wszystkie płyty stropowe, słupy i belki z nią powiązane zostaną wyświetlone automatycznie. Jeżeli pozostałe elementy na kondygnacji (linie geometryczne, sprężyny, elementy kontaktowe lub łączące) mają być również widoczne, włącz tę opcję.

Wyświetl tylko ściany i słupy sąsiednich kondygnacji Kondygnacja powyżej/poniżej aktywnej kondygnacji jest zwykle włączana w celu znalezienia miejsca jej podparć przez ściany i słupy.
Opcja ta ukrywa płyty stropowe i belki należące do sąsiadującej kondygnacji.
Jeżeli kondygnacja jest aktywna, to bezpośrednie rysowanie słupów lub ścian automatycznie rozpoczyna tę operację rysowania z wysokością elementów równej wysokości danej kondygnacji.

Rzutuj punkty na poziom kondygnacji Opcja ta służy do rzutowania wszystkich wykrytych współrzędnych na bazowy poziom kondygnacji. Jest to przydatne, gdy położenie ścian lub słupów poniżej płyty stropowej musi zostać przeniesione na samą płytę.

3.3.5 Prowadnice

[CTRL]+[G]

Prowadnice
Patrz... *2.16.9 Prowadnice*

3.3.6 Osie konstrukcyjne

Osie konstrukcyjne
Patrz... *2.16.8 Osie konstrukcyjne*

3.3.7 Normy projektowe

Ustawia normę projektową, która będzie wykorzystywana dla zadań jej wymagających. Zmiana normy projektowej skutkuje zmianą metody obliczania decydujących kombinacji obciążeń, dlatego wszystkie parametry grup obciążeń, oprócz współczynników częściowych, zostaną usunięte. Parametry analizy sejsmicznej i przypadki obciążeń sejsmicznych zostaną także usunięte.
Jako że charakterystyki materiałowe i pewne parametry zbrojenia różnią się w przypadku poszczególnych norm projektowych, zaleca się skontrolowanie wcześniej określonych wartości.
Jeżeli zaznaczono opcję *Bieżące ustawienia jako domyślne*, nowe modele będą tworzone w oparciu o bieżącą normę projektową.
Zmiana normy nie powoduje automatycznej aktualizacji parametrów materiałów wczytanych na modelu.

☞ **Zmiana normy nie powoduje automatycznej aktualizacji parametrów materiałów wczytanych i przypisanych do elementów na modelu.**

W przypadku norm opartych na Eurokodzie możliwe jest modyfikowanie w AxisVM szeregu parametrów określonych w załącznikach krajowych (NA). Poprzez modyfikację tych parametrów dla Eurokodu bazowego można wykonać wymiarowanie konstrukcji wg załącznika krajowego, który nie został domyślnie zawarty w programie.
Tabela zawiera wartości zdefiniowane przez użytkownika, wartości domyślne, opis i odniesienie do normy dla każdego parametru. Wartości użytkownika są edytowalne. Aby je zatwierdzić, należy kliknąć

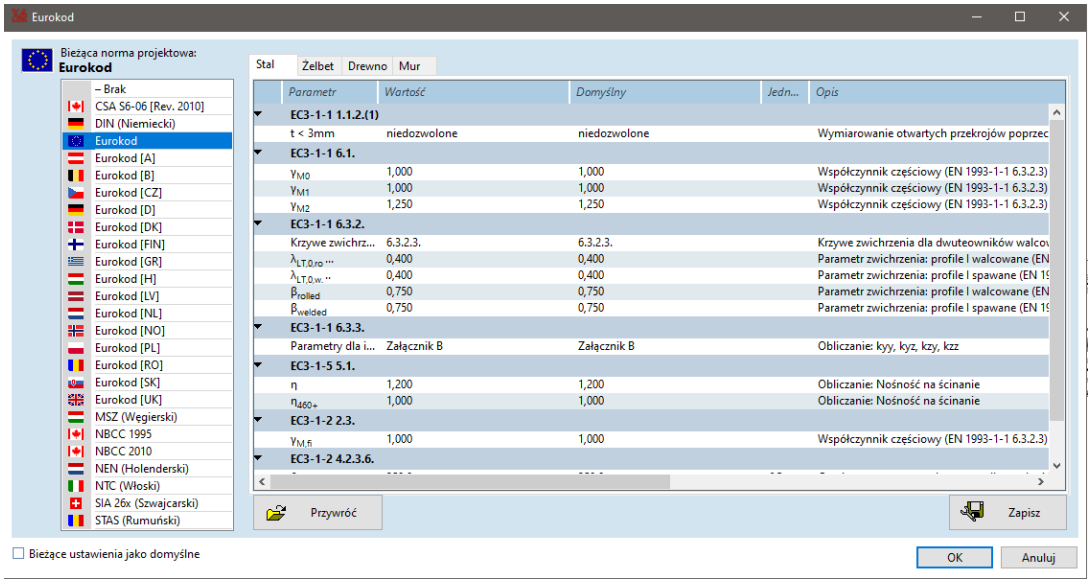
przycisk OK w oknie dialogowym. Bieżący zestaw ustawień użytkownika zostanie zapisany, a następnie będzie wczytywany z modelem.

Zmiana normy projektowej spowoduje utratę bieżących ustawień, chyba że zostaną one zapisane jako domyślne, poprzez kliknięcie przycisku *Zapisz*. Nowe modele otrzymają wtedy zmodyfikowany przez użytkownika zestaw parametrów.

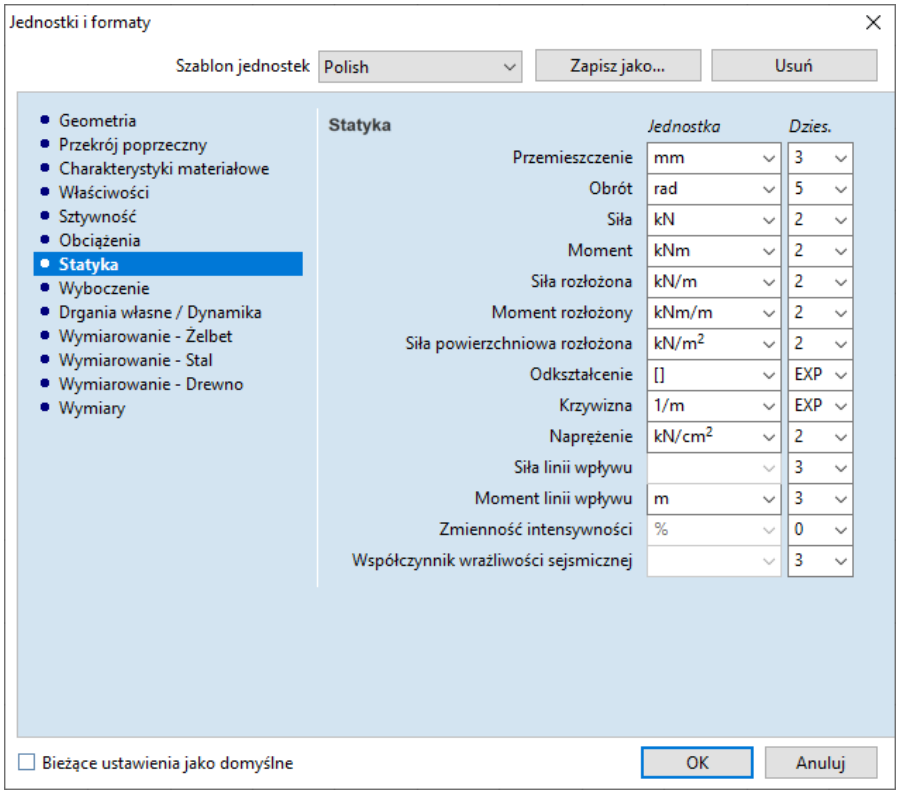
Kolumna *Domyślne* w tabeli wyświetla wartości określone w NA. Kliknięcie w *Przywróć* spowoduje zastąpienie wszystkich parametrów użytkownika przez domyślne parametry dla danego NA.

Zgodnie z zasadami i przepisami dla NA, parametry mogą zostać podzielone na 3 grupy:

- parametr określony przez liczbę (np. współczynniki częściowe) – wartość edytowalna bezpośrednio
- parametr określony przez wzór – w większości przypadków stałe we wzorach są określone w NA (np. smukłość graniczna dla słupa żelb.) i wtedy wartość stałej może zostać wyedytowana (uwaga: najczęściej stałe są przedstawione za pomocą litery *c*)
- parametr określony inną metodą (np. metoda obliczeń mimośrodów drugiego rzędu dla słupów żelb., krzywe zwichrzenia itd.) – w takim przypadku z rozwijanej listy można wybrać odpowiednią metodę lub krzywą.



3.3.8 Jednostki i formaty

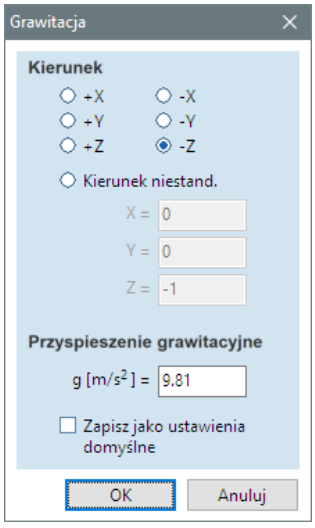


Umożliwia skonfigurowanie jednostek (układ SI i/lub angielskich) i formatów dla zmiennych, użytych w programie (liczba miejsc dziesiętnych użyta do wyświetlenia lub format wykładniczy). Można użyć predefiniowanych zestawów jako układu SI lub utworzyć i zapisać własne zestawy.

Przechowywanie ustawień jednostek

Program przechowuje ustawienia jednostek i formatów w pliku Axunits.ini, który zapisany jest w folderze *c:\Użytkownicy\'Nazwa użytkownika'\AppData\Roaming\AxisVM\15*.

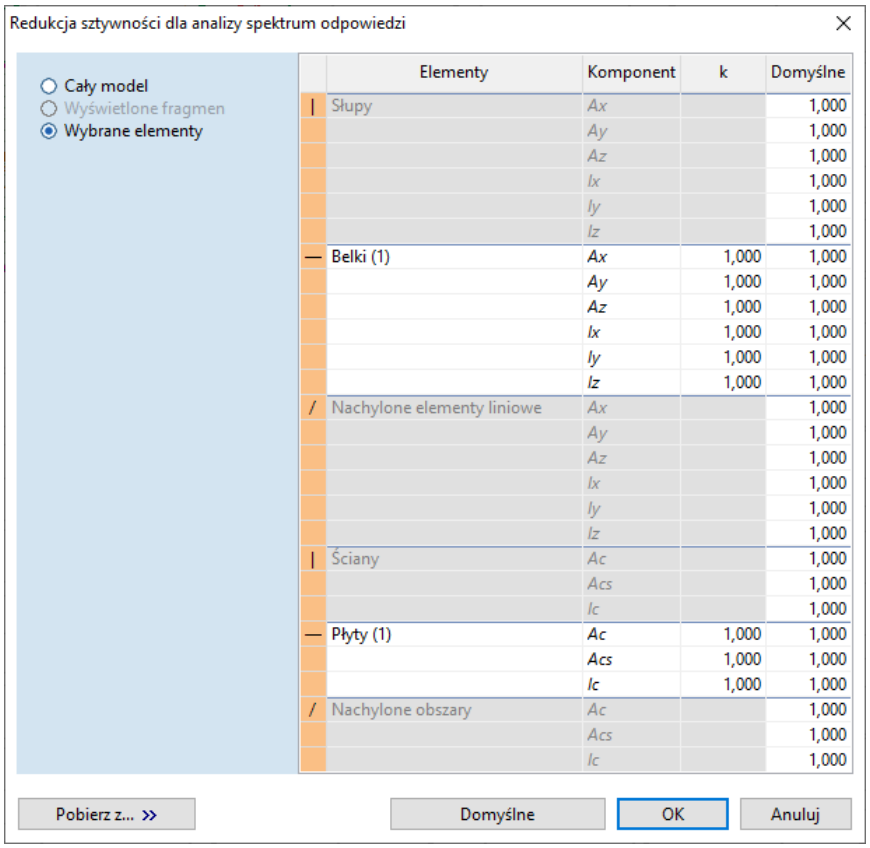
3.3.9 Grawitacja



Umożliwia ustawienie stałej przyspieszenia grawitacyjnego oraz kierunku grawitacji, jako jednego z kierunków globalnego układu współrzędnych lub jako niestandardowego kierunku zdefiniowanego przez użytkownika.
Jeżeli wybrano *Kierunek niestandardowy*, należy określić składowe X, Y, Z wektora kierunku w globalnym układzie współrzędnych.
Jeżeli zaznaczono opcję *Zapisz jako ustawienia domyślne*, każdy nowy model będzie uruchamiany z podaną wartością przyspieszenia grawitacyjnego.

3.3.10 Redukcja sztywności

Analiza sejsmiczna oparta na analizie spektrum odpowiedzi według Eurokodu, umożliwia wykorzystanie współczynników redukcji sztywności *(k)*.
Współczynniki te mogą zostać przypisane niezależnie do poszczególnych elementów konstrukcji, w zależności od ich funkcji (słup, belka, ściana, płyta lub inny element). Przełącznik po lewej stronie okna dialogowego służy do określenia zakresu modyfikacji (*Cały model* / *Wyświetlone fragmenty* / *Wybrane elementy*). Współczynniki redukcyjne dla tych elementów są wyszczególnione i mogą zostać zmodyfikowane w tabeli. Jeżeli kilka elementów tego samego typu ma już przypisane różne współczynniki redukcyjne, to w odpowiadających im komórkach tabeli zostanie wyświetlony symbol *. Wprowadzenie wartości w taką komórkę spowoduje przypisanie jej do wszystkich wyszczególnionych elementów.



Elementy liniowe

k(Ax)	Współczynnik redukcyjny dla parametru *Ax* przekroju poprzecznego
k(Ay)	Współczynnik redukcyjny dla parametru *Ay* przekroju poprzecznego
k(Az)	Współczynnik redukcyjny dla parametru *Az* przekroju poprzecznego
k(Ix)	Współczynnik redukcyjny dla parametru *Ix* przekroju poprzecznego
k(Iy)	Współczynnik redukcyjny dla parametru *Iy* przekroju poprzecznego
k(Iz)	Współczynnik redukcyjny dla parametru *Iz* przekroju poprzecznego

Obszary

k(Ac)	Współczynnik redukcyjny dla pola powierzchni przekroju poprzecznego
k(Acs)	Współczynnik redukcyjny dla ścinanego pola powierzchni przekroju poprzecznego
k(Ic)	Współczynnik redukcyjny dla momentu bezwładności przekroju poprzecznego

Pobierz z ...

Kliknij w przycisk *Pobierz z ...*, aby wskazać elementy na modelu i skopiować ich wartości współczynników *k* do odpowiadających komórek tabeli, zgodnie z typem elementów.

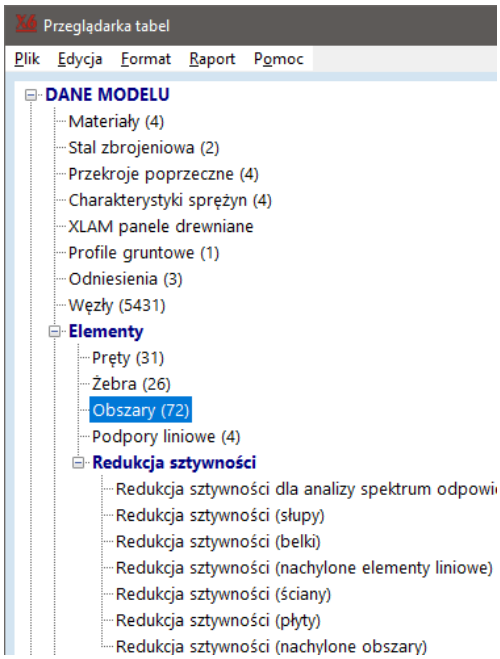
Domyślne

Ostatnia kolumna tabeli zawiera domyślne wartości współczynników redukcyjnych dla każdego typu elementu (wartości te są również edytowalne). Jeżeli na modelu zostaną zdefiniowane nowe elementy, to te wartości zostaną do nich przypisane automatycznie.
Kliknięcie w przycisk *Domyślne* w dolnej części okna dialogowego spowoduje przypisanie tych wartości do wszystkich wybranych elementów.

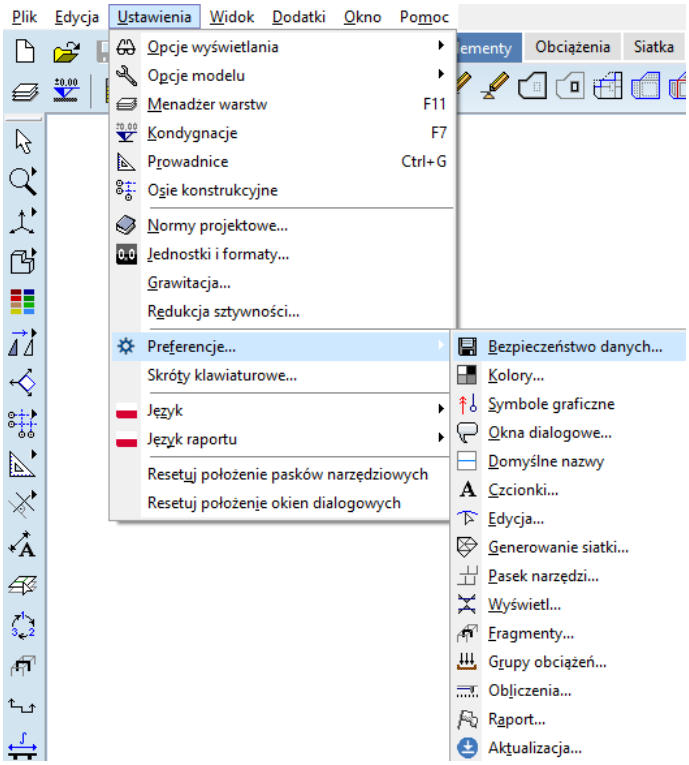
Redukcja sztywności podczas analizy drgań własnych jest opcjonalna (*5.2 Analiza drgań własnych*). Jeżeli analiza zostanie przeprowadzona z redukcją sztywności, a analiza spektrum odpowiedzi wykorzystuje wyznaczone tak postaci własne, to AxisVM przeprowadzi dwie analizy liniowe: jedną bez oraz drugą z redukcją sztywności. Dla sytuacji sejsmicznych (dla sejsmicznych przypadków obciążeń lub kombinacji je zawierających) wyświetlane będą wtedy wyniki uwzględniające redukcję sztywności elementów. W pozostałych sytuacjach wykorzystane zostaną wyniki bez redukcji sztywności.
analizę liniową z tymi samymi współczynnikami redukującymi (również dla niesejsmicznych przypadków obciążeń) – patrz *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*.

Współczynniki redukcyjne w raportach

Wartości współczynników redukcyjnych dostępne są w Przeglądarce tabel (**patrz** *2.9 Przeglądarka tabel*) w części DANE MODELU / Elementy / Redukcja sztywności.
Redukcja sztywności dla analizy spektrum odpowiedzi zawiera powyższą tabelę. Pozostałe tabele wyszczególniają wartości współczynników wg elementów.

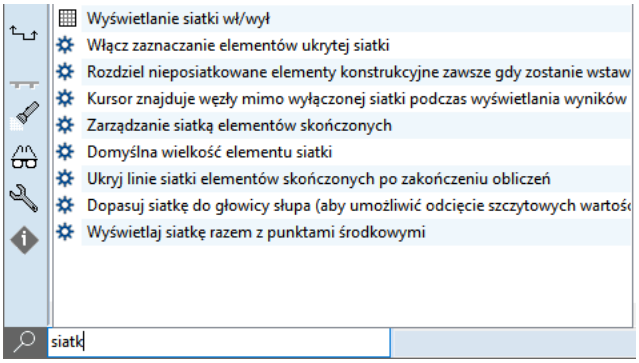


3.3.11 Preferencje



Wyszukiwanie

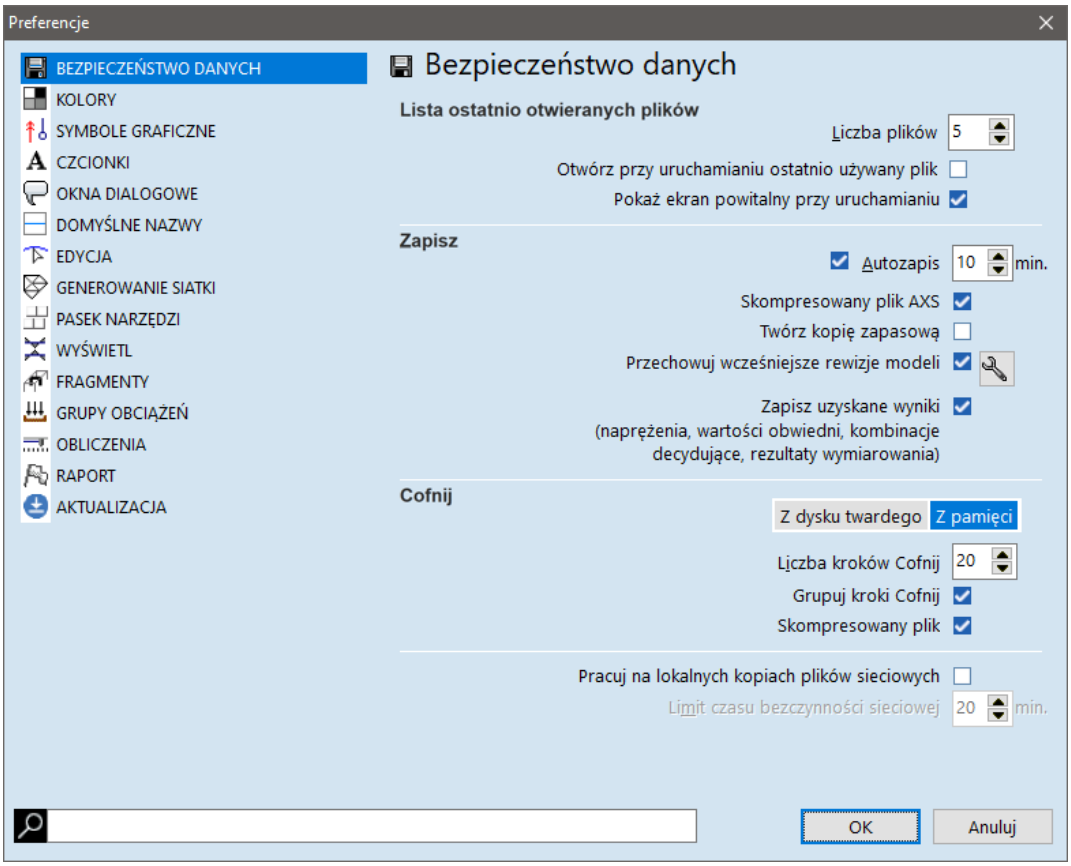
Ustawienia można znaleźć znacznie łatwiej poprzez *wiersz poleceń i wyszukiwania*, znajdujący się w lewym, dolnym narożniku okna głównego. Działa to tak, jak opisano w rozdziale *2.17 Wiersz poleceń i wyszukiwania*



Przechowywanie ustawień jednostek

Program przechowuje opisane niżej ustawienia w plikach zapisywanych w folderze *c:\Użytkownicy\'Nazwa użytkownika'\AppData\Roaming\AxisVM\16*.

3.3.11.1 Bezpieczeństwo danych



Lista ostatnio otwieranych plików

Umożliwia ustawienie ilości ostatnio otwieranych plików modeli AxisVM wypisanych u dołu menu głównego *Plik* i wybranie, czy ostatnio edytowany plik ma zostać otwarty przy uruchamianiu. Przy uruchamianiu wyświetlony zostanie także ekran powitalny (**Patrz...** *2.2 Zabezpieczenie programu i instalacja*), jeżeli zaznaczone zostanie pole *Pokaż ekran powitalny przy uruchamianiu*.

Zapisz

Aby mieć pewność, że praca nie zostanie utracona, należy wybrać opcję *Autozapis* zaznaczając pole wyboru. Do pola minut należy wprowadzić czas, co który program ma automatycznie zapisać otwarty model (1-99 minut). Wciąż należy jednak pamiętać o zapisywaniu modelu podczas zamykania programu. Automatycznie zapisany model przechowywany jest w domyślnym folderze tymczasowym systemu operacyjnego (domyślnie jest to *C: \ Użytkownicy \ nazwa_użytkownika \ AppData \ Local \ Temp)* jako *~nazwamodelu.avm*, dopóki nie zostanie wybrane polecenie zapisu. W przypadku konieczności restartu AxisVM po awarii prądu lub w wyniku jakiegokolwiek innego problemu, który pojawił się przed zapisaniem pracy, program odzyska model z pliku tymczasowego zapisanego w powyższym folderze pod nazwą *$nazwamodelu.avm.*

Skompresowany plik AXS
Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, to to plik modelu będzie zapisywany w formacie skompresowanym. Średnia wielkość skompresowanego pliku wynosi ok. 10% wielkości pierwotnej. Im większy plik modelu, tym bardziej efektywna jest kompresja. Pliki wyników (*.AXE) nie są kompresowane.

Twórz kopię zapasową
Jeżeli zaznaczono tę opcję i zapisano model po wprowadzeniu zmian, program automatycznie utworzy kopię zapasową na podstawie wcześniejszego stanu pliku axs. Nazwa pliku kopii zapasowej to nazwamodelu.~AX.

Przechowuj wcześniejsze rewizje modelu
Zaznaczenie tej opcji powoduje włączenie zapisu kolejnych rewizji modelu.

Kliknięcie w tę ikonę otwiera okno dialogowe z ustawieniami rewizji.
Patrz... *3.1.2 Wcześniejsze rewizje...*

Zapisz uzyskane wyniki
Jeżeli zaznaczono to pole wyboru, zapisane zostaną także naprężenia, obwiednie, kombinacje decydujące oraz wyniki wymiarowania.

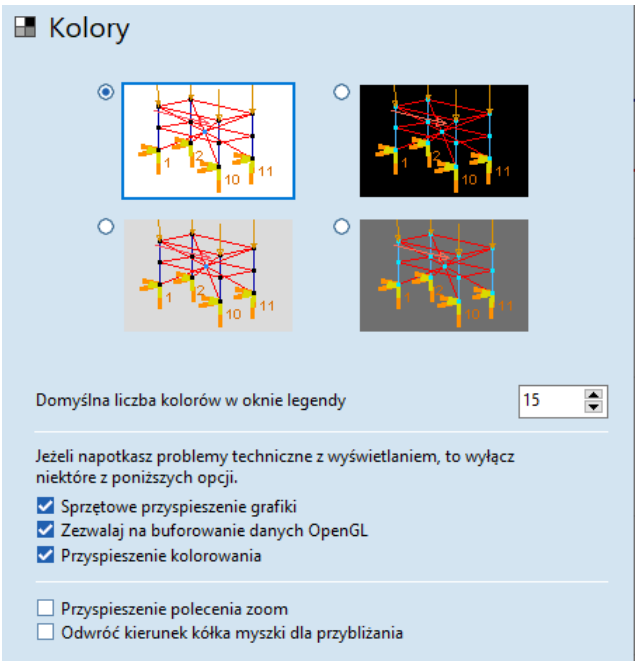
Cofnij Użytkownik może cofać swoje ostatnie operacje. W tym miejscu trzeba określić maksymalną liczbę operacji, które mogą zostać cofnięte. Liczba ta musi zawierać się w przedziale od 1 do 99.
Poprzedni stan modelu (przywracany poleceniem *Cofnij*) może być odczytany *z dysku twardego* lub *z pamięci*. Jeżeli użytkownik pracuje na dużych modelach i / lub komputer posiada mało pamięci RAM, zaleca się używać pierwszej opcji (nieco wolniejszej w działaniu).

Grupuj kroki Cofnij Opcja *Grupuj kroki Cofnij* umożliwia cofnięcie efektów dla złożonych poleceń za jednym razem. Dane polecenia *Cofnij* można przechować w pamięci lub na dysku twardym. Pierwsza opcja jest szybsza, ale druga pozostawia większą ilość pamięci dla programu (może być to ważne w przypadku obliczeń bardzo dużego modelu.)

Pracuj na lokalnych kopiach plików sieciowych Jeżeli modele otwierane są poprzez sieć, prędkość transferu danych może wpłynąć negatywnie na wydajność programu AxisVM. Ten efekt można wyeliminować poprzez zezwolenie na tworzenie lokalnych kopii plików sieciowych. Lokalne kopie zostaną umieszczone w folderze, w którym zapisywane są pliki tymczasowe podczas analiz – z wyjątkiem sytuacji, gdy ten folder ustawiony jest jako folder modelu. W takim przypadku pliki zapisywane są w domyślnym folderze dla plików tymczasowych. Oryginalne pliki będą aktualizowane przy każdej operacji zapisywania.

Limit czasu bezczynności sieciowej W przypadku wyłączenia sieciowego klucza sprzętowego protekcji, jeżeli w ciągu ustawionego tu czasu nie zostanie zarejestrowana żadna aktywność (weryfikacja) powiązana z kluczem, bieżąca sesja AxisVM zostanie zamknięta.
Do rozłączenia może dojść także w sytuacji, kiedy np.: użytkownik odbierze telefon i program nie będzie używany przez okres dłuższy niż limit czasu bezczynności sieciowej. Jeżeli w tym czasie inny użytkownik poprosi o dostęp do klucza i serwer przekaże mu licencję, to próbując kontynuować pracę, program wyświetli komunikat o błędzie i zatrzyma się podczas kolejnej weryfikacji klucza.

3.3.11.2 Kolory



Umożliwia wybranie tła obszaru graficznego (czarne, ciemnoszare, jasnoszare lub białe). Etykiety, numery, symbole i elementy automatycznie zmienią swój kolor, aby pozostać widoczne.

Domyślna liczba zakresu legendy kolorów: ustawia liczbę kolorów wyświetlanych w oknie *Legenda kolorów* (patrz *2.19.4 Okno legendy kolorów*).

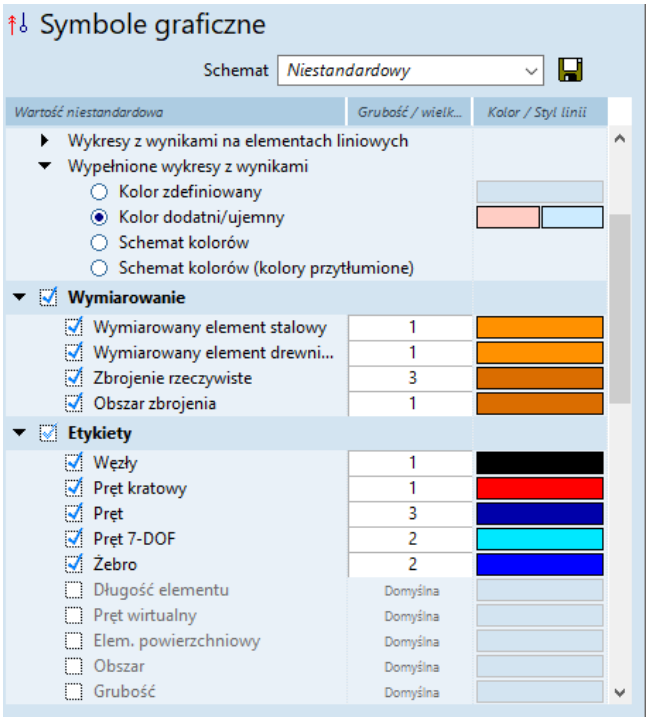
Ustawienia OpenGL

Włącz *Sprzętowe przyspieszenie grafiki*, *Zezwalaj na buforowanie danych OpenGL* oraz *Przyspieszenie kolorowania* w celu szybszego i bardziej płynnego obracania modelu, jeżeli karta graficzna i jej sterowniki na to pozwalają. Wynik działania tych poleceń zależy mocno od konkretnej specyfikacji sprzętowej, parametrów w systemie operacyjnym i sterownikach. Może zdarzyć się, że wyłączenie wszystkich lub niektórych z tych opcji poprawi jakość wyświetlania.

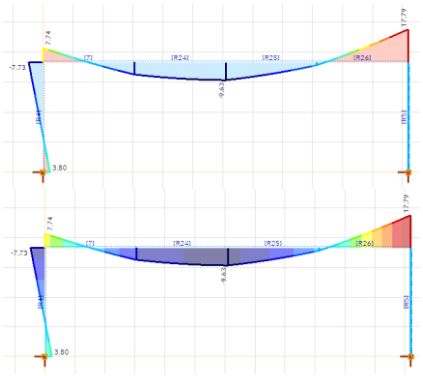
Przyspieszenie polecenia zoom podczas operacji przybliżania/oddalania ukrywa etykiety i inne nieskalowane elementy.

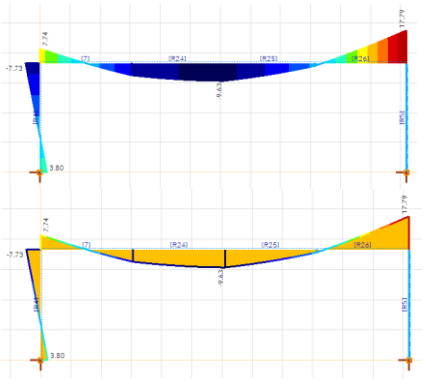
Odwróć kierunek kółka myszki dla przybliżania – Jeżeli ta opcja jest odznaczona, to kółko myszki działa w domyślny sposób: obracając je od siebie przybliża widok, obracając je do siebie oddala widok. Po zaznaczeniu funkcja ta będzie działać odwrotnie.

3.3.11.3 Symbole graficzne

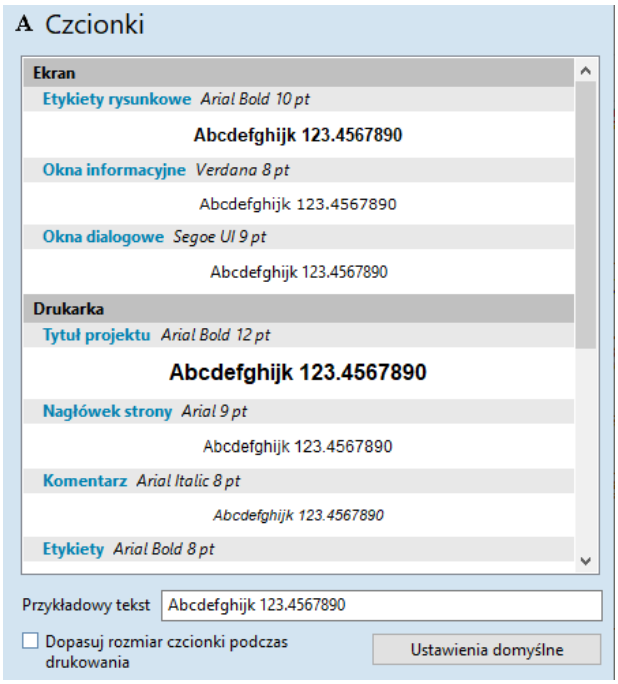


W tym miejscu można dopasować kolor i grubość linii symboli graficznych, kolor i wielkość etykiet. Można również ustawić kolor i grubość linii osiowych dla mimośrodów prętów i żeber.
Jeżeli pole wyboru w kolumnie *Wartość użytkownika* zostało odznaczone, symbol posiada ustawienia domyślne. Jeżeli pole jest zaznaczone, należy kliknąć na wartość *Grubość / wielkość* oraz na prostokąt *Koloru*, aby je wyedytować. Nowe ustawienia mogą zostać zapisane do schematu, poprzez kliknięcie na ikonę *Zapisz*. Schematy można wczytywać wybierając je z rozwijanej listy.
Od wersji AxisVM X4 dodano możliwość modyfikacji kolorów i szerokości linii symboli układów lokalnych, wykresów i zastosowanego zbrojenia.





3.3.11.4 Czcionki



Powyższa lista umożliwia zmianę parametrów czcionek wyświetlanych na ekranie i na wydruku. Po liście można poruszać się za pomocą strzałek na klawiaturze lub poprzez wskazanie elementu myszką. Wciśnięcie *Enter* lub podwójne kliknięcie na wybranej linii otworzy okno zmiany czcionki.

Aby wyświetlić inny przykładowy tekst do podglądu, należy go wyedytować w linii *Przykładowy tekst*.

Kliknięcie w element na liście prawym przyciskiem myszy otworzy menu podręczne:

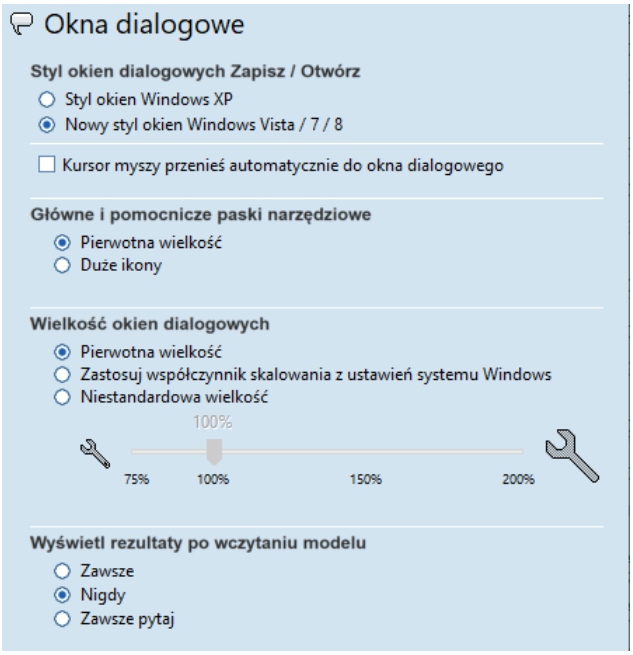
- *Modyfikuj* – aby zmienić czcionkę
- *Domyślna czcionka* – aby przywrócić ustawienia domyślne

Kliknięcie w przycisk *Ustawienia domyślne* w prawym dolnym rogu okna spowoduje przywrócenie wszystkich ustawień domyślnych dla czcionek.

Ekran	*Etykiety rysunkowe*	Czcionki wykorzystywane do numeracji i opisów na widokach modelu. Linie wymiarowe i pola tekstowe mają własne ustawienie czcionki (patrz *2.16.11 Linie wymiarowe, symbole i etykiety*).
	Okna informacyjne	Czcionka wykorzystywana na ekranie w oknach informacyjnych (okno legendy kolorów, panel informacyjny, okno współrzędnych), patrz *2.19 Okna informacyjne*
	Okna dialogowe	Czcionka wykorzystywana w oknach dialogowych.
Drukarka	*Tytuł projektu* *Nagłówek strony* *Komentarz*	Czcionki wykorzystywane podczas druku nagłówka i strony tytułowej. Patrz *3.1.10 Nagłówek strony*.
	Etykiety	Czcionki wykorzystywane do numeracji i opisów przy wydrukach rysunków. Linie wymiarowe i pola tekstowe mają własne ustawienie czcionki.
	Okna informacyjne	Czcionka wykorzystywana dla okien informacyjnych (okno legendy kolorów, panel informacyjny), gdy są drukowane.
Raport	*Tytuł tabeli*	Czcionka wykorzystywana przy wydruku tytułu tabeli.
	Wiersz nagłówka tabeli	Czcionka wykorzystywana przy wydruku pierwszego wiersza (nagłówka) tabeli.
	Wiersze tabeli	Czcionka wykorzystywana przy wydruku zawartości tabeli.

Ze względu na różne rozdzielczości ekranu i drukarki, stosunek wielkości etykiet i rysunków może być inny na tych dwóch urządzeniach, w szczególności dla pól tekstowych.
W przypadku braku zadowalającego rezultatu, należy zaznaczyć / odznaczyć opcję *Dopasuj rozmiar czcionki podczas drukowania*.

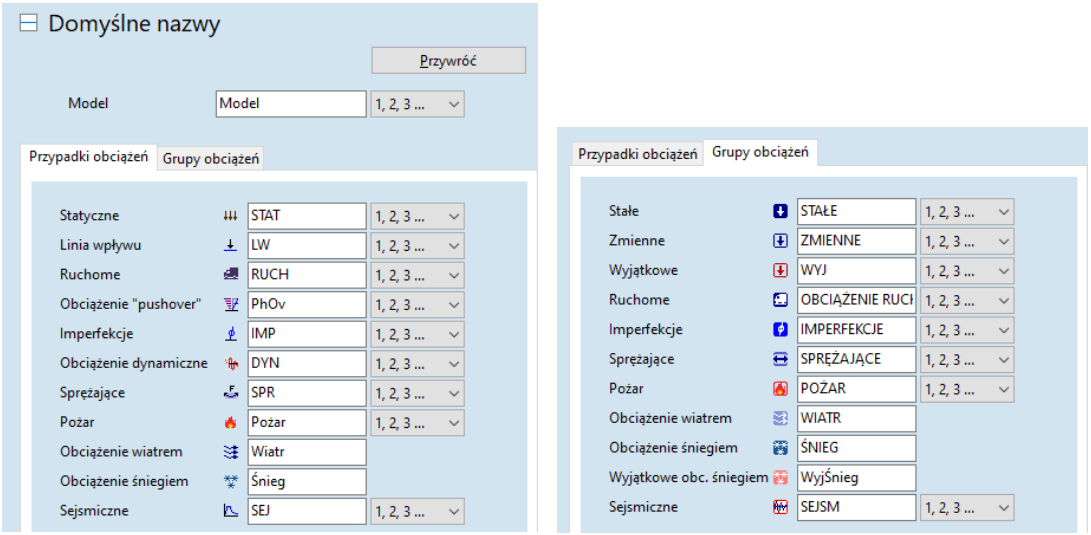
3.3.11.5 Okna dialogowe



W przypadku systemu operacyjnego Vista lub wyższego można ustawić *Styl okien Zapisz / Otwórz* używanych w programie AxisVM. Pod Windows XP dostępna jest tylko pierwsza opcja.
Jeżeli wybrana została druga opcja, podgląd pliku AxisVM wymaga poprawnego zarejestrowania biblioteki podglądu (ta biblioteka DLL jest częścią pakietu programu AxisVM). Zainstalowanie programu z uprawnieniami administratora automatycznie zarejestruje tę bibliotekę. Bez uprawnień administratora, rejestracja nie powiedzie się, uniemożliwiając podgląd. Bibliotekę podglądu można zarejestrować później uruchamiając *!REGISTER_PreviewLib.BAT* z folderu programu AxisVM.
Opcja *Kursor myszy automatycznie przenieś do okna dialogowego* ustawia wskaźnik myszy na przycisku OK okien dialogowych. Niektóre sterowniki myszy zapewniają tę funkcjonalność bez potrzeby użycia tej opcji w AxisVM.

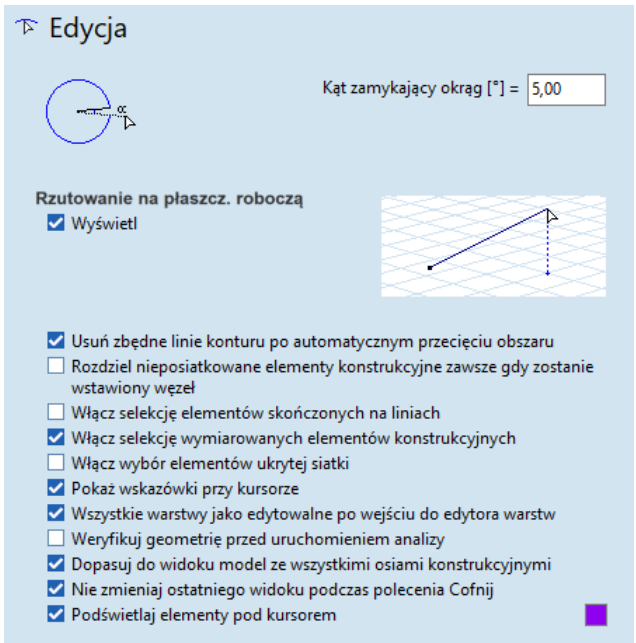
W przypadku pracy na monitorze o wysokiej rozdzielczości, zalecane jest zwiększenie pasków narzędziowych, okien dialogowych i kursora. Opcja *Główne i pomocnicze paski narzędziowe* oferuje dwie wielkości dla przycisków pasków narzędziowych. Wybranie ustawienia *Duże ikony* spowoduje również przeskalowanie kursorów. Ustawienia opcji *Wielkość okien dialogowych* umożliwiają przeskalowanie okien dialogowych od 75 do 200%. W tym miejscu można również zastosować ustawienia Windows, zdefiniowane w *Panelu sterowana / Ekran*.
Otwieranie dużych modeli z dużymi plikami z wynikami może znacząca spowolnić czas ich załadowania. Opcja *Wyświetl rezultaty po wczytaniu modelu* pozwala ustawić, jak program ma się zachować przy wczytywaniu modelu z wynikami. Wyniki mogą zostać wyświetlone *Zawsze* / *Nigdy* / *Zawsze pytaj*. W ostatnim przypadku wyświetlane jest okienko dialogowe, w którym można potwierdzić chęć wyświetlenia wyników.

3.3.11.6 Domyślne nazwy



Wprowadź inną zawartość tekstu w polu *Model*, aby zmienić domyślną nazwę pliku dla nowych modeli. Z rozwijanej listy można wybrać także sufiks nazwy (liczbowy lub literowy), który pozwoli utworzyć unikalną nazwę pliku.
Nazwy domyślne i ich sufiksy dla nowotworzonych przypadków i grup obciążeń edytuje się w taki sam sposób.
Kliknięcie przycisku *Przywróć* pozwala powrócić do pierwotnego nazewnictwa.

3.3.11.7 Edycja



Kąt zamykający okrąg
Parametr do rysowania łuków. Jeżeli kąt środkowy łuku jest mniejszy niż podany tutaj kąt lub gdy bliżej mu do 360° niż podanemu kątowi, wtedy narysowany zostanie cały okrąg.

Rzutowanie na płaszczyznę roboczą
Wyświetlanie linii rzutowania można włączyć / wyłączyć. Linie te pokazują odległość kursora od bieżącej płaszczyzny roboczej.

Usuń zbędne linie konturu po automatycznym przecięciu obszaru
Kontroluje czy linie konturu są automatycznie usuwane po przecięciu obszaru. Jeżeli ta funkcja jest wyłączona, linie konturu stają się wewnętrznymi liniami scalenia.

Rozdziel nieposiatkowane elementy konstrukcyjne zawsze gdy zostanie wstawiony węzeł

Domyślnie program AxisVM wykorzystuje elementy konstrukcyjne. Są to elementy liniowe składające się z jednego lub większej liczby elementów skończonych. Nieposiatkowane elementy konstrukcyjne składają się tylko z jednego elementu skończonego. Po wstawieniu nowego węzła w nieposiatkowany element lub podzieleniu linii, element konstrukcyjny pozostaje nienaruszony, ale będzie składać się z więcej niż jednego elementu skończonego. Poprzez kliknięcie na element konstrukcyjny wybrane zostaną wszystkie elementy skończone należące do tego elementu. Zachowanie to można zmienić zaznaczając tę opcję. Nowe węzły wstawiane do elementów konstrukcyjnych będą je rozdzielać. Aby rozdzielić istniejące elementy konstrukcyjne należy użyć opcji *Edycja / Rozdzielenie elementów konstrukcyjnych*.

Włącz selekcję elementów skończonych na liniach

Jeżeli ta opcja jest aktywna, możliwe jest pojedyncze wybieranie elementów skończonych danego elementu konstrukcyjnego. W przeciwnym wypadku można wybrać tylko cały element konstrukcyjny.

Włącz selekcję elementów wymiarowanych elementów konstrukcyjnych

Jeżeli ta opcja jest aktywna, możliwe jest wybranie elementów wymiarowanych zamiast elementów konstrukcyjnych. Elementy wymiarowane zawierają grupy linii z przypisanymi tymi samymi parametrami wymiarującymi i są traktowane jako jeden obiekt do celów wymiarowania stali lub drewna.

Włącz wybór elementów ukrytej siatki

Jeżeli wyświetlanie siatki jest wyłączone, ta opcja kontroluje, czy ukryte węzły / linie / elementy powierzchniowe mogą zostać wybrane czy też nie. Ten włącznik kontroluje także wyświetlanie tych węzłów i elementów w tabelach.

Pokaż wskazówki przy kursorze

Kontroluje wyświetlanie małego okna podpowiedzi przy kursorze z instrukcjami dotyczącymi następnego etapu bieżącego zadania. Jeżeli ta opcja nie jest zaznaczona, wiadomości z instrukcjami wyświetlane są tylko na dolnej linii statusu.

Wszystkie warstwy jako edytowalne po wejściu do edytora warstw

Jeżeli ta opcja jest aktywna, wszystkie zablokowane warstwy zostaną odblokowane po wejściu do edytora warstw podkładu. **Patrz...** *2.16.12 Edycja warstw podkładu*. W przeciwnym wypadku wszystkie zablokowane warstwy trzeba odblokowywać ręcznie. **Patrz...** *2.12 Menadżer warstw* i *2.18 Przyciski szybkich ustawień*.

Weryfikuj geometrię przed uruchomieniem analizy

Po włączeniu tej opcji, geometria weryfikowana jest automatycznie przed analizą.
Patrz... *4.8.19 Weryfikacja geometrii*

Dopasuj do widoku model ze wszystkimi osiami konstrukcyjnymi

Jeżeli ta opcja jest aktywna, a przybliżenie modelu jest dopasowywane do widoku, to podczas ustalania współczynnika przybliżenia uwzględnione zostaną także osie konstrukcyjne.

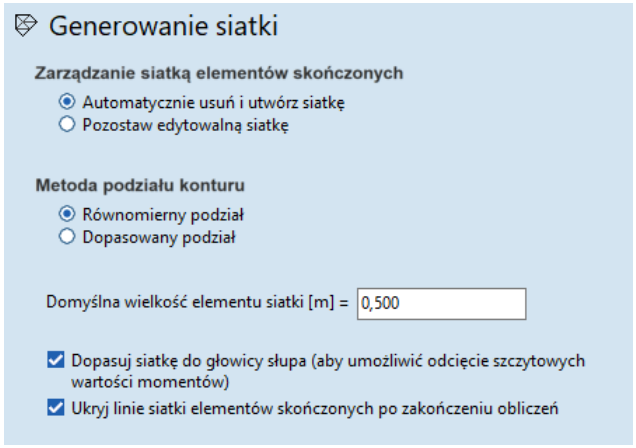
Nie zmieniaj ostatniego widoku podczas polecenia Cofnij

Jeżeli ta opcja jest aktywna, operacje cofania nie wpływają na ustawiony widok modelu. W przeciwnym razie, polecenie *Cofnij* ustawia widok modelu w stanie, w jakim był on przed wykonaniem polecenia.

Podświetlaj elementy pod kursorem

Po włączeniu tej opcji element(y) pod kursorem będą podświetlone (zarówno w widoku szkieletowym jak i zrenderowanym). Kliknięcie w kwadrat z kolorem pozwala dopasować kolor podświetlenia wg własnych preferencji.

3.3.11.8 Generowanie siatki



Zarządzanie siatką elementów skończonych

Poniżej przedstawione zostały dostępne metody zarządzania siatką.

Automatycznie usuń i utwórz siatkę

Jakakolwiek edycja wykonana na obszarze usunie jego siatkę. Po uruchomieniu analizy, brakujące siatki zostaną odtworzone w oparciu o wcześniejsze parametry.

Pozostaw edytowalną siatkę

Siatki można edytować ręcznie.

Metoda podziału konturu

Równomierny podział

Siatki będą generowane zgodnie z rozmiarem elementów zdefiniowanym przez użytkownika bez względu na kształt obszaru (najmniejsza ilość elementów skończonych).

Dopasowany podział

Uwzględnia kształt obszaru i tworzy lepszą siatkę zwiększając jej gęstość tam, gdzie jest to wymagane.

Domyślna wielkość elementu siatki

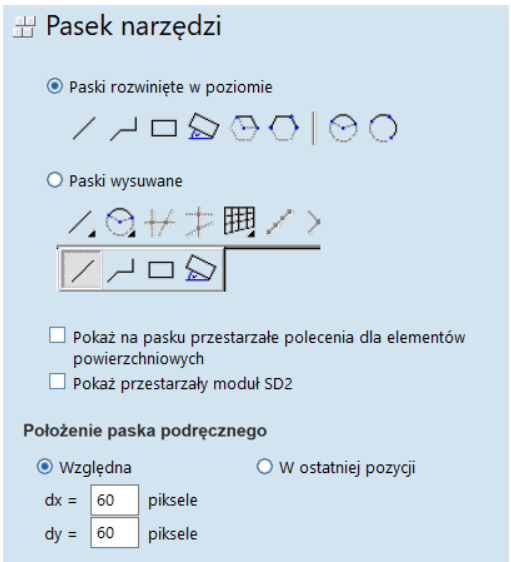
Podczas definiowana po raz pierwszy parametrów siatki dla obszaru, ta wartość pojawi się jako domyślna.

Dopasuj siatkę do głowicy słupa

Włączenie / wyłączenie tej opcji ustawi domyślny status okna dialogowego parametrów siatki. **Patrz...** *4.11.1.2 Generowanie siatki obszaru.*

Kliknięcie na opcję *Ukryj linie siatki elementów skończonych po zakończeniu obliczeń* automatycznie wyłączy linie siatki po zakończeniu analizy.

3.3.11.9 Pasek narzędzi



Wyświetlanie paska narzędzi

Dla opcji *Paski rozwinięte w poziomie*, wszystkie ikony wyświetlane są w rzędzie. Linie rozdzielające wskazują na różne grupy funkcji. Pionowy separator wskazuje na różne grupy narzędzi.
Dla opcji *Paski wysuwane*, różne grupy funkcji reprezentowane są przez pojedynczą ikonę. Kliknięcie na strzałkę na dole po prawej stronie ikony, rozwinie pasek grupy z kolejnymi narzędziami.

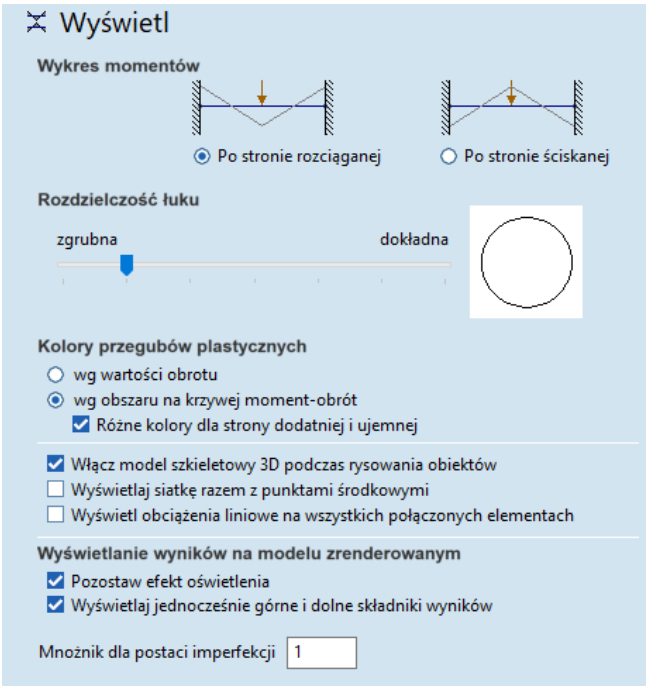
Stosowanie obszarów i ich automatyczne siatkowanie spowodowało, że tworzenie pojedynczych elementów powierzchniowych i ich obciążanie stało się niepotrzebne. Ze względu na kompatybilność wsteczną wspomniane funkcje nie zostały usunięte, ale schowane. Ich widocznością steruje opcja *Pokaż na pasku przestarzałe polecenia dla elementów powierzchniowych*.

W tym miejscu, niezależnie od posiadanej konfiguracji, można aktywować przestarzały moduł SD2. Do wymiarowania stalowych połączeń śrubowych zaleca się jednak używanie modułu SC1.

Położenie paska podręcznego

Położenie paska podręcznego może być:
Względne
Należy określić poziomą (dx) i pionową (dy) odległość w pikselach od wykonywanej operacji.
W ostatniej pozycji
Pasek podręczny wyświetlony zostanie w jego ostatniej pozycji.

3.3.11.10 Wyświetl



Wykres momentów

Opcja do ustawienia strony rysowania wykresów dla momentów.

Rozdzielczość łuku

Łuki wyświetlane są jako wielokąty. W tym miejscu można ustawić rozdzielczość ich wyświetlania. Im lepsza rozdzielczość, tym bliżej będzie wielokątowi do łuku. Ten parametr wpływa tylko na rysunek i nie jest powiązany z dokładnością analiz.

Kolory przegubów plastycznych

Te ustawienia określają oznaczenie kolorystyczne przegubów plastycznych. Pierwsza opcja polega na nadaniu koloru przegubom według obrotu. Druga opcja polega na nadaniu im koloru według obszaru na krzywej zależności moment-obrót, w którym znajduje się punkt stanu przegubu. Do dodatniej i ujemnej strony krzywej można przypisać różne kolory.

Włączniki

Włącz model szkieletowy 3D podczas rysowania obiektów
Wyświetla model szkieletowy 3D obiektów podczas rysowania modeli, (**Patrz...** *4.9.3 Bezpośrednie rysowanie obiektów*) nawet jeżeli aktywny widok nie jest trybem zrenderowanym.

Wyświetlaj siatkę razem z punktami środkowymi
Włączona opcja powoduje jednoczesne sterowanie wyświetlaniem siatki elementów skończonych razem z ich punktami środkowymi.

Wyświetl obciążenia liniowe na wszystkich połączonych elementach

Jeżeli przyłożono obciążenie krawędziowe w miejscu, gdzie spotykają się dwie płyty i ściana, a fragmenty są włączone (**Patrz...** *2.16.14 Fragmenty*), obciążenie będzie wyświetlane zgodnie z tym ustawieniem. Jeżeli ta opcja jest włączona to obciążenie zostanie wyświetlone, gdy aktywny fragment zawiera dowolny z tych trzech elementów. Jeżeli ta opcja jest wyłączona, obciążenie zostanie wyświetlone tylko, jeżeli aktywny fragment zawiera elementy, do których obciążenia były pierwotnie przypisane. Ta opcja jest przydatna do sprawdzania układów lokalnych komponentów obciążeń.

Wyświetlanie wyników na modelu zrenderowanym

Jeżeli wybrany został sposób prezentacji wyników na modelu zrenderowanym (patrz *6.1 Statyka*), to powierzchnie zrenderowanych elementów na modelu będą pokolorowane zgodnie z ustawieniami bieżącego komponentu wyników.

Pozostaw efekt oświetlenia

Renderowanie uwzględnia cień rzucany przez elementy, dlatego kolory na powierzchni brył wyświetlonych elementów mogą wydawać się ciemniejsze lub jaśniejsze od oczekiwania. Wyłączenie tej opcji spowoduje dokładne odwzorowanie kolorów, tak jak na legendzie kolorów.

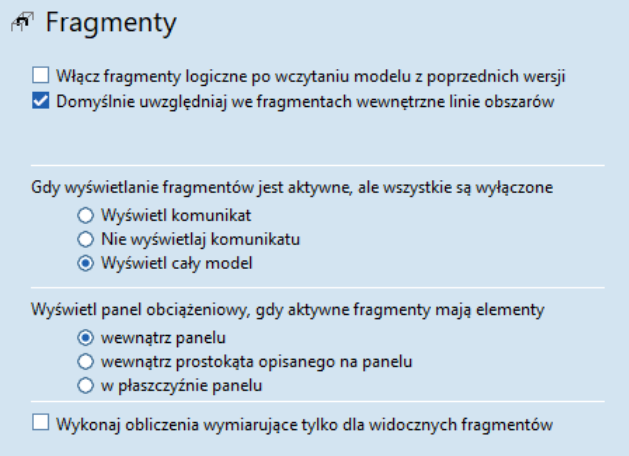
Wyświetlaj jednocześnie górne i dolne składniki wyników

Wyświetlanie wyników na modelu zrenderowanym pokazuje elementy konstrukcyjne modelu z ich fizycznymi grubościami, dlatego możliwe jest równoczesne wyświetlenie poszczególnych składników wyników należących do tej samej grupy, pokazując w ten sposób jednocześnie wartości dla górnej i dolnej powierzchni elementu (np. wymagane zbrojenie górne i dolne, zarysowanie górne i dolne).

Mnożnik dla postaci imperfekcji

Kształt konstrukcji z imperfekcjami wyświetlany jest dla przypadku obciążenia zawierającego imperfekcje globalne lub imperfekcje wyznaczone na podstawie postaci wyboczenia. Przeskalowanie widoku wyświetlanej imperfekcji może zostać ustawione w tym miejscu.

3.3.11.11 Fragmenty



Włącz fragmenty logiczne po wczytaniu modelu z poprzednich wersji

Jeżeli ta opcja jest aktywna, otwarcie modelu utworzonego w wersji nieobsługującej fragmentów logicznych, automatycznie je aktywuje.

Domyślnie uwzględniaj we fragmentach wewnętrzne linie obszarów

Jeżeli ta opcja jest aktywna, linie wewnętrzne obszarów będą obecne we fragmentach, w których uwzględniony jest dany obszar.

Gdy wyświetlanie fragmentów jest aktywne, ale wszystkie fragmenty są wyłączone

Jeżeli użytkownik włączy wyświetlanie fragmentów, ale wszystkie będą odznaczone, program AxisVM zachowa się odpowiednio do wybranej powyżej opcji.

Wyświetl panel obciążeniowy, gdy aktywne fragmenty mają elementy

Wyświetlanie paneli obciążeniowych, gdy widoczne są tylko fragmenty, może być tutaj kontrolowane.

Wykonaj obliczenia wymiarujące tylko dla widocznych fragmentów

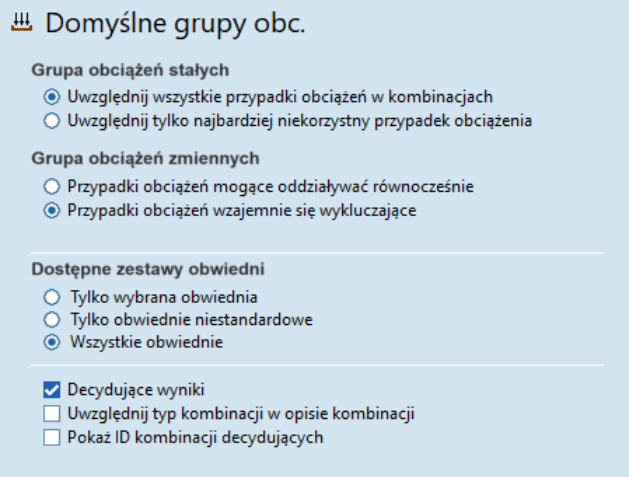
Jeżeli opcja ta została zaznaczona, to obliczenia przeprowadzane są tylko dla widocznych fragmentów. W przypadku dużych modeli usprawnia to znacznie proces obliczeń. Jeśli jednak włączony zostanie

kolejny fragment, to program będzie musiał wykonać obliczenia dla tego fragmentu, dla którego nie zostały one jeszcze przygotowane, co może zająć każdorazowo trochę czasu.
Jeżeli opcja zostanie odznaczona, to program wykonuje obliczenia za jednym razem dla wszystkich elementów modelu. W tym przypadku, kiedy wybrany zostanie jakiś fragment konstrukcji to obliczenia wymiarujące będą już dostępne i nie wiąże się to z dodatkowym oczekiwaniem przy przełączaniu.
Opcja wpływa na obliczenia tylko następujących komponentów wyników:

- Zbrojenie wymagane
- Zarysowanie
- Stopień wykorzystania elementów stalowych

Stopień wykorzystania elementów drewnianych

3.3.11.12 Domyślne grupy obc.



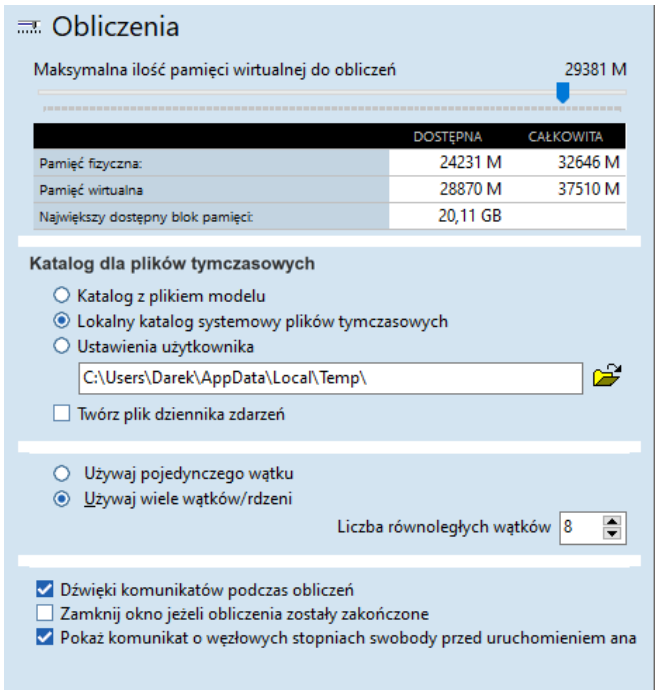
W tym miejscu można ustawić domyślne wartości parametrów grup obciążeń.
Znajdują się tu także ustawienia dla obwiedni i kombinacji. Można również kontrolować tutaj zawartość rozwijanych list przypadków i kombinacji obciążeń (w zakładkach wyników i wymiarowania).
Program AxisVM umożliwia utworzenie różnych zestawów obwiedni (**Patrz...** *Opcje wyświetlania wyników* w *6.1 Statyka*). Po wybraniu pierwszej opcji w *Dostępne zestawy obwiedni*, na listach wyświetlona zostanie tylko wybrana obwiednia. Po wybraniu drugiej opcji na listach wyświetlone zostaną tylko obwiednie użytkownika. W trzeciej opcji na listach wyświetlone zostaną wszystkie standardowe obwiednie oraz obwiednie użytkownika.

Decydujące wyniki
Zaznacz, aby automatycznie wyszukiwać normowe kombinacje decydujące. Po odznaczeniu wyniki będą dostępne tylko dla przypadków prostych, kombinacji utworzonych przez użytkownika oraz ich obwiedni.

Uwzględnij typ kombinacji w opisie kombinacji
Opis kombinacji może zostać rozszerzony o jej typ (SGN lub SGU).

Pokaż ID kombinacji decydujących
Aby łatwiej było porównać lub znaleźć konkretną kombinacje decydującą, można wyświetlić jej ID jako prefiks w nazwie.

3.3.11.13 Obliczenia



Na początku obliczeń, program AxisVM dzieli układ równań na bloki zgodnie z dostępną pamięcią fizyczną i wirtualną. Dzięki temu obliczenia są bardziej efektywne, ale może to znacząco spowolnić inne aplikacje. W tym miejscu można ustawić ilość wirtualnej pamięci, jaką program może wykorzystać podczas obliczeń.

Włącz dostęp do pamięci rozszerzonej (AWE)

Jeżeli w komputerze z 32 bitowym systemem operacyjnym zainstalowane jest więcej niż 4 GB pamięci, to opcja ta umożliwi dostęp do większej jej ilości. Jeżeli opcja ta jest nieaktywna, oznacza to, że stronicowanie pamięci nie jest zablokowane.
Aby uzyskać więcej szczegółów **Patrz...** *2.1 Wymagania sprzętowe.*

Używaj pojedynczego wątku / Używaj wielu wątków

Opcja *Używaj wielu wątków / rdzeni* sprawia, że program AxisVM przeprowadzi obliczenia na wielu wątkach. Aby jak najlepiej wykorzystać tę opcję, zaleca się użycie procesora z technologią wielowątkowości HT-Hyperthread lub wielordzeniową np.: DualCore.
Wielowątkowość przyspiesza obliczenia. Przyspieszenie zależy od dostępnej pamięci i wielkości modelu. Analiza liniowa będzie 1.5 razy szybsza, podczas gdy analiza modalna potrafi być nawet 4 razy szybsza. Ustawienie *Liczby równoległych wątków* pozwala ustawić program do możliwości posiadanego sprzętu, na którym jest zainstalowany.

Katalog tymczasowych plików obliczeniowych

W tym miejscu można określić lokalizację plików tymczasowych wykorzystywanych podczas obliczeń. Należy wybrać jedną z opcji: *Katalog z plikiem modelu*, *Lokalny systemowy katalog plików tymczasowych*, *Ustawienie użytkownika.*
Twórz plik dziennika zdarzeń – jeżeli ta opcja jest włączona, to techniczne szczegóły procesu obliczeń zostaną zarejestrowane i zapisane w pliku tekstowym nazwamodelu_msg.txt.

Dźwięki komunikatów podczas obliczeń

Jeżeli ta opcja jest włączona, zostaną odtworzone dźwięki systemowe po ukończeniu analizy lub otrzymaniu komunikatu o błędzie. Niezbędna jest karta dźwiękowa oraz głośniki.

Zamknij okno jeżeli obliczenia zostały zakończone

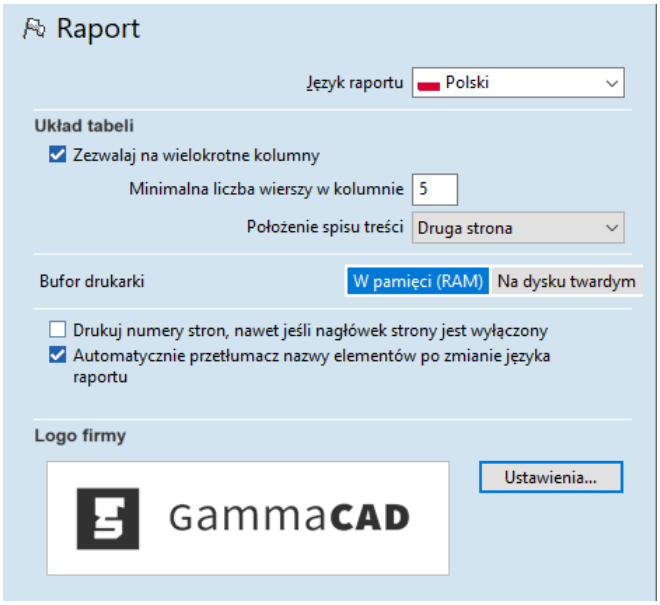
Jeżeli ta opcja pozostanie odznaczona, to możliwe będzie przejrzenie takich parametrów analizy jak wielkość bloku obliczeń czy czasu obliczeń po jej zakończeniu.
W przeciwnym razie okno przedstawiające postęp analizy zostanie automatycznie zamknięte po udanym zakończeniu obliczeń.

Pokaż komunikat o węzłowych stopniach swobody przed analizą

AxisVM sprawdza przed uruchomieniem analizy, czy węzłowe stopnie swobody są zgodne z geometrią i obciążeniami konstrukcji, a jeżeli to konieczne wyświetla komunikat, który umożliwia ich zmodyfikowanie. Zobacz *4.9.20 Węzłowe stopnie swobody*. Komunikat ten zawiera również opcję *Nie wyświetlaj więcej tego komunikatu w tym zadaniu*, która po jej zaznaczeniu sprawi, że program zapamięta tę decyzję i nie wyświetli więcej takiego komunikatu dla bieżącego zadania.

Odznaczenie opcji *Pokaż komunikat o węzłowych...* spowoduje, że program nadal będzie sprawdzał i zmieniał w razie konieczności ustawienia dla węzłowych stopni swobody, ale bez powiadamiania o tym użytkownika oraz bez zapisywania tych zmian do pliku.
Jeżeli użytkownik chce, aby okno pojawiało się przynajmniej raz przed obliczeniami, należy powyższą opcję zaznaczyć.

3.3.11.14 Raport



Język raportu W zależności od konfiguracji, można wybrać jeden z następujących języków: *polski, angielski, niemiecki, francuski, włoski, hiszpański, holenderski, węgierski, rosyjski, portugalski, rumuński, serbski.*

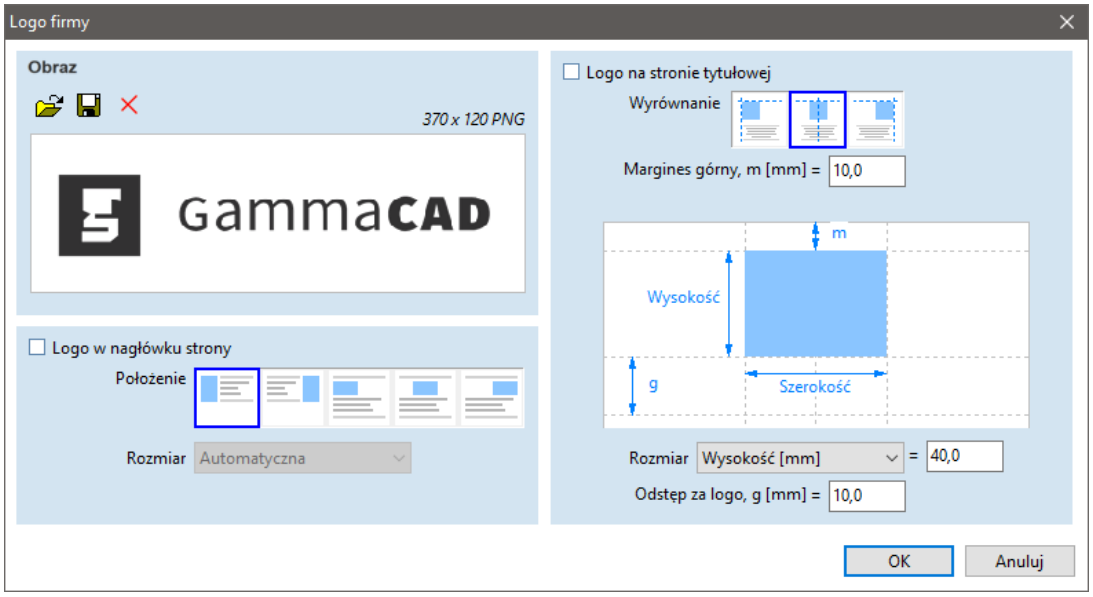
Układ tabeli Jeżeli zaznaczono opcję *Zezwalaj na wielokrotne kolumny*, wąskie tabele raportów zostaną wydrukowane w układzie wielokolumnowym, aby zredukować wymaganą przestrzeń. Opcja *Minimalna ilość wierszy w kolumnie* pozwala uniknąć łamania kolumn dla krótkich tabel.
Położenie spisu treści może być wybrane z listy (*Pierwsza strona*, *Druga strona*, *Trzecia strona*).

Bufor drukarki Jeżeli raport uwzględnia wiele rysunków, tworzenie całego raportu w pamięci może wykorzystać zbyt dużo zasobów systemu i doprowadzić do problemu z drukowaniem. W takim przypadku należy ustawić bufor drukarki na dysku twardym.

Drukuj numery stron, nawet jeśli nagłówek strony jest wyłączony
Jeżeli ta opcja jest włączona, numery stron zostaną wydrukowane, nawet jeżeli nagłówki zostały wyłączone w oknie dialogowym drukowania.

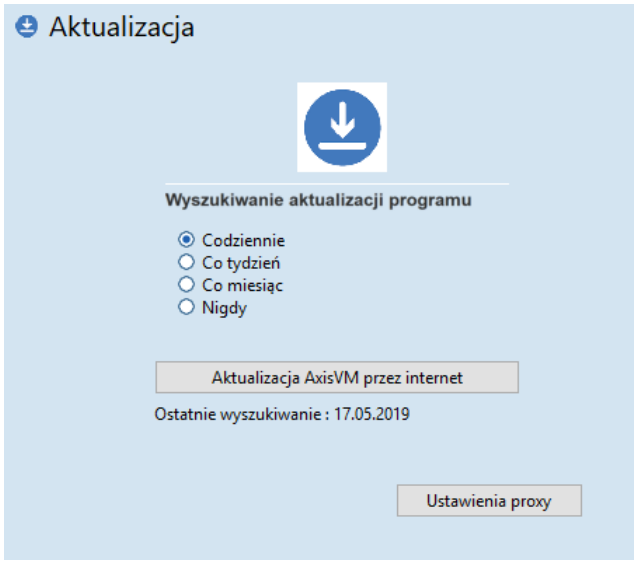
Automatycznie przetłumacz nazwy elementów po zmianie języka raportu
Jeżeli ta opcja jest włączona, to nazwy wygenerowane przez AxisVM w Bibliotece rysunków lub elementach raportu zostaną automatycznie przetłumaczone.

Logo firmy



Logo firmowe może zostać wczytane, zachowane lub usunięte za pomocą trzech przycisków na pasku narzędziowym. Logo, zgodnie z ustawieniami położenia, wielkości i marginesów, będzie pojawiało się w nagłówku drukowanych rysunków, tabel, raportów i/lub okładce raportu.
Ustawienia te nie wpływają na plik wyjściowy RTF, ponieważ bazuje on na oddzielnym szablonie pliku RTF. **Patrz...** *2.10.2 Raport.*

3.3.11.15 Aktualizacja



Wyszukiwanie aktualizacji programu

AxisVM regularnie sprawdza, czy dostępna jest aktualizacja przez internet. Częstotliwość wyszukiwania aktualizacji można ustawić. Wybierając opcję *Nigdy*, proces aktualizacji można uruchomić klikając na przycisk *Aktualizacja AxisVM przez internet.* Data ostatniego wyszukiwania wyświetlana jest pod spodem. Jeżeli połączenie internetowe korzysta z serwera proxy, należy zdefiniować jego ustawienia po kliknięciu na przycisk *Ustawienia proxy.*

Aktualizacja AxisVM przez internet

Po kliknięciu na przycisk wyświetlony zostanie kreator Aktualizacji AxisVM przez internet, który poprowadzi przez proces pobierania. Po zakończeniu pobierania i zaznaczeniu na ostatniej stronie opcji *Aktualizuj program*, program zostanie zamknięty i rozpocznie się instalacja nowego wydania.

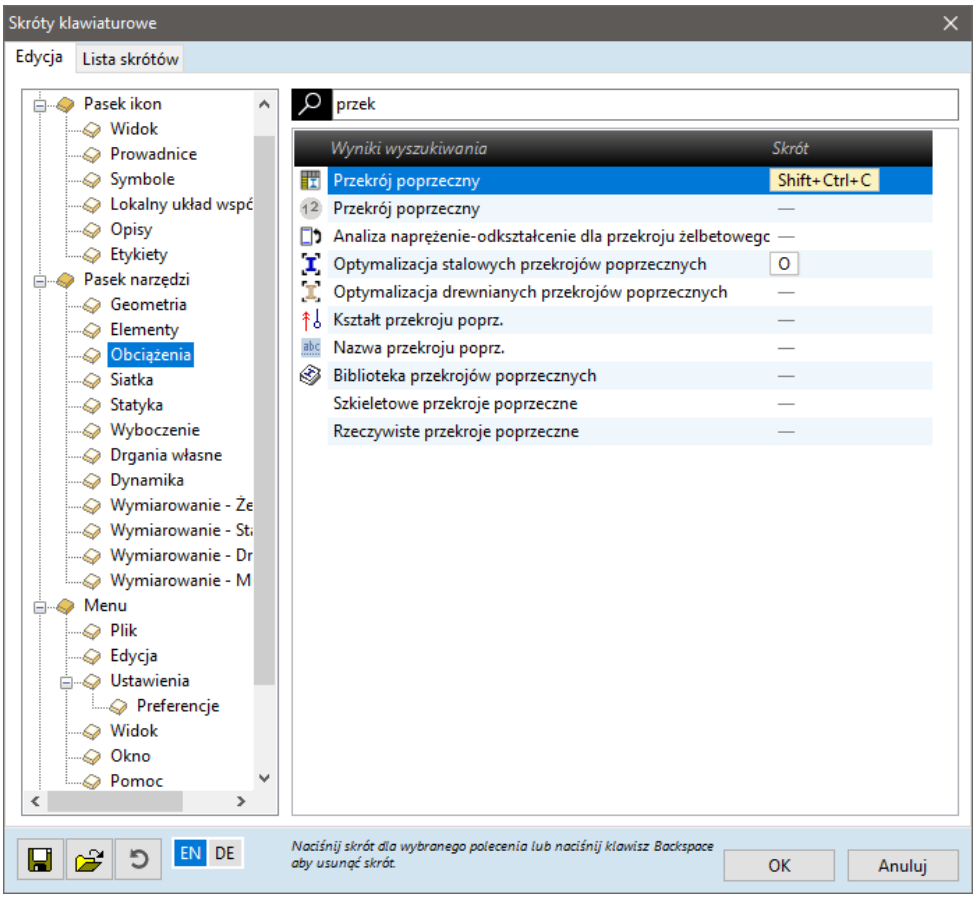
Ustawienia proxy

Jeżeli sieć łączy się z Internetem poprzez serwer proxy, w tym miejscu można ustawić dane konfiguracyjne (nazwę proxy, port, nazwę użytkownika oraz hasło).

3.3.12 Skróty klawiaturowe

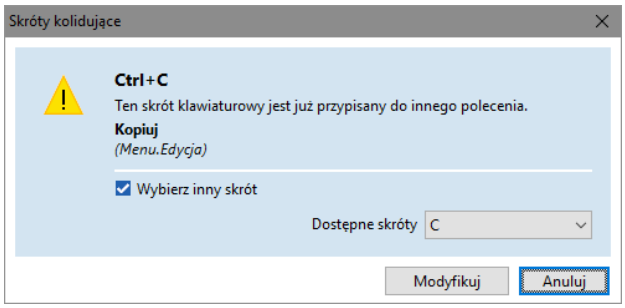
Skróty klawiaturowe przypisane do elementów menu, przycisków paska narzędziowego mogą być dopasowane przez użytkownika.

Edycja



Drzewko po lewej stronie wyświetla grupy dostępnych poleceń. Kliknij polecenie na liście znajdującej się po prawej stronie, a następnie naciśnij własny skrót. **[Backspace]** usuwa przypisany skrót.

Jeżeli wybrany skrót jest już w użyciu, pojawi się komunikat z ostrzeżeniem o *Skrótach kolidujących*.



Komunikat pokazuje polecenie używające już dany skrót.

Jeżeli zaznaczono opcję *Wybierz inny skrót*, to skrót może zostać wybrany z listy dostępnych, nieprzypisanych skrótów.

Jeżeli opcja ta nie została zaznaczona, to kliknięcie w przycisk *Modyfikuj* wyczyści skrót do poprzedniego przypisania i przypisze go aktualnego polecenia.

☞ **Skróty klawiaturowe do przycisków pasków narzędziowych na różnych zakładkach (Geometria, Elementy itd.) nie pozostają w konflikcie, dlatego też te same skróty mogą być przypisane do poleceń na różnych zakładkach. Tylko skróty dla bieżącej zakładki będą aktywne.**

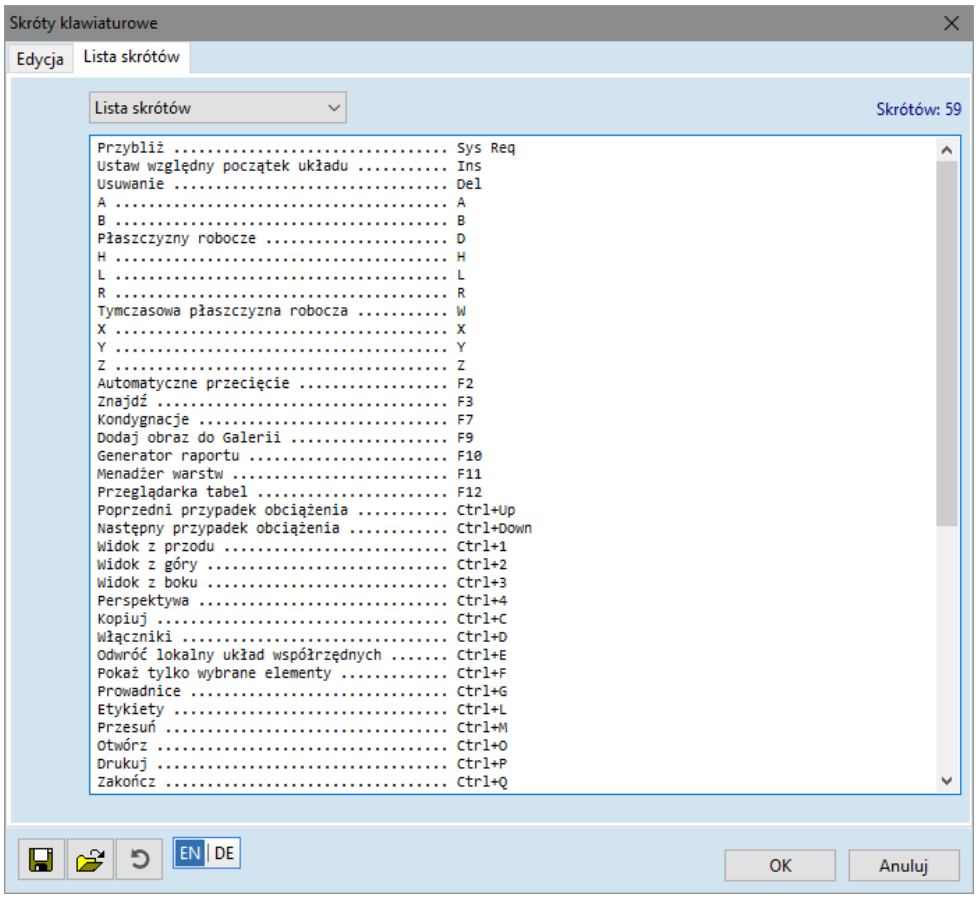
Zapisuje bieżącą konfigurację skrótów to pliku **.axsc*.

Wczytuje wcześniej zapisaną konfigurację skrótów z pliku **.axsc*.
Skróty przechowywane są domyślnie w katalogu
`C:\Użytkownicy\NazwaUżytkownika\AppData\Roaming\AxisVM\13\Shortcuts`
Domyślna konfiguracja skrótów z AxisVM 12 może zostać wczytana z `AxisVM12Default.axsc`, a dla AxisVM 13 z `AxisVM13Default.axsc`.

Przywraca domyślną konfigurację skrótów.

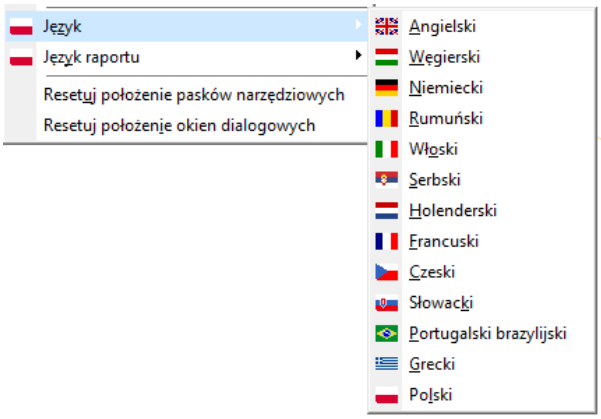
Przełącznik do wyświetlania angielskich lub niemieckich nazw klawiszy w opisie skrótów.

Lista skrótów



Zakładka *Lista skrótów* wyświetla listę wszystkich dostępnych skrótów. Może to być *Lista poleceń* lub *Lista skrótów* (pierwsza posortowana jest wg grupy polecenia, a druga wg skrótów).
Całą listę ze wszystkimi domyślnymi skrótami znajdziesz w *2.6 Skróty klawiaturowe*.

3.3.13 Język



Zmiana języka jest częścią modułu bazowego programu AxisVM.
Menu *Język* pozwala wybrać język dla interfejsu programu i jest on niezależny od ustawionego języka raportu.

3.3.14 Język raportu

Zmiana języka jest częścią modułu bazowego programu AxisVM.
Język raportu steruje językiem przygotowanych do druku raportów.

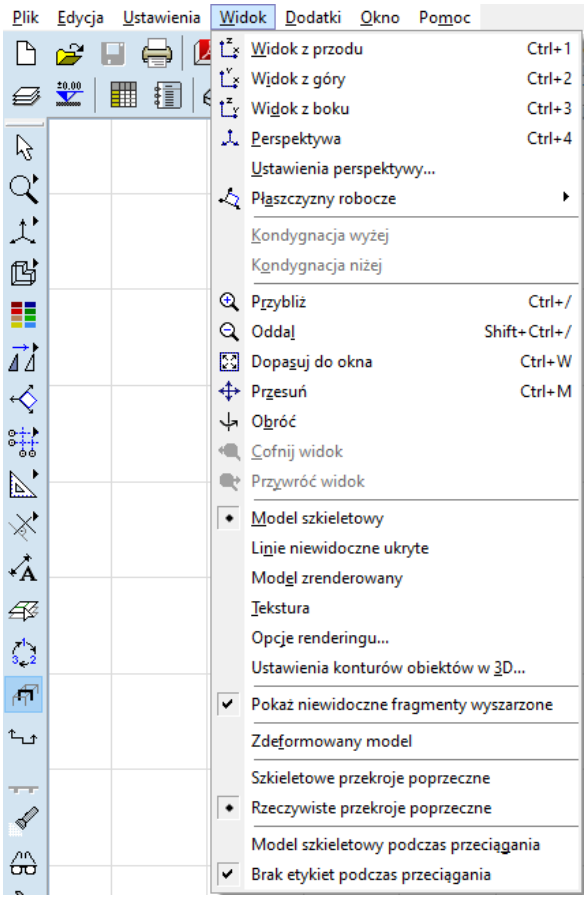
3.3.15 Paski narzędzi w położeniu domyślnym

Przestawny pasek ikon powróci na lewą stronę. Wszystkie paski wysuwane, które zostały odkotwiczone i przeciągnięte na nowe pozycje, powrócą do paska ikon.
Wszystkie ustawienia szerokości rozwijanych list i pól edycyjnych na zakładkach postprocesora (od Statyki włącznie) zostaną przywrócone do pierwotnych wartości. Patrz... *6.1 Statyka.*

3.3.16 Okna dialogowe w położeniu domyślnym

AxisVM zapamiętuje ostatnie położenie okien dialogowych i w tym samym położeniu wyświetla je później. Jeżeli wystąpił jakiś problem na komputerze z wieloma monitorami, wybranie tego polecenia może go rozwiązać.

3.4 Widok



	Widok z przodu	**[Ctrl]+ [1]**	**Patrz...** *2.16.3 Widoki*
	Widok z góry	**[Ctrl]+ [2]**	**Patrz...** *2.16.3 Widoki*
	Widok z boku	**[Ctrl]+ [3]**	**Patrz...** *2.16.3 Widoki*

Perspektywa **[Ctrl]+ [4]** **Patrz...** *2.16.3 Widoki*

Ustawienie perspektywy **Patrz...** *2.16.3 Widoki*

Płaszczyzny robocze **Patrz...** *2.16.7 Płaszczyzny robocze*

Kondygnacja wyżej / Kondygnacja niżej

Jeżeli wyświetlanie kondygnacji jest włączone, jest to najszybszy sposób, aby zmienić widok o kondygnację wyżej lub niżej.

Przybliż **[Ctrl]+[/], [+]** **Patrz...** *2.16.2 Pasek ikon zoom*

Oddal **[Ctrl]+[Shift]+ [/], [-]** **Patrz...** *2.16.2 Pasek ikon zoom*

Dopasuj **[Ctrl]+[W]** **Patrz...** *2.16.2 Pasek ikon zoom*

Przesuń **Patrz...** *2.16.2 Pasek ikon zoom*

Obróć **Patrz...** *2.16.2 Pasek ikon zoom*

Cofnij widok **[Ctrl]+[ ]** **Patrz...** *2.16.2 Pasek ikon zoom*

Przywróć widok **[Ctrl]+[ ]** **Patrz...** *2.16.2 Pasek ikon zoom*

Model szkieletowy **Patrz...** *2.16.4 Tryb prezentacji*

Linie niewidoczne ukryte **Patrz...** *2.16.4 Tryb prezentacji*

Model zrenderowany **Patrz...** *2.16.4 Tryb prezentacji*

Tekstura **Patrz...** *2.16.4 Tryb prezentacji*

Opcje renderingu... **Patrz...** *2.16.4 Tryb prezentacji*

Ustawienia konturów obiektów w 3D... **Patrz...** *2.16.4 Tryb prezentacji*

Pokaż niewidoczne fragmenty wyszarzone Opcja obecna w menu tylko przy wyświetlaniu fragmentów modelu. **Patrz...** *2.16.14 Fragmenty*

Zdeformowany model Opcja działa tak samo jak Wyświetl kształt w Parametrach wyświetlania. **Patrz...** *6.1 Statyka*.

Szkieletowe przekroje poprzeczne W trybie zrenderowanym smukłe przekroje poprzeczne będą wyświetlane tylko za pomocą ich płaszczyzn środkowych.

Rzeczywiste przekroje poprzeczne W trybie zrenderowanym smukłe przekroje poprzeczne będą wyświetlane jako ciągłe obiekty za pomocą ich rzeczywistego kształtu.

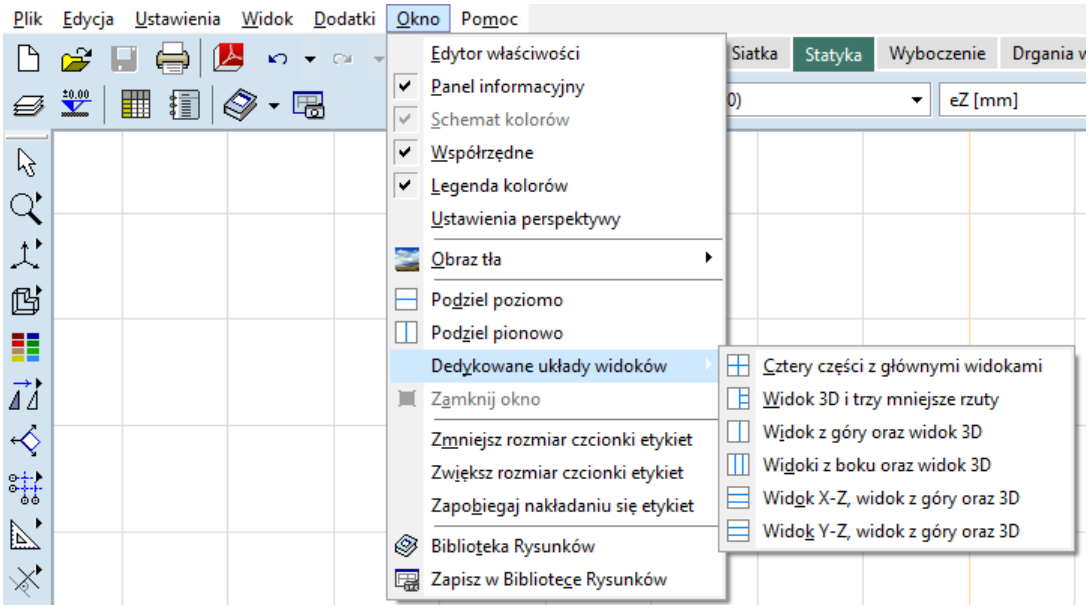
Model szkieletowy podczas przeciągania Jeżeli ta opcja jest włączona, program wyświetli model szkieletowy podczas obrotu lub przesuwania widoku.

Brak etykiet podczas przeciągania Jeżeli ta opcja jest włączona, to etykiety nie będą rysowane podczas obrotu lub przesuwania widoku.

3.5 Dodatki

Jeżeli aplikacje dodatkowe zostały zainstalowane w katalogu *Plugins*, to zostaną one wyświetlone w menu głównym *Dodatki*.
Dodatki zainstalowane w folderze *AddOns* nie są wyświetlane w menu *Dodatki*, ale dodają własne przyciski na odpowiednich zakładkach AxisVM.

3.6 Okno



3.6.1 Edytor właściwości

Edytor właściwości oferuje najszybszy sposób na zmianę właściwości wybranych węzłów, elementów lub obciążeń. Wszystkie zmiany dokonywane są natychmiast. Jeżeli wybór zawiera różne elementy, możliwa jest zmiana ich wspólnych właściwości (np. po wybraniu prętów kratowych, prętów i żeber można edytować ich materiał i przekrój poprzeczny). Jeżeli aktywne są zakładki wyników lub wymiarowania, wartości są tylko do odczytu.
W niektórych polach akceptowane są również standardowe wyrażenia matematyczne.
Dostępne operatory i funkcje to:

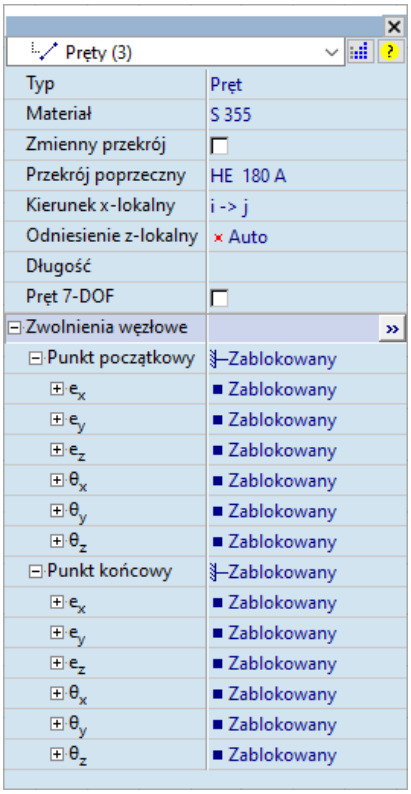
(,), SIN, COS, TAN, EXP, LN, LOG10, LOG2, SINH, COSH, TANH, ARCSIN, ARCCOS, ARCTAN, ARCSINH, ARCCOSH, ARCTANH, INT, ROUND, FRAC, SQR, SQRT, ABS, SGN.
Kilka szybkich operatorów:

++8 dodaje 8 do rzeczywistej wartości
- - 8 odejmuje 8 od rzeczywistej wartości

Liczby ujemne w obrębie operacji muszą znajdować się w nawiasach.
W wyrażeniach znak *#* zastępuje rzeczywistą wartość (na przykład *#/3* dzieli ją przez 3). Podczas wprowadzania współrzędnych dla węzłów, wartości obciążeń, grubości elementów powierzchniowych, można odnieść się do globalnych współrzędnych *X, Y, Z* lub *x, y, z*. Dla pewnych typów obciążeń, zmienne odnoszą się również do innych komponentów obciążeń.

Dla obciążeń węzłowych lub obciążeń skupionych na prętach, zmienne *Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz* odnoszą się do komponentów siły i momentów. Dla rozłożonych obciążeń prętowych *px1, py1, pz1, m1, px2, py2, pz2, m2* odnoszą się do komponentów obciążenia. W nazwach zmiennych nie jest rozróżniana wielkość liter.
Przykład 1: Aby obrócić wybrane obciążenia rozłożone od wiatru z różnymi komponentami po kierunku *X* na kierunek *Y*, należy wprowadzić *'px1'* do pola pY1 lub *'px2'* do pola pY2, a następnie wprowadzić 0 do pól *pX1* oraz *pX2*.
Przykład 2: Aby przeskalować konstrukcję po kierunku *X* o 200%, należy najpierw wybrać wszystkie węzły, a następnie kliknąć na pierwszą linię oznaczoną *X* i wprowadzić *X*2*.
Przycisk znaku zapytania włącza / wyłącza informacje pomocy.

Właściwości wyświetlane są w strukturze drzewa. Kliknięcie na symbol [+] lub [–] przed nazwą właściwości rozwinie lub zwinie listę podwłaściwości.
Jeżeli w linii wyświetla się przycisk (**...**), właściwość można zmienić za pomocą oddzielnego okna dialogowego.
Jeżeli w linii wyświetla się przycisk (**>>**), właściwość można pobrać z innego elementu, klikając w niego.
Edytor właściwości można wykorzystać do modyfikacji danych, ale również do wybierania i filtrowania elementów z tymi samym właściwościami.



Filtr

Po wybraniu jednej z właściwości (podświetlenie jej nazwy) i kliknięciu na przycisk filtra, pozwoli na wybranie na modelu wszystkich elementów posiadających tę samą wartość właściwości.

Przykład: Zmiana istniejącego przekroju poprzecznego w całej konstrukcji.
Wybierając nazwę profilu jako właściwość przekroju poprzecznego elementu żebrowego, można wybrać wszystkie elementy żebrowe z takim samym przekrojem poprzecznym, a następnie go zmienić dla tych elementów.

Właściwości obciążeń mogą być filtrowane w taki sam sposób. Wystarczy zaznaczyć obciążenia, wybrać ich cechę w *Edytorze właściwości* i kliknąć w przycisk filtra. W taki sposób można np. zaznaczyć wszystkie obciążenia o takiej samej wartości.

3.6.2 Okna informacyjne

Umożliwia włączenie / wyłączenie wyświetlenia okien *Statusu*, *Schematu kolorów*, *Współrzędnych* i *Legendy kolorów*. **Patrz...** *2.19 Okna informacyjne*

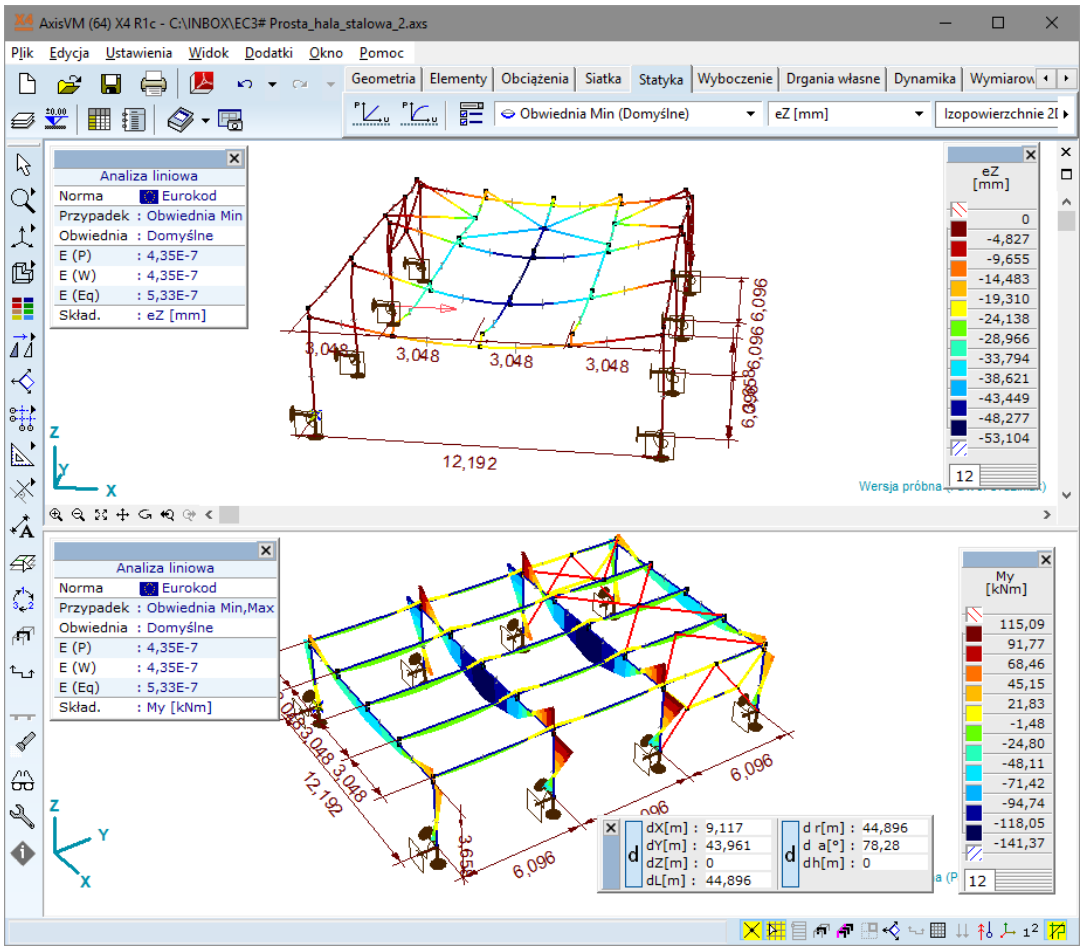
3.6.3 Obraz tła

Podmenu tego polecenia udostępnia kilka opcji. Do głównego okna AxisVM można wczytać automatycznie dopasowany obraz tła, aby zaprezentować model w jego przyszłym środowisku. Polecenie podmenu *Wczytaj obraz tła...* lub **[Ctrl+B]** otwiera okno przeglądarki plików, a polecenie *Ostatnie obrazy tła* wyświetla ostatnio użyte pliki obrazu. W trybie wielu okien każde okno może posiadać własny obraz tła.

Obraz w oknie aktywnym można włączać i wyłączać klikając na *Wyświetl* lub poprzez kombinację klawiszy **[Ctrl+Alt+B].**
Opcja *Zapisz obraz tła* zapisuje obraz w aktywnym oknie do pliku. Jeżeli położenie obrazu różni się od ustawienia okna, opcja *Przesuń obraz tła* umożliwia przeciągnięcie tła do nowego położenia. Opcja *Usuń obraz tła* usuwa obraz z aktywnego okna.
Obrazy tła zapisywane są do pliku AXS.

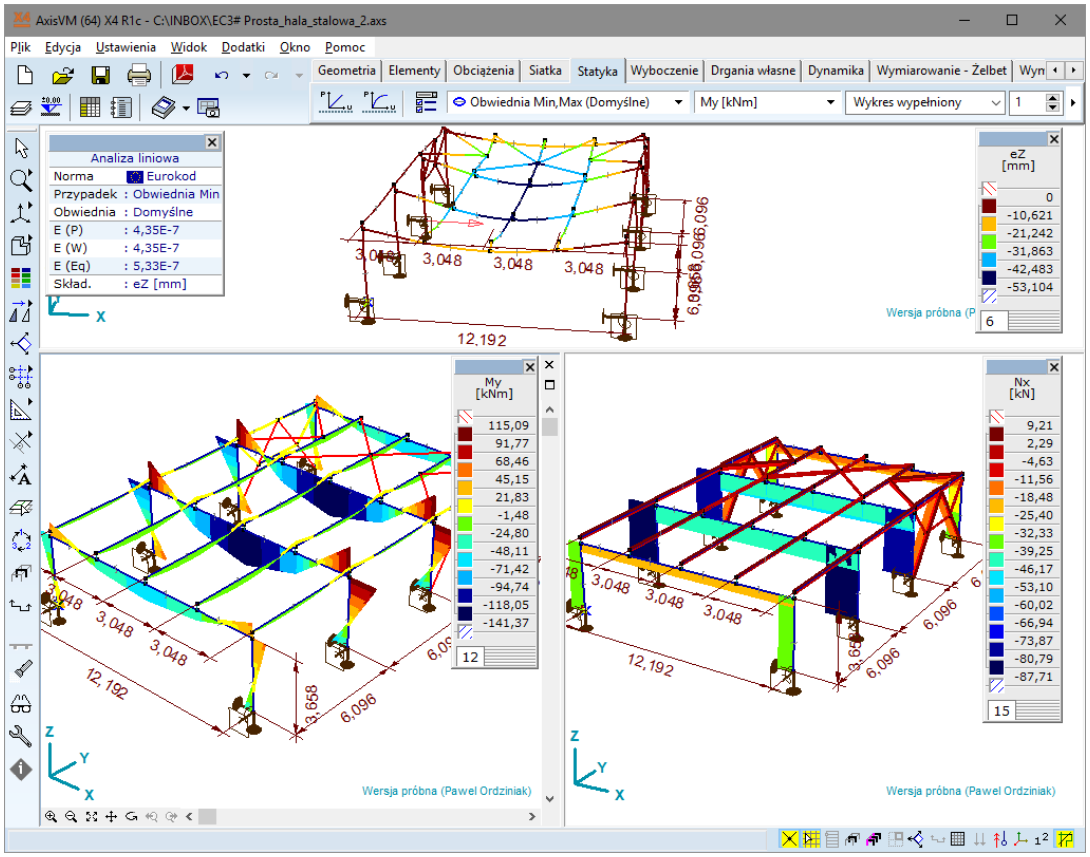
Po wczytaniu obrazu tła, model można ustawić do właściwego widoku poprzez jego przybliżenie, oddalenie, przesunięcie, obrócenie lub ustawienie perspektywy.

3.6.4 Podziel poziomo



Dzieli okno graficzne poziomo na dwie części. Kliknięcie na jedno z nich powoduje, że staje się ono oknem aktywnym. Ustawienia wyświetlania dla każdego okna można ustawiać osobno. Dla każdego okna można wybrać również różne przypadki lub kombinacje obciążeń.
Okna graficzne można maksymalizować i minimalizować lub przywracać za pomocą przycisków w ich prawym górnym rogu.

3.6.5 Podziel pionowo



Dzieli okno graficzne pionowo na dwie części. Kliknięcie na jedno z nich powoduje, że staje się ono oknem aktywnym. Ustawienia wyświetlania dla każdego okna można ustawiać osobno. Dla każdego okna można wybrać również różne przypadki lub kombinacje obciążeń.
Okna graficzne można maksymalizować i minimalizować lub przywracać za pomocą przycisków w ich prawym górnym rogu. Różne przypadki obciążeń mogą być ustawione dla każdego z okna, ale tylko podczas wyświetlania wyników.

3.6.6 Dedykowane układy widoków

To podmenu oferuje predefiniowane układy okien, złożone z wielu widoków.

Cztery części z głównymi widokami
Cztery równej wielkości okienka wyświetlające widok z przodu (X-Z), widok boczny (Y-Z), widok z góry (X-Y) oraz perspektywę (od lewej do prawej i od góry do dołu), tak że cały model jest widoczny z każdej strony.

Widok 3D i trzy mniejsze rzuty
Większe okno po lewej wyświetla widok perspektywy, a po prawej stronie znajduje się widok z góry (X-Y), z przodu (X-Z), z boku (Y-Z) (od góry do dołu). W każdym okienku widoczny jest cały model.

Widok z góry oraz widok 3D
Większe okno po lewej wyświetla widok z góry (X-Y), a okienko sąsiadujące widok perspektywy. W każdym okienku widoczny jest cały model.

Widok z boku oraz widok 3D
Trzy okienka równej szerokości uzyskane poprzez pionowy podział, wyświetlają widok z przodu (X-Z), widok z boku (Y-Z) oraz perspektywę. W każdym okienku widoczny jest cały model.

Widok X-Z, widok z góry oraz 3D
Trzy okienka równej wysokości uzyskane poprzez poziomy podział, wyświetlają widok z przodu (X-Z), widok z boku (Y-Z) oraz perspektywę. W każdym okienku widoczny jest cały model.

Widok Y-Z, widok z góry oraz 3D
Trzy okienka równej wysokości uzyskane poprzez poziomy podział, wyświetlają widok z boku (Y-Z), widok z góry (X-Y) oraz perspektywę. W każdym okienku widoczny jest cały model.

3.6.7 Zamknij okno

Zamyka bieżące okno graficzne.

3.6.8 Zmiana rozmiaru czcionki etykiet

Zmniejsz / Zwiększ rozmiar czcionki etykiet

Te dwa elementy menu służą do zmiany rozmiaru czcionki dla wszystkich etykiet na wykresach.

3.6.9 Zapobiegaj nakładaniu się etykiet

Włączenie tej opcji zapobiega nakładaniu się etykiet poprzez ich przesuwanie i ukrywanie mniej istotnych etykiet. W tym ostatnim przypadku przybliżenie widoku może zwiększyć liczbę widocznych etykiet. Priorytety wyznacza typ etykiety i jej wartość. Dla dużej liczby etykiet do wyświetlenia, ta operacja optymalizacji może być czasochłonna.
Opcja ta może być również ustawiona w Opcje wyświetlania / Etykiety. **Patrz...** *2.16.18 Opcje wyświetlania*

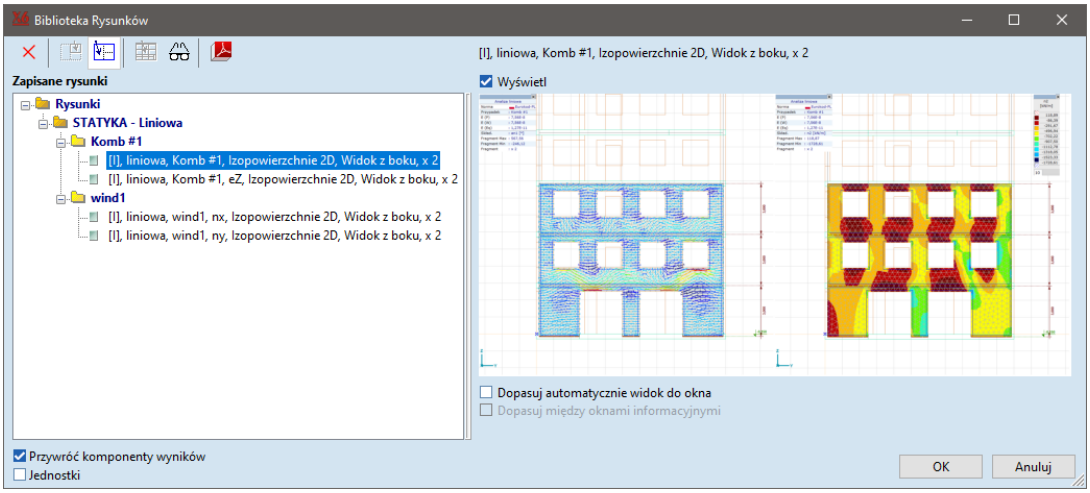
3.6.10 Biblioteka Rysunków

Biblioteka rysunków zawiera rysunki zapisane w programie. Rysunki nie są zachowanymi obrazami, a instrukcjami dla programu jak narysować widok modelu lub jego fragmenty łącznie z ustawieniami dla wielu okien. Rysunki można wczytywać ponownie, aby przywrócić zapisane ustawienia widoku i wyświetlania. Zawarcie rysunków w raporcie ułatwia jego aktualizację w przypadku, gdy model zostanie zmieniony lub ponownie przeliczony, ponieważ rysunki zostaną automatycznie zaktualizowane tak jak tabele.

W Bibliotece rysunków można w sposób skojarzony zachować wykresy przemieszczeń, sił i naprężeń elementów liniowych, wykresy do wymiarowania stali i połączeń śrubowych, analizę przebicia, weryfikację żelbetowych słupów oraz wymiarowanie belek.

Klikając na strzałkę obok przycisku polecenia, można wybrać istniejący rysunek z wyskakującej listy, przywracając jego ustawienia widoku i wyświetlania.

Po kliknięciu na przycisk narzędzi Biblioteka rysunków wyświetlone zostanie okno dialogowe.



To okno służy do podglądu, przechowywania i wczytywania zapisanych rysunków.

Usuwa rysunek z Biblioteki rysunków

Wczytuje wybrany rysunek do aktywnego okna.
(opcja dostępna tylko w trybie wielu okien)

Wczytuje wybrany rysunek do okna.

Wyświetla okno dialogowe z wykresami dla elementu liniowego
Ten przycisk jest aktywny, jeżeli wybrano wykresy z wynikami obliczeń lub wymiarowania dla pręta (Aby zobaczyć przykłady **Patrz...** *6.1.9 Siły wewn. prętów / prętów kratowych* lub *6.6.1. Wymiarowanie prętów stalowych wg Eurokodu 3*). Polecenie wyświetla odpowiednie okno dialogowe, umożliwiające użytkownikowi wprowadzenie zmian. Po zamknięciu okna dialogowego rysunek może zostać zaktualizowany lub zmieniony wykres może zostać zapisany jako nowa pozycja w Bibliotece.

Symbole graficzne
Wyświetlanie symboli graficznych można modyfikować w pozycjach biblioteki. W tym celu należy wybrać jedną lub więcej pozycji rysunkowych i kliknąć na przycisk polecenia na pasku narzędzi. Dla wybranych rysunków zostanie wyświetlony status symboli, który następnie można zmienić. Mieszany status (różny dla kilku zaznaczonych rysunków) reprezentowany jest przez wyszarzony znak zaznaczenia.

Eksportuje pozycje z Biblioteki rysunków do pliku 3D PDF.
Patrz... *3.6.10.1 Eksport rysunków do pliku 3D PDF*

Przywróć komponenty wyników
Jeżeli zaznaczono tę opcję, wczytanie rysunku przywróci również odpowiedni komponent wyników i ustawi właściwą zakładkę (Statyka, Drgania własne, itd.)
Jeżeli ta opcja nie jest zaznaczona, wczytanie rysunku nie przywraca komponentu wyników i zakładki, a tylko przerysowuje widok.

Jednostki
Opcja ta steruje generowaniem jednostek w nazwach rysunków (np. eZ [mm])

Dopasuj automatycznie widok do okna
Tę opcję należy zaznaczyć, jeżeli rysunek ma sam dopasowywać się do zmian w modelu (aby wyświetlić w całym zakresie okna wszystkie widoczne fragmenty).

Dopasuj między oknami informacyjnymi
Dopasowuje rysunek modelu w przestrzeń pomiędzy oknami informacyjnymi, aby uniknąć ich nakładania.

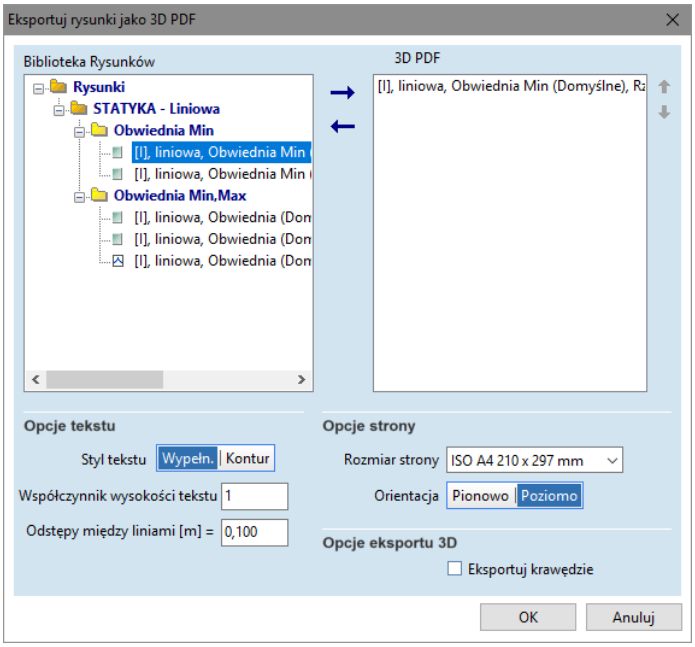
OK Zapisuje zmiany i wczytuje wybrany rysunek.

Anuluj Nie zapisuje zmian.

3.6.10.1 Eksport rysunków do pliku 3D PDF (moduł PDF)

Pozycje z Biblioteki rysunków można eksportować jako wielostronicowe pliki 3D PDF. Aby oglądać interaktywne obrazy 3D, należy skorzystać z programu Adobe Acrobat Reader (zaktualizowane do wersji 8.1 lub późniejszej).

Pozycje z Biblioteki wybrane w widoku drzewa po lewej stronie można przenieść do listy PDF, klikając strzałkę skierowaną w prawo. Strzałka skierowana w lewo usuwa wybrane obiekty z listy PDF. Każda pozycja zostanie zrenderowana na oddzielnej stronie PDF, zgodnie z kolejnością listy PDF. Położenie elementów na liście PDF można zmieniać, używając strzałek góra i dół. Mogą być eksportowane zarówno widoki 2D jak i 3D. Rysunki 2D wyświetlone zostaną jako zwykłe obrazy, a widoki 3D można obracać, przybliżać i oddalać w programie Acrobat Reader.

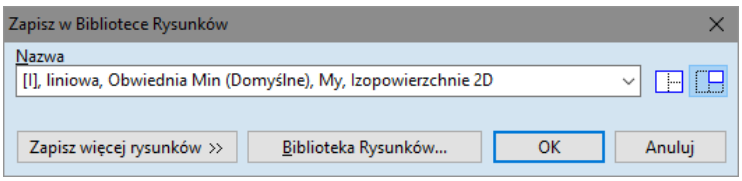


Opcje tekstu W grupie *Opcje tekstu* można ustawić wielkość i wygląd tekstu.

Opcje strony W grupie *Opcje strony* można ustawiać wielkość i orientację stron dokumentu PDF.

Opcje eksportu 3D W niektórych przypadkach narysowanie wszystkich krawędzi sprawia, że widok jest zamazany. Dlatego eksport krawędzi można włączyć / wyłączyć.

3.6.11 Zapisz w Bibliotece rysunków



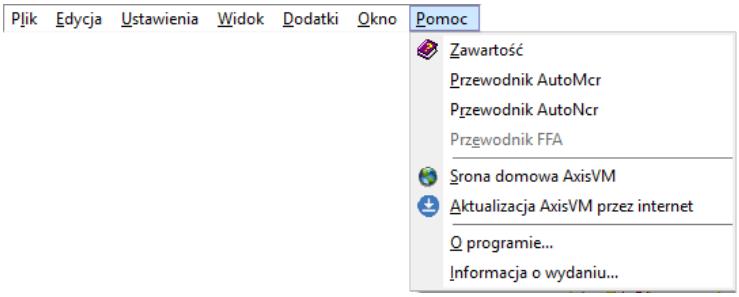
Klikając na ten przycisk polecenia można zapisać jeden lub większą ilość rysunków w Bibliotece rysunków.
Jeżeli bieżący rysunek już istnieje, w oknie dialogowym wyświetlony zostanie komunikat *Rysunek już istnieje*. Rysunek może zostać zastąpiony lub można zmienić jego nazwę.
Przycisk *Zapisz więcej rysunków* otwiera dodatkowe opcje. Można wtedy wybrać przypadki i kombinacje obciążeń (a także komponenty wyników, jeżeli wyniki są wyświetlane). AxisVM tworzy wszystkie możliwości ustawień (tzn. wszystkie wybrane komponenty wyników we wszystkich wybranych przypadkach obciążeń) i zapisuje je do Biblioteki z bieżącymi ustawieniami widoku i wyświetlania.
Jeżeli aktywny jest widok wielokrotny (podzielone okna) to dostępne są dwie dodatkowe opcje:

Zapisuje wszystkie widoczne okna z widokami

Zapisuje tylko aktywne okno z widokiem

Kliknięcie na przycisk *Biblioteka rysunków* wyświetli jej okno dialogowe.

3.7 Pomoc



Daje dostęp do podręcznika AxisVM w formacie PDF i innych materiałów online i offline.

3.7.1 Zawartość

[F1]

Otwiera ten podręcznik w formacie PDF. AxisVM X5 wydanie R2 ponownie wprowadziło pomoc kontekstową do programu, tzn. naciśnięcie F1 w programie powoduje otwarcie podręcznika na powiązanym temacie.

3.7.2 Przewodniki

Przewodniki pozwalają lepiej zrozumieć pewne aspekty obliczeń i wymiarowania zastosowane w AxisVM.

- *SC1 Wymiarowanie połączeń stalowych* (ENG) – jak używać aplikacji **SC1**.
- *Przewodnik AutoMcr* przedstawia metodę obliczeń nośności na zwichrzenie w module do wymiarowania stali **SD1**.
- *Przewodnik AutoNcr* wyjaśnia metodę wyznaczania mnożnika długości wyboczeniowej oraz zakres jej stosowania i prawidłowe użycie w module do wymiarowania stali **SD1**.
- *Wprowadzenie do niestandardowych macierzy sztywności* dostarcza teorię do obliczenia elementów powierzchniowych z niestandardową macierzą sztywności. **Patrz...** *4.9.5.6 Obszar z niestandardową macierzą sztywności*
- *Przewodnik FFA* wyjaśnia podstawy teoretyczne do analizy drgań od ruchu pieszego zastosowane w module **FFA**.

3.7.3 Strona domowa AxisVM

Otwiera stronę domową AxisVM, korzystając z domyślnej przeglądarki internetowej.
https://www.axisvm.eu

3.7.4 Aktualizacja AxisVM przez internet

Otwiera kreator aktualizacji AxisVM przez internet. **Patrz...** *3.3.11 Preferencje*

3.7.5 O programie

To okno wyświetla numer wersji i wydania, konfigurację, numer seryjny i ograniczenie czasowe (jeżeli jest) danej wersji AxisVM.
Dostępne moduły wyświetlone są na czarno, a niedostępne na szaro.

3.7.6 Informacja o wersji...

Informacje o najnowszym wydaniu, historia poprawek oraz nowe funkcjonalności.

3.8 Główny pasek narzędzi

Patrz... *3.1.1 Nowy model*

Patrz... *3.1.3 Otwórz*

[Ctrl]+[O]

Patrz... *3.1.4 Zapisz*

[Ctrl]+[S]

Patrz... *3.1.12 Drukuj*

[Ctrl]+[P]

Patrz... *3.2.1 Cofnij*

[Ctrl]+[Z]

Patrz... *3.2.2 Przywróć*

[Shift]+[Ctrl]+[Z]

Patrz... *3.3.3 Menadżer warstw*

[F11]

Patrz... *3.3.4 Kondygnacje*

[F7]

Patrz... *2.9 Przeglądarka tabel*

[F12]

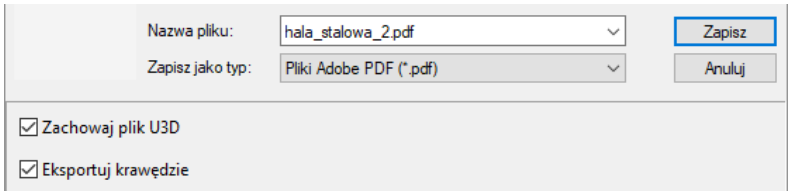
[F10]

Patrz... *2.10 Generator raportu*

Zobacz szczegółowo w... *3.6.10 Biblioteka Rysunków*

Zobacz szczegółowo w... *3.6.10 Biblioteka Rysunków*

Tworzenie 3D PDF



Zaznaczenie opcji *Zachowaj plik U3D* umożliwi zachowanie pośredniego pliku U3D do późniejszego użycia Eksport krawędzi można kontrolować poprzez pole wyboru *Eksportuj krawędzie*. Więcej szczegółów w rozdziale *3.6.10.1 Eksport rysunków do pliku 3D PDF*

4 Przetwarzanie wstępne (Preprocesor)

Wstępne przetwarzanie umożliwia użytkownikowi tworzenie lub modyfikowanie geometrii modelu w sposób całkowicie wizualny. Zaawansowana funkcja Visual Modeling umożliwia szybkie i niezawodne modelowanie i wymiarowanie.

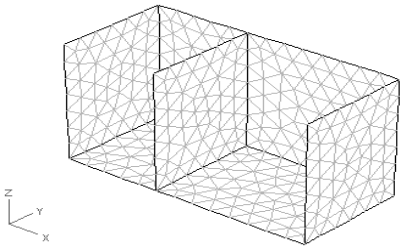
Ten rozdział prezentuje polecenia modelowania programu AxisVM (generowanie geometrii, generowanie elementów / siatki oraz definiowanie przypadków / kombinacji obciążeń).

4.1 Geometria

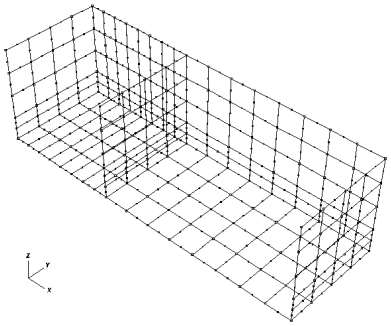
Polecenia dotyczące geometrii umożliwiają interaktywne i graficzne tworzenie geometrii modelu w 3D. Geometria modelu definiowana jest przez węzły (punkty), linie siatki (linie) pomiędzy węzłami oraz elementy powierzchniowe (trójkątne lub czworokątne), tworzone z trzech lub czterech odpowiednich linii. Później można zdefiniować elementy skończone w oparciu o skonstruowaną tutaj geometrię.

W przypadku konstrukcji z elementów powierzchniowych (płyty, tarcze lub powłoki) siatka składa się z trójkątów lub czworokątów, które reprezentują płaszczyznę środkową elementów.

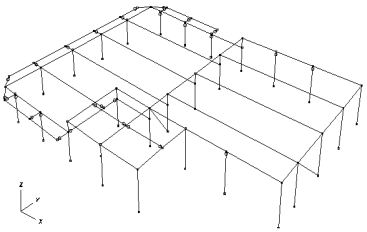
Automatycznie generowana siatka na obszarach



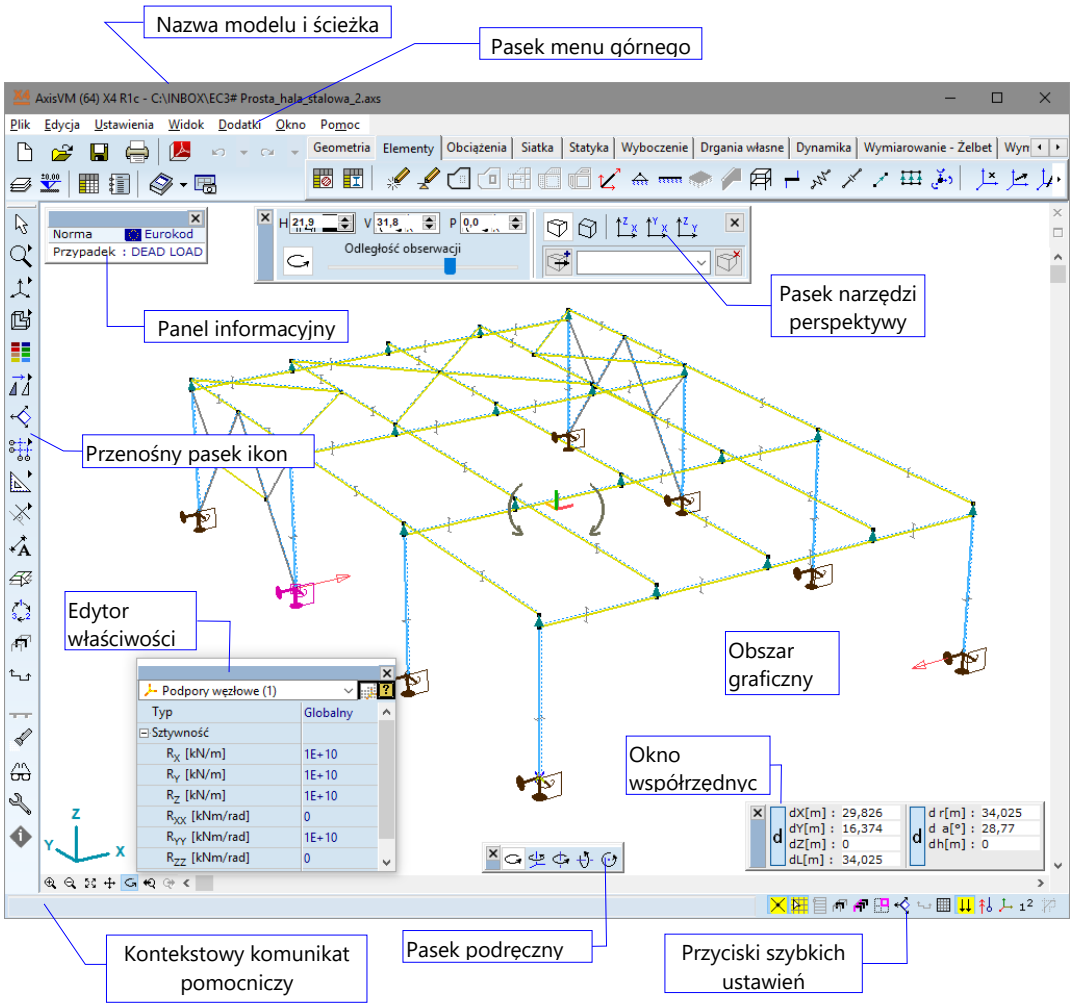
Automatycznie tworzona siatka na makro czworokątach i trójkątach



W przypadku konstrukcji prętowych (pręty lub pręty kratowe) siatka składa się z osi tych elementów.



4.2 Edytor modelu



Po uruchomieniu AxisVM, graficzny interfejs użytkownika jest gotowy do edycji geometrii. W przypadku nowego modelu jako domyślny widok można ustawić widok X-Y, X-Z lub perspektywę. W przypadku istniejącego modelu wczytane zostaną ostatnie ustawienia widoku.
Przy pomocy poziomego paska narzędzi z ikonami u góry obszaru graficznego można zastosować różnorakie polecenia tworzenia siatek geometrycznych opisujących geometrię modelu elementów skończonych.
Patrz... *4.8 Pasek narzędzi geometrii*

Za pomocą pionowego paska ikon po lewej stronie ekranu można zastosować polecenia, które zmienią tryb wyświetlania modelu oraz skonfigurować środowisko pracy edytora.
Patrz... *2.16 Pasek Ikon*

4.2.1 Tryb wielu okien

W przypadku złożonego modelu, możliwość równoczesnego wyświetlenia na ekranie różnych jego widoków potrafi ułatwić zadanie. Program AxisVM umożliwia podzielenie obszaru graficznego poziomo lub pionowo. Każde nowo utworzone okno graficzne posiada własne ustawienia i umożliwia niezależne wyświetlenie widoków modelu. Ta funkcja jest również pomocna w trakcie interpretowania wyników. Polecenia podziału można znaleźć w menu Okno.

Podziel poziomo Dzieli poziomo aktywne okno graficzne na dwie równe części. Górne okno będzie oknem aktywnym.

Patrz... *3.6.4 Podziel poziomo*

Podziel pionowo Dzieli pionowo aktywne okno graficzne na dwie równe części. Lewe okno będzie oknem aktywnym.

Patrz... *3.6.5 Podziel pionowo*

Zamknij okno Zamyka aktywne okno, jeżeli w użyciu jest więcej niż jedno okno graficzne.
Nowym oknem domyślnym będzie to, w którym użytkownik poprzednio pracował.

Podczas dowolnego polecenia edycji można zmieniać widoki.

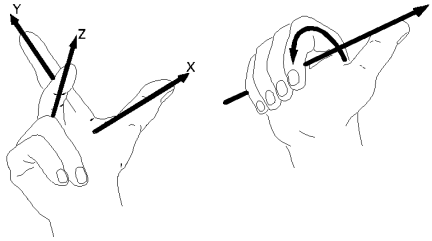
☞ **W widoku perspektywy niektóre polecenia edycji mogą być niedostępne lub ograniczone funkcjonalnie.**

4.3 Układy współrzędnych

AxisVM wykorzystuje różne układy współrzędnych, aby opisać model. Globalny układ współrzędnych używany jest do opisania geometrii modelu. Lokalne układy współrzędnych wykorzystywane są głównie do definiowania elementów. Lokalne układy zazwyczaj definiowane są przez geometrię elementu oraz dodatkowe odniesienia. AxisVM oznacza osie układu globalnego wielkimi literami, a lokalne osie małymi literami.
Geometrię można tworzyć w kartezjańskim, cylindrycznym lub sferycznym układzie współrzędnych.
Patrz... *4.3.2 Współrzędne biegunowe*

4.3.1 Kartezjański układ współrzędnych

Podstawowy układ współrzędnych Program AxisVM wykorzystuje współrzędne kartezjańskie, aby przechowywać dane geometryczne.
AxisVM korzysta z reguły prawej dłoni wyłącznie, aby definiować dodatnie kierunki osi i obrotu. Ilustracje przedstawiają dodatnie kierunki osi i obrotu zgodnie z regułą prawej dłoni.



Początek układu globalnego i względnego Nowy model używa widoku wybranego w oknie dialogowym Nowy model (**Patrz...** *3.1.1 Nowy model*).
Początek układu współrzędnych zaznaczony jest niebieskim X, początkowo umiejscowionym w lewym dolnym rogu okna edycji.
Bezwzględny (X,Y,Z) i względny (dX, dY, dZ) układ współrzędnych wykorzystywany jest do lokalizacji punktów (węzłów) w modelu. Początek względnego układu można przenosić w dowolne miejsce (za pomocą klawiszy **[Alt]+[Shift]** lub **[Insert]**) w dowolnym momencie modelowania.
Okno współrzędnych wyświetla bezwzględne lub względne współrzędne globalne według jego bieżących ustawień. Jeżeli wybrano tryb względny, oznaczenie osi zmieni się na dX, dY, dZ.
Za pomocą okna współrzędnych oraz przesunięcia względnego początku układu, można dokonać pomiarów na modelu (odległości, kąty).
Przemieszczania węzłowe i postaci własne odnoszą się do bezwzględnego układu globalnego.

☞ **W widokach X-Y i Y-Z trzecia oś (prostopadła do płaszczyzny widoku) zorientowana jest w kierunku do użytkownika. W rezultacie, podczas kopiowania za pomocą translacji o dodatnim przyroście względem odpowiedniej trzeciej osi, kopie zostaną umieszczone z przodu (w kierunku użytkownika). Odwrotna sytuacja zachodzi w przypadku widoku X-Z, kiedy trzecia oś zorientowana jest w przeciwnym kierunku.**

Patrz... *4.9.21 Odniesienia*

4.3.2 Współrzędne biegunowe

Obok kartezjańskiego globalnego układu współrzędnych można wykorzystać również układ cylindryczny lub sferyczny. Wybór jednego z tych biegunowych układów współrzędnych można dokonać poprzez wybranie odpowiedniej opcji w *Ustawienia / Opcje / Edycja / Współrzędne biegunowe.*

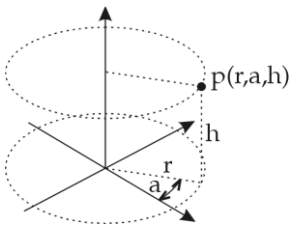
W zależności od wybranej opcji, w oknie współrzędnych wyświetlone zostaną trzy zmienne:

Cylindryczne

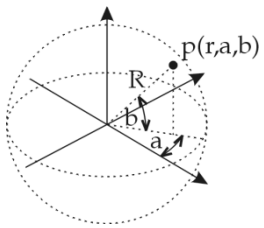
- *h*: odległość mierzona prostopadle od płaszczyzny widoku do punktu rzutowanego na oś walca, która jest zorientowana na zewnątrz ekranu
- *r*: promień, który jest odległością od rzutu punktu na płaszczyznę widoku do głównej osi walca
- *a*: kąt pomiędzy linią łączącą rzut punkt na płaszczyznę widoku z początkiem układu a dodatnią osią poziomą

Sferyczne

- *r*: promień, który jest odległością od punktu do środka sfery (początku układu współrzędnych)
- *a*: kąt w płaszczyźnie widoku, pomiędzy rzutem na tę płaszczyznę linii łączącej punktu z początkiem układu a dodatnią osią poziomą
- *b*: kąt pomiędzy linią łączącą punkt z początkiem układu a płaszczyzną widoku. Kąt jest dodatni, jeżeli punkt znajduje się przed płaszczyzną widoku (pomiędzy użytkownikiem a płaszczyzną widoku).



Cylindryczny układ współrzędnych

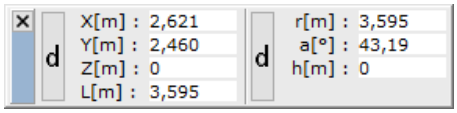


Sferyczny układ współrzędnych

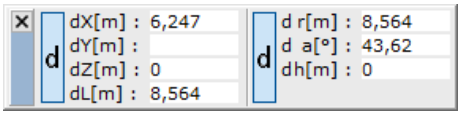
4.4 Okno współrzędnych

Wyświetla bieżące bezwzględne i względne wartości współrzędnych pozycji kursora w globalnym układzie współrzędnych (kartezjańskim i cylindrycznym lub sferycznym).

Można przełączać pomiędzy wyświetlaniem współrzędnych bezwzględnych i względnych, klikając na litery ***d*** w oknie współrzędnych (przełącznik delta). Sposób wyświetlania przycisków z literą **d** wskazuje również, czy współrzędne względne są aktywne czy nie.



Współrzędne bezwzględne



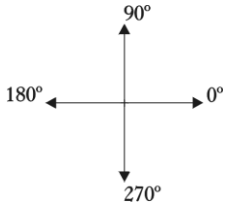
Współrzędne względne

Podczas edycji możliwe jest przeskoczenie za pomocą skrótów do okna współrzędnych. Domyślnie przypisane skróty mogą zostać zmienione. **Patrz...** *3.3.12 Skróty klawiaturowe*.

Polecenie współrzędnych	*Skrót*
X	**X**
Y	**Y**
Z	**Z**
L	**Shift+Ctrl+L**
R	**Shift+Ctrl+R**
A	**Shift+Ctrl+A**
H	**Shift+Ctrl+H**
B	**Shift+Ctrl+B**
Tymczasowa pł. robocza	**Shift+Ctrl+W**
Blokuj X	**Ctrl+Alt+X**
Blokuj Y	**Ctrl+Alt+Y**
Blokuj Z	**Ctrl+Alt+Z**
Blokuj L	**Ctrl+Alt+L**
Blokuj r	**Ctrl+Alt+R**
Blokuj a	**Ctrl+Alt+A**

Blokuj h	**Ctrl+Alt+H**
Blokuj b	**Ctrl+Alt+B**
Współrzędne względne / bezwzględne (przełącznik delta)	**Shift+D**
Biegunowe współrzędne względne / bezwzględne	**Shift+E**

Kąty dodatnie, α:



☞ **Przełącznik dla współrzędnych względnych (delta) może być używany razem z wymuszonym poruszaniem się kursora.**
Patrz... *4.7.4 Wymuszone poruszanie się kursora*

☞ **Do edycyjnych pól współrzędnych można wprowadzać wyrażenia (np.: 12.927+23.439, cos(45), sin(60))**

4.5 Raster

Aby uzyskać szczegółowe informacje, **patrz...** *2.16.19.1 Raster i kursor*

4.6 Krok kursora

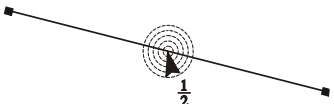
Aby uzyskać szczegółowe informacje, **patrz...** *2.16.19.1 Raster i kursor*

4.7 Narzędzia edycji

Narzędzia edycji ułatwiają pracę za pomocą kilku funkcji. **Patrz...** *2.16.19.2 Edycja*

4.7.1 Identyfikacja kursora

Obszar identyfikacji kursora zależy od ustawienia (w pikselach).



Po umiejscowieniu kursora w obszarze graficznym, AxisVM spośród obiektów zlokalizowanych w obszarze identyfikacji lub przecinających ten obszar, znajduje element modelu, który jest najbliżej środka kursora. Wielkość obszaru identyfikacji można ustawić w *Ustawienia / Opcje / Edycja / Obszar identyfikacji kursora.*

Bieżący kształt kursora wskazuje na rodzaj zidentyfikowanego obiektu. W zależności od rodzaju obiektu, kursor przybierze jeden z następujących kształtów:

Węzeł

Punkt środkowy linii

Podpora

Przegub krawędziowy

Obciążenie niezależne od siatki

Wierzchołek wielokąta obciążenia

Punkt środkowy łuku

Łuk

Styczna

Krzywa Béziera

Odniesienia

Linia

Element powierzchniowy

Obszar

Element sztywny

Element ARBO

Element CRET

Pole tekstowe, etykieta

Zbrojenie obszaru

Krawędź, narożnik stopy fundamentowej

Krawędź, narożnik ławy fundamentowej

Prowadnica

Linia osi konstrukcyjnej

Punkt przecięcia

Prostopadła (normalna)

Linia wymiarowa

Dla funkcji Pobierz

Jeżeli w jednej lokalizacji znajduje się kilka wskazań, program rozpoznaje pierwsze z nich według kolejności powyższej listy. Jeżeli w jednej lokalizacji znajduje się kilka elementów tego samego typu, kursor pokaże jego podwójny symbol.

☞ **Aby sprawdzić, który z elementów został rzeczywiście zidentyfikowany, należy użyć okna współrzędnych.**

Wykrywanie podkładu

Można ustawić kursor tak, aby wykrywał linie na architektonicznych warstwach podkładu.

4.7.2 Numeryczne wprowadzanie współrzędnych

Podczas edytowania modelu, współrzędne kursora można określać wprowadzając wartości liczbowe bezpośrednio do okna współrzędnych. Istnieją dwa sposoby, aby przejść do wprowadzania wartości liczbowych:

1. przez wciśnięcie klawisza z odpowiadającym znakiem na klawiaturze
2. przez kliknięcie lewym przyciskiem na wymagane pole wartości współrzędnej, a następnie wpisanie wartości.

Jeżeli włączony jest tryb wartości względnych (litera **d** jest wciśnięta), wprowadzone współrzędne zdefiniują punkt od względnego początku układu.
Jeżeli wprowadzone zostaną wartości sprzeczne (w przypadku istniejącego ograniczenia), ostatnia wpisana wartość zaktualizuje pozostałe.

☞ **Do edycyjnych pól współrzędnych można wprowadzać wyrażenia (np.: 12.927+23.439, cos(45), sin(60))**

Względny początek układu można przesuwać w dowolnym momencie i w dowolne miejsce poprzez naciśnięcie klawisza **[Insert]**. Dlatego też rysując linie, można określać współrzędne jej punktów końcowych względem różnych początków układów.

☞ **Aby narysować linię o danej długości i kierunku, należy przesunąć względny początek układu do punktu początkowego (za pomocą klawiszy [Alt]+[Shift] lub [Insert]), wprowadzić kąt w stopniach [°] oraz długość dr [m], a następnie nacisnąć klawisz [Enter].**

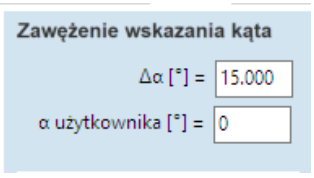
4.7.3 Mierzenie odległości

Odległość między dwoma punktami lub długość linii można zmierzyć ustawiając względny początek układu współrzędnych na pierwszy punkt, a następnie identyfikując drugi punkt ustawiając na nim kursor. W takim przypadku wartość *dL* w oknie współrzędnych to odległość między punktami.

Położenie kursora może zostać także przesunięte o zadaną numerycznie wartość względem wybranego punktu odniesienia. W tym celu należy ustawić względny początek układ współrzędnych w naszym punkcie odniesienia, a następnie wprowadzić wartość kąta w polu *da* oraz odległość w polu *dr*.

4.7.4 Wymuszone poruszanie się kursora

Zawężone poruszanie się kursora można ustawić w oknie dialogowym *Ustawienia / Opcje / Edycja*. Zawężone poruszanie się kursora korzysta z następujących wartości:



Δα Trzymając wciśnięty klawisz **[Shift]**, kursor będzie poruszać się wzdłuż linii, która łączy jego bieżącą pozycję z początkiem układu, i która dodatkowo jest pod kątem n*Δα (gdzie całkowita wartość *n* zależy od bieżącej pozycji kursora i oznacza wielokrotność kąta).

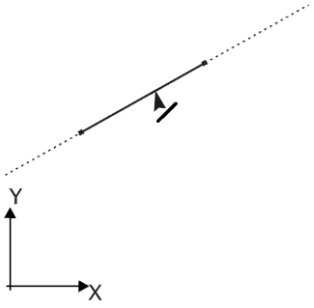
α użytkownika Trzymając wciśnięty klawisz **[Shift]**, kursor będzie poruszać się po linii, która łączy jego bieżącą pozycję z początkiem układu, i która dodatkowo jest pod kątem α lub α+n*90° (gdzie całkowita wartość *n* zależy od bieżącej pozycji kursora i oznacza wielokrotność kąta).
Δα i α można ustawić w *Ustawienia / Opcje / Edycja / Zawężenie wskazania kąta.*

Oznaczenie początku układu współrzędnych zależy od przełączników *d* palety ze współrzędnymi. Wyłączenie obu sprawi, że początek będzie początkiem układu globalnego. Włączenie dowolnego *d* sprawi, że początek będzie początkiem układu lokalnego.

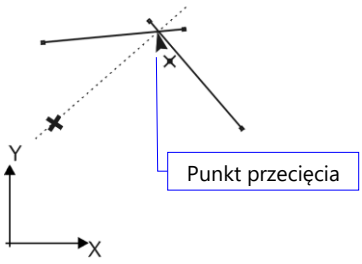
☞ **Zawężenia poruszania się kursora Δα oraz α *użytkownika* nie jest dostępne w widoku perspektywy.**

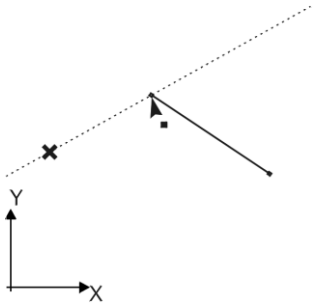
Jeżeli kursor znajduje się nad linią, przytrzymanie klawisza **[Shift]** ograniczy ruch kursora do danej linii i jej przedłużenia.

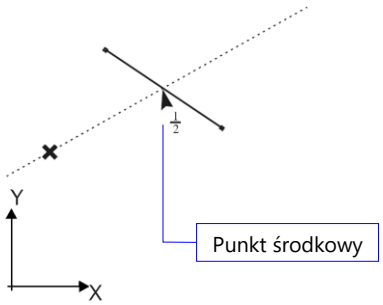
Jeżeli kursor zidentyfikuje punkt, przytrzymanie klawisza **[Shift]** sprawi, że kursor poruszać się będzie wzdłuż prostej zdefiniowanej przez punkt i względny początek układu.

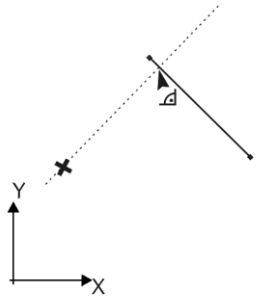


Gdy kursor zidentyfikuje **obszar lub element powierzchniowy**, wciśnięcie klawisza **[Shift]** sprawi, że kursor poruszać się będzie w płaszczyźnie elementu.









Narzędzia geometryczne

Patrz... *2.16.10 Narzędzia geometryczne*

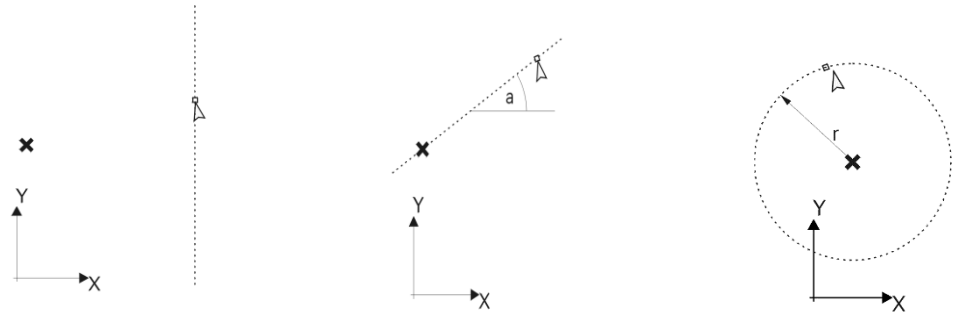
Ikony *Narzędzia geometryczne* umożliwiają zablokowanie kierunku rysowania linii.

4.7.5 Blokowanie współrzędnych

Wartość współrzędnej można zablokować, umożliwiając lepsze pozycjonowanie. Zablokowana współrzędna nie zmieni się podczas ruchu kursora. Współrzędne można zablokować za pomocą odpowiedniej kombinacji klawiszy **[Ctrl + Alt] + [X], [Y], [Z], [L], [R], [A], [B], [H]**.

Czarna ramka wokół pola do wprowadzania współrzędnych wskazuje, że współrzędna jest zablokowana. Aby anulować blokowanie współrzędnej, należy przycisnąć tę samą kombinację przycisków, którą użyto do zablokowania lub nacisnąć **[Alt]+ [Space]**.

Zablokowana współrzędna X *Zablokowany kąt* *Zablokowany promień*

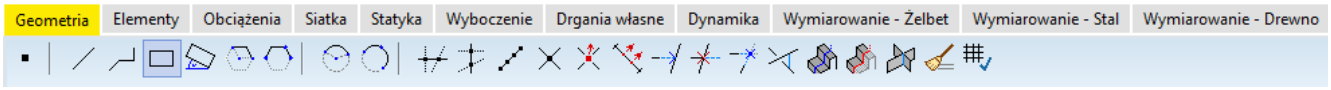


4.7.6 Automatyczne przecięcie

W punkcie przecięcia linii zostanie wygenerowany węzeł, a linie zostaną przecięte. Jeżeli elementy powierzchniowe zostaną przecięte przez linie, to również zostaną podzielone, a powstałe elementy będą posiadać te same właściwości materiału i przekroju poprzecznego co oryginał. Ustawienia opcji przecinania linii znajdują się w *Ustawienia / Opcje / Edycja / Automatyczne przecięcie*. **Patrz...** *2.16.19.2 Edycja*

Jeżeli opcja *Automatyczne przecięcie* jest włączona, elementy powierzchniowe w razie potrzeby będą dzielone na mniejsze powierzchnie, a nowe elementy przejmą właściwości i obciążenia pierwotnego elementu.

4.8 Pasek narzędzi geometrii



Za pomocą tych poleceń tworzy się nową geometrię lub zmienia już istniejącą.

☞ **Podczas pracy z fragmentami i przy włączonej opcji** *Ustawienia / Opcje / Edycja / Automatyczne / Zarządzanie fragmentem,* **wszystkie nowo utworzone obiekty geometryczne zostaną dodane do aktywnych fragmentów.**

Obiekty geometryczne można zaznaczyć także przed wybraniem polecenia edycyjnego (np. *Podziel linię*).

4.8.1 Węzeł (Punkt)

Umożliwia wstawienie nowych węzłów lub zmodyfikowanie już istniejących.
Aby wstawić węzeł:

1. Przesuń kursor do żądanej lokalizacji i naciśnij klawisz **[Space]** lub lewy przycisk myszy (w widoku perspektywy węzły można umieszczać tylko w lokalizacjach specjalnym).
2. Wprowadź współrzędne węzła numerycznie w oknie współrzędnych, a następnie naciśnij klawisz **[Space]** lub **[Enter]** (działa we wszystkich widokach).

Węzeł można umieścić także na linii lub powierzchni. Jeżeli zaznaczone jest pole wyboru *Ustawienia / Opcje / Edycja / Automatyczne przecięcie*, linia lub powierzchnia zostaną podzielone przez nowy węzeł, w przeciwnym wypadku pozostanie on niezależny od linii.

☞ **Jeżeli węzły zostały wygenerowane bliżej siebie niż tolerancja określona w** *Ustawienia / Opcje / Edycja / Wartość tolerancji edycji,* **węzły zostaną połączone.**

Podczas pracy z fragmentami przy włączonej opcji *Ustawienia / Opcje / Edycja / Automatyczne / Zarządzanie fragmentem,* **wszystkie nowo utworzone obiekty geometryczne zostaną dodane do aktywnych fragmentów.**

4.8.2 Linia

Narzędzie *Linia* służy do tworzenia linii lub innych prostych kształtów. Typ linii można wybrać klikając na strzałkę w prawym dolnym rogu ikony narzędzi Linii, a następnie klikając na żądaną ikonę Linii.

Narzędzie *Linia* oferuje następujące opcje, umożliwiające rysowanie prostych kształtów:

Linia

Tworzy linie proste przez zdefiniowanie ich punktów końcowych (węzłów). Punkty końcowe (węzły) należy określić graficznie lub numerycznie (poprzez okno współrzędnych). Polecenie umożliwia wygenerowanie jednej lub większej liczby niezależnych linii. Operację można anulować przyciskając klawisz **[Esc]** lub prawy przycisk myszy.
W widoku perspektywy linie domyślnie rysowane są na płaszczyźnie Z=0. Aby narysować linie w perspektywie w innej płaszczyźnie, można wykorzystać płaszczyzny robocze.
Patrz... *2.16.7 Płaszczyzny robocze*

Polilinia

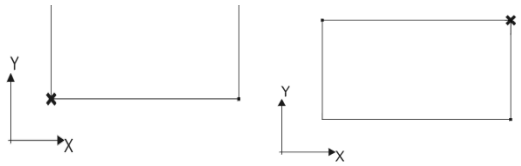
Tworzy ciąg połączonych prostych linii (polilinię). Należy określić jej wierzchołki.

Bieżącą polilinię można zakończyć naciskając:

1. klawisz **[Esc]**
2. klawisz **[Esc]** drugi raz, aby wyjść z trybu rysowania polilinii.
3. prawy przycisk oraz *Szybkie Menu / Anuluj*
4. lewy przycisk wskazując na ostatni punkt (węzeł) bieżącej polilinii.

Prostokąt

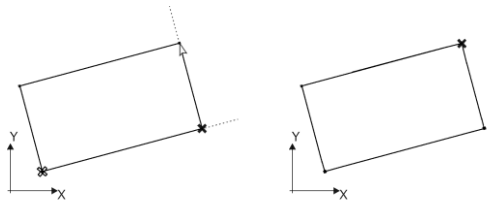
Tworzy prostokąt (jego punkty narożne (węzły) oraz linie krawędziowe). Użytkownik musi określić dwa przeciwległe punkty narożników.



Po określeniu pierwszego narożnika można anulować polecenie przyciskając klawisz **[Esc]**. To polecenie nie jest dostępne w widoku perspektywy.

Prostokąt nachylony

Tworzy prostokąt nachylony (jego punkty narożne (węzły) oraz linie krawędziowe). Użytkownik musi określić jeden z jego boków (poprzez jego punkty końcowe), a później drugi bok.



Po określeniu pierwszego narożnika można anulować polecenie przyciskając klawisz **[Esc]**. W widoku perspektywy prostokąty nachylone można rysować tylko przy pomocy istniejących punktów.

Wielokąt

W oknie dialogowym należy zdefiniować liczbę boków. Aby zdefiniować wielokąt, należy wprowadzić punkt środkowy i 2 punkty wielokąta.

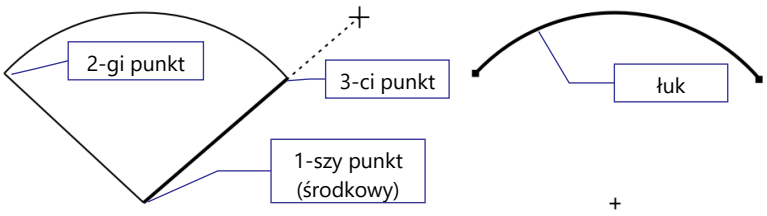
Wielokąt

W oknie dialogowym należy zdefiniować liczbę boków. Aby zdefiniować wielokąt należy wprowadzić 3 punkty łuku.

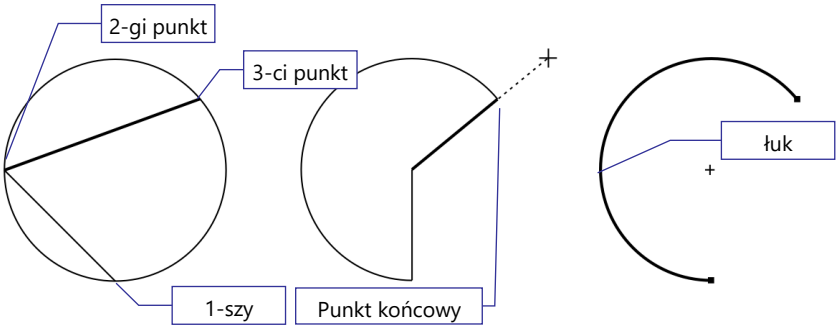
4.8.3 Łuk

Rysuje łuk lub okrąg. Łuki i okręgi wyświetlane są jako wielokąty zgodnie z rozdzielczością łuku w *Ustawienia / Preferencje / Wyświetl.*
Klawisz **[Esc]** anuluje polecenie.

Definiowanie łuku na podstawie jego promienia oraz punktu początkowego i końcowego.

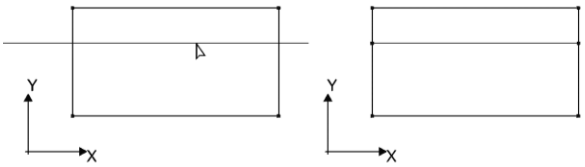


Definiowanie łuku na podstawie trzech punktów. To polecenie można zastosować także w ustawieniach perspektywy.



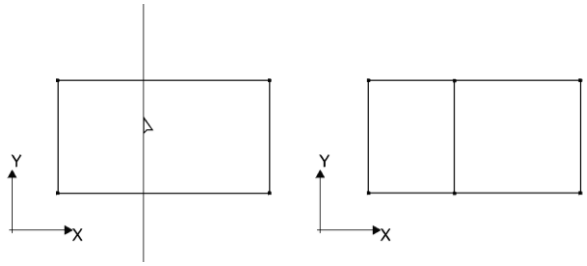
4.8.4 Podział poziomy

Ta funkcja tworzy poziomą prostą podziału przechodzącą przez pozycję kursora. Prosta ta znajduje się na płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny X-Y, X-Z lub Y-Z, w zależności od aktualnego widoku (lub równoległej do płaszczyzny roboczej, jeżeli jest użyta). W punktach przecięcia prostą utworzone zostają nowe węzły. Jeżeli zostają przecięte elementy skończone, nowe elementy zachowują właściwości i obciążenia oryginalnego elementu.



4.8.5 Podział pionowy

Ta funkcja tworzy pionową prostą podziału przechodzącą przez pozycję kursora. Prosta ta znajduje się na płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny X-Y, X-Z lub Y-Z, w zależności od aktualnego widoku (lub równoległej do płaszczyzny roboczej, jeżeli jest użyta). W punktach przecięcia prostą utworzone zostają nowe węzły. Jeżeli zostają przecięte elementy skończone, nowe elementy zachowują właściwości i obciążenia oryginalnego elementu.

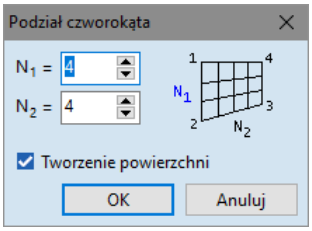


4.8.6 Podział czworokąta / trójkąta

Widoczność tych ikon jest sterowana przez opcję *Ustawienia / Preferencje / Pasek narzędzi / Pokaż na pasku przestarzałe polecenia dla elementów powierzchniowych*.
Tworzy siatkę czworokątów / trójkątów na czworokącie lub trójkącie. Można użyć tego polecenia, aby wygenerować makro siatkę przed zastosowaniem polecenia generowania siatki elementów skończonych. Jeżeli siatka jest wystarczająco dokładna, można użyć jej bezpośrednio jako siatkę elementów skończonych.
Zaznaczenie opcji *Tworzenie powierzchni* spowoduje bezpośrednie utworzenie skończonych elementów siatki.

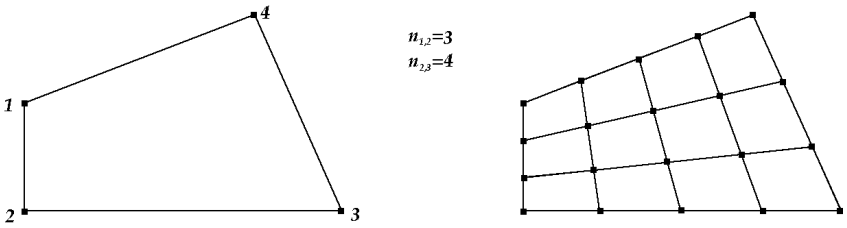
Czworokąt na czworokąty

Generuje siatkę *n*×*m* pomiędzy wierzchołkami czworokąta 3D (niekoniecznie płaskiego). W tym celu należy po kolei, graficznie wybrać narożniki (cztery punkty) i określić liczbę segmentów ($N_1 \geq 1$) pomiędzy narożnikami 1 i 2 oraz liczbę segmentów ($N_2 \geq 1$) pomiędzy narożnikami 2 i 3.



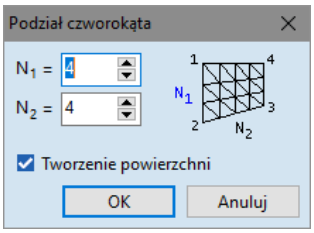
Czworokąt oraz siatka wyświetlane są za pomocą ciągłych szarych linii.

Jeżeli siatkowanie doprowadzi do utworzenia prostokątnych podpodziałów, które są zniekształcone (jeden z ich kątów jest mniejszy niż 30° lub większy niż 150°), czworokąt wyświetlony zostanie za pomocą szarych przerywanych linii.
Jeżeli wprowadzono niedozwolony kształt czworokąta (np. wklęsły), czworokąt wyświetlany jest za pomocą czerwonych przerywanych linii.



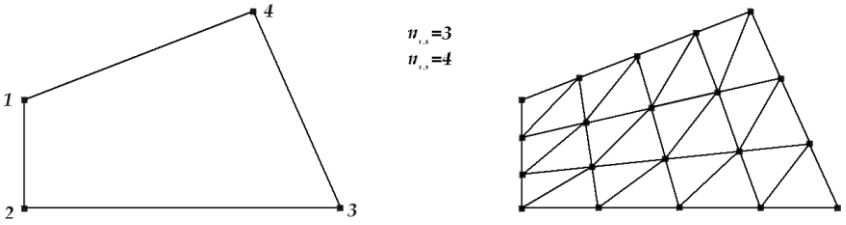
Czworokąt na trójkąty

To polecenie jest podobne do polecenia *Czworokąt na czworokąty*, ale w tym wypadku każdy wygenerowany czworokąt dzielony jest na dwa trójkąty poprzez jego krótszą przekątną.
Czworokąt oraz siatka wyświetlane są za pomocą ciągłych szarych linii.



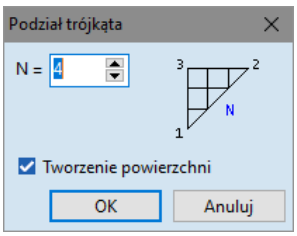
Jeżeli siatkowanie doprowadzi do utworzenia trójkątnych podpodziałów, które są zniekształcone (jeden z ich kątów jest mniejszy niż 15° lub większy niż 165°), czworokąt wyświetlony zostanie za pomocą szarych przerywanych linii.

Jeżeli wprowadzany jest niedozwolony kształt czworokąta (np. wklęsły), zostanie on wyświetlony za pomocą czerwonych przerywanych linii.



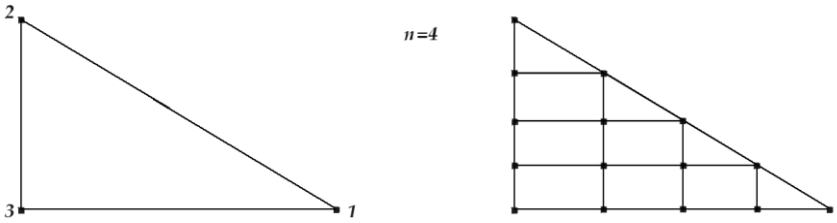
Trójkąt do czworokątów

Tworzy siatkę pomiędzy narożnikami trójkąta (niekoniecznie z liniami bocznymi). Siatka będzie zawierać również trójkąty wzdłuż boku, który odpowiada dwóm narożnikom wprowadzonym jako pierwsze.
Należy po kolei graficznie wybrać narożniki (trzy punkty) i określić liczbę segmentów *N* pomiędzy narożnikami.



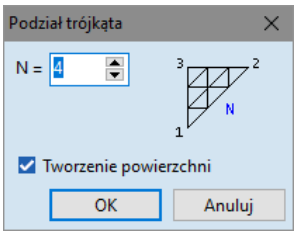
Trójkąt oraz siatka wyświetlane są za pomocą ciągłych szarych linii.

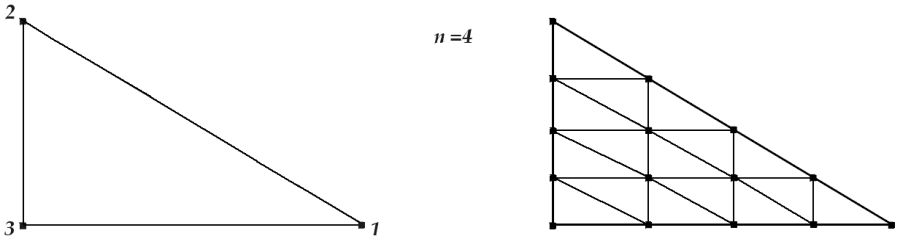
Jeżeli siatkowanie doprowadzi do utworzenia prostokątnych podpodziałów, które są zniekształcone (jeden z ich kątów jest mniejszy niż 30° lub większy niż 150°) lub trójkątnych podpodziałów, które są zniekształcone (jeden z ich kątów jest mniejszy niż 15° lub większy niż 165°), trójkąt wyświetlony zostanie za pomocą szarych przerywanych linii.
Jeżeli wprowadzany jest niedozwolony kształt trójkąta (np. trzy współliniowe narożniki), zostanie on wyświetlony za pomocą czerwonych przerywanych linii.



Trójkąt do trójkątów

To polecenie jest podobne do polecenia *Trójkąt do czworokątów*, ale w tym wypadku każdy wygenerowany czworokąt dzielony jest na dwa trójkąty przez jego przekątne, które są równoległe do pierwszego wprowadzonego boku.
.



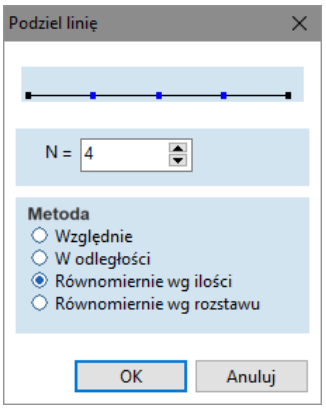


4.8.7 Podziel linię

Umożliwia utworzenie nowych punktów (węzłów) na wybranych liniach.
Dostępne są następujące opcje do wprowadzenia:

Względnie: Umożliwia podzielenie wybranych linii na dwa odcinki. Należy określić parametr *a* lokalizacji wstawianego węzła względem węzła pierwszego (*i*). Parametr *a* musi znajdować się w przedziale pomiędzy 0 i 1. Wartość *a*=0.5 odpowiada podziałowi wybranych linii na dwa równe odcinki.

W odległości: Umożliwia podział wybranych linii na dwa odcinki. Należy określić długość *d* odcinka, odnoszącą się do odległości od pierwszego węzła (*i*). Parametr *d* musi znajdować się w przedziale pomiędzy 0 a całkowitą długością linii.



Równomiernie wg ilości: Umożliwia podział wybranych linii na kilka równych odcinków. Należy określić liczbę tych odcinków (N).

Równomiernie wg rozstawu: Umożliwia podział wybranych linii na kilka równych odcinków. Należy określić przybliżoną długość tych odcinków (d).

przed podziałem

po podziale

Jeżeli elementy skończone zostają podzielone, nowe elementy przejmują właściwości i obciążenia pierwotnych elementów.

☞ **Jeżeli podzielone zostaną krawędzie powierzchni, to elementy powierzchniowe zostaną usunięte.**

4.8.8 Punkt przecięcia

Jeżeli podczas wprowadzania geometrii układu nie była zaznaczona opcja w oknie dialogowym *Ustawienia / Opcje / Edycja... / Automatyczne / Przecięcie*, to za pomocą tego polecenia można wstawić punkt przecięcia dla wybranych linii. Polecenie *Punkt przecięcia* może być użyte w oknie dialogowym z odpowiednim filtrem wg typu elementów do przecięcia.
Dzieli ono wybrane linie tworząc węzły (punkty) w ich punktach przecięć.
Jeżeli do linii przypisane są elementy skończone, to także zostaną podzielone i przejmą właściwości oraz obciążenia pierwotnego elementu.

☞ **Elementy, które mają zostać przecięte można wybrać wcześniej.**

4.8.9 Skasuj węzeł

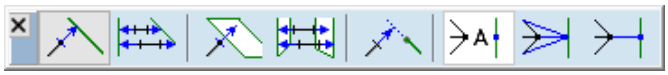
Usuwa wybrane węzły w punktach przecięć linii. Opcja ta ułatwia tworzenie krzyżujących się prętów kratowych, które nie przecinają się (np.: przy modelowaniu stężeń wiotkich) lub usuwanie niepotrzebnych punktów podziału wzdłuż linii.

☞ **Węzły w punktach przecięć można usunąć tylko, jeżeli liczba połączonych linii jest parzysta, a linie mogą zostać scalone.**

4.8.10 Usuń węzły pośrednie

Usuwa niepotrzebne węzły pośrednie na elementach liniowych. Dany węzeł zostanie usunięty pod warunkiem, że dwie dochodzące do niego linie będą mogły zostać scalone.

4.8.11 Wydłuż linie



Wydłuża istniejące proste linie lub łuki do przecięcia z inna linią, łukiem lub płaszczyzną.

Tryby wydłużania

Wydłuż linie
W pierwszym kroku należy określić granicę wydłużenia poprzez kliknięcie w istniejącą linię, łuk albo wskazując 2 punkty myślowo utworzonej linii granicy. Następnie wystarczy kliknąć w linię w pobliżu jej zakończenia, aby ją wydłużyć.

Wydłuż linie do kilku linii

W pierwszym kroku należy określić jedną lub kilka granic wydłużenia poprzez kliknięcie w istniejące linie lub łuki. Po zatwierdzeniu wyboru za pomocą OK na pasku selekcji lub [ENTER], należy wybrać jedną lub wiele linii do wydłużenia i zatwierdzić OK na pasku selekcji lub [ENTER].

Wydłuż linie do płaszczyzny
W pierwszym kroku należy określić płaszczyznę graniczną poprzez kliknięcie istniejącego obszaru lub wskazanie trzech niewspółliniowych punktów tworzących myślową płaszczyznę. Następnie trzeba kliknąć w linie w pobliżu jej zakończenia do wydłużenia.

Wydłuż linie do kilku płaszczyzn
W pierwszym kroku należy wskazać kilka obszarów ograniczających. Po zatwierdzeniu wyboru za pomocą OK na pasku selekcji lub [ENTER], należy wybrać jedną lub wiele linii do wydłużenia i zatwierdzić OK na pasku selekcji lub [ENTER].

Ustawienia

Wydłużaj linie także do przecięcia pozornego
Ten przycisk posiada dwa tryby. Gdy przycisk jest włączony (tło podświetlone na biało) linie będą wydłużane nawet, gdy punkt przecięcia wypadnie poza odcinkiem granicznym (wyznaczonym przez punkt początkowy i końcowy). Gdy przycisk jest wyłączony (tło przycisku niebieskie) to linie będą wydłużane tylko, gdy punkt przecięcia wypadnie wewnątrz odcinka granicznego.

Ostatnie trzy przyciski ustawień sterują zachowaniem linii dochodzącej do punktu wydłużenia.

Przesuwaj wolny koniec lub wstawiaj dodatkowy odcinek, gdy dochodzą inne elementy
Program automatycznie wybiera jedną z tych dwóch opcji. Jeżeli linia po stronie swojego wydłużanego zakończenia nie ma żadnych innych dochodzących linii, to jej węzeł zostanie przesunięty do punktu przecięcia. W przeciwnym razie zostanie wstawiona dodatkowa linia pomiędzy węzłami.

Przesuwaj koniec linii
Węzeł po stronie wydłużanej będzie zawsze przesuwany razem ze wszystkimi dochodzącymi liniami. Oznacza to, że kąt pozostałych linii dochodzących do przesuwanego węzła po tej operacji ulegnie zmianie.

Wstawiaj dodatkowe odcinki
Węzeł po stronie wydłużanej nie będzie przesuwany. Pomiędzy znalezionym punktem przecięcia a wspomnianym węzłem zostanie wstawiona nowa linia (uciąglenie). Pozostałe linie dochodzące do węzła po stronie wydłużanej pozostaną niezmienione.

4.8.12 Dotnij linie

Docina istniejące proste linie lub łuki do przecięcia z inna linią, łukiem lub płaszczyzną.

Tryby docinania

Dotnij linie
W pierwszym kroku należy określić granicę docięcia poprzez kliknięcie w istniejącą linię, łuk albo wskazując 2 punkty myślowo utworzonej linii granicy. Następnie wystarczy kliknąć w segment linii do usunięcia.

Dotnij linie do kilku linii
W pierwszym kroku należy określić jedną lub kilka granic docięcia poprzez kliknięcie w istniejące linie lub łuki. Po zatwierdzeniu wyboru za pomocą OK na pasku selekcji lub [ENTER], należy wybrać jedną lub wiele linii do docięcia, zatwierdzić OK na pasku selekcji lub [ENTER] i wskazać stronę linii tnącej, po której mają zostać usunięte segmenty linii.

Dotnij linie do płaszczyzny
W pierwszym kroku należy określić płaszczyznę graniczną poprzez kliknięcie istniejącego obszaru lub wskazanie trzech niewspółliniowych punktów tworzących myślową płaszczyznę tnącą. W ostatnim kroku należy kliknąć w docinaną linię po stronie segmentu, który ma zostać usunięty.

Dotnij linie do kilku płaszczyzn
W pierwszym kroku należy wskazać kilka obszarów ograniczających, tworzących płaszczyznę tnącą. Po zatwierdzeniu wyboru za pomocą OK na pasku selekcji lub [ENTER], należy wybrać jedną lub wiele linii do docięcia i zatwierdzić OK na pasku selekcji lub [ENTER]. Ostatnim krokiem jest wskazanie strony dla płaszczyzn tnących, po której mają zostać usunięte segmenty linii.

Ustawienia

Docinaj linie także do przecięcia pozornego
Ten przycisk posiada dwa tryby. Gdy przycisk jest włączony (tło podświetlone na biało) linie będą docinane nawet, gdy punkt przecięcia wypadnie poza odcinkiem granicznym (wyznaczonym przez punkt początkowy i końcowy). Gdy przycisk jest wyłączony (tło przycisku niebieskie) to linie będą docinane tylko, gdy punkt przecięcia wypadnie wewnątrz odcinka granicznego.

Ostatnie trzy przyciski ustawień sterują zachowaniem linii dochodzącej do punktu docinania.
Docięta linia zawsze otrzymuje nowy punkt końcowy w punkcie docięcia.

Przesuwaj wolny koniec lub usuwaj dodatkowy odcinek, gdy dochodzą inne elementy
Program automatycznie wybiera jedną z tych dwóch opcji. Jeżeli linia po stronie swojego docinanego zakończenia nie ma żadnych innych dochodzących linii, to jej węzeł zostanie przesunięty do punktu przecięcia. W przeciwnym razie jej segment pomiędzy tymi węzłami zostanie usunięty (bez przesuwania pierwotnego punktu końcowego).

Przesuwaj koniec linii
Węzeł po stronie docinanej będzie zawsze przesuwany do punktu przecięcia razem ze wszystkimi dochodzącymi liniami. Oznacza to, że kąt pozostałych linii dochodzących do przesuwanego węzła po tej operacji ulegnie zmianie.

Usuwaj dodatkowe odcinki
Pierwotny punkt końcowy i dochodzące do niego pozostałe linie pozostaną niezmienione.

4.8.13 Znajdź punkt przecięcia i dopasuj

Wydłuża istniejące proste linie lub łuki do przecięcia z inna linią, łukiem lub płaszczyzną.

Tryby dopasowania

Znajdź punkt przecięcia dwóch linii i dopasuj
Wydłuża lub skraca kolejno wybierane pary linii do ich punktu przecięcia.

Znajdź punkt przecięcia wielu linii i dopasuj je z pierwszą linią
Wydłuża lub skraca kolejno wybierane linie do ich punktu przecięcia z pierwszą z nich.

Ustawienia

Następne dwa polecenia na pasku służą do sterowania zachowaniem się łuków, gdzie może być więcej niż jeden punkt przecięcia.

Wydłuż koniec łuku bliższy przecięcia
Program zawsze będzie wybierał zakończenie znajdujące się bliżej punktu przecięcia.

Kliknij aby wybrać koniec łuku do wydłużenia
Przy tej opcji użytkownik będzie każdorazowo wskazywał zakończenie do wydłużenia.

Ostatnie trzy przyciski ustawień sterują zachowaniem linii dochodzących do punktu wydłużenia. **Patrz...** *4.8.11 Wydłuż linie*

4.8.14 Najkrótsza linia łącząca

Tworzy najkrótszą linię łączącą pomiędzy dwoma liniami.

4.8.15 Przetnij obiekty płaszczyzną

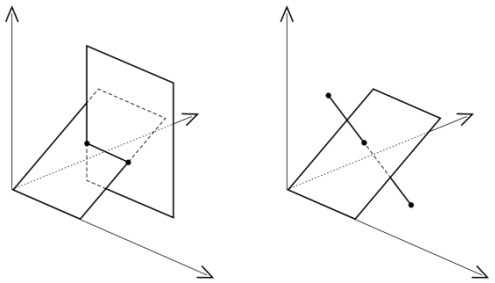
Po zdefiniowaniu płaszczyzny przecinającej, do modelu zostaną dodane linie oraz węzły przecięcia. Obszary, pręty oraz żebra zostaną podzielone.

4.8.16 Utnij obiekty płaszczyzną i usuń półprzestrzeń

Ta operacja przebiega podobnie do operacji *Przetnij obiekty płaszczyzną* z tą różnicą, że po zdefiniowaniu płaszczyzny można wybrać półprzestrzeń. Elementy w obrębie tej półprzestrzeni zostaną usunięte.

4.8.17 Linie przenikania obszarów

Tworzy linie przecięć obszarów i elementów liniowych. Po kliknięciu na przycisk polecenia należy wybrać obszary lub obszar i linie, aby utworzyć ich przecięcia.



4.8.18 Wyczyść z niepotrzebnych linii i węzłów

Polecenie to usuwa węzły nie połączone z żadnym elementem (liniowym, powierzchniowym, podporą itd.) oraz linie bez przypisanych cech elementu. Opcje dodatkowe:

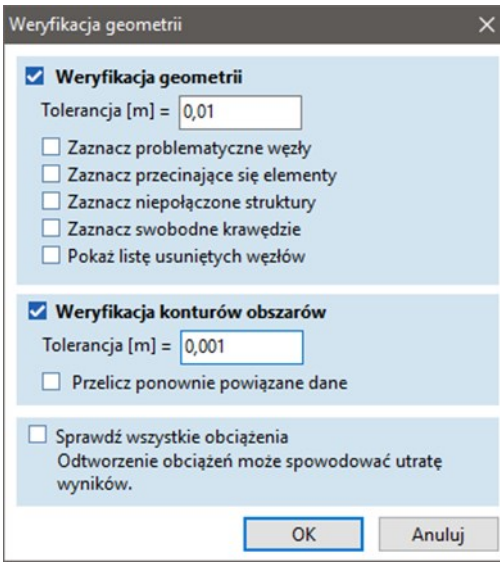
Z zaznaczenia: Zweryfikowane zostaną tylko zaznaczone węzły i linie.

Sprawdź również węzły i linie wewnątrz obszarów: W celu prawidłowego pokierowania algorytmem siatkowania na obszarze, na którym zostało przyłożone obciążenie niezależne od siatki, mogą zostać utworzone dodatkowe linie i węzły.
Samo usunięcie siatki nie usuwa tych węzłów i linii. Ponieważ nie mają one żadnej innej fizycznej roli w modelu, są one również wykrywane podczas czyszczenia. Odznaczenie tej opcji spowoduje ich zachowanie.

Wybierz, ale nie usuwaj: Niepotrzebne linie i węzły zostaną tylko zaznaczone, ale nie usunięte.

4.8.19 Weryfikacja geometrii

Polecenie służy do znajdowania niepołączonych lub zdublowanych węzłów i linii w zadanej wartości *Tolerancji*. Węzły w odległości mniejszej niż określona wartość tolerancji uważane są za zdublowane.



Zaznacz problematyczne węzły

Jeżeli włączono tę opcję, to węzły w odległości mniejszej niż wartość podanej wyżej tolerancji zostaną wybrane. Jeżeli opcja jest nieaktywna, to węzły te zostaną usunięte i utworzone zostaną nowe węzły o uśrednionych współrzędnych. Polecenie wyświetla liczbę połączonych węzłów/linii.

Zaznacz przecinające się elementy

Włączona opcja spowoduje zaznaczenie wszystkich przecinających się (krzyżujących) elementów, które nie mają wspólnego węzła w punkcie przecięcia.

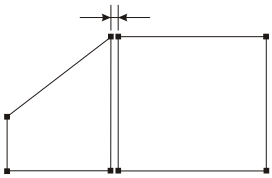
Zaznacz niepołączone struktury

Włączenie tej opcji wyświetli ostrzeżenie w komunikacie weryfikacji geometrii, jeżeli na modelu istnieją linie lub węzły niepołączone z resztą konstrukcji.

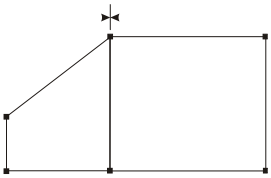
Zaznacz swobodne krawędzie

Opcja ta pozwala wyświetlić wszystkie swobodne krawędzie, czyli należące tylko do jednego elementu powierzchniowego. Polecenie to pozwala odszukać np. krawędzie należące do dwóch przylegających obszarów, których siatki nie są ze sobą powiązane ze względu na jakiś problem z edycją.

Jeżeli zaznaczono opcję *Pokaż listę usuniętych węzłów* to wyświetlona zostanie lista z numerami węzłów usuwanych, znalezionych jako problematyczne w określonej tolerancji. Linie dochodzące do tych węzłów zostaną zastąpione przez pojedyncze linie dochodzące do nowego węzła.



przed weryfikacją



po weryfikacji

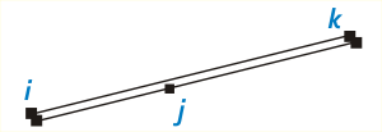
Weryfikacja konturów obszarów

Jeżeli jest zaznaczona, to program usunie zygzaki z sąsiadujących elementów prostych konturów obszarów. Odstępstwo od linii prostej musi znajdować się poniżej wartości tolerancji.

Sprawdź wszystkie obciążenia

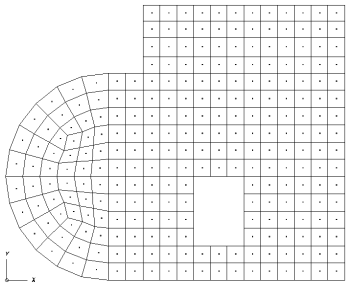
Polecenie to odtwarza wszystkie obciążenia, które są zależne od geometrii (jak np. obciążenie powierzchniowe rozłożone na pręty lub obciążenie paneli obciążeniowych). Odbudowa obciążeń może spowodować utratę wyników.

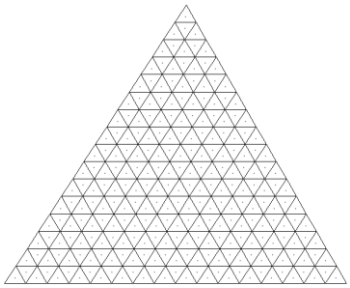
☞ **Przypadek, gdy odcinek i-j pokrywa się z odcinkami i-k oraz k-j, nie jest rozpoznawany przez polecenie** *Weryfikacja***.**
Aby uniknąć takich ukrytych linii, należy modelować z włączoną opcją *Ustawienia / Opcje / Edycja / Automatyczne / Przecięcie* **lub kliknąć na polecenie** *Punkt przecięcia* **na pasku narzędzi** *Geometria* **i zaznaczyć obiekty.**



4.8.20 Powierzchnia

W każdym przypadku, kiedy użytkownik chce projektować powierzchnie (płyty, tarcze lub powłoki), należy stworzyć siatkę, która składa się z trójkątów lub/oraz płaskich wypukłych czworokątów. Siatkę można poprawiać poprzez jej zagęszczanie.
Wprowadzenie obszarów i automatycznego siatkowania spowodowało, że ta metoda stała się przestarzała.





Polecenie wyszukuje wszystkie trójkąty i czworokąty w wybranej siatce linii. Stosując to polecenie należy wybrać wszystkie krawędzie powierzchniowe. Liczba wykrytych powierzchni zostanie wyświetlona w oknie informacyjnym.
Wykryte powierzchnie są powierzchniami geometrycznymi, ale nie są jeszcze powierzchniowymi elementami skończonymi. Można utworzyć z nich powierzchniowe elementy skończone przypisując im właściwości materiału i przekroju poprzecznego.

☞ **Czworokąty muszą być płaskie. Program AxisVM uwzględnia tylko te powierzchnie, których odchylenie z ich płaszczyzny jest mniejsze od wartości tolerancji wprowadzonej w** *Ustawienia / Opcje / Edycja/ Tolerancja edycji.*

4.8.21 Modyfikuj, przekształć

Umożliwia modyfikowanie istniejących obiektów geometrycznych
Aby modyfikować węzły lub linie:

1. Ustaw kursor na węźle / linii / środku elementu powierzchniowego.
2. Trzymając wciśnięty lewy przycisk myszy, przeciągnij węzeł / linię / powierzchnię.
3. Przeciągnij węzeł / linię / powierzchnię na nową pozycję lub wprowadź nowe współrzędne w oknie współrzędnych, a następnie naciśnij **[Enter]** lub ponownie wciśnij lewy przycisk myszy.

☞ **Jeżeli wybrano wiele węzłów i / lub linii, pozycja ich wszystkich zostanie zmodyfikowana.**

Szybka modyfikacja: Kliknięcie na węzeł otwiera Przeglądarkę tabel, gdzie można wprowadzić nowe wartości współrzędnych. Jeżeli wybrano wiele węzłów, kliknięcie na jeden z nich sprawi, że wszystkie wybrane węzły zostaną wyświetlone w tabeli.

Przesunięcie wybranych węzłów na tę samą płaszczyznę: Jeżeli płaszczyzna jest płaszczyzną globalną to łatwo można przesunąć wybrane węzły na tę płaszczyznę

1. Kliknij w jeden z wybranych węzłów.
2. Wybierz całą kolumnę odpowiedniej współrzędnej.
3. Użyj opcji *Edytuj / Ustaw bieżącą wartość*, aby ustawić wspólną wartość współrzędnych.

Korzystanie z paska podręcznego

W zależności od typu przeciągniętego elementu, na ekranie zostanie wyświetlony odpowiedni pasek podręczny. Jego pozycję można ustawić w *Ustawienia / Preferencje / Pasek narzędzi.*
Patrz... *3.3.11 Preferencje*

Przeciąganie węzłów

Przeciągnij węzeł z przylegającymi liniami

Przeciągnij węzeł odłączając wybrane linie

Przeciągnij wszystkie przylegające linie

Sfazuj

Zaokrąglij

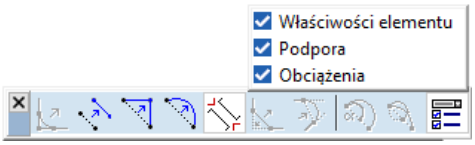
Przedłużanie lub skracanie przylegających łuków

Odłącz kopię węzła

Modyfikuj przylegający łuk ze stałym kątem środkowym

Nowy łuk definiowany jest przez przeciągany węzeł oraz punkt początkowy i środkowy pierwotnego łuku.

Opcja aktywna tylko podczas trybu odłączania. Wyświetla listę właściwości, które mają zostać skopiowane.

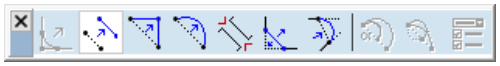


Wprowadzanie współrzędnych węzła: Kliknięcie na węzeł wyświetli tabelę z węzłami, w której można zmieniać współrzędne. Po wybraniu jednego lub większej ilości węzłów, zmiany można również wprowadzać w edytorze właściwości.

Przykłady dopasowywania węzłów do płaszczyzny, jeżeli płaszczyzna ta jest równoległa do jednej z płaszczyzn globalnych:

1. Wybierz węzły, które mają zostać dopasowane.
2. Wprowadź żądaną wartość współrzędnej w edytorze właściwości.

Przeciąganie linii



Zaokrąglij

Przeciągnij linię równolegle do jej pierwotnej pozycji

Przełam linię w danym punkcie dodając węzeł

Przekształć w łuk

Odłącz kopię linii

Przeciągnij linię dociętą równolegle do jej pierwotnej pozycji

Zastąp prostą linię łukiem utworzonym przez styczne do dwóch punktów końcowych.

Patrz *Przeciąganie węzłów*

Modyfikacja łuków

Zaokrąglij

Przeciągnij łuk równolegle do jego pierwotnej pozycji

Przekształć w linię

Zmień promień łuku

Zwiększ / pomniejsz łuk

Odłącz kopię łuku

Patrz *Przeciąganie węzłów*

Transformacje na obiektach

Patrz... *2.16.6 Geometryczne transformacje na* obiektach

4.8.22 Usuń

[Del] Aby uzyskać szczegółowe informacje, **patrz...** *3.2.9 Usuń*

4.9 Elementy skończone

Poniżej opisane zostały polecenia powiązane z definiowaniem elementów skończonych.

W zależności od typu elementu skończonego, należy zdefiniować następujące właściwości:

Właściwości elementów skończonych

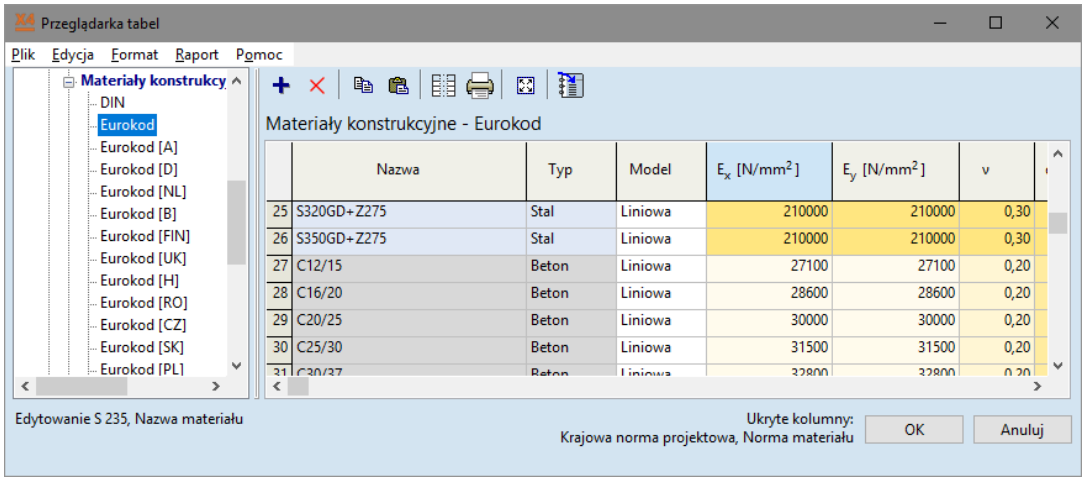
Element skończony	*Materiał*	*Przekrój poprzeczny*	*Odniesienie*	*Sztywność*	*Powierzchnia*
Pręt kratowy	•	•	o		
Pręt	•	•	•	o	
Żebro	•	•	o		
Tarcza	•		•		•
Płyta	•		•		•
Powłoka	•		•		•
Podpora			•	•	
Element sztywny					
Sprężyna			o	•	
Element kontaktowy				•	
Element łączący				•	
Przegub krawędziowy				•	

o: opcjonalnie

Należy zauważyć, że elementy takie jak sprężyny bądź elementy łączące mogą posiadać właściwości nieliniowej sztywności sprężystej, które uwzględniane są tylko w analizie nieliniowej. W analizie liniowej sztywność początkowa uwzględniana jest dla elementu sprężynowego, a w przypadku elementu kontaktowego uwzględniana jest sztywność aktywna lub bierna w zależności od jego początkowej szczeliny.

4.9.1 Materiał

Definicja materiału



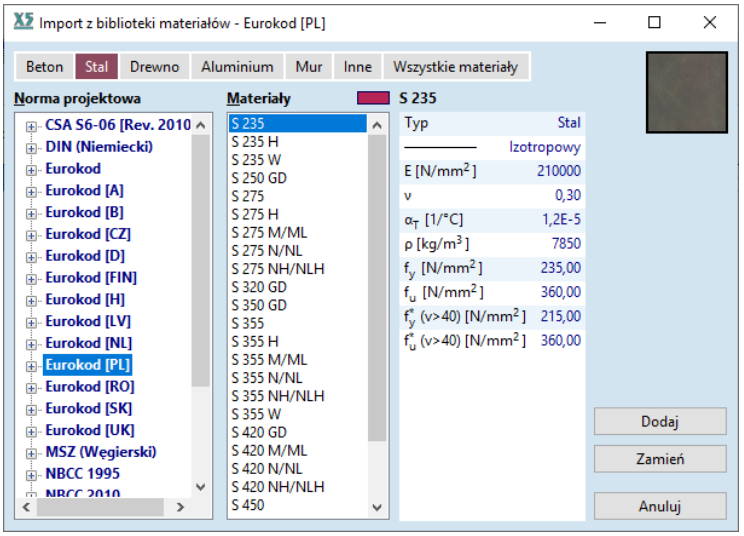
Umożliwia zdefiniowanie i zapisanie zestawów charakterystyk materiałowych oraz wczytanie ich z *Biblioteki materiałów*. Jeżeli materiał zastosowany na modelu zostanie usunięty, to również elementy z tym materiałem zostaną usunięte.

Oznaczanie komórek kolorami i sortowanie **patrz...** *2.9 Przeglądarka tabel*

Przeglądaj bibliotekę materiałów

[Shift+Ctrl+M]

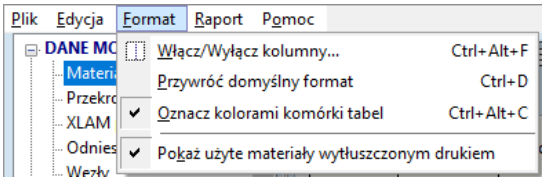
Biblioteka materiałów zawiera charakterystyki materiałowe używane w konstrukcjach budowlanych i inżynierskich, zgodnie z normami Eurokod, DIN, NEN, SIA oraz innymi regulacjami.
Wybierz typ materiału z poziomej listy na górze okna dialogowego, aby odfiltrować listę dostępnych materiałów.



Kliknij przycisk *Dodaj*, aby dodać do tabeli materiałów wskazaną pozycję. Kliknięcie *Zamień* spowoduje podmianę aktualnie wybranego materiału w tabeli.

[Shift]+[Ctrl]+[L]

Włączenie opcji w menu *Format / Pokaż ukryte materiały wytłuszczonym drukiem* pozwala uniknąć usunięcia materiału, który jest w użyciu. Nie-używane materiały na liście mogą zostać łatwo usunięte za pomocą polecenia *Edytuj / Usuń nieużywane materiały*.



☞ **Gdy dany materiał zostanie usunięty, to usunięte zostaną wszystkie elementy z tym przypisanym materiałem.**

Charakterystyki materiałowe

W zależności od typu elementu skończonego, należy zdefiniować następujące właściwości materiałów:

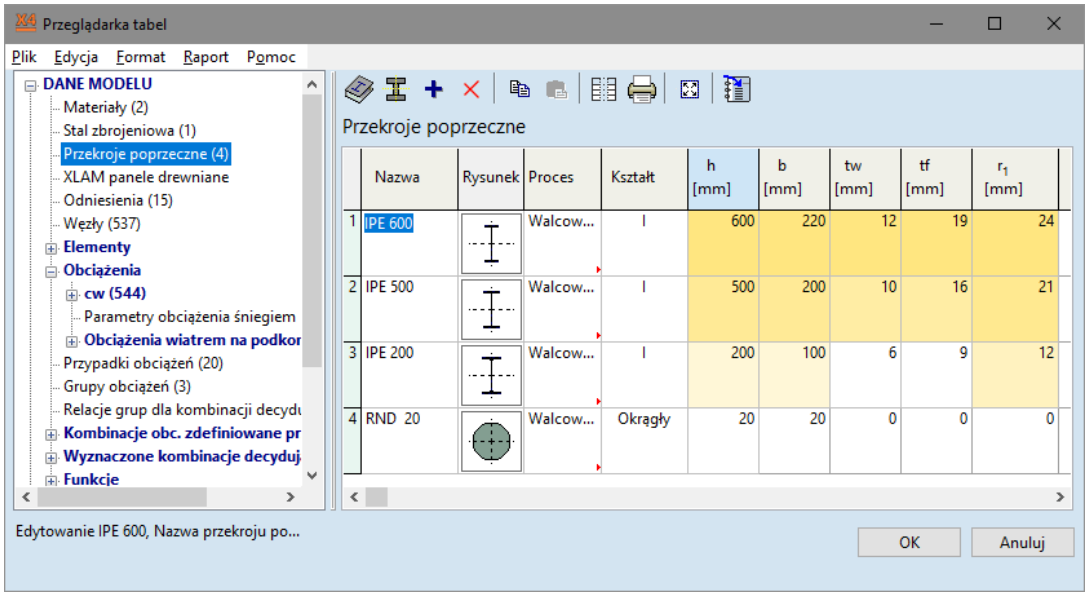
Element skończony	*E*	*ν*	*α*	*ρ*
Pręt kratowy	•		•	•
Pręt	•		•	•
Żebro	•		•	•
Tarcza	•	•	•	•
Płyta	•	•	•	•
Powłoka	•	•	•	•
Podpora				
Element sztywny				
Przepona				
Sprężyna				
Element kontaktowy				
Element łączący				

Wyświetlanie i wprowadzanie zmian do charakterystyk materiałowych zostało opisane w sekcji *3.1.15 Biblioteka materiałów.*

☞ **W programie AxisVM przyjmuje się, że wszystkie materiały są liniowo-sprężyste (Prawo Hooke'a) lub plastyczne, oraz jednolicie izotropowe lub ortotropowe (dla elementów typu pręt, żebro, tarcza, płyta i powłoka).**
Niektóre elementy mogą mieć materiał nieliniowo-sprężysty (pręt kratowy) lub nieliniowo-sprężystą sztywność (podpora, element kontaktowy lub łączący, sprężyna).
Modele materiałów nieliniowych uwzględnia się wyłącznie w analizie nieliniowej.
W analizie liniowej dla elementów nieliniowych uwzględniana jest ich sztywność początkowa.

4.9.2 Przekrój poprzeczny

Definiuj przekrój poprzeczny



Polecenie to pozwala zdefiniować i zapisać przekrój poprzeczny lub wczytać go z biblioteki (**patrz...** *4.9.2.1 Przeglądaj bibliotekę przekrojów poprzecznych*). Przekroje poprzeczne muszą zostać określone i przypisane podczas definicji pręta kratowego, pręta i żebra.

☞ **Gdy przekrój poprzeczny zostanie usunięty z tabeli, to usunięta zostanie również definicja wszystkich elementów, do których dany przekrój był przypisany. Linie nie zostaną usunięte.**
W przypadku edycji właściwości w tabeli, dla każdej z nich należy wprowadzić odpowiednią wartość.

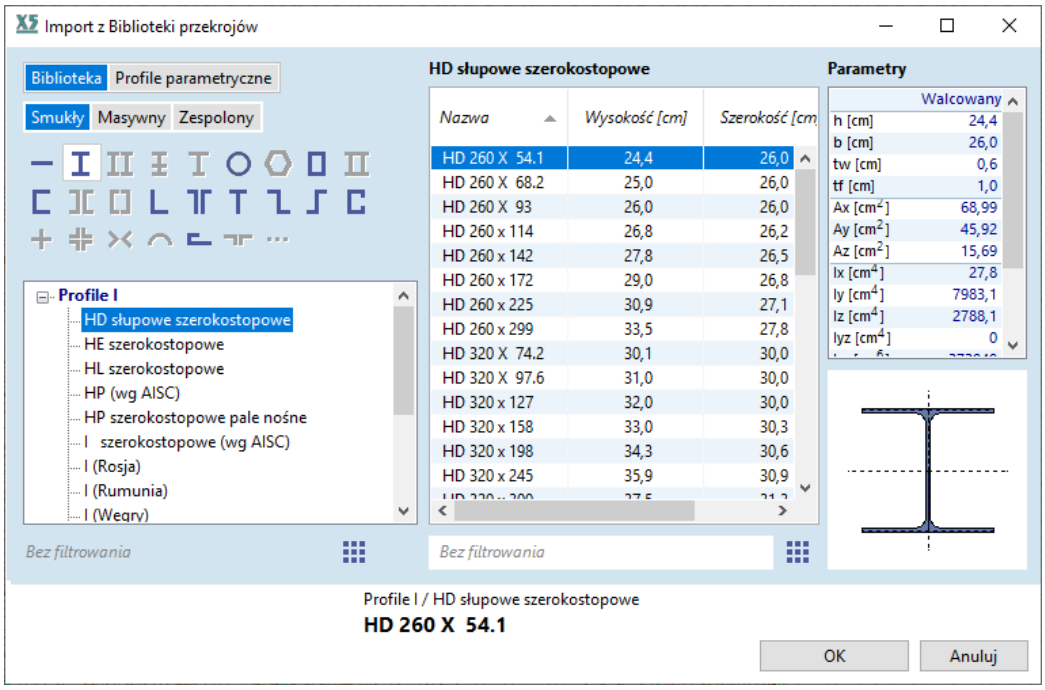
Właściwości przekroju poprzecznego definiowane są w lokalnym układzie współrzędnym pręta kratowego / pręta / żebra.
Właściwości przekrojów poprzecznych **patrz...** *3.1.16 Biblioteka przekrojów poprzecznych*

4.9.2.1 Przeglądaj bibliotekę przekrojów poprzecznych

Przekrój poprzeczny może zostać wczytany z biblioteki lub może zostać zdefiniowany poprzez wprowadzenie jego parametrów geometrycznych na podstawie predefiniowanych kształtów.

Biblioteka

Należy określić, czy chcemy wczytać profile *smukłe*, *masywne* czy *zespolone*, a następnie kliknąć żądany kształt na pasku narzędzi. Drzewko po lewej stronie wyświetli dostępne tabele dla wybranego kształtu.



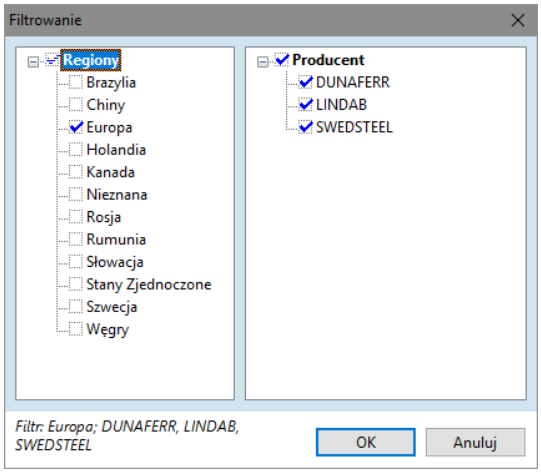
Środkowa lista pokazuje typoszereg wybranej tabeli profili. Kliknięcie w nagłówek tabeli spowoduje posortowanie jej zawartości (nazwa, wysokość, szerokość, pole przekroju) rosnąca lub malejąco. Parametry zaznaczonego profilu i jego rysunek pojawią się po prawej stronie okna dialogowego.
Z klawiszem [Ctrl] lub [Shift] można zaznaczyć większą liczbę wierszy.
Właściwości przekrojów poprzecznych **patrz...** *3.1.16 Biblioteka przekrojów poprzecznych*

☞ **Jeżeli przycisk przedstawiający dany typ kształtownika jest nieaktywny to oznacza, że biblioteka nie zawiera żadnej tabeli z danymi danego przekroju poprzecznego. Jeżeli użytkownik zdefiniuje taką tabelę i ponownie otworzy to okno dialogowe, to przycisk ten będzie aktywny.**

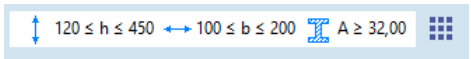
Kliknięcie w przycisk *Zamień*, powoduje nadpisanie wskazanym profilem danych w zaznaczonym aktualnie wierszu tabeli z Przekrojami poprzecznymi w Przeglądarce tabel.
Jeżeli zaznaczono więcej niż jeden profil, to polecenie *Zamień* będzie nieaktywne.
Kliknięcie w przycisk *Dodaj*, powoduje dodanie wskazanego przekroju poprzecznego do tabeli z przekrojami.

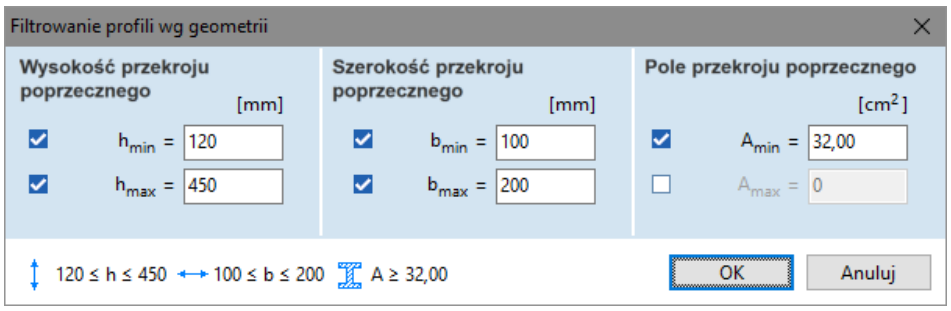
Filtry

Lista z profilami wybranego kształtu może zostać odfiltrowana poprzez atrybut regionu geograficznego lub atrybut producenta. Aby zdefiniować filtr, należy kliknąć w jego przycisk pod drzewkiem po lewej stronie.



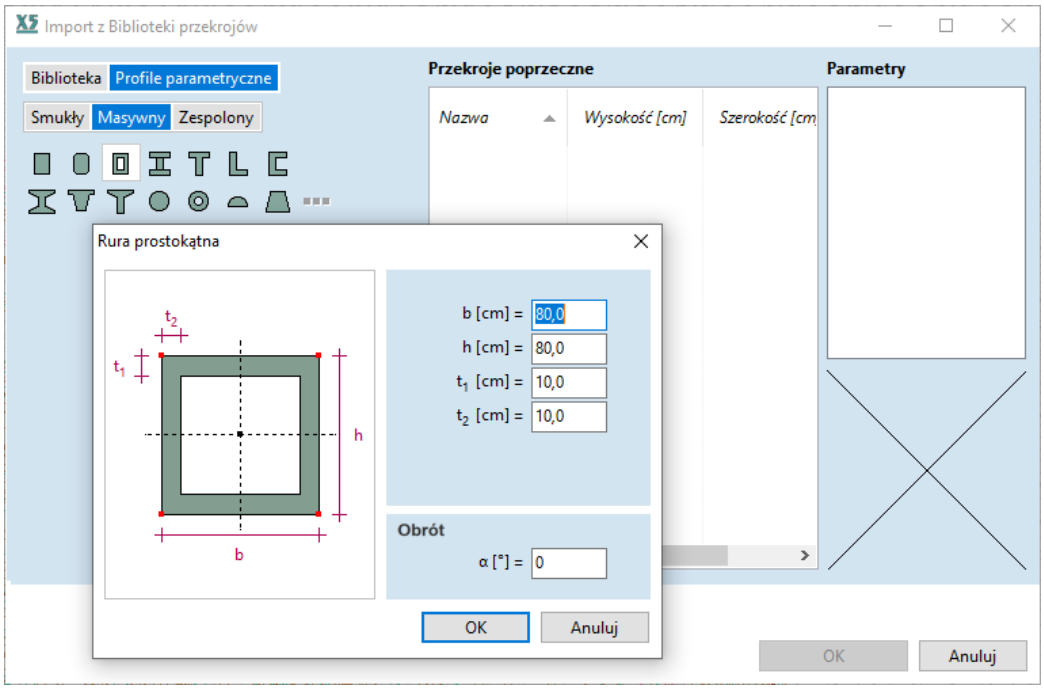
Kolejny przycisk filtru jest umiejscowiony pod listą z typoszeregiem profili. Kliknięcie w niego umożliwia ustawienie żądanego kryterium minimalnej / maksymalnej wysokości, szerokości lub powierzchni przekroju.





Profile parametryczne

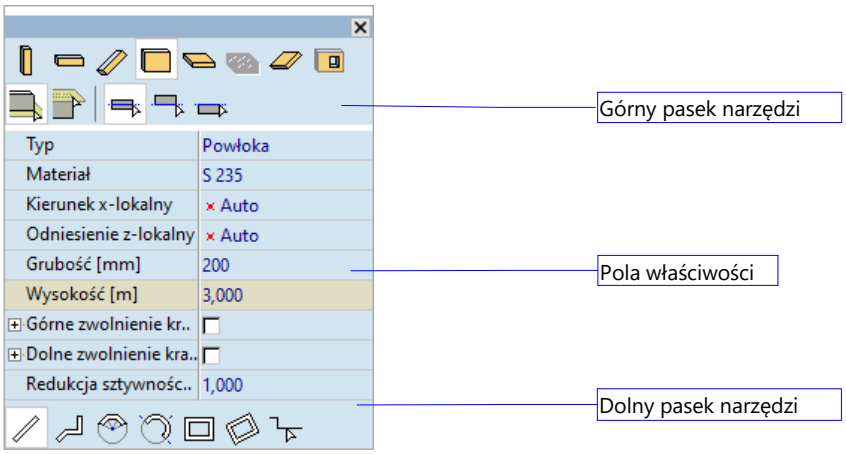
Należy określić, czy chcemy definiować profile *smukłe*, *masywne* czy *zespolone*, a następnie kliknąć żądany kształt na pasku narzędzi, aby otworzyć okno dialogowe. Po ustawieniu parametrów opisujących geometrię przekroju poprzecznego i zatwierdzeniu przyciskiem *OK*, zdefiniowany tak przekrój pojawi się na liście parametrycznych przekrojów poprzecznych.
Podwójne kliknięcie w nazwę, umożliwia edycję jego parametrów. Naciśnięcie klawisza **[Delete]** usuwa zaznaczony przekrój lub przekroje poprzeczne z listy.



Jeżeli na liście znajduje się zdefiniowany tylko jeden przekrój poprzeczny, kliknięcie w przycisk *Zamień* spowoduje nadpisanie nim przekroju w zaznaczonym aktualnie wierszu tabeli z Przekrojami poprzecznymi w Przeglądarce tabel.
Jeżeli zaznaczono więcej niż jeden profil, to polecenie *Zamień* będzie nieaktywne.
Kliknięcie w przycisk *Dodaj*, spowoduje dodanie wszystkich zdefiniowanych na liście profili do tabeli z przekrojami poprzecznymi.

☞ **W przypadku profili parametrycznych nie ma potrzeby wskazywania konkretnego przekroju na liście do importu. Do tabeli z Przekrojami poprzecznymi zaimportowana zostanie cała lista.**

4.9.3 Bezpośrednie rysowanie obiektów



Kliknięcie na ikonę polecenia wyświetli pasek narzędzi bezpośredniego rysowania i edytor ich właściwości. Za pomocą tego okna można rysować słupy, belki, ściany, płyty i otwory. Ich właściwości można ustawić wcześniej i zmienić w dowolnym momencie podczas rysowania.
Górny pasek narzędzi wskazuje typ i orientację obiektu (dla słupów i ścian), który ma zostać narysowany.
Pola właściwości można edytować tak jak w Edytorze właściwości.
Dolny pasek narzędzi wskazuje dostępne metody rysowania dla danego obiektu (jeden segment, polilinia, wielokąt, prostokąt itd.).
Kliknięcie w kontur obszaru przed rysowaniem otworów narzuci płaszczyznę obszaru do rysowania.

Typy obiektów

Słup (w kierunku globalnym Z)

Belka (w płaszczyźnie globalnej X-Y)

Belka (przestrzenna)

Ściana (zawsze pionowa o stałej wysokości, tzn. jej normalna oraz górne / dolne krawędzie są równoległe do płaszczyzny globalnej X-Y)

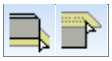
Obszar płyty (równoległy do płaszczyzny globalnej X-Y)

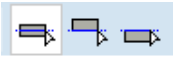
Obszar powierzchniowy (przestrzenny)

Otwór

Punkty wyciągnięcia obiektów

Słup w górę / w dół


Ściana w górę / w dół


Wyrównywanie ścian
Podczas rysowania ścian można ustawić jak umiejscowiona względem ściany jest linia wstawiania (w środku, z lewej / prawej strony segmentu pojedynczego lub wewnątrz / na zewnątrz łuków i wielokątów)

Geometria obiektów

Słup

Pojedynczy segment belki lub ściany

Polilinia belki lub ściany

Łukowa belka z punktem środkowym, początkowym i końcowym

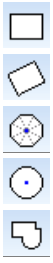
Łukowa belka z trzema punktami

Wielokątna belka lub ściana

Ściany na obrysie prostokąta

Ściany na obrysie prostokąta pochylonego

Ściany wzdłuż istniejących linii AxisVM lub warstw podkładu



Płyta w kształcie prostokąta / otwór

Płyta w kształcie prostokąta nachylonego / otwór

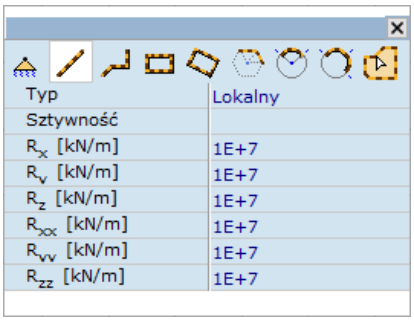
Płyta w kształcie wielokąta / otwór

Płyta w kształcie koła / otwór

Złożona płyta / otwór

4.9.4 Bezpośrednie rysowanie podpór

Funkcja ta umożliwia bezpośrednie rysowanie podpór węzłowych lub liniowych z predefiniowanymi właściwościami.



Podpora węzłowa

Podpora liniowa, pojedyncza linia

Podpora liniowa, polilinia

Podpora liniowa, prostokąt

Podpora liniowa, prostokąt nachylony

Podpora liniowa, wielokąt przez punkt środkowy i dwa punkty

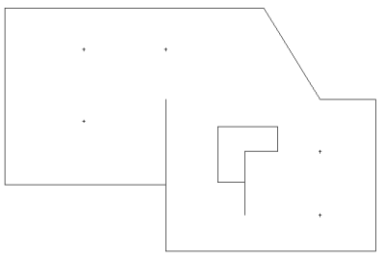
Podpora liniowa, łuk przez punkt środkowy i dwa punkty

Podpora liniowa, łuk przez trzy punkty

Podpora liniowa na krawędziach płyty

4.9.5 Obszar

Element Obszar to płaski element konstrukcyjny o złożonym kształcie geometrycznym, który określony jest przez zamknięty wielokąt utworzony z linii i łuków. Obszar może zawierać otwory, wewnętrzne linie i punkty.
Wierzchołki wielokąta, otwory i wewnętrzne linie muszą znajdować się w tej samej płaszczyźnie.



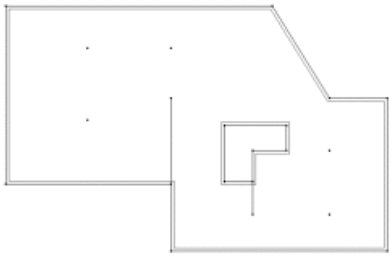
Obszar posiada następujące parametry:

Typ elementu (tarcza, płyta, powłoka)
Materiał
Grubość
Mimośród
Lokalny układ współrzędnych
Kolor zdefiniowany przez użytkownika dla widoku zrenderowanego

Poniższe parametry można przypisać wielokątom, krawędziom otworów, wewnętrznym liniom oraz punktom obszaru:

Podpora punktowa, liniowa i powierzchniowa
Element żebrowy
Obciążenie rozłożone
Ciężar własny
Obciążenie termiczne
Węzłowe stopnie swobody

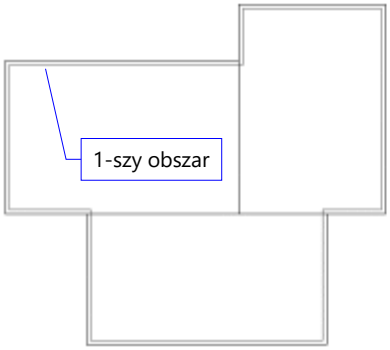
Obszar przedstawiany jest za pomocą linii konturu znajdującego się wewnątrz wielokąta. Kolor linii konturu odpowiada typowi elementu (niebieski dla tarcz, czerwony dla płyt i zielony dla powłok)

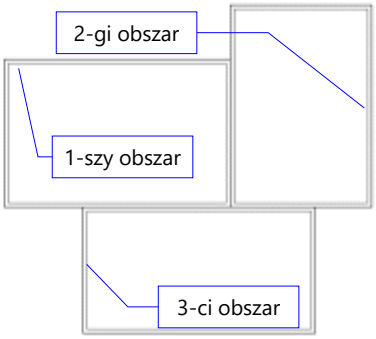


Obszary mogą być definiowane dla płyt stropowych, ścian i innych złożonych powierzchniowych elementów konstrukcyjnych.

Generowanie siatki dla obszaru może być przeprowadzone w sposób automatyczny.
Patrz... *4.11.1.2 Generowanie siatki obszaru*

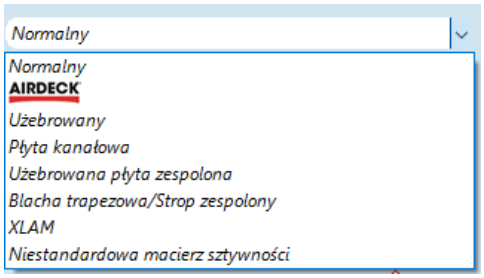
W celu utworzenia elementu konstrukcyjnego, można użyć więcej niż jednego obszaru.





Obszary mogą zawierać inne (pod)obszary.

W rozwijanej liście *Typy* dostępne są różne typy obszarów:



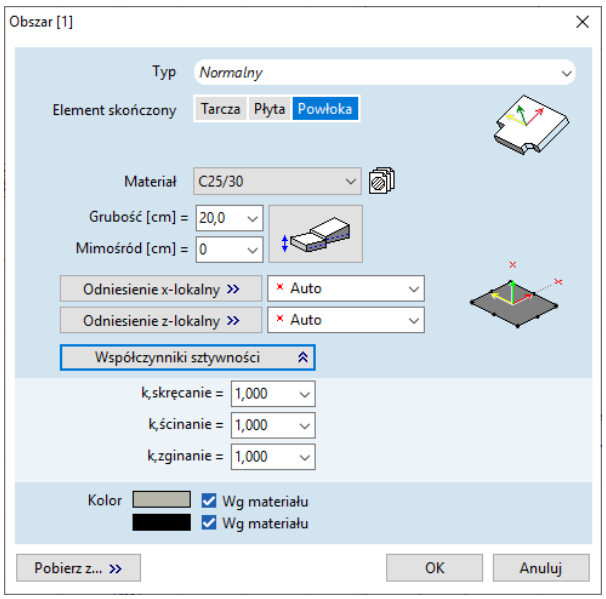
- *Normalny* (dla zwykłych płyt, ścian itd.)
- *Airdeck* (dla stropów z wypełnieniem, wymaga modułu **ADK**)
- *Użebrowany* (dla parametrycznych płyt użebrowanych)
- *Płyta kanałowa*
- *Użebrowana płyta zespolona* (dla użebrowanych płyt zespolonych)
- *Blacha trapezowa / Strop zespolony*
- *XLAM* (dla krzyżowo klejonych paneli drewnianych, wymaga modułu **XLM**)
- *Niestandardowa macierz sztywności*

4.9.5.1 Definiowanie zwykłego obszaru

Element skończony

Obszary mogą być modelowane za pomocą różnych typów elementów skończonych (tarcza, płyta, powłoka). Dla zrozumienia tych typów **patrz...** *4.9.9 Elementy powierzchniowe.*

Aby zdefiniować obszar należy wybrać jego linie konturu. Jeżeli wybranych zostanie więcej linii lub wybrane zostaną linie na różnych płaszczyznach, AxisVM znajdzie te płaszczyzny i odpowiednie wielokąty konturu dla danego kompletu. Następnie program zastosuje parametry wprowadzone przez użytkownika w oknie dialogowym.



Materiał Wybierz materiał z listy materiałów użytych w modelu lub wskaż go z biblioteki materiałów (ikona obok rozwijanej listy).

Grubość, Mimośród Aby zdefiniować obszar o stałej grubości i mimośrodzie, wystarczy wprowadzić tylko dwie wartości.
Obszary o zmiennej grubości i/lub obszary o zmiennym mimośrodzie mogą zostać zdefiniowane poprzez kliknięcie w przycisk znajdujący się obok pól edycyjnych.

Obszary o zmiennej grubości i/lub obszary o zmiennym mimośrodzie mogą zostać zdefiniowane po kliknięciu w przycisk znajdujący obok powyższych pól edycyjnych.

k,skręcanie Jeżeli wybrany został materiał typu beton, to możliwe jest zredukowanie jego wytrzymałości na skręcanie. Wartość współczynnika *k, skręcanie* musi zawierać się w przedziale 0.1 do 1.0. Wytrzymałość na skręcanie płyty żelbetowej wynosi wtedy odpowiednio od 10% do 100% wartości w odniesieniu do izotropowego modelu materiału sprężystego.

k,ścinanie Jeżeli wybrany został materiał typu mur, to możliwe jest ustawienie jego zredukowanej wytrzymałości na ścinanie.
Wartość współczynnika *k, ścinanie* musi zawierać się w przedziale 10^{-6} do 1,0, tj. zredukowana charakterystyka na ścinanie tarczy lub powłoki z materiałem typu mur może stanowić odpowiednio 10^{-4} % - 100% wyjściowej wartości sprężystego materiału izotropowego.
Również dla materiału typu beton możliwe jest ustawienie jego zredukowanej wytrzymałości na ścinanie. Wartość współczynnika *k, ścinanie* musi zawierać się w przedziale 10^{-6} do 1,0, tj. zredukowana charakterystyka na ścinanie tarczy lub powłoki z materiałem typu beton może stanowić odpowiednio 10^{-4} % - 100% wyjściowej wartości sprężystego materiału izotropowego.

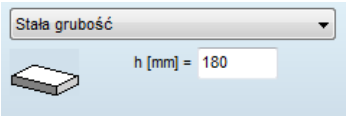
k,zginanie Jeżeli wybrany został materiał typu beton, to możliwe jest zredukowanie wytrzymałości ściany żelbetowej na zginanie.
Wartość współczynnika *k, zginanie* musi zawierać się w przedziale 0.1 do 1.0. Wytrzymałość na zginanie ściany żelbetowej wynosi wtedy odpowiednio od 10% do 100% wartości w odniesieniu do izotropowego modelu materiału sprężystego.

Kolor Obszary mogą mieć własny kolor wypełnienia i konturu, używany w zrenderowanym trybie wyświetlania. Wartości domyślne pobierane są z kolorów materiałów. Jeżeli zastosowano jakiś schemat kolorów, to kolor obszaru określany jest przez wybrane oznaczenie i zastosowany jest zarówno dla trybu szkieletowego jak i zrenderowanego.
Patrz... *2.16.5 Schematy kolorów*

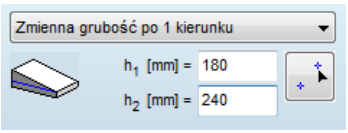
☞ **W przypadku nieliniowej analizy żelbetowych elementów powierzchniowych, współczynnik** *k,ścinanie*, *k,skręcanie* **oraz** *k,zginanie* **nie jest uwzględniany, gdy w analizie zaznaczona została opcja** *Uwzględnij zbrojenie w obliczeniach*.
Patrz... *6.5.6 Nieliniowa analiza dla żelbetowych płyt i powłok*

Definiowanie grubości i mimośrodu

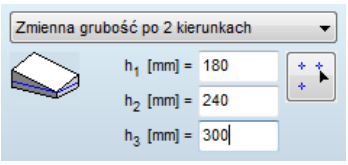
Grubość



W przypadku *Stałej grubości* wystarczy wprowadzić wartość *h* grubości obszaru.



Dla *Zmienności grubości po 1 kierunku* wprowadź wartości h_1, h_2, kliknij przycisk i wskaż dwa punkty odniesienia. Grubość obszaru będzie zmieniać się liniowo pomiędzy punktami odniesienia, gdzie dla pierwszego grubość będzie wynosić h_1, a dla drugiego h_2.



Dla *Zmienności grubości po 2 kierunkach* wprowadź wartości h_1, h_2, h_3, kliknij przycisk i wskaż trzy punkty odniesienia. Grubość obszaru będzie zmieniać się liniowo pomiędzy punktami odniesienia, gdzie dla pierwszego grubość będzie wynosić h_1, dla drugiego h_2, a dla trzeciego h_3. Trzy punkty odniesienia nie mogą leżeć w jednej linii.

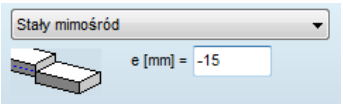
☞ **Jeżeli grubość obszaru w niektórych punktach wychodziłaby równa zero, pojawi się ostrzeżenie.**

☞ **Jeżeli gradient grubości przekracza 5%, to nie będzie możliwe wyznaczenie zbrojenia powierzchniowego.**

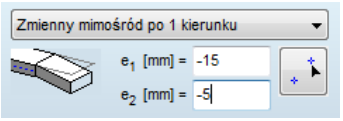
☞ **Płaszczyzną odniesienia dla modelu statycznego jest płaszczyzna środkowa obszaru. Mimośród mierzony jest względem tej płaszczyzny.**

Mimośród

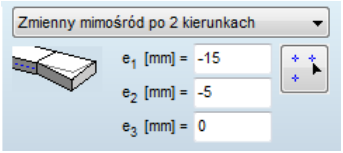
Ustawienie mimośrodu jest opcjonalne. Wybierając Stały mimośród z listy lub wpisując *e = 0*, płaszczyzna środkowa obszaru pozostanie taka sama jak płaszczyzna szkieletowego modelu statycznego. Dostępne opcje to:



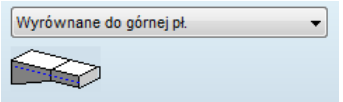
Stały mimośród: Płaszczyzna środkowa obszaru otrzymuje odsunięcie o wartości *e* po kierunku lokalnym -z-.

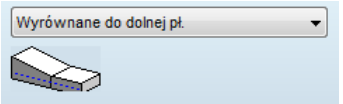


Zmienny mimośród po 1 kierunku: Wprowadź e_1, e_2, kliknij przycisk, a następnie wskaż dwa punkty odniesienia na modelu. Mimośród płaszczyzny środkowej będzie zmieniał się liniowo pomiędzy punktami odniesienia, od wartości e_1 w pierwszym punkcie do wartości e_2 w drugim punkcie.



Zmienny mimośród po 2 kierunkach: Wprowadź e_1, e_2, e_3, kliknij przycisk, a następnie wskaż trzy punkty odniesienia na modelu. Mimośród płaszczyzny środkowej będzie zmieniał się liniowo pomiędzy punktami odniesienia, od wartości e_1 w pierwszym punkcie, e_2 w drugim punkcie do wartości e_3 w trzecim punkcie.





Wyrównanie do górnej / dolnej płaszczyzny: ta opcja mimośrodu jest przydatna podczas pracy z obszarami o zmiennej grubości lub wieloma połączonymi obszarami o różnej grubości. W takich przypadkach mimośród jest obliczany automatycznie. Obszary o zmiennej grubości posiadają zerowy mimośród w swoim najcieńszym punkcie, chyba że znajdują się w grupie mimośrodowej (patrz poniżej).

Wyrównanie do górnej płaszczyzny spowoduje, że obszary będą tak usytuowane, aby ich górna powierzchnia była równoległa do ich lokalnej płaszczyzny *x-y*.
Wyrównanie do dolnej płaszczyzny spowoduje, że obszary będą tak usytuowane, aby ich dolna powierzchnia była równoległa do ich lokalnej płaszczyzny *x-y*.

Jeżeli wybranych zostanie kilka obszarów i zostanie włączona opcja *Grupa mimośrodów*, to mimośrody obszarów zostaną tak ustawione, aby wyrównać ich górne lub dolne powierzchnie. Zmiana grubości dowolnego obszaru w tej grupie, automatycznie zaktualizuje mimośrody pozostałych obszarów grupy tak, aby utrzymać odpowiednie wyrównanie do danej powierzchni.
Przycisk *Pobierz z...* służy do pobrania grubości i mimośrodu ze wskazanego przez użytkownika obszaru. Ponieważ pobierane są wtedy również punkty referencyjne grubości, to grubość również zmienia się zgodnie z płaszczyzną zdefiniowaną przez obszar.
Mimośrody i grupy mimośrodów mogą służyć jako ustawienie w *Schematach kolorów* (**Patrz...** *2.16.5 Schematy kolorów*), a grupy mimośrodów mogą być wyświetlane jako fragmenty (**Patrz...** *2.16.14 Fragmenty*).

Modyfikacja obszaru

W tym celu należy wybrać obszar (klikając na linię konturu obszaru), który ma zostać zmodyfikowany i wprowadzić zmiany w wyświetlonym oknie dialogowym.

Usuwanie obszaru

W tym celu należy przycisnąć klawisz **[Del]**, wybrać obszary (klikając na linię konturu obszaru), które mają zostać usunięte, a następnie kliknąć na OK w oknie dialogowym.

4.9.5.2 Obszar użebrowanej płyty zespolonej

Definiowanie użebrowanej płyty zespolonej jest łatwiejszym sposobem na umieszczenie układu żeber na obszarze. W przeciwieństwie do parametrycznie użebrowanych płyt:

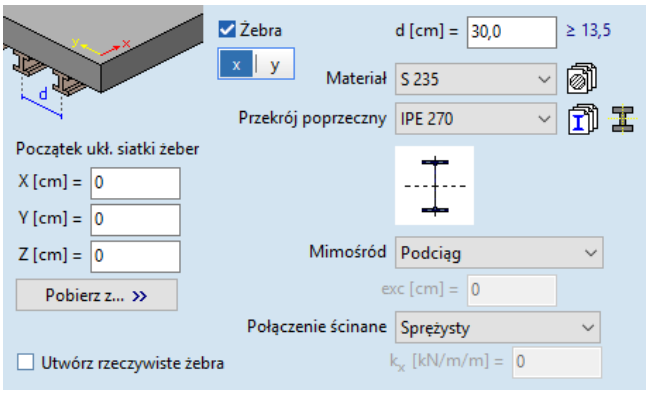
1) żebra mogą przebiegać albo wzdłuż kierunku *x* albo *y*, ale nigdy w obu na raz,
2) materiał żeber może być różny od materiału obszaru
3) żebra mogą mieć dowolny przekrój poprzeczny wczytany z biblioteki lub utworzony w edytorze przekrojów.

☞ **Obszary ustawione jako użebrowana płyta zespolona muszą mieć typ elementu ustawiony jako płyta lub powłoka.**

Poza podstawowymi parametrami obszaru (**patrz...** *4.9.5.1 Definiowanie zwykłego obszaru*) dostępne są następujące parametry:

Początek układu siatki żeber

Żebra mogą biec wzdłuż lokalnego kierunku *x* lub *y*. Początek układu siatki żeber może zostać określony numerycznie lub wskazany na modelu.



Rozstaw żeber (*d*) nie może być mniejszy niż szerokość jego przekroju poprzecznego.
Zarówno mimośród jak i typ połączenia ścinanego (*Sprężyste* lub *Sztywne* z podaną wartością sztywności k_x) może zostać ustawione w odpowiednich polach.

Utwórz rzeczywiste żebra

W przypadku stalowych żeber osadzonych częściowo lub całkowicie w płycie żelbetowej, należy odznaczyć opcję *Utwórz rzeczywiste żebra*.
Jeżeli żebra są przymocowane jako podciąg lub nadciąg do powierzchni płyty lub wartość rozstawu żeber jest duża w porównaniu do wielkości płyty, to zalecane jest zaznaczenie wspomnianej opcji.

☞ **Płaszczyzną odniesienia dla modelu statycznego jest płaszczyzna środkowa płyty żelbetowej.**

Stosowanie żeber logicznych

Jeżeli opcja Utwórz rzeczywiste żebra jest odznaczona, to żebra będą reprezentowane jako elementy logiczne (nie zostaną utworzone dla nich odrębne elementy skończone). Żebra natomiast będą uwzględnione podczas tworzenia materiałowej macierzy sztywności płyty. Na podstawie geometrii 3D będą obliczone efektywne ortotropowo-sprężyste stałe materiałowe, odpowiednie do reprezentowania sztywności powtarzalnego (reprezentatywnego) elementu za pomocą modelu 2D. Odbywa się to zgodnie z teorią homogenizacji asymptotycznej.
Na efektywność takiej metody wpływa przede wszystkim stosunek długości elementu powtarzalnego do dominującego wymiaru modelowanego obszaru (w tym przypadku stosunek parametru *d* do rozpiętości obszaru wzdłuż kierunku prostopadłego do żebra).

☞ **Jako ogólną wskazówkę można podać, że rozstaw żeber powinien być dużo mniejszy od dominującego wymiaru płyty w rzucie.**

Macierz sztywności materiałowej ogólnego elementu powłokowego:

$$\begin{Bmatrix}\{N\}\\ \{M\}\end{Bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathcal{A} & \mathcal{B}\\ \mathcal{B}^{\mathrm{T}} & \mathcal{D}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\{\epsilon_0\}\\ \{\kappa\}\end{Bmatrix},$$

$$\begin{Bmatrix}Q_x\\ Q_y\end{Bmatrix} = K_s\begin{bmatrix}A_{44} & A_{45}\\ A_{45} & A_{55}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\gamma_x\\ \gamma_y\end{Bmatrix}$$

gdzie macierze

$$\mathcal{A} = \begin{bmatrix}A_{11} & A_{12} & A_{16}\\ A_{12} & A_{22} & A_{26}\\ A_{16} & A_{26} & A_{66}\end{bmatrix};\ \mathcal{B} = \begin{bmatrix}B_{11} & B_{12} & B_{16}\\ B_{12} & B_{22} & B_{26}\\ B_{16} & B_{26} & B_{66}\end{bmatrix};\ \mathcal{D} = \begin{bmatrix}D_{11} & D_{12} & D_{16}\\ D_{12} & D_{22} & D_{26}\\ D_{16} & D_{26} & D_{66}\end{bmatrix}$$

można wyprowadzić z macierzy sztywności 6x6 materiału ortotropowego, zgodnego z prawem Hooke'a. Macierz $\mathcal{B}$ reprezentuje sprzężone oddziaływanie pomiędzy siłami normalnymi a zginaniem lub innymi słowami efekty mimośrodowe. Macierz ta będzie wynosić zero wtedy i tylko wtedy, gdy mimośród żeber wynosi zero. W każdym innym przypadku konstrukcja powinna być modelowana za pomocą elementów powłokowych, aby uniknąć poważnej utraty informacji.
Wartości w macierzy określone są przez odniesienie do niezależnych stanów odkształcenia na modelu 3D i dołożeniu otrzymanego pola naprężeń. Ponieważ powłoka ma 8 uogólnionych składników odkształceń, konieczne jest przeprowadzenie w tle obliczeń dla 8 elementów skończonych. Powłoka z tak obliczonymi właściwościami sztywności odpowiada pierwotnemu zagadnieniu w taki sposób, że praca niezbędna do odkształcenia tego ciała w pewnym zakresie pozostaje taka sama w obu przypadkach, ale nie pociąga za sobą równoważności wszystkich składników przemieszczenia we wszystkich punktach.

☞ **Żebra logiczne są najbardziej efektywne, gdy rozstaw żeber jest dostatecznie mały lub płyta w znacznej mierze obciążona jest obciążeniem równomiernie rozłożonym. Obciążenia skupione, ze względu na oddziaływanie miejscowe mogą powodować znaczne niedokładności.**

4.9.5.3 Płyta kanałowa

☞ **Obszary ustawione jako płyta kanałowa muszą mieć materiał typu beton oraz typ elementu ustawiony jako płyta lub powłoka.**

Poza podstawowymi parametrami obszaru, dostępne są następujące parametry:

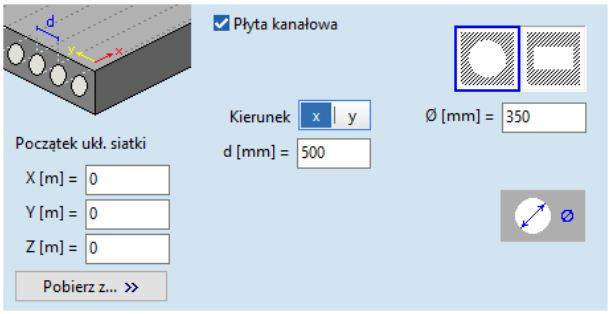
Typ wydrążenia

okrągły

prostokątny

Początek ukł. siatki

Wydrążenia biegną wzdłuż kierunku -x- lub -y-.
Początek układu kanałów może zostać określony numerycznie lub wskazany na modelu.



Kierunek x / y

Przełącznik ten określa kierunek definiowanego wydrążenia.

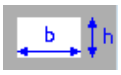
☞ **Płaszczyzną odniesienia dla modelu statycznego jest płaszczyzna środkowa płyty.**

Okrągłe wydrążenia

Parametry: *Ø* jest średnicą kanału, *d* jest rozstawem kanałów liczonym od ich środka.

Prostokątne wydrążenia

Parametry: *b* jest szerokością kanału, *h* jego wysokością, *d* jest rozstawem kanałów liczonym od ich środka.



Obliczenia

Metoda obliczeń jest taka sama jak przedstawiona w *4.9.5.2 Obszar użebrowanej płyty zespolonej*, ponieważ płyta kanałowa może być przedstawiona jako specjalny przypadek tam opisany. W związku z tym wszystkie właściwości metody tam opisanej, dotyczą również tego typu obszaru.

☞ **Jako ogólną wskazówkę można podać, że rozstaw kanałów powinien być dużo mniejszy od dominującego wymiaru płyty w rzucie.**

4.9.5.4 Parametryczne płyty użebrowane

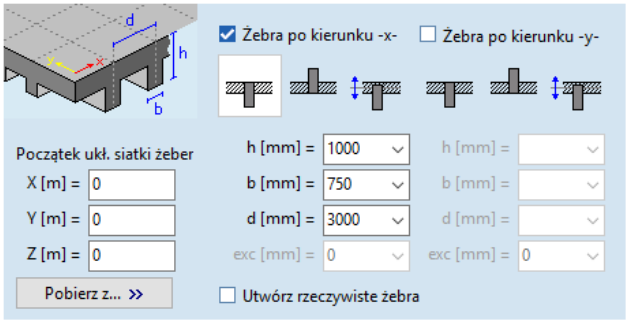
Poza standardowymi parametrami jak dla zwykłego obszaru, dostępne są następujące parametry:

Typ żebra

Podciąg

Nadciąg

Mimośród użytkownika



Początek ukł. siatki żeber

Żebra tworzą układ linii w lokalnym układzie *-x-* oraz *-y-*. Współrzędne początku tego układu mogą zostać wprowadzone numerycznie lub wskazane na modelu. Żebra mogą być definiowane jako logiczne lub rzeczywiste.

Żebra po kierunku x / y

Żebra biegnące po kierunku -x- lub -y- określa parametr geometryczny ich wysokości *h*, szerokości *b*, rozstawu *d* oraz mimośrodu *exc* (jeżeli wybrano mimośród użytkownika).

☞ **Maksymalna wartość mimośrodu żebra wynosi (grubość płyty + h) / 2**

☞ **Płaszczyzną odniesienia dla modelu statycznego jest płaszczyzna środkowa płyty żelbetowej.**

Obliczenia

Metoda obliczeń jest taka sama jak przedstawiona w *4.9.5.2 Obszar użebrowanej płyty zespolonej*, ponieważ płyta kanałowa może być przedstawiona jako specjalny przypadek tam opisany. W związku z tym wszystkie właściwości metody tam opisanej, dotyczą również tego typu obszaru.

☞ **Jako ogólną wskazówkę można podać, że rozstaw żeber powinien być dużo mniejszy od dominującego wymiaru płyty w rzucie.**
Inną konsekwencją homogenizacji jest to, że szczytowe wartości sztywności (tzw. peaki) na przecięciach żeber zostaną wygładzone, co może doprowadzić do niedoszacowania przy wymiarowaniu. Ograniczenia stosowania płyty użebrowanej jako homogenicznej zostały zebrane w rozdziale 5.3.1 normy EN 1992-1-1:2010. Program automatycznie sprawdza, czy zalecenia te są spełnione.

☞ **W przypadku naruszenia ograniczeń geometrycznych, użytkownik jest informowany o tym fakcie za pomocą komunikatu.**

Utwórz rzeczywiste żebra

Parametrycznie użebrowane obszary nie mają zastosowania w analizie nieliniowej. Aby uzyskać prawidłowe wartości wyników w analizie nieliniowej, należy utworzyć żebra rzeczywiste. Ta opcja umożliwia automatyczne wygenerowanie elementów żebrowych zgodnie z zadanymi parametrami.

4.9.5.5 Blacha trapezowa / Strop zespolony

Definicja podstawowych parametrów została opisana w *4.9.5.1 Definiowanie zwykłego obszaru*.

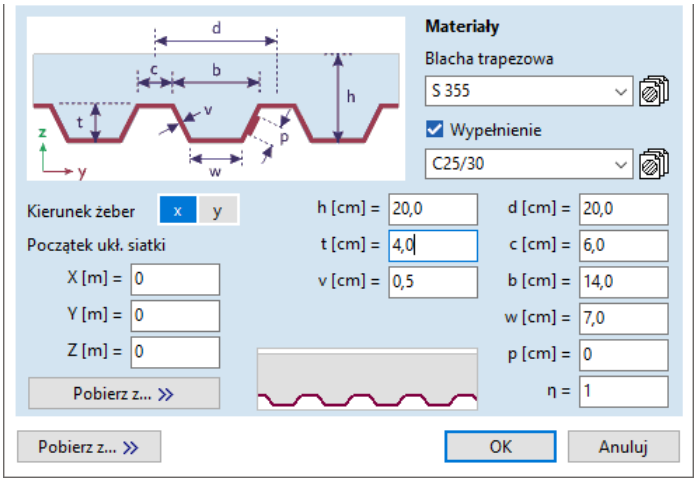
☞ **Blacha trapezowa musi mieć przypisany materiał typu stal, a wypełnienie musi być z betonu.**

Wypełnienie

Jeżeli to pole zostanie odznaczone, to definiowany obszar będzie reprezentacją zwykłej blachy trapezowej.
Po zaznaczeniu tej opcji powstanie natomiast płyta zespolona, gdzie blacha trapezowa będzie szalunkiem traconym dla znajdującego się na niej betonu.

Początek układu siatki

Żebra blachy trapezowej mogą przebiegać w lokalnym kierunku *-x-* lub *-y-* obszaru, w zależności który kierunek został wybrany w polu *Kierunek żeber*.
Aby zdefiniować początek układu współrzędnych dla żeber można wpisać wartości współrzędnych globalnych *X, Y, Z* lub wskazać go po kliknięciu przycisku *Pobierz z ...* .



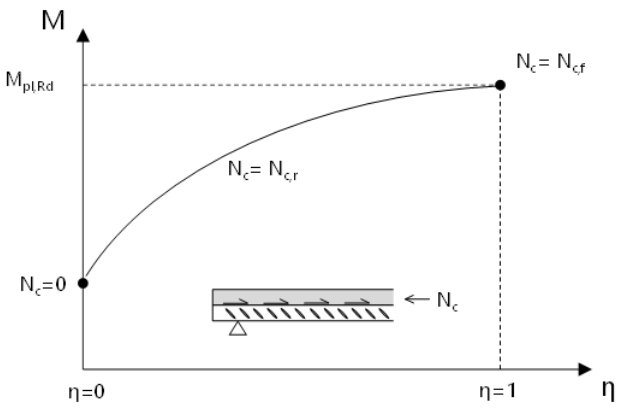
Parametry

Na powyższym rysunku przedstawiono główne parametry geometryczne stropu zespolonego. Walcowane przetłoczenia na blasze oraz sworznie zwykle zapewniają połączenie na ścinanie pomiędzy arkuszem blachy a betonem. Parametry η oraz p to odpowiednio stopień zespolenia na ścinanie podłużne oraz szerokość walcowanego przetłoczenia blachy. Program pomija te przetłoczenia w trakcie obliczeń blachy trapezowej na zginanie.

Parametr η wyraża stosunek pełnej nośności nadbetonu na ściskanie $(N_{c,f})$ przenoszonej na blachę trapezową. Jeżeli wartość η jest mniejsza niż 1.0, to nośność na zginanie stropu zespolonego będzie niższa niż w przypadku pełnego zespolenia na ścinanie.

$$N_{c,f} = 0.85 f_{cd}(h - t)$$

gdzie f_{cd} jest obliczeniową wytrzymałością betonu na ściskanie.



Jeżeli zastosowane są tylko przetłoczenia do zapewnienia przekazywania ścinania podłużnego, to stopień zespolenia nad podporami wynosi 0 i wzrasta wraz z odległością od podpór. W takim przypadku zaleca się podzielić analizowany obszar równolegle do podpór, aby wydzielonym podobszarom móc zadać różne wartości parametru η. Dokładna wartość parametru może zostać wyznaczona z wytrzymałości na ścinanie podłużne ($\tau_{u,Rd}$), które w znacznej mierze zależy od geometrii przetłoczeń, dlatego wartość ta różni się w zależności od zastosowanej blachy trapezowej. Jeżeli wartość $\tau_{u,Rd}$ jest znana, to stopień zespolenia może być wyliczony na podstawie poniższego wzoru:

$$\eta = \frac{\tau_{u,Rd} L}{N_{c,f}} \leq 1,$$

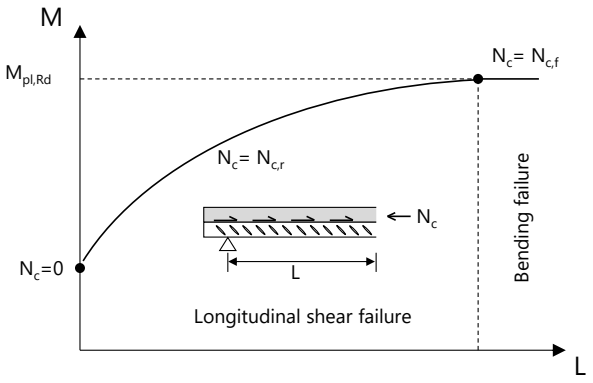
gdzie L jest odległością od podpory.

Jeżeli w danym rozwiązaniu zastosowane są tylko sworznie, to stopień zespolenia może zostać obliczony dla całego obszaru na podstawie wzoru:

$$\eta = \frac{V_{ld}}{N_{c,f}} \leq 1$$

gdzie V_{ld} jest obliczeniową nośnością na ścinanie sworznia.

Jeżeli zastosowani sworznie i przetłoczenia, to stopień zespolenia może zostać obliczony jako suma powyższych wyrażeń η.



☞ **Jeżeli nie wybrano wypełnienia betonowego to płaszczyzna odniesienia w modelu statycznym samej blachy trapezowej przyjmowana jest w środku wysokości jej geometrii (t/2). Dla stropu zespolonego środek przyjmowany jest w środku wysokości całej płyty (h/2).**

Obliczenia Metoda obliczeń jest taka sama jak przedstawiona w rozdziale *4.9.5.2 Obszar użebrowanej płyty zespolonej*, ponieważ parametry omawianego typu obszaru mogą być potraktowane jako specjalny przypadek obszaru z przytoczonego rozdziale. W związku z tym wszystkie właściwości opisanej tam metody dotyczą również obszaru tego typu.

4.9.5.6 Obszar z niestandardową macierzą sztywności

Wprowadzenie własnej macierzy sztywności daje pełną kontrolę nad zależnościami między poszczególnymi siłami wewnętrznymi a odkształceniami. Rozwiązanie to jest zalecane w każdym przypadku, gdy inne rozwiązania modelowania nie są możliwe, a użytkownik jest w stanie wygenerować niezbędne wartości lub jest w posiadaniu sugerowanych wartości z innego źródła.

Ogólnym określeniem dla tej macierzy jest macierz ABD. Macierze te muszą być zdefiniowane dodatnio. Warunek ten jest sprawdzany przez program.
Indeksy składników macierzy podążają za notacją Voigt'a z małą modyfikacją zamiany indeksów τ_{xz} oraz τ_{yz}. W związku z tym

$$\sigma_1 = \sigma_{11},\ \sigma_2 = \sigma_{22},\ \sigma_3 = \sigma_{33},\ \sigma_4 = \sigma_{23},\ \sigma_5 = \sigma_{13},\ \sigma_6 = \sigma_{12}$$

oraz

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{11},\ \varepsilon_2 = \varepsilon_{22},\ \varepsilon_3 = \varepsilon_{33},\ \varepsilon_4 = \varepsilon_{23},\ \varepsilon_5 = \varepsilon_{13},\ \varepsilon_6 = \varepsilon_{12}.$$

W związku z tym przekształcenie odkształceń do naprężeń dane jest w ogólnej postaci prawa Hooke'a dla materiałów anizotropowych:

$$\begin{Bmatrix}\sigma_1\\ \sigma_2\\ \sigma_3\\ \sigma_4\\ \sigma_5\\ \sigma_6\end{Bmatrix} = \begin{bmatrix}C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16}\\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26}\\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36}\\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46}\\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56}\\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66}\end{bmatrix} \begin{Bmatrix}\varepsilon_1\\ \varepsilon_2\\ \varepsilon_3\\ \varepsilon_4\\ \varepsilon_5\\ \varepsilon_6\end{Bmatrix}$$

gdzie para indeksów odnosi się do elementu materiałowej macierzy sztywności, która jest powiązana z danym składnikiem sztywności.

Znaczenie bloków można opisać w następujący sposób
- A_{ij} – sztywność tarczowa (siły tarczowe – zależne odkształcenie)
- D_{ij} – sztywność płytowa (momenty – wygięcie)
- S_{ij} – dopasowana sztywność na ścinanie (siły tnące – zależne odkształcenie od ścinania)
- B_{ij} – sztywność spajająca (siły tarczowe– wygięcie lub momenty– zależne odkształcenie)

$$\begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_{xy} \\ m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ v_{xz} \\ v_{yz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} & & \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} & B_{12} & B_{22} & B_{26} & 0 & \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} & B_{16} & B_{26} & B_{66} & & \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} & & \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} & D_{12} & D_{22} & D_{26} & 0 & \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} & D_{16} & D_{26} & D_{66} & & \\ & 0 & & & 0 & & S_{44} & S_{45} \\ & & & & & & S_{45} & S_{55} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{bmatrix}$$

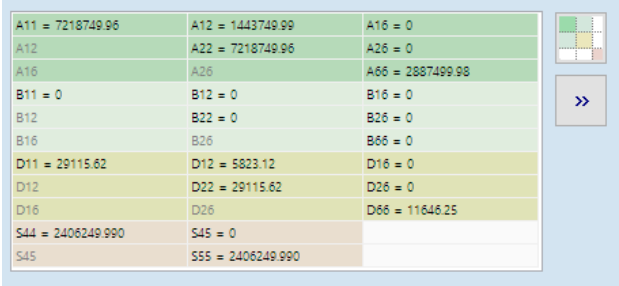
Podstawowe właściwości dla tego typu obszaru mogą zostać wprowadzone jak dla zwykłego obszaru. Jednak wyświetlane wtedy parametry (grubość, materiał itd.). są tylko wizualną reprezentacją i nie wpływają bezpośrednio na wartości w niestandardowej macierzy sztywności. Wszystkie fizyczne właściwości są sterowane przez zdefiniowaną macierz sztywności.

☞ **Poprawne składniki macierzy sztywności na ścinanie muszą zawierać współczynniki korekcyjne ze względu na ścinanie, tak jak to zostało opisane w rozdziale dotyczącym obszarów XLAM. W ogólnym przypadku mogą być one inne niż 5/6, użyte dla przekrojów homogenicznych oraz mogą być różne w danych kierunkach lokalnych. Wyznaczanie współczynników korekcyjnych ze względu na ścinanie leży po stronie użytkownika.**

☞ **Znaczenie różnych parametrów sztywności zostało wyjaśnione w dedykowanym przewodniku teoretycznym. Przewodnik dostępny jest bezpośrednio w programie lub na stronie** *http://axisvm.eu/axisvm_download_training_materials.html*

Macierz sztywności

W dolnej części okna dialogowego znajdują się wartości dla macierzy sztywności przypisane do bloków A, B, D oraz S.

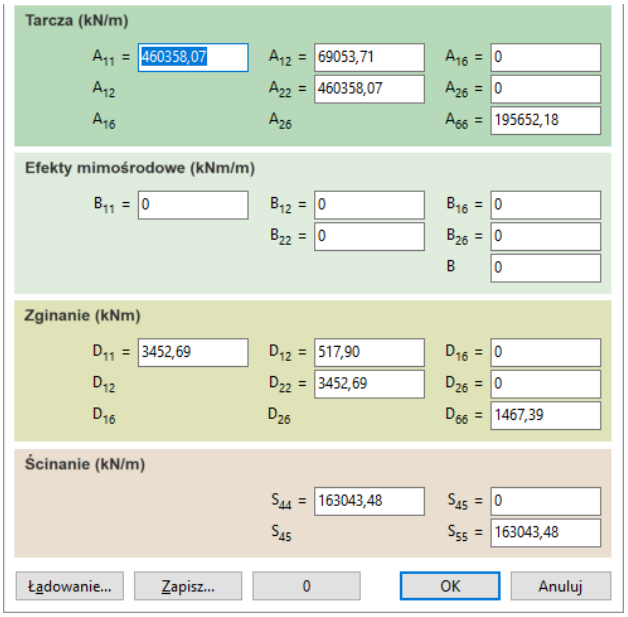


Edytuj macierz sztywności

Kliknij w ten przycisk, aby wyedytować składniki macierzy. Macierz może zostać zapisana do pliku *smx*, poprzez kliknięcie w *Zapisz...* lub wczytana z tego formatu przez kliknięcie *Wczytaj...*

Plik ten jest zwykłym plikiem tekstowym zawierającym wartości dla macierzy sztywności, dlatego możliwe jest też utworzenie pliku *smx* samodzielnie, w innym programie.

Kliknij w przycisk *0*, aby wyzerować wszystkie wartości.



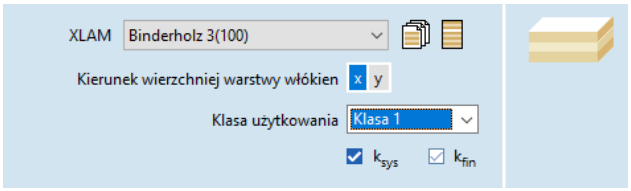
Pobierz macierz sztywności

Kliknij ten przycisk, aby pobrać macierz sztywności z innego obszaru na modelu (nawet, gdy jest to np. zwykły obszar).

W celu uzyskania dalszych informacji zobacz *Pomoc / Wprowadzenie do niestandardowych macierzy sztywności*.

4.9.5.7 Obszary XLAM

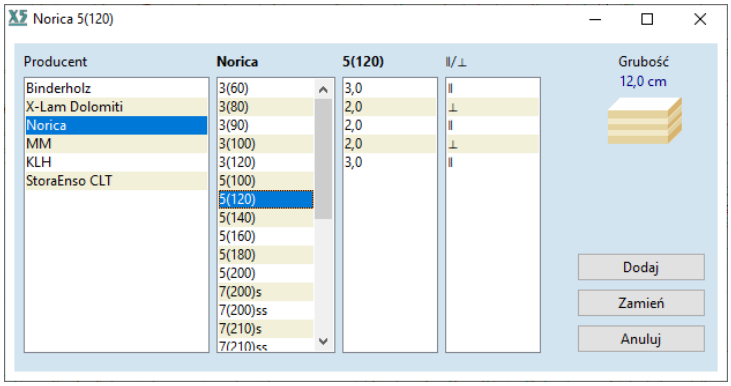
Ten typ obszaru do obsługi paneli XLAM (drewno klejone warstwowo) wymaga modułu **XLM.** AxisVM zawiera bibliotekę z najczęściej spotykanymi panelami, ale użytkownik może również wprowadzić własną strukturę warstw.



Analiza umożliwia poznanie przemieszczeń, sił wewnętrznych, naprężeń oraz stopnia wykorzystania w obszarach XLAM.

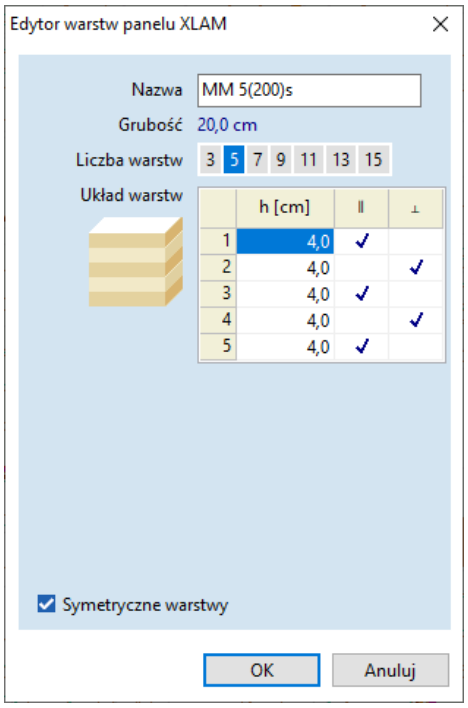
Definicja

Przeglądanie biblioteki XLAM



Struktura warstw XLAM może zostać wczytana z biblioteki.

Edytor warstw panelu XLAM



Edytor pozwala zdefiniować niestandardowe układy warstw panelu.

Pole *Nazwa* zawiera nazwę całego układu warstw panelu. *Grubość* pokazuje obliczoną, całkowitą grubość panelu. *Liczba warstw* jest zawsze nieparzysta, a układ warstw może być symetryczny lub asymetryczny. Oprócz grubości poszczególnych warstw, użytkownik może zmienić również ich orientację.

Kierunek wierzchniej warstwy włókien Kierunek wierzchnich włókien musi zostać zdefiniowany. Może on być zgodny z lokalnym kierunkiem -x- lub -y- obszaru.

Klasa użytkowania Klasyfikacja zależy od zawartości wilgoci w materiale i wilgotności względnej otoczenia. Więcej szczegółów znajdziesz w *Klasy użytkowania* w rozdziale *6.7.1 Wymiarowanie prętów drewnianych (moduł TD1)*

k_{sys} Jeżeli zaznaczono, to podczas obliczania parametrów wytrzymałościowych uwzględniany jest współczynnik modyfikujący wytrzymałości, zależny od rozwiązań konstrukcyjnych.
Więcej informacji znajduje się w *Przewodniku teorii i projektowania XLAM*.

k_{fin} Jeżeli zaznaczono, to uwzględniana jest zredukowana wytrzymałość giętna. Zaznacz tę opcję, jeżeli lamele łączą się na pióro-wpust.

Więcej informacji znajduje się w *Przewodniku teorii i projektowania XLAM*.

Obliczenia

Obliczony jest układ uwarstwiony, zbudowany z homogenicznych warstw o równoważnej macierzy sztywności materiału. Metoda ta konwertuje geometryczną niejednorodność do ortotropowości materiałowej.
Sztywność materiału ogólnego elementu powłokowego może zostać opisana następującym układem równań:

$$\begin{Bmatrix}\{N\}\\ \{M\}\end{Bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathcal{A} & \mathcal{B}\\ \mathcal{B}^{\mathrm{T}} & \mathcal{D}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\{\epsilon_0\}\\ \{\kappa\}\end{Bmatrix};\ \begin{Bmatrix}Q_y\\ Q_x\end{Bmatrix} = K_s\begin{bmatrix}A_{44} & A_{45}\\ A_{45} & A_{55}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\gamma_y\\ \gamma_x\end{Bmatrix}$$

gdzie macierze

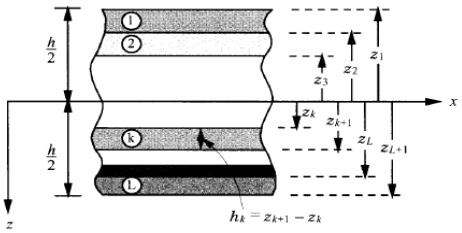
$$\mathcal{A} = \begin{bmatrix}A_{11} & A_{12} & A_{16}\\ A_{12} & A_{22} & A_{26}\\ A_{16} & A_{26} & A_{66}\end{bmatrix};\ \mathcal{B} = \begin{bmatrix}B_{11} & B_{12} & B_{16}\\ B_{12} & B_{22} & B_{26}\\ B_{16} & B_{26} & B_{66}\end{bmatrix};\ \mathcal{D} = \begin{bmatrix}D_{11} & D_{12} & D_{16}\\ D_{12} & D_{22} & D_{26}\\ D_{16} & D_{26} & D_{66}\end{bmatrix}$$

można wyprowadzić z macierzy sztywności 6x6 materiału ortotropowego, zgodnego z prawem Hooke'a dla materiałów ortotropowych. Macierz $\mathcal{B}$ reprezentuje relacje materiałowe pomiędzy siłami normalnymi a zginaniem. K_s odnosi się do współczynnika korekcyjnego na ścinanie, który jest indywidualnie wyznaczany dla każdego układu laminatu. AxisVM obsługuje zarówno symetryczne jak i asymetryczne układy warstw. Układ warstwy musi być zorientowany do jednej z osi układu lokalnego obszaru.
Powyższe macierze obliczane są jako

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^{L}(\bar{Q}_{ij})_{(k)}(z_{k+1} - z_k),$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{L}(\bar{Q}_{ij})_{(k)}({z_{k+1}}^2 - {z_k}^2) = 0,$$

$$D_{ij} = \frac{1}{3}\sum_{k=1}^{L}(\bar{Q}_{ij})_{(k)}({z_{k+1}}^3 - {z_k}^3).$$



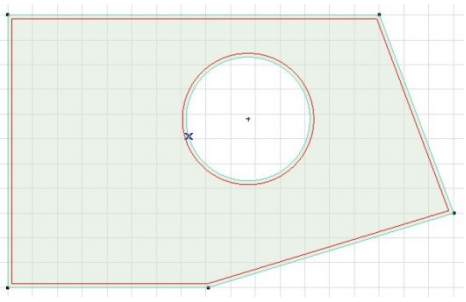
Schemat warstw. (Reddy, J. *Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells.* CRC Press, 2004.)

gdzie $\bar{Q}_{ij}$ jest wartością Hooke'a przetransformowaną na układ współrzędnych panelu. Więcej informacji o wyznaczaniu sztywności znajduje się w *Przewodniku teorii i projektowania XLAM*.

4.9.6 Otwór

W obszarach można definiować otwory. Otwory muszą znajdować się wewnątrz obszaru i w jego płaszczyźnie.

Aby zdefiniować otwór należy wybrać (zamknięte) wielokąty, które są krawędziami definiowanych otworów. Można wybrać więcej niż jeden obrys. Jeżeli obrys nie znajduje się w płaszczyźnie obszaru, otwór nie zostanie utworzony. Otwory można przenosić z jednego obszaru na drugi lub zmieniać ich kształt. Jeżeli obrys otworu przetnie kontur obszaru, otwór zostanie usunięty.



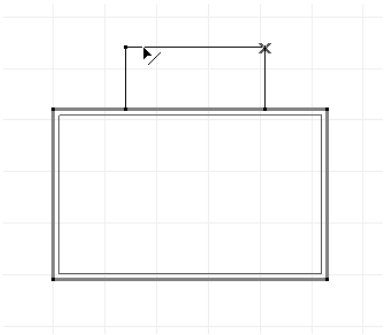
Otwory przedstawiane są za pomocą linii konturu w kolorze charakterystycznym dla danego typu obszaru, w którym są umieszczone.

4.9.7 Operacje na obszarach

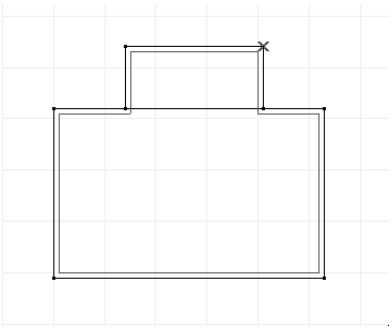
Kontury obszarów mogą być zmieniane, ucinane, a także może być przeprowadzony proces ich scalania.

Zmień kontur obszaru

1. Kliknij na ikonę *Zmień kontur obszaru* na pasku narzędzi.
2. Wybierz zmieniany obszar. Zostanie wybrany kontur obszaru.
3. Zmień wybór linii, aby zmodyfikować kontur obszaru i kliknij OK na pasku wyboru.



Przed zmianą konturu



Po zmianie konturu

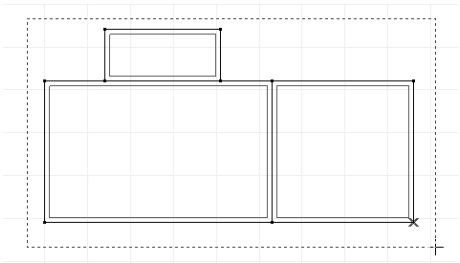
☞ **Właściwości obszarów (materiał, grubość, układ lokalny) zostaną zachowane, ale usunięta zostanie istniejąca siatka.**

Jeżeli z obszaru usunięte zostaną powierzchnie obciążone, to obciążenia automatycznie zostaną usunięte.

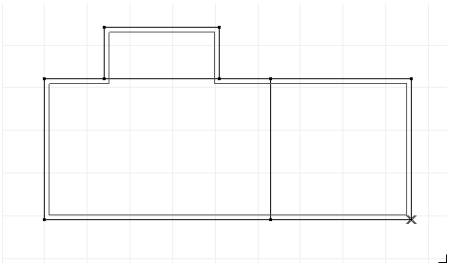
Scal obszary

Scalenie jest możliwe dla sąsiadujących obszarów.

1. Kliknij na ikonę *Scal obszary* na pasku narzędzi.
2. Wybierz obszary i kliknij OK na pasku wyboru.
3. Jeżeli obszary posiadają różne właściwości (grubość, materiał lub układ lokalny) należy kliknąć jeden z obszarów. Scalone obszary przejmą właściwości wybranego obszaru.



Przed scaleniem

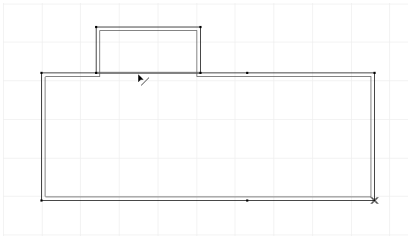


Po scaleniu

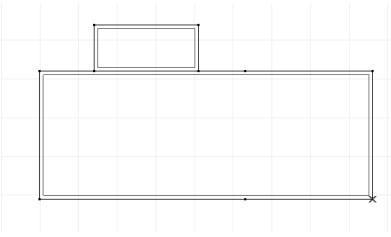
Rozdziel obszar

Aby rozdzielić obszary wzdłuż istniejącej linii:

1. Kliknij na ikonę *Rozdziel obszar* na pasku narzędzi.
2. Wybierz obszar.
3. Wybierz linię tnącą i kliknij OK na pasku wyboru.



Przed rozdziałem



Po rozdzieleniu

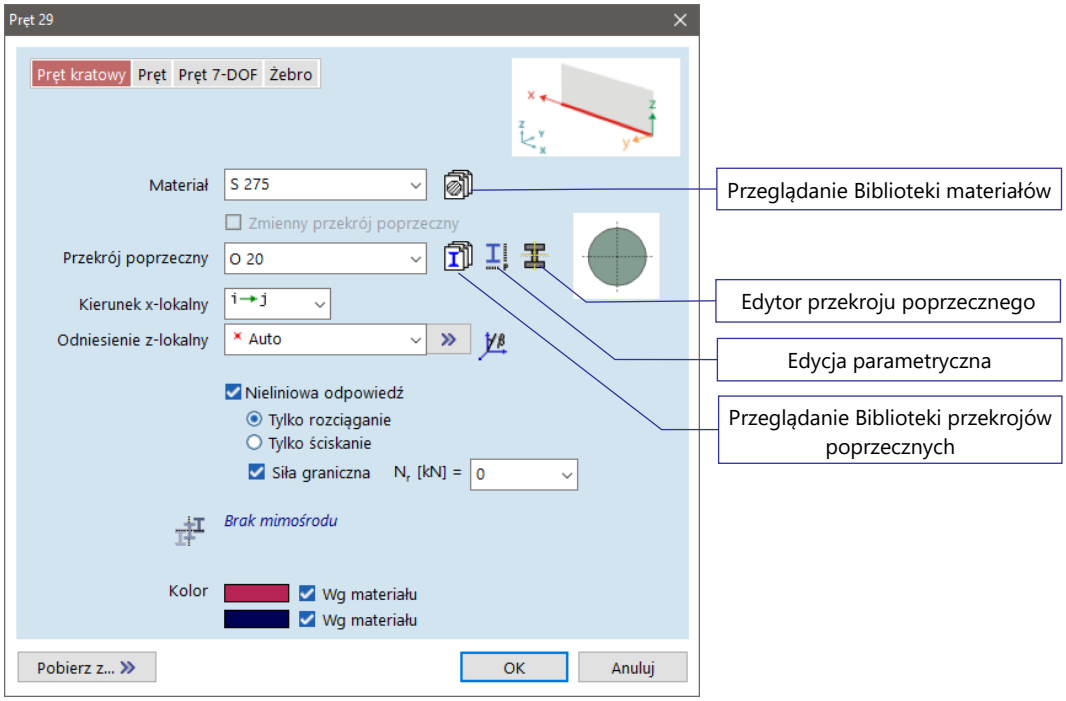
4.9.8 Elementy liniowe

Elementy liniowe są definiowane i modyfikowane w tym samym oknie dialogowym. Po wybraniu typu elementu można ustawić określone parametry dla prętów kratowych, prętów lub żeber.
Elementy liniowe traktowane są jako elementy konstrukcyjne, a nie jako elementy skończone. Wygenerowanie siatki dla elementu liniowego dzieli pręt lub żebro na elementy skończone. Istniejące elementy liniowe można połączyć, aby utworzyć pojedynczy element, jeżeli geometria i ich właściwości na to pozwalają. (*Edycja / Scalenie elementów konstrukcyjnych*). Funkcje numerowania, etykietowana i wyliczania będą traktować je jako pojedynczy element konstrukcyjny. Elementy konstrukcyjne można rozdzielać za pomocą opcji *Edycja / Rozdziel elementy konstrukcyjne*.
Patrz... *3.2.14 Scalenie elementów konstrukcyjnych, 3.2.15 Rozdzielenie elementów konstrukcyjnych*

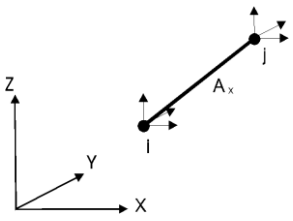
Kolor Elementy mogą posiadać własny kolor wypełnienia i konturu, użyty w zrenderowanym trybie wyświetlania. Kolory domyślne pobierane są z kolorów materiałów. Jeżeli zastosowano jakiś schemat kolorów, to kolor elementu liniowego określany jest przez wybrane oznaczenie i zastosowany jest do trybu szkieletowego i zrenderowanego.
Patrz... *2.16.5 Schematy kolorów.*

4.9.8.1 Pręt kratowy

Pręt kratowy



Elementy typu pręt kratowy mogą zostać wykorzystane do modelowania konstrukcji kratownicowych. Pręty kratowe to dwuwęzłowe, proste elementy o stałym przekroju poprzecznym na całej długości pręta.
Dla każdego węzła tych elementów definiowane są maksymalnie trzy przesuwne stopnie swobody. Elementy zakończone są przegubami (przeguby kuliste).



Dla pręta kratowego obliczana jest tylko wewnętrzna siła normalna N_x. Siła ta jest niezmienna na długości elementu.
Symbol ***i*** wskazuje zakończenie pręta o niższym indeksie (pierwszy węzeł). Domyślnie oś *x* elementu biegnie od węzła (*i*) do węzła (*j*). Aby zmienić ten kierunek, należy wybrać inną opcję z listy *Kierunek x-lokalny*.

Definiuj

Aby zdefiniować elementy kratownicowe, należy wybrać linie, do których mają zostać przypisane te same właściwości materiału i przekroju poprzecznego.
Jeżeli wybrano elementy różnych typów, aktywowane zostanie definiowanie elementów (zamiast modyfikowania).

Definiowanie materiałów i przekrojów poprzecznych

Materiały i przekroje poprzeczne można wybrać z wbudowanych bibliotek lub z list materiałów / przekrojów poprzecznych, które zostały już w modelu zdefiniowane.

Umożliwia przeglądanie biblioteki materiałów, aby przypisać materiał do elementu. Wybrany materiał zostanie dodany do tabeli materiałów modelu.

Umożliwia przeglądanie biblioteki przekrojów poprzecznych, aby przypisać przekrój poprzeczny do elementu. Wybrany przekrój poprzeczny zostanie dodany do tabeli przekrojów poprzecznych modelu. Każdorazowo można wczytać tylko jeden przekrój poprzeczny z biblioteki lub zdefiniować tylko jeden przekrój parametryczny.

Kliknięcie w tę ikonę umożliwia parametryczną modyfikację profilu, tzn. jeżeli bieżący profil został zdefiniowany poprzez wczytanie z biblioteki lub został on zdefiniowany parametrycznie, to możliwa jest zmiana wybranych parametrów jego geometrii, tworząc nowy przekrój w modelu.

Otwiera Edytor przekrojów poprzecznych. Przekrój poprzeczny utworzony w Edytorze zostanie wpisany na listę przekrojów poprzecznych modelu.

Elementy prętowe wyświetlane są na ekranie jako czerwone linie.

Klasa użytkowania

Jeżeli jako bieżącą normę projektową wybrano Eurokod, a jako materiał drewno, to w tym miejscu można ustawić klasę użytkowania. **Aby uzyskać szczegółowe informacje, patrz...** *6.7.1 Wymiarowanie prętów drewnianych (moduł TD1)*

Kierunek x-lokalny

Kierunek x-lokalny pręta można ustawić od węzła *i* do węzła *j* lub na odwrót.

i → *j* : lokalna oś x skierowana jest od węzła końcowego o niższym numerze do węzła o wyższym numerze
j → *i* : lokalna oś x skierowana jest od węzła końcowego o wyższym numerze do węzła o niższym numerze

Wybranie tego parametru jako *Auto* oznacza, że program określi ten kierunek w oparciu o współrzędne punktów końcowych.
Kierunek ten można odwrócić w dowolnym momencie za pomocą skrótu klawiszowego **[Ctrl+E]** lub w oknie dialogowym lub w oknie edytora właściwości.

Przekrój poprzeczny

Do obliczania sztywności elementu z właściwości przekroju poprzecznego, uwzględniane jest tylko jego pole powierzchni A_x.

Odniesienie z-lokalny

Aby zdefiniować orientację elementu można przypisać do niego punkt odniesienia.
Umożliwia to poprawne ustawienie przekroju poprzecznego, co można później łatwo sprawdzić na ekranie. W przypadku wybrania ustawienia *Auto*, odniesienia zostaną ustawione przez program.
Patrz... *4.9.21 Odniesienia*

Kąt odniesienia

Obrót przekroju poprzecznego można łatwo ustawić przez podanie kąta odniesienia. Automatyczny lokalny układ współrzędnych (i przekrój poprzeczny) można obrócić wokół osi elementu o kąt zdefiniowany przez użytkownika. Jeżeli element jest równoległy do globalnego kierunku Z, to kąt będzie ustalany względem globalnej osi X. W każdym innym przypadku kąt będzie odnosić się do globalnej osi Z.

Parametry nieliniowości

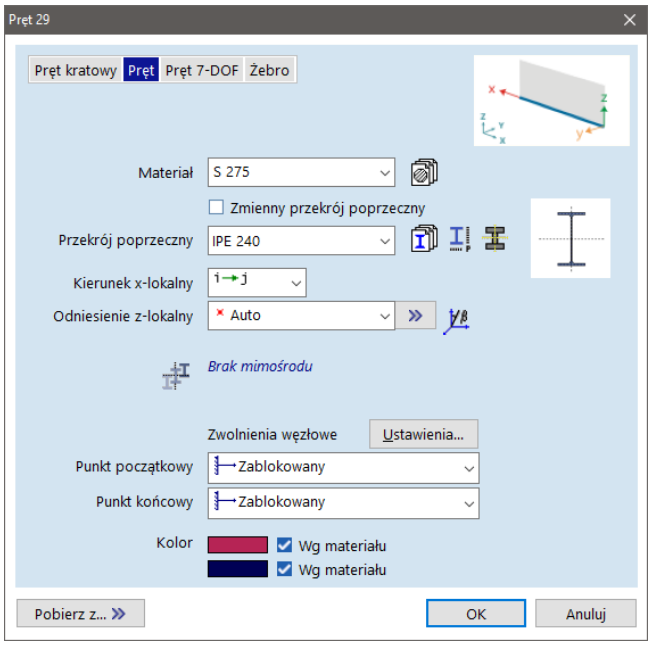
W analizie nieliniowej można określić, że pręt kratowy posiada sztywność tylko przy rozciąganiu lub ściskaniu. Opcjonalnie można również wprowadzić wartość siły granicznej. Dla nieliniowych prętów kratowych przyjmuje się nieliniowo-sprężystą odpowiedź.

Parametry nieliniowości uwzględniane są tylko w analizie nieliniowej.

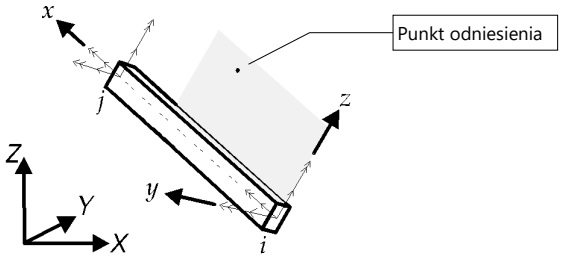
Początkowa sztywność sprężysta pręta kratowego jest uwzględniana podczas wykonywania statycznej liniowej, modalnej lub wyboczeniowej analizy, pomijając wszystkie wprowadzone parametry nieliniowości.

4.9.8.2 Pręt

Elementy typu pręt można wykorzystać do modelowania konstrukcji złożonych z belek i słupów.
Pręty są to elementy dwuwęzłowe, proste o stałym lub zmiennym (liniowo) przekroju poprzecznym wzdłuż swojej długości. Punkt odniesienia służy do dowolnego zorientowania elementu w trójwymiarowej przestrzeni (aby zdefiniować lokalną płaszczyznę *x-z*). Dla każdego węzła tych elementów definiowane są maksymalnie trzy przesuwne i trzy obrotowe stopnie swobody. Zakończenia elementów mogą mieć dowolne zwolnienia.
W każdym punkcie na długości każdego elementu obliczane są trzy ortogonalne siły wewnętrzne: jedna siła normalna i dwie siły tnące (N_x, V_y, V_z) oraz trzy momenty wewnętrzne: jeden skręcający i dwa zginające (T_x, M_y, M_z).



Symbol ***i*** oznacza zakończenie pręta o niższym indeksie węzła (pierwszy węzeł). Domyślnie oś *x* elementu biegnie od węzła (*i*), do węzła (*j*). Aby zmienić ten kierunek, należy wybrać inną opcję z listy *Kierunek x-lokalny*.



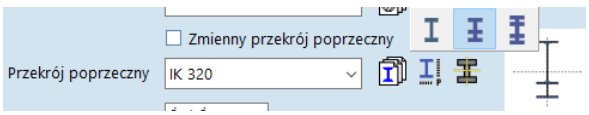
Materiał, przekrój poprzeczny, kierunek x-lokalny

Definiowanie materiału, przekroju poprzecznego i kierunku x-lokalnego odbywa się podobnie jak w przypadku prętów kratowych.
Jeżeli zaznaczono *Zmienny przekrój poprzeczny* to wówczas przekrój początkowy i końcowy są różne. Aby program mógł poprawnie wyznaczyć przekroje pośrednie, muszą być spełnione pewne warunki:

1. Oba przekroje muszą być smukłe lub masywne
2. Przekroje masywne muszą mieć tę samą liczbę otworów, a odpowiadające wielokąty kształtu muszą mieć taką samą liczbę wierzchołków.
3. Przekroje smukłe na obu końcach muszą być tego samego typu (np. rura okrągła – rura okrągła)

Profile dwuteowe ze wzmocnieniem

Wybranie *Parametrycznej edycji przekroju poprzecznego* dla profilu dwuteowego bez wzmocnienia lub ze wzmocnieniem pojedynczym bądź podwójnym, wyświetli małą paletę z wyborem typu do sparametryzowania.



Jeżeli z rozwijanej palety wybrany zostanie inny typ przekroju niż aktualny przekrój z okna głównego, program otworzy okno z parametrami geometrii i podczyta do niego charakterysytki aktualnego przekroju poprzecznego. Gdy bieżący profil to profil ze wzmocnieniem, ale z palety wybrany zostanie zwykły dwuteownik, to okno dialogowe wyświetli parametry dla dwuteownika pobrane z samego przekroju bazowego. Przekrój bazowy to główny dwuteownik (górna część profilu ze wzmocnieniem lub środkowa część profilu z podwójnymi wzmocnieniami).
Podczas definiowania profilu ze wzmocnieniem, który jest elementem o zmiennej wysokości przekroju poprzecznego, najczęściej jest tak, że wzmocnienie na jednym końcu elementu zredukowane jest prawie do zera. Ponieważ początek i koniec belki o zmiennym przekroju musi mieć ten sam typ przekroju, to zakończenie bez wzmocnienia może być odzwierciedlone jedynie poprzez ustawienie minimalnej wysokości tego wzmocnienia. Parametryczne okno dialogowe dla profili ze wzmocnieniem ma osobny

przycisk *Min. wysokość wzmocnienia* do ustawienia właśnie takiego przekroju końcowego. (*3.1.16 Biblioteka przekrojów poprzecznych*).

Automatyczne odniesienie

Wektor odniesienia zostanie wygenerowany przez program zgodnie z przekrojem *4.9.21 Odniesienia*.

Orientację lokalnej osi x elementu można odwrócić lub ustawić jako *Auto*, co oznacza, że kierunki x-lokalne zostaną ustawione automatycznie w oparciu o współrzędne punktów końcowych.

Kąt odniesienia

Obrót przekroju poprzecznego można łatwo ustawić przez podanie kąta odniesienia. Automatyczny lokalny układ współrzędnych (i przekrój poprzeczny) można obrócić wokół osi elementu o kąt zdefiniowany przez użytkownika. Jeżeli element jest równoległy do globalnego kierunku Z, to kąt będzie ustalany względem globalnej osi X. W każdym innym przypadku kąt będzie odnosić się do globalnej osi Z.

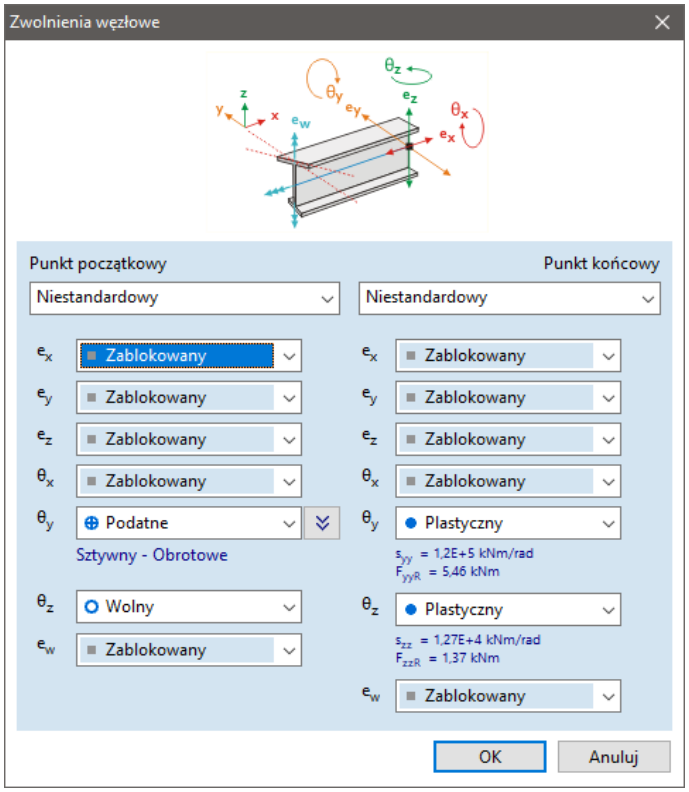
Elementy typu pręt wyświetlane są na ekranie jako niebieskie linie.

Mimośród

Elementy typu pręt mogą mieć przypisany na modelu mimośród zdefiniowany w lokalnych kierunkach -y- oraz -z- względem osi logicznej łączącej węzły końcowe. Patrz... *4.9.8.2.1 Mimośrodowość prętów i żeber*

Zwolnienia węzłowe

Kliknięcie w przycisk *Ustawienia...* otwiera okno dialogowe, w którym można ustawić zwolnienia węzłowe wybranych elementów prętowych.
Zwolnienia węzłowe usuwają więzy pomiędzy wybranymi stopniami swobody elementów (w lokalnym układzie współrzędnych) a węzłami. Są one definiowane przez zestaw sześciu lub siedmiu (pręt 7DOF, patrz *4.9.8.3 Pręt z siedmioma stopniami swobody (moduł 7DOF)* oznaczeń dla każdego końca pręta: *ex, ey, ez, θx, θy, θz, ew*. Każde oznaczenie odpowiada jednemu komponentowi sił wewnętrznych, *ew* reprezentuje spaczenie.
Zakończenia pręta domyślnie ustawiane są jako połączone z węzłami na sztywno (wszystkie oznaczenia jako więzy sztywne). Ustawienie wybranego znacznika dla zakończenia pręta z rozwijanej listy jako *Wolny*, spowoduje zwolnienie powiązanego komponentu sił wewnętrznych. Oznaczenie podatnego połączenia można przypisać do komponentów obrotu zakończeń pręta.



Zablokowany - graficzny symbol połączenia sztywnego (odpowiadający komponent przemieszczenia lub spaczenia zakończenia pręta jest w pełni przekazywany do węzła)

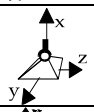
Wolny - graficzny symbol połączenia przegubowego (odpowiadający komponent przemieszczenia lub spaczenia zakończenia pręta nie jest w ogóle przekazywany do węzła)

Podatny - graficzny symbol połączenia podatnego (odpowiadający komponent przemieszczenia lub spaczenia zakończenia pręta jest częściowo przekazywany do węzła). Połączenie podatne wymaga zdefiniowanej charakterystyki sprężyny, tak jak w przypadku definicji elementu typu sprężyna oraz podpora węzłowa.
Rozwijana lista charakterystyki sprężyny zawiera tylko charakterystyki możliwe do zastosowania. Nowa charakterystyka może zostać zdefiniowana poprzez kliknięcie w symbol sprężyny obok rozwijanej listy (**patrz...** *3.1.17 Biblioteka charakterystyk dla sprężyn*). Charakterystyka opisująca połączenie może być dowolną funkcją monotonicznie rosnącą.

Plastyczny - graficzny symbol połączenia sprężysto idealnie plastycznego: maksymalna wartość momentu w węźle końcowym obliczana jest na podstawie właściwości materiału i przekroju poprzecznego. Zwolnienie to dostępne jest tylko dla elementów stalowych i tylko dla komponentów *ex, θy, θz*.

Pushover - graficzny symbol konfigurowalnego połączenia pushover: odpowiadająca zależność moment-obrót jest definiowana przez użytkownika. Z rozwijanej listy można wskazać zdefiniowaną wcześniej charakterystykę. Kliknięcie w jedną z dwóch ikon obok rozwijanej listy umożliwia odpowiednio załadowanie krzywej moment-obrót z biblioteki lub jej edycję w specjalnym edytorze.
Zwolnienie to dostępne jest tylko dla komponentów *θy, θz*.

Poniższa tabela przedstawia typowe zwolnienia węzłowe dla kilku powszechnych przypadków:

Zwolnienie węzłowe	*Symbol*
Przegub w płaszczyźnie x-y. Nie może przekazywać momentu *Mz*.	
Przegub w płaszczyźnie x-z. Nie może przekazywać momentu *My*.	
Przegub w płaszczyźnie x-y i x-z. Nie może przekazywać momentu *Mz* oraz *My*.	
Przegub w płaszczyźnie x-y i x-z i swobodny obrót wokół lokalnej osi x (przegub kulisty). Nie może przekazywać momentu *Mx*, *My*, oraz *Mz*.	
Ślizg wzdłuż lokalnej osi y. Nie może przekazywać siły tnącej *Vy*.	
Ślizg wzdłuż lokalnej osi z. Nie może przekazywać siły tnącej *Vz*.	

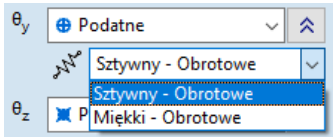
☞ **Należy uważać, aby nie zwolnić elementu lub grupy elementów w taki sposób, żeby doszło do przesunięcia lub obrotu ciała sztywnego.**

Na przykład, po określeniu przegubów kulistych na obu końcach (oznaczenie: 000111), doszłoby do obrotu ciała sztywnego wokół osi elementu. W takim przypadku w jednym z końców nie można zwalniać stopnia swobody elementu odnoszącego się do obrotu wokół lokalnej osi *x* (np.: zakończenie ***i*** oznaczone numerycznie: 000011; zakończenie ***j*** oznaczone numerycznie: 000111).

Przykład: *Początkowy węzeł* ■■■■○○ *Końcowy węzeł* ■■■○○○

Połączenie podatne

Aby zdefiniować połączenie podatne w węźle, należy z rozwijanej listy wybrać *Podatny*, a następnie odpowiednią charakterystykę z nowowyświetlonej rozwijanej listy lub zdefiniować własną charakterystykę klikając w symbol sprężyny.
Aby zmodyfikować wcześniej przypisaną charakterystykę, należy kliknąć przycisk z podwójnymi strzałkami, aby ponownie wyświetlić rozwijaną listę z dostępnymi charakterystykami.
Charakterystyka połączenia podatnego może zostać przypisana do każdego komponentu zwolnienia dostępnego w węźle (3 przesuwne i 3 obrotowe).



Kliknięcie w symbol sprężyny pozwoli edytować jej charakterystykę lub wybrać jedną z predefiniowanych.
Wykres zależności moment - względny obrót dla połączenia modelowany jest za pomocą liniowo lub nieliniowo sprężystej obrotowej sprężyny. Charakterystyka nieliniowa może być użyta tylko w nieliniowej analizie statycznej. W liniowej analizie statycznej, analizie modalnej oraz wyboczeniowej uwzględniana jest początkowa sztywność połączenia.

Jeżeli musiała zostać zdefiniowana nowa charakterystyka sprężyny, to domyślne wartości sztywności (przesuwnej K_u oraz obrotowej K_r) obliczane są na podstawie charakterystyki przekroju poprzecznego, ale **mnożone są przez 1000** jak podano poniżej:

Sztywność przesuwna K_u

$$x: K_u = 1000 \cdot \frac{A_x \cdot E_x}{\ell}$$

gdzie A_x jest powierzchnią przekroju poprzecznego, E_x jest modułem Younga, a ℓ jest długością elementu.

Sztywność obrotowa K_r

$$yy\colon K_r = 1000 \cdot \frac{4 \cdot E_x \cdot I_y}{\ell}$$

$$zz\colon K_r = 1000 \cdot \frac{4 \cdot E_x \cdot I_z}{\ell}$$

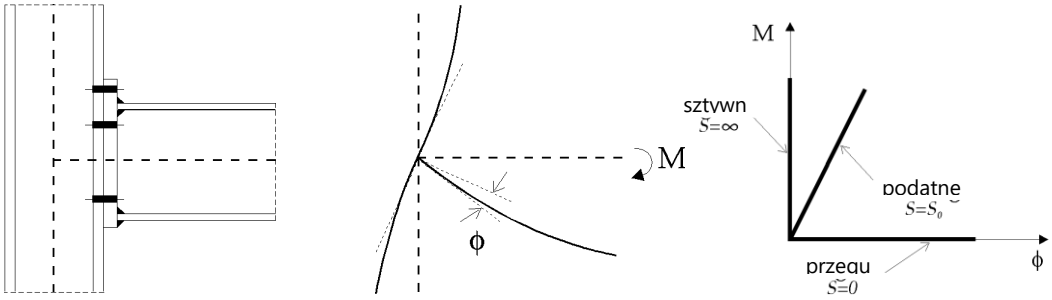
gdzie *Iy* oraz *Iz* są momentami bezwładności przekroju poprzecznego.

Program nie wyznacza domyślnych wartości dla komponentów deformacji od ścinania oraz od skręcania.

Sztywność połączeń określana jest w ich układach lokalnych. Najczęściej podaje się sztywność początkową dla danej charakterystyki nieliniowej połączenia.

Poniższe wykresy prezentują w jaki sposób należy interpretować sztywność obrotową węzła stalowego:

Połączenie: *Model:* *Wykres moment – obrót względny*



☞ **Na przykład w przypadku stalowych konstrukcji ramowych szczegóły zastosowania podaje Eurokodu 1993-1-8.**

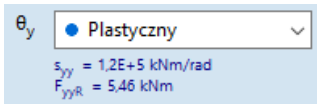
Siły graniczne

Dla połączeń podatnych można przypisać siłę graniczną (nośność połączenia), tj. maksymalną siłę/moment, który może powstać w tym połączeniu. Wartość ta może zostać określona w oknie charakterystyki sprężyny.

Dla materiału typu stal siły graniczne F_u, M_y oraz M_z wyznaczane są automatycznie na podstawie charakterystyk przekroju poprzecznego i granicy plastyczności stali. Dla innych materiałów nie jest wyznaczana automatycznie żadna wartość nośności granicznej.

☞ **Parametr siły granicznej użyty jest wyłącznie w przypadku nieliniowej analizy statycznej/dynamicznej.**

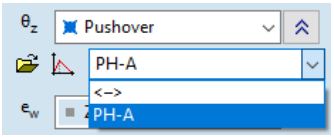
Stalowy przegub plastyczny



Aby zdefiniować stalowe przeguby plastyczne, należy wybrać z rozwijanej listy *Plastyczny*. Przegub plastyczny może być ustawiony tylko dla komponentu związanego z przesuwem po -x- oraz obrotem wokół -y- oraz -z-. Obliczona nośność osiowa lub na zginanie zostanie wyświetlona, ale pozostanie nieedytowalna.
Dla innych przekrojów i materiałów nie pojawi się żadna wartość w polu edycji, ale przegub zostanie zdefiniowany z właściwą nośnością.
Po zakończeniu analizy nieliniowej i wyświetleniu wykresów sił wewnętrznych dla prętów przeguby, które weszły w stan plastyczny w danym przyroście obciążenia zostaną oznaczone na czerwono. Liczba przy przegubie wskazuje kolejność przechodzenia w stan plastyczny. Stąd przegub z numerem 1, będzie przegubem, który uplastycznił się pierwszy. Jeżeli w węźle nie ma oznaczenia czerwonego przegubu to oznacza, że siła graniczna nie został jeszcze w nim osiągnięta.

☞ **Stalowe przeguby plastyczne mogą być używane tylko dla prętów stalowych i są uwzględniane wyłącznie w przypadku przeprowadzenia nieliniowej analizy statycznej/dynamicznej.**

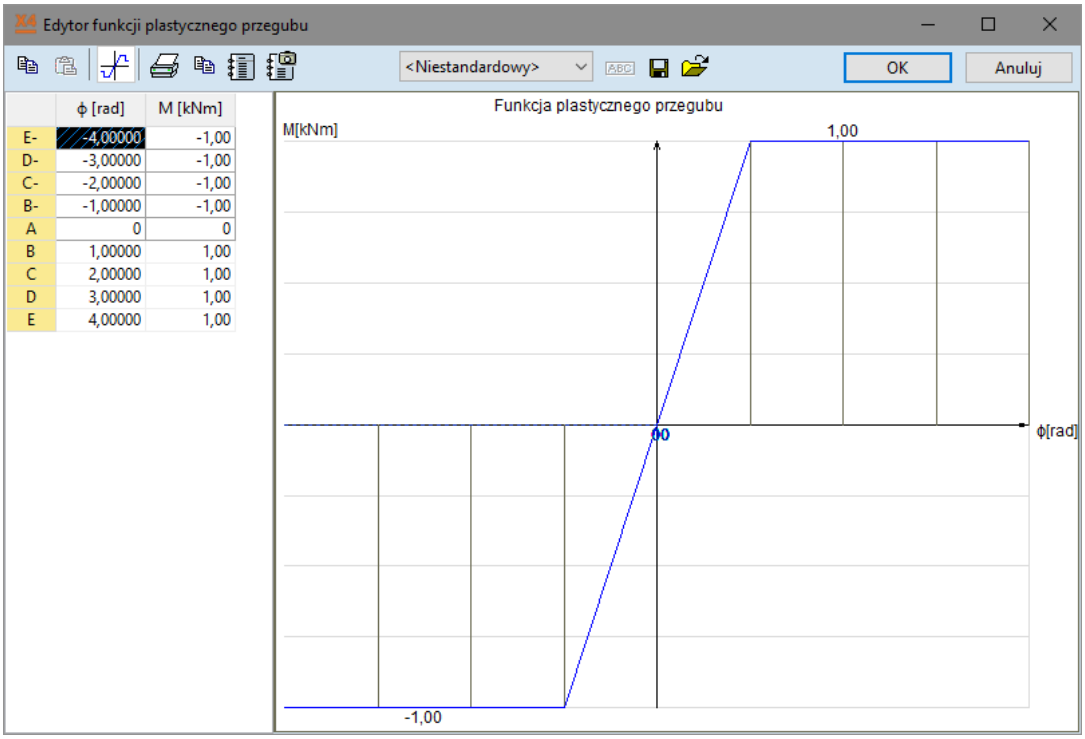
Przegub Pushover



Aby zdefiniować przegub „pushover", należy wybrać z rozwijanej listy *Pushover*, a następnie wybrać z dodatkowej listy dostępną funkcję lub wczytać wcześniej zapisaną funkcję z biblioteki (pierwsza ikona) lub wyedytować wykres moment-obrót (druga ikona - *Edytor funkcji*).
Aby zmodyfikować wcześniej przypisaną charakterystykę pushover, należy kliknąć przycisk z podwójnymi strzałkami, aby ponownie wyświetlić rozwijaną listę z dostępnymi charakterystykami.

Dla każdej ze stron wykresu moment-obrót można zdefiniować łącznie pięć punktów. Umożliwia to modelowanie w połączeniach złożonych odpowiedzi, wliczając możliwość wzmocnienia, osłabienia i utratę wytrzymałości. Odpowiedź, która znajdowałaby się poza zakresem wykresu, czyli za ostatnim jego punktem, jest ekstrapolowana na podstawie punktów D i E. Wykres definiuje się przez określenie w tabeli po lewej stronie okna współrzędnych odpowiadających momentowi i obrotowi. Utworzony wykres domyślnie jest symetryczny, ale można to zmienić wyłączając przycisk *Funkcja symetryczna*. Utworzone wykresy można zapisać i wykorzystać w innych elementach modelu.

Aby ułatwić analizę numeryczną i zapobiec wystąpieniu problemów ze zbieżnością, zaleca się unikanie nagłych spadków na wykresie dla odcinków nośności i idealnej plastyczności. Należy złagodzić wykres upewniając się, że obie współrzędne kolejnych punktów chociaż nieznacznie różnią się. Nie wpłynie to na wyniki, ale poprawi znacząco numeryczną stabilność.



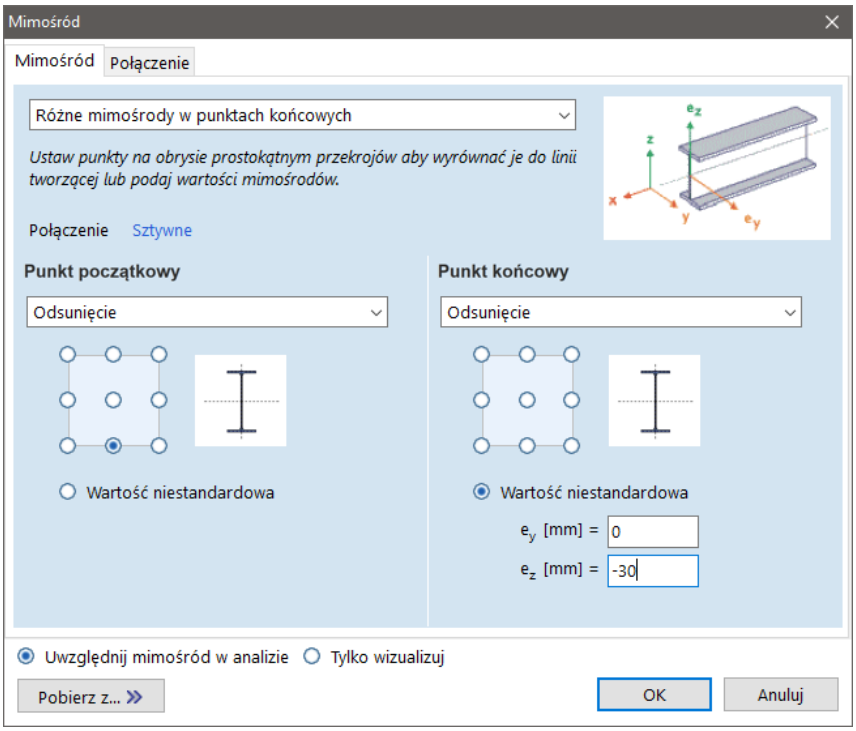
Po ukończeniu analizy nieliniowej i wyświetleniu wykresów sił wewnętrznych prętów, przeguby, które przeszły w stan plastyczny dla bieżącego kroku obciążenia, zmienią kolor na czerwony. Numer obok przegubu informuje o kolejności przy przechodzeniu przegubów w stan plastyczny. Przegub z numerem 1 przeszedł w stan plastyczny jako pierwszy. Jeżeli przeguby nie zmieniły koloru na czerwony, oznacza to, że nie osiągnęły jeszcze momentu granicy plastyczności.

Jeżeli którekolwiek zwolnienie węzłowe pręta jest połączeniem przegubowym, to odpowiednie zakończenie pręta wyświetlane jest jako niebieskie kółko. Jeżeli posiada określoną wartość sztywności, dodany zostanie niebieski krzyżyk. Jeżeli zwolnienia węzłowe odpowiadają przegubowi kulistemu, zakończenie pręta wyświetlane jest jako czerwony okrąg.
Przeguby plastyczne wyświetlane są jako pełne kółka.
Zdefiniowane pręty wyświetlane są jako ciemne niebieskie linie.

4.9.8.2.1 Mimośrodowość prętów i żeber

Pręty lub niezależne żebra (niepołączone z elementami powierzchniowymi) mogą mieć przypisaną mimośrodowość po kierunku -y- oraz -z- względem logicznej osi łączącej węzły końcowe. Mimośrody w węzłach końcowych mogą być różne. W takiej sytuacji mimośród przekroju pośredniego zmienia się liniowo pomiędzy zadanymi wartościami na końcach pręta.
Użytkownik może ustawić także, czy mimośród ma oddziaływać fizycznie na geometrię modelu (opcja *Uwzględnij mimośród w analizie*) czy też ma pojawić się na modelu tylko jako efekt graficzny (opcja *Tylko wizualizuj*). Wspomniane opcje znajdują się w dolnej części okna.
Mimośród może być edytowany w dwojaki sposób: w oknie dialogowym elementu prętowego lub poprzez dedykowane polecenie na zakładce *Elementy*.

Okno dialogowe mimośrodu składa się z dwóch zakładek. Zakładka *Mimośród* służy do definiowania mimośrodu *ey* oraz *ez*, podczas gdy zakładka *Połączenie* służy do dostosowania warunków brzegowych w takim połączeniu.



Mimośród

Typy mimośrodów do zdefiniowania

Odpowiednia metoda definiująca dany typ mimośrodu może zostać wybrana z rozwijanej listy.

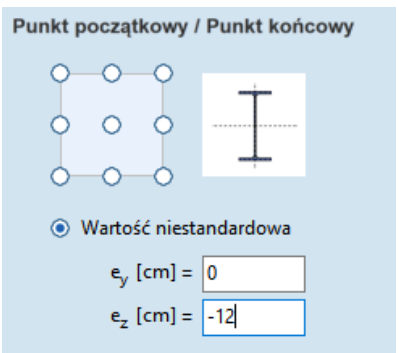
- *Brak mimośrodu*
- *Jednolite odsunięcie*
- *Wyrównanie do grupy mimośrodów*
- *Wyrównanie do innego elementu*
- *Różne mimośrody w punktach końcowych*

Brak mimośrodu

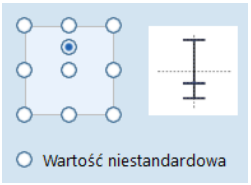
Usuwa mimośrody zdefiniowane w edytowanym elemencie.

Jednolite odsunięcie

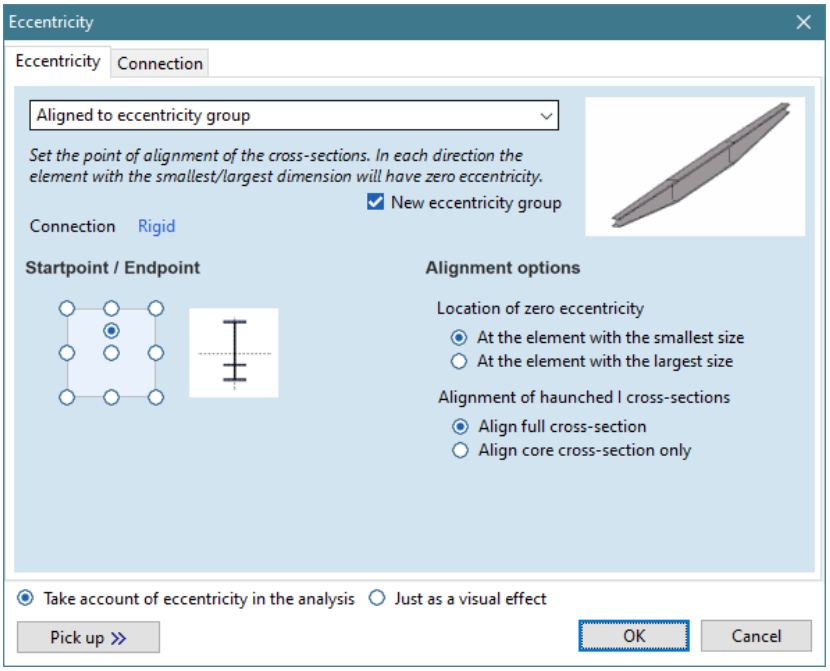
Wartości mimośrodu e_y oraz e_z są stałe na całej długości elementu. Odsunięcie może zostać ustawione poprzez kliknięcie jednej z kontrolek umieszczonych na prostokątnej skrajni przekroju poprzecznego. W ten sposób na podstawie wybranego punktu zostanie dopasowane odsunięcie od osi logicznej. Innym sposobem jest zaznaczenie opcji *Wartość niestandardowa* i wprowadzenie własnej wartości odsunięcia dla obu mimośrodów.
Ramka przedstawiająca skrajnię przekroju poprzecznego wyświetlana jest w lokalnym układzie *y-z* pręta, tzn. oś -y- jest skierowana poziomo w prawo, a oś -z- pionowo w górę.



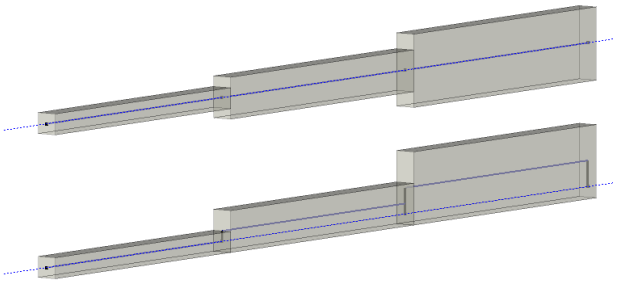
Jeżeli element jest dwuteownikiem z pojedynczym lub podwójnym wzmocnieniem, to pojawi się dodatkowy punkt, który oznacza środek ciężkości przekroju bazowego. Przekrój bazowy to główny dwuteownik (górna część profilu ze wzmocnieniem lub środkowa część profilu z podwójnymi wzmocnieniami).



Wyrównanie do grupy mimośrodów

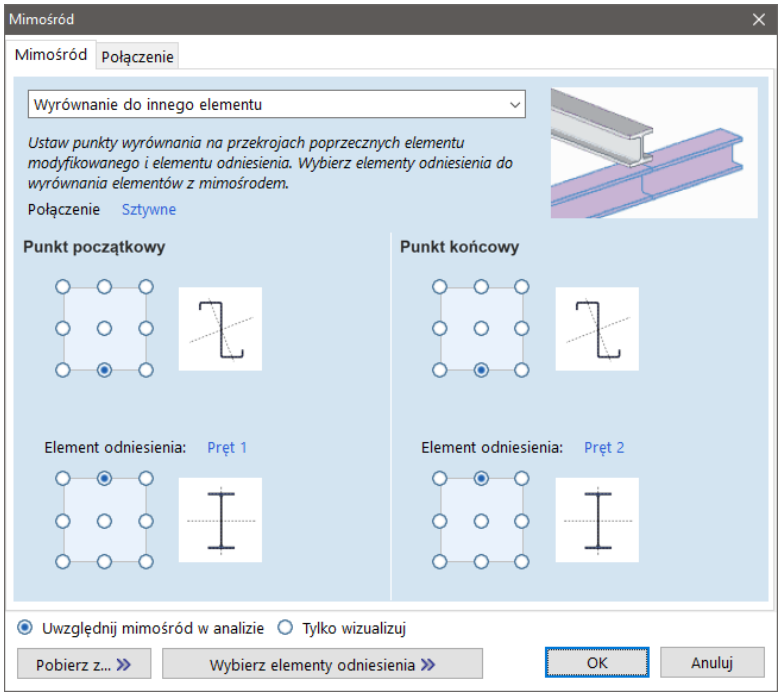


Zaznaczone elementy prętowe konstrukcji mogą utworzyć grupę mimośrodów w analogiczny sposób jak obszary. Wartość mimośrodu e_y oraz e_z najmniejszego/największego z elementów w danym kierunku będzie wynosić zero (*Opcje wyrównania*), podczas gdy pozostałe elementy zostaną tak przesunięte, aby ich skrajnia wyrównana była do wybranego punktu. Specjalne opcje wyrównania dostępne są dla profili dwuteowych ze wzmocnieniem. Jeżeli wybrana została opcja *Wyrównaj do całkowitego przekroju*, to wyrównanie zostanie przeprowadzone tak samo jak dla innych przekrojów. Jeżeli wybrana została natomiast opcja *Wyrównaj tylko przekrój bazowy*, wzmocnienia będą pomijane podczas obliczania wartości wyrównania.



Wyrównanie do innego elementu

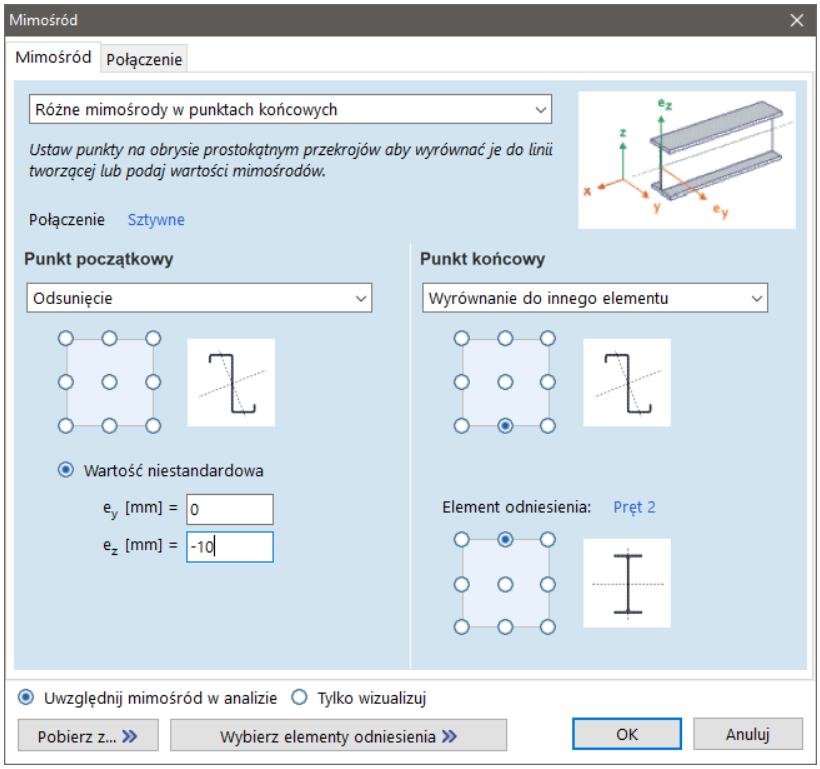
Jest to powszechna sytuacja, kiedy jedna belka leży na drugiej. W takiej sytuacji, aby automatycznie nadać odpowiednie przesunięcie elementu można wybrać definicję mimośrodu za pomocą opcji *Wyrównanie do innego elementu*.



Należy najpierw ustawić wyrównanie punktu początkowego i końcowego elementu górnego, a następnie ustawić punkt wyrównania dla elementu referencyjnego (odniesienia) w odpowiadających punktach.
Kliknięcie w przycisk *Wybierz elementy odniesienia* pozwala wskazać pręty, żebra lub pręty kratowe jako elementy odniesienia do ustalenia wielkości odsunięcia. Element odniesienia musi mieć wspólny węzeł z elementem, do którego przypisywany jest mimośród. Sam element odniesienia może być także ustawiony mimośrodowo, ale nie może być to opcja wyrównania do innego elementu.
Jeżeli wskazany element odniesienia spełnia wszystkie powyższej warunki, to mimośród dla zadawanego elementu zostanie ustawiony zgodnie z określonymi przez użytkownika punktami wyrównania na dwóch skrajniach przekrojów poprzecznych.
Zmiana przekroju poprzecznego elementu odniesienia lub mimośrodu przypisanego do niego spowoduje natychmiastową aktualizację mimośrodowo dopasowanego do niego elementu.

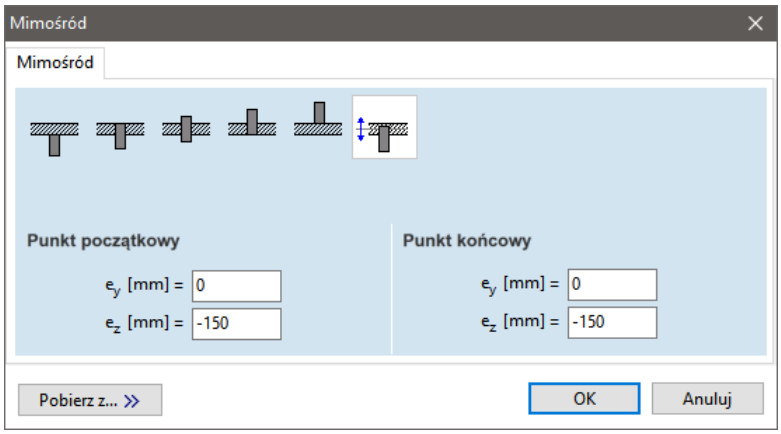
Różne mimośrody w punktach końcowych

Opcja ta służy do definiowania mimośrodu innego w punkcie początkowych i innego w punkcie końcowym. W każdym z tych punktów można niezależnie zdefiniować mimośród wg *Odsunięcia* lub *Wyrównania do innego elementu*.
Szczegóły znajdują się w opisach poszczególnych opcji powyżej.



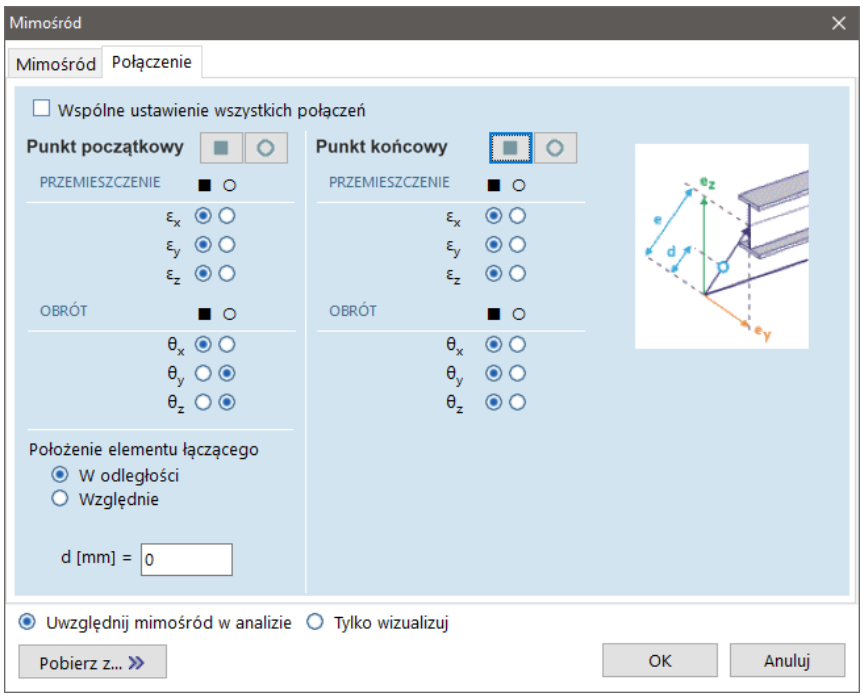
Mimośród żeber połączonych z elementami powierzchniowymi

Kliknięcie polecenia *Mimośród* i wskazanie żeber, które na modelu połączone zostały z elementami powierzchniowymi otworzy okno dialogowe, w którym można wskazać jedno z typowych położeń przekroju poprzecznego elementu żebra względem elementu powierzchniowego. Ostatnia opcja to *mimośród niestandardowy*, gdzie wartość mimośrodu po -y- oraz -z- może zostać ustawiona niezależnie w punktach końcowych. W pozostałych przypadkach typowych wartość mimośrodu $e_y = 0$.
Patrz... *4.9.8.4 Żebro*.



Połączenie

Połączenie mimośrodowe w każdym lokalnym kierunku dla przesuwu i obrotu może być sztywne lub całkowicie zwolnione.
Symbole: ■ = połączenie sztywne, ○ = swobodny przesuw (ε) lub obrót(θ).
Jeżeli połączenie nie jest połączeniem całkowicie sztywnym, to pomiędzy węzłem końcowym elementu i mimośrodu automatycznie wstawiany jest element łączący typu węzeł-węzeł.
Położenie elementu łączącego może zostać zdefiniowane *wg długości* lub *względne*. Jeżeli element jest wyrównany do elementu odniesienia, dostępna jest również trzecia opcja, a mianowicie *Oblicz położenie*. Program znając przekroje poprzeczne dwóch elementów jest w stanie samodzielnie wyznaczyć położenie elementu łączącego.



Dwa poniższe przyciski służą do ustawienia predefiniowanych połączeń

Sztywne połączenie
Ustawia wszystkie komponenty jako sztywne.

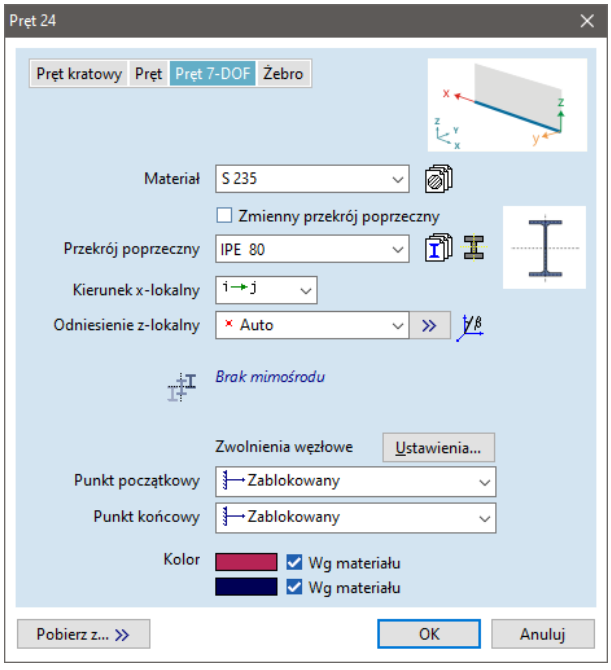
Przegubowe połączenie
Ustawia wszystkie komponenty jako sztywne oprócz obrotowych wokół osi *-y-* oraz *-z-*.

Wspólne ustawienia wszystkich połączeń
Jeżeli element z mimośrodem połączony jest do więcej niż jednego elementu, to ta opcja pozwala ustawić te same parametry na obu jego końcach.

Pobierz z... Przycisk ten służy do skopiowania mimośrodów pręta lub żebra z innego pręta lub żebra, o ile mimośród ten nie jest zdefiniowany jak wyrównanie względem elementu odniesienia.

4.9.8.3 Pręt z siedmioma stopniami swobody (moduł 7DOF)

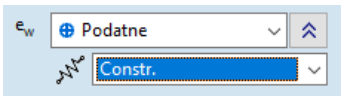
Pręty z dostępnymi siedmioma stopniami swobody (oznaczane z ang. jako 7DOF) są to dwuwęzłowe, proste elementy ze stałym lub zmiennym przekrojem poprzecznym (zmiennym liniowo) na swojej długości.
Punkt odniesienia służy do dowolnego zorientowania elementu w trójwymiarowej przestrzeni (aby zdefiniować lokalną płaszczyznę *x-z*). Oprócz trzech przesuwnych i trzech obrotowych stopni swobody, dla każdego węzła elementu definiowany jest także siódmy stopień swobody, który związany jest ze spaczeniem. Punkty końcowe takiego elementu mogą mieć dowolne zdefiniowane zwolnienia.
W każdym punkcie na długości takiego elementu obliczane są trzy ortogonalne siły wewnętrzne: jedna siła normalna i dwie siły tnące (N_x, V_y, V_z) oraz trzy momenty wewnętrzne: jeden skręcający i



dwa zginające (T_x, M_y, M_z), a dodatkowo także bimoment (B). [16, 41, 42, 43, 44]. Pozostałe parametry pozostają takie jak dla standardowego elementu prętowego.

Zwolnienia węzłowe

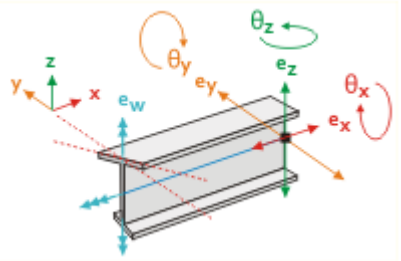
Dla tego typu pręta zwolnienia węzłowe mogą zostać zdefiniowane także dla stopnia swobody związanego ze spaczeniem (deplanacją przekroju) – oznaczenie e_{wk}.



Zablokowany: Stopień swobody od spaczenia na zakończeniu pręta jest taki sam jak stopień w węźle, do którego dochodzi.

Wolny: Pręt może swobodnie wypaczać się w analizowanym punkcie końcowym.

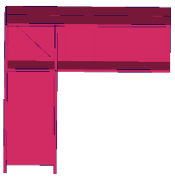
Podatny: Ten typ połączenia służy do ustawienia przekazywania spaczenia na podstawie pracy *Basaglia i inni.* [40]. Ten specjalny typ sprężyny jest definiowany na podstawie współczynnika opisującego przekazywanie spaczenia między węzłem a punktem końcowym pręta w taki sposób, że połączone pręty mogą mieć różnie zdefiniowane spaczenie. Ograniczenie swobody w tym stopniu swobody opisujące przekazywanie spaczenia jest opisane wzorem



$$w_{węzeł} = WF \cdot w_{koniec\ pręta}$$

Wartość *WF* zależy od typu połączenia. Najbardziej typowe połączenia przedstawiono poniżej:

Użebrowanie po przekątnej



Użebrowanie prostopadłe

Użebrowanie pełne

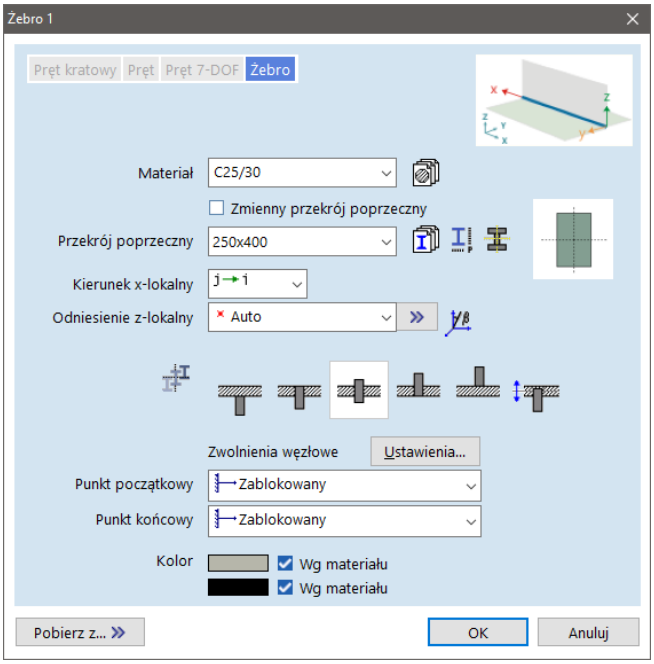
Połączenie z użebrowaniem po przekątnej zapewnia całkowity i bezpośredni transfer spaczenia. Połączenie z użebrowaniem prostopadłym zapewnia całkowity, ale odwrócony transfer spaczenia. Połączenie usztywnione wszystkimi żeberkami (pełne) nie przekazuje spaczenia pomiędzy prętami. Odpowiadające wartości współczynnika *WF* to:

Całkowite, bezpośrednie (przekątne):	*WF* = 1
Całkowite, odwrócone (prostopadłe):	*WF* = –1
Sztywne (pełne):	*WF* = 0

Dla innych typów połączeń stalowych wartość *WF* może zostać wyznaczona poprzez analizę modelu powłokowego połączenia.

4.9.8.4 Żebro

Żebro



Elementy żebrowe można wykorzystać osobno lub w połączeniu z elementami powierzchniowymi (płyty, tarcze i powłoki), aby wymodelować użebrowane konstrukcje powierzchniowe. Żebra w połączeniu z elementami powierzchniowymi mogą być usytuowane względem nich centrycznie lub mimośrodowo.
Właściwości przynależnych elementów powierzchniowych są wykorzystywane, aby ustawić orientację elementu w przestrzeni trójwymiarowej (aby zdefiniować lokalną płaszczyznę *x-z*).
W przypadku użycia żeber niezależnie od elementów powierzchniowych, mogą one posłużyć do modelowania konstrukcji ramowej w podobny sposób, jak korzystając z elementów typu pręt, ale dodatkowo mogą zostać uwzględnione odkształcenia od ścinania. Wymagany jest punkt odniesienia lub wektor, aby dowolnie zorientować element w przestrzeni trójwymiarowej.

Elementy żebrowe to izoparametryczne, trzywęzłowe, proste elementy o stałym lub zmiennym (zmiennym liniowo) przekroju poprzecznym wzdłuż długości żebra i z kwadratowymi funkcjami interpolacyjnymi. Dla węzłów elementu definiowane są trzy przesuwne i trzy obrotowe stopnie swobody. Dla każdego węzła elementu obliczane są trzy ortogonalne siły wewnętrzne: jedna siła normalna i dwie siły tnące (N_x, V_y, V_z) oraz trzy momenty wewnętrzne: jeden skręcający i dwa zginające (T_x, M_y, M_z).
Funkcję kształtu (interpolacyjną) dla elementu można uważać za liniową.

Definiuj

Należy przypisać następujące właściwości:

Materiał, przekrój poprzeczny, kierunek x-lokalny

Definiowanie materiału, przekroju poprzecznego i kierunku x-lokalnego odbywa się podobnie jak w przypadku elementów typu pręt kratowy.
Jeżeli zaznaczono Zmienny przekrój poprzeczny to wówczas przekrój początkowy i końcowy są różne. Aby program mógł poprawnie wyznaczyć przekroje pośrednie, muszą być spełnione pewne warunki:

1. Oba przekroje muszą być smukłe lub masywne
2. Przekroje masywne muszą mieć tę samą liczbę otworów, a odpowiadające wielokąty kształtu muszą mieć taką samą liczbę wierzchołków.
3. Przekroje smukłe na obu końcach muszą być tego samego typu (np. rura okrągła – rura okrągła)

Materiał

Materiał żebra może być inny od materiału powierzchni (jeżeli żebro jest połączone z powierzchnią).

Przekrój poprzeczny

Przekrój poprzeczny elementu żebrowego uwzględniany jest tak, jak przedstawiono na poniższym rysunku:

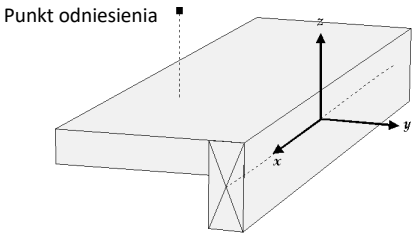
Automatyczne odniesienie

Wektor odniesienia zostanie wygenerowany przez program zgodnie z rozdziałem 4.9.21 Odniesienia

Odniesienie

Niezależne żebro:

Lokalny układ współrzędnych definiowany jest w następujący sposób: oś elementu definiuje lokalną oś *x*; lokalna oś *z* definiowana jest przez punkt lub wektor odniesienia; lokalna oś *y* zgodnie z regułą prawej dłoni.



Żebro połączone z elementem powierzchniowym:

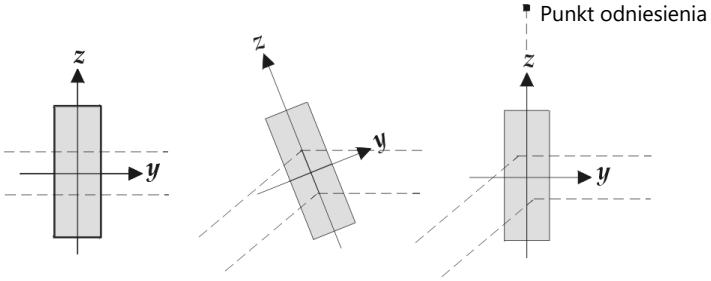
Lokalny układ współrzędnych definiowany jest w sposób następujący: oś elementu definiuje lokalną oś *x*; lokalna oś *z* jest równoległa do osi *z* elementu powierzchniowego; lokalna oś *y* jest równoległa do płaszczyzny elementu powierzchniowego i zorientowana zgodnie z regułą prawej dłoni.

Poniższy rysunek pokazuje, że kiedy żebro zlokalizowane jest na krawędzi dwóch elementów powierzchniowych, to jego lokalna oś -*z*- zorientowana jest po dwusiecznej kąta między tymi płaszczyznami.

Jeżeli z krawędzią połączone są więcej niż dwie powierzchnie, a podczas definicji żebra zaznaczona zostanie jedna lub dwie z nich, to możliwe będzie automatyczne utworzenie odniesienie żebra. W takim przypadku, należy podczas definiowania żebra oprócz krawędzi wskazać również wybrany obszar (lub dwa), aby jednoznacznie przypisać żebro do tego obszaru. Można sprawdzić jaki obszar został przypisany do danego żebra, za pomocą podpowiedzi wyświetlanej na zakładce *Elementy* po najechaniu kursorem na żebro.

Przypisywanie obszaru do żebra uwzględnia również widoczne w danym momencie fragmenty. Jeżeli żebro ma znaleźć się na krawędzi wielu obszarów, ale w danym momencie wyświetlany jest tylko jeden z nich (pozostałe są niewidoczne na modelu), to żebro zostanie automatycznie przypisanego do widocznego obszaru.

Właściwości przekroju poprzecznego muszą zostać zdefiniowane w tym układzie współrzędnych.



Kąt odniesienia

Automatyczny lokalny układ współrzędnych (i przekrój poprzeczny) można obrócić wokół osi elementu o kąt zdefiniowany przez użytkownika. Jeżeli element jest równoległy do globalnego kierunku Z, kąt będzie odnosić się do globalnej osi X. W każdym innym przypadku kąt będzie odnosić się do globalnej osi Z.

Zwolnienia węzłowe

Zwolnienia węzłowe dla żeber mogą być definiowane w taki sam sposób jak dla prętów. Domyślnie oba końce żebra są utwierdzone.

Zwolnienia węzłowe dla żeber wyświetlane są w *Przeglądarce tabel* w tabeli *Żebra*, ale szczegółowe informacje można również znaleźć w odrębnej tabeli o nazwie *Zwolnienia węzłowe żeber* (tabela ta pojawi się tylko wtedy, gdy na modelu zdefiniowane zostało przynajmniej jedno zwolnienie).

Mimośród

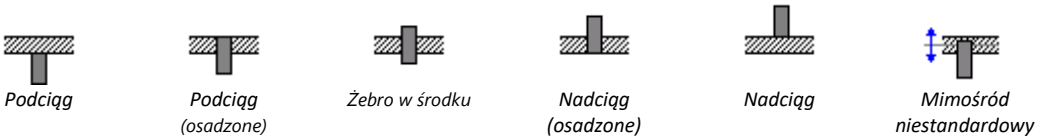
Żebra w większości przypadków modelowane są w połączeniu z elementami powierzchniowymi (obszarami), ale mogą również być definiowane jako elementy zupełnie od nich niezależne. W tym drugim przypadku ich mimośród może być definiowany w taki sam sposób jak dla prętów (**patrz...** *4.9.8.2.1 Mimośrodowość prętów i żeber*)

Dla żeber połączonych na swojej długości z kilkoma obszarami (wspólna krawędź obszarów), to oprócz linii krawędzi można wskazać jeden lub dwa obszary definiujące mimośród.

Mimośród żebra określany jest poprzez odległość środka ciężkości jego przekroju poprzecznego do płaszczyzny modelu powierzchni (płaszczyzna neutralna). Jest on dodatni, jeżeli środek ciężkości przesunięty jest zgodnie z kierunkiem dodatnim jego lokalnej osi *z*.

Standardowe ustawienia mimośrodu żebra:

Typy mimośrodów dla żelbetowego żebra i płyty

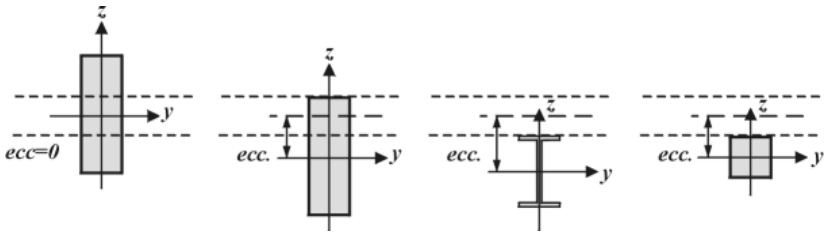


Typy mimośrodów dla płyty żelbetowej i żebra z innego materiału

Podciąg *Nadciąg* *Żebro w środku* *Mimośród użytkownika*

Dla pozostałych przypadków oprócz mimośrodu niestandardowego, wartość mimośrodu obliczana jest na podstawie przekroju poprzecznego żebra i grubości płyty. W zależności od materiału żebra, rysunki przycisków zmieniają się zgodnie z materiałem żebra. Jeżeli przekrój poprzeczny żebra lub grubość płyty zostaną zmienione, mimośród zostanie automatycznie przeliczony i ustawiony przez program na nowo. Jeżeli żebro jest stalowe lub drewniane, połączone z powłoką i zdefiniowane jako podciąg lub nadciąg, można zdefiniować dodatkowo sztywność podłużną połączenia.

☞ **W przypadku połączeń żelbetu płyta-żebro, przekrój poprzeczny żebra musi uwzględniać grubość płyty. W innych przypadkach (konstrukcje stalowe lub drewniane), przekrój poprzeczny połączony jest z górną lub dolną płaszczyzną płyty.**



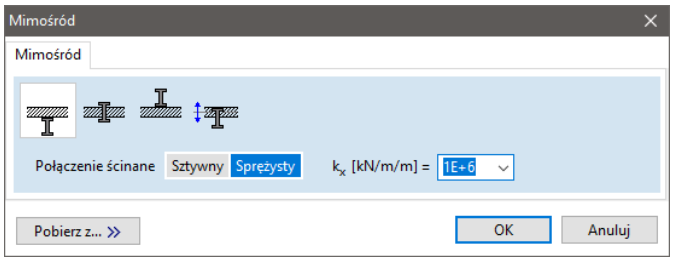
☞ **W przypadku elementów typu płyta, mimośród żebra modyfikuje moment bezwładności żebra w sposób następujący:**

$$I_y^* = I_y + A \cdot exc^2$$

W przypadku powłok, ze względu na mimośrodowe połączenie żebra z powłoką, pojawią się siły normalne w żebrze i w powłoce.

Połączenie ścinane

W przypadku podciągu i nadciągu (z wyjątkiem konstrukcji żelbetowej) można zdefiniować połączenie ścinane pomiędzy żebrem a płytą. Połączenie to może być *sztywne* lub *sprężyste*. Sztywność sprężysta (składnik k_x) musi zostać ustawiona przez użytkownika i nie jest ona wyznaczana przez program (domyślna wartość to 1E+6 kN/m/m).
Użycie opcji połączenia sprężystego spowoduje pojawienie się w wynikach dodatkowego komponentu V_{xz} (podłużna siła tnąca), który nie jest wyznaczany dla połączenia sztywnego.



Redukcja sztywności

Podczas przeprowadzania analizy spektrum odpowiedzi modalnej wg Eurokodu można zredukować sztywność niektórych elementów architektonicznych (belek, słupów, ścian, płyt itd.). Więcej szczegółów można znaleźć w rozdziale *3.3.10 Redukcja sztywności*.
Dla żeber żelbetowych można wprowadzić dwa współczynniki redukcyjne (k_A oraz k_I).

Współczynnik k_A zmniejsza powierzchnię przekroju betonowego. Ma on wpływ tylko na sztywność podłużną i nie wpływa na sztywność poprzeczną. Współczynnik k_I obniża tylko sztywność giętną przekroju poprzecznego.

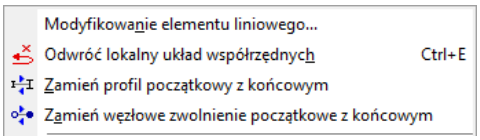
Żebra wyświetlane są jako niebieskie linie.

Pobierz z...>>

Można pobrać właściwości innego elementu i przypisać je do wybranych elementów. Kliknięcie na przycisk *Pobierz z...* zamknie okno dialogowe. Kliknięcie na element umożliwi pobranie wartości i wyświetli ponownie okno dialogowe.
Skopiowane zostaną tylko te właściwości, przy których zaznaczono pole wyboru.

Menu podręczne

Na zakładce *Elementy* po najechaniu kursorem na element prętowy znajdujący się na modelu (można zaznaczyć wcześniej większą ich liczbę) i kliknięciu na nim prawym przyciskiem myszy pojawi się menu podręczne, które zawiera kilka przydatnych funkcji.



Odwróć lokalny układ współrzędnych

Ustawia lokalną oś -x- wybranych elementów prętowych w odwrotnym kierunku. Przekrój początkowy i końcowy elementów o zmiennym przekroju oraz zwolnienia węzłowe pozostaną w pierwotnej lokalizacji.

Zamień profil początkowy z końcowym

Zamienia miejscami przekrój początkowy z końcowym dla wybranych prętów/żeber o zmiennym przekroju.
Kierunek lokalnej osi -x- pozostaje bez zmian.

Zamień węzłowe zwolnienie początkowe z końcowym

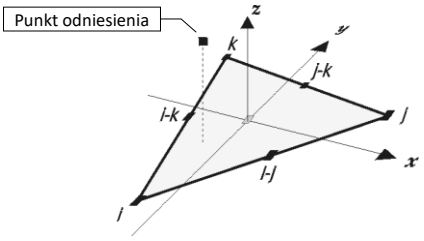
Zamienia miejscami zwolnienia węzłowe wybranych prętów/żeber.
Kierunek lokalnej osi -x- pozostaje bez zmian.

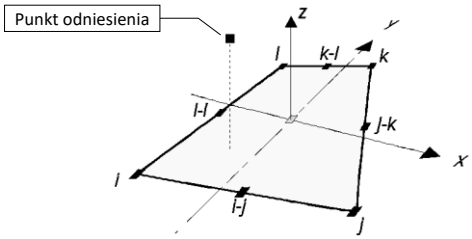
4.9.9 Elementy powierzchniowe

Elementy powierzchniowe można wykorzystać do modelowania tarcz (elementów tarczowych), cienkich i grubych płyt (elementów płytowych) oraz powłok (elementy powłokowe) zakładając, że przemieszczenia są małe.
Jako elementy powierzchniowe można użyć sześciowęzłowe trójkątne lub ośmio-/dziewięciowęzłowe czworokątne elementy skończone, sformułowane w oparciu o podejście izoparametryczne. Elementy powierzchniowe są płaskie i mają stałą grubość w obrębie elementu.

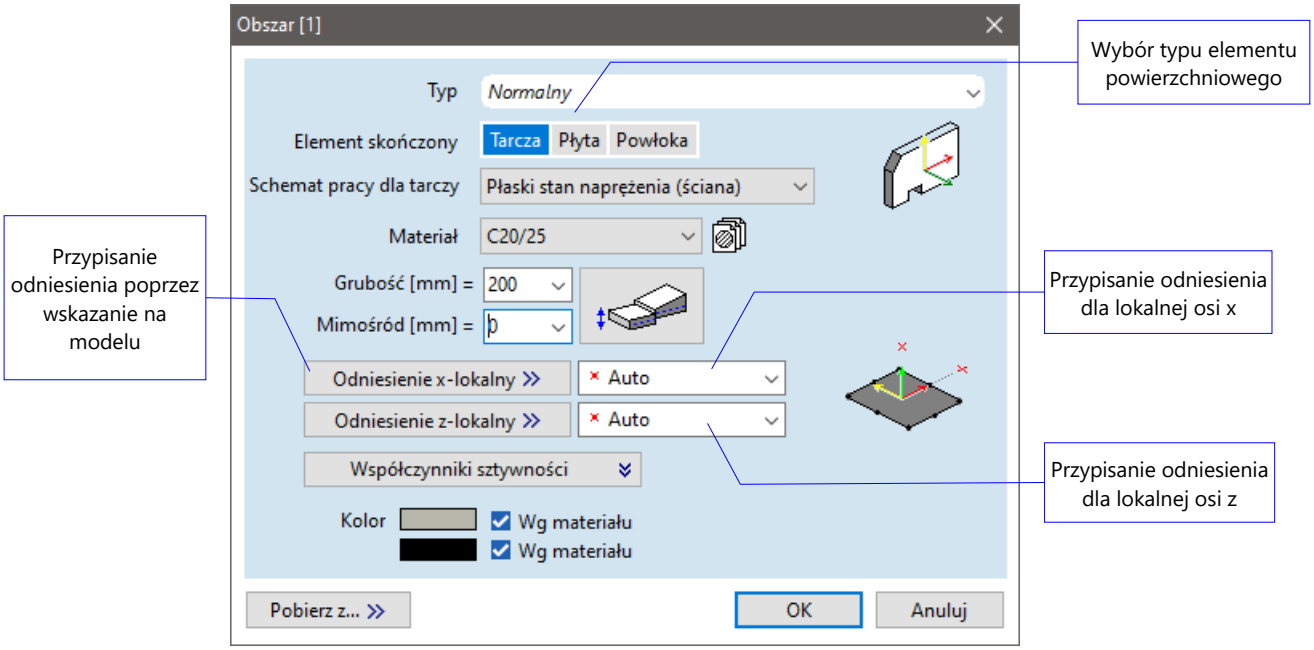
☞ **Zaleca się, aby grubość elementu nie przekraczała jednej dziesiątej najmniejszej wielkości charakterystycznej modelowanego elementu konstrukcyjnego, a ugięcie (w) konstrukcyjnego elementu płytowego lub powłokowego było mniejsze niż 20% jego grubości (małe przemieszczenia w stosunku do grubości płyty).**

Nie zaleca się wykorzystywania elementów o stosunku ich najdłuższego do najkrótszego boku większego niż 5 lub o stosunku najdłuższego boku do grubości większej niż 100.
W pewnych przypadkach, gdy elementy (które są płaskie o prostych brzegach) są wykorzystane do przybliżenia zakrzywionych powierzchni lub konturów, może to prowadzić do otrzymania niezadowalających wyników.





4.9.9.1 Tarcza



Elementy tarczowe można wykorzystać do modelowania płaskich konstrukcji, których zachowanie zdominowane jest przez efekty tarczowe w płaszczyźnie. Elementy tarczowe uwzględniają jedynie oddziaływanie w płaszczyźnie tarczy (nie uwzględniają zginania).

☞ **Element ten może zostać obciążony tylko obciążeniem działającym w kierunku płaszczyzny tarczy.**

AxisVM wykorzystuje jako elementy tarczowe, elementy skończone typu ośmiowęzłowego, „serendipowskie"

PSN - płaski stan naprężeń ($\sigma_{zz} = \sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0$, $\varepsilon_{xz} = \varepsilon_{yz} = 0$, $\varepsilon_{zz} \neq 0$) lub
PSO - płaski stan odkształcenia ($\varepsilon_{zz} = \varepsilon_{xz} = \varepsilon_{yz} = 0$, $\sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0$, $\sigma_{zz} \neq 0$),

Siły wewnętrzne tarczy to: n_x, n_y, n_{xy}. Dodatkowo obliczane są siły wewnętrzne po kierunkach głównych n_1, n_2 oraz kąt α_n.
Funkcję kształtu (interpolacyjną) dla elementu można uważać za liniową.

Dla elementów należy określić następujące parametry:

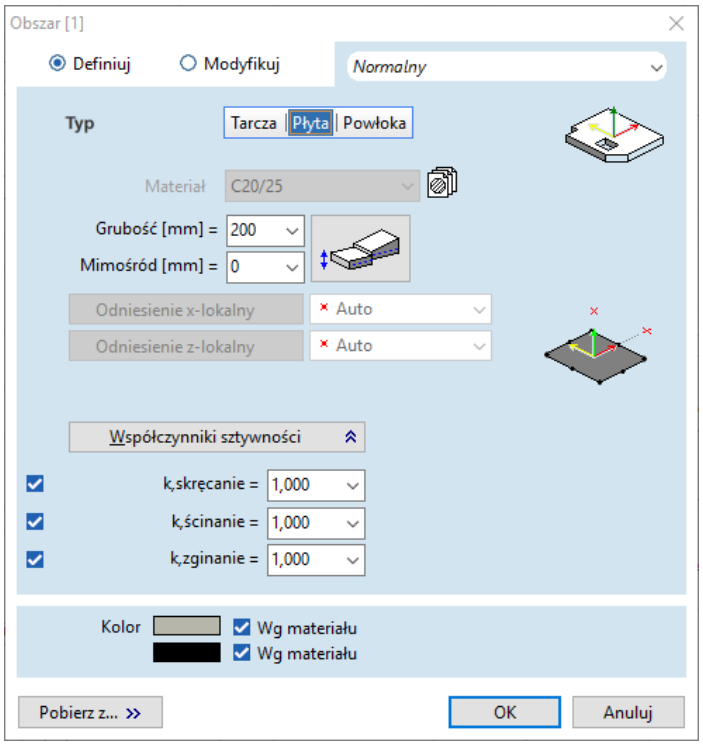
1. Schemat pracy dla tarczy (PSN lub PSO)
2. Materiał
3. Grubość
4. Odniesienie (punkt/wektor/oś/płaszczyzna) dla lokalnej osi x
5. Odniesienie (punkt/wektor) dla lokalnej osi z

Umożliwia przejrzenie *Biblioteki materiałów,* aby przypisać materiał do elementu. Wybrany materiał zostanie dodany do tabeli materiałów modelu.

Automatyczne odniesienie:
Osie *x* oraz *z* kierunków lokalnych elementu można zdefiniować przez elementy odniesienia, patrz rozdział *4.9.21 Odniesienia* lub w sposób automatyczny.

Środek elementów tarczowych wyświetlany jest na ekranie na niebiesko.

4.9.9.2 Płyta



Elementy płytowe można wykorzystać do modelowania płaskich konstrukcji, których zachowanie zdominowane jest przez oddziaływania zginające.

AxisVM wykorzystuje ośmio- / dziewięciowęzłowy heterozyjny element skończony jako element płytowy, który bazuje na teorii Mindlina-Reissnera (pozwala na oddziaływania poprzecznych odkształceń od ścinania).
Element ten nadaje się do modelowania cienkich jak i grubych płyt.
Elementy płytowe uwzględniają jedynie oddziaływania zginające płyty (nie uwzględniają oddziaływań w płaszczyźnie).

☞ **Element ten może zostać obciążony tylko w kierunku prostopadłym do swojej płaszczyzny.**

Siły wewnętrzne płyty to: momenty m_x, m_y, m_{xy} i siły tnące v_x, v_y (prostopadłe do płaszczyzny elementu). Dodatkowo obliczane są siły wewnętrzne po kierunkach głównych: m_1, m_2, kąt α_m i wynikowa siła tnąca q_R.
Funkcję kształtu (interpolacyjną) dla elementu można uważać za liniową.

Dla elementów należy określić następujące parametry:

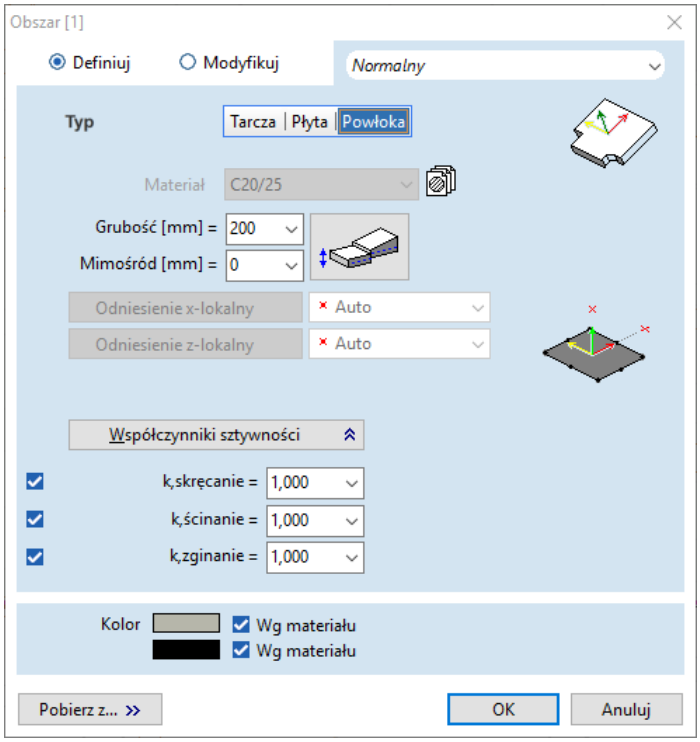
1. Materiał
2. Grubość
3. Odniesienie (punkt/wektor/oś/płaszczyzna) dla lokalnej osi x
4. Odniesienie (punkt/wektor) dla lokalnej osi z

Umożliwia przejrzenie *Biblioteki* materiałów, aby przypisać materiał do elementu. Wybrany materiał zostanie dodany do tabeli materiałów modelu.

Automatyczne odniesienie:
Osie *x* i *z* kierunków lokalnych elementu można zdefiniować przez elementy odniesienia, patrz rozdział *4.9.21 Odniesienia* lub w sposób automatyczny.

Środek elementów płytowych wyświetlany jest na ekranie na czerwono.

4.9.9.3 Powłoka



Elementy powłokowe można wykorzystać do modelowania konstrukcji, których zachowanie zależne jest od oddziaływań w płaszczyźnie (tarcze) i zginających (płyty).
Element powłokowy składa się z nałożonych elementów: tarczownicowego i płytowego. Element jest płaski, więc oddziaływania jak dla tarczy i płyty są niezależne (analiza I-go rzędu).

☞ **Element ten może zostać obciążony w swojej płaszczyźnie i prostopadle do niej.**

Siły wewnętrzne powłoki to: siły n_x, n_y, n_{xy} (komponenty tarczowe), momenty m_x, m_y, m_{xy} i siły tnące v_x, v_y (komponenty płytowe). Dodatkowo obliczane są siły wewnętrzne i momenty po kierunkach głównych n_1, n_2, kąt α_n, m_1, m_2, kąt α_m oraz wynikowa siła tnąca vWz.
Funkcję kształtu (interpolacyjną) dla elementu można uważać za liniową.

Dla elementów należy określić następujące parametry:

1. Materiał
2. Grubość
3. Odniesienie (punkt/wektor/oś/płaszczyzna) dla lokalnej osi x
4. Odniesienie (punkt/wektor) dla lokalnej osi z

Umożliwia przejrzenie Biblioteki materiałów, aby przypisać materiał do elementu. Wybrany materiał zostanie dodany do tabeli materiałów modelu.

Automatyczne odniesienie:
Osie *x* i *z* kierunków lokalnych elementu można zdefiniować przez elementy odniesienia, patrz rozdział *4.9.21 Odniesienia* lub w sposób automatyczny.

Środek elementów powłokowych wyświetlany jest na ekranie na zielono.

Modyfikacja

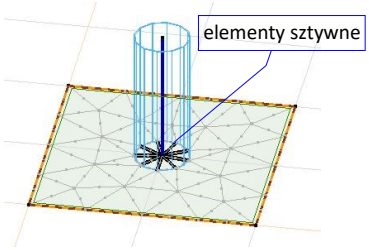
Po wybraniu elementów tego samego typu aktywowana zostanie Modyfikacja. Zaznaczone właściwości można zmienić lub pobrać z innych elementów. Po wybraniu elementów różnych typów aktywowana zostanie Definicja.

Pobierz z...>>

Patrz... *Pobierz* w rozdziale *4.9.8 Elementy liniowe.*

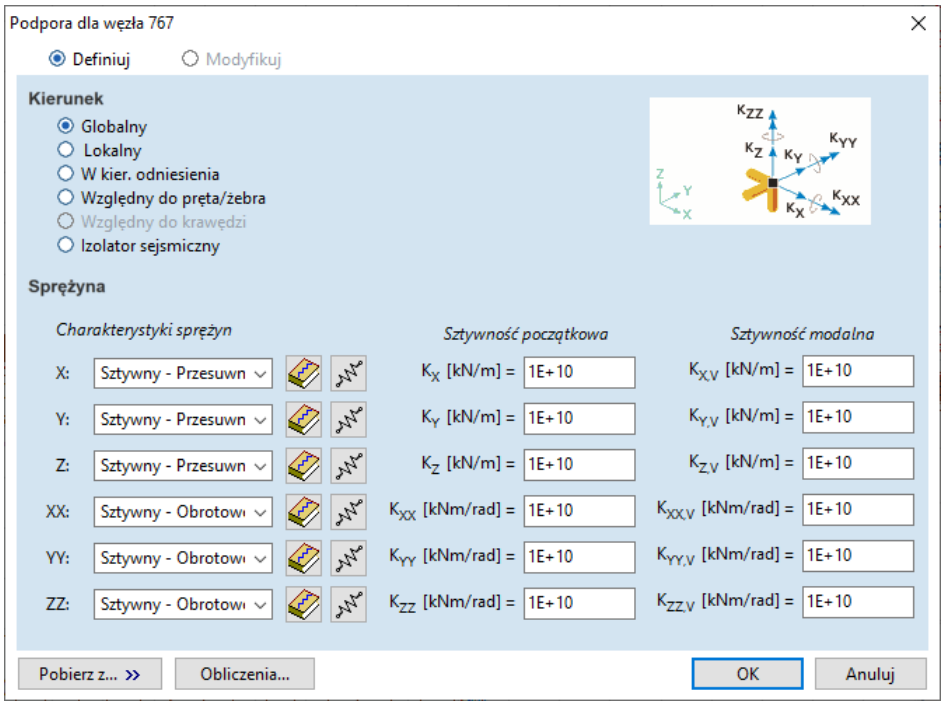
Węzłowy stopień swobody (ang. DOF) związany z obrotem wokół osi normalnej do powierzchni elementu jest specjalnym stopniem swobody. Jest to trzeci DOF elementu tarczowego oraz szósty DOF powłoki. Ten tzw. rotacyjny stopień swobody połączony jest tylko

przez niewielkie sztywności i nie jest sprzężony z przesuwami w płaszczyźnie.
W przypadku powłok należy unikać osobliwości w połączeniach 3D (połączenie środnika z półką w kształtownikach L lub T lub podczas modelowania zakrzywionych powłok).
W przypadku tarcz celem jest uzyskanie takich samych rezultatów jak w powłokach obciążonych w płaszczyźnie (**patrz...** *Bibliografia* [2]).
Ponieważ rotacyjny stopień swobody ma tylko niewielką sztywność, to bezpośrednio obciążony węzeł tarczy lub powłoki pracuje tak jakby był zwolniony wokół osi normalnej do płaszczyzny. Za pomocą elementów sztywnych doprowadzonych do sąsiednich węzłów można zwiększyć moment przenoszony przez taki pojedynczy węzeł.



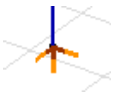
4.9.10 Podpora węzłowa

Podpory węzłowe można wykorzystać do modelowania warunków punktowych podparć konstrukcji. Podpory węzłowe podpierają sprężyście węzły, a siły wewnętrzne są reakcjami podpór. Węzły środkowe krawędzi elementów powierzchniowych nie mogą być podparte.
Odniesienia służą do dowolnego zorientowaniu osi *x* oraz *z* elementu podporowego. Oś *x* skierowana jest od punktu odniesienia do przyłączonego węzła.
Możliwe jest określenie charakterystyki na przesuw i/lub na obrót (skrętnej) wokół osi elementu za pomocą charakterystyki sprężyny. Tak jak w przypadku standardowej definicji sprężyny, możliwe jest również określenie sztywności początkowej oraz modalnej. Nieliniowe parametry podpory można przypisać do każdego jej kierunku.
Pola z wartościami dla liniowej charakterystyki sprężyny są edytowalne, aby można bezpośrednio wprowadzić sztywność oraz tłumienie. Zamknięcie okna dialogowego automatycznie utworzy w zadaniu nową charakterystykę sprężyny z zadanymi wartościami.
Aby zmienić charakterystykę, należy kliknąć na ikonę charakterystyki sprężyny (**patrz...** *3.1.17 Biblioteka charakterystyk dla sprężyn*). Wartości współczynnika tłumienia pojawiają się w oknie definicji podpory, gdy przynajmniej jeden z nich ma wartość różną od zera.



☞ **Domyślne wartości sztywności to 1E+10 [kN/m], [kNm/rad].**

Podpory w wersji uproszczonej wyświetlane są na żółto (zadana sztywność na przesuw) i/lub pomarańczowo (zadana sztywność na obrót).

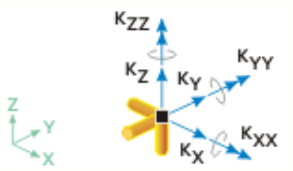


Podporę można zdefiniować w następujących układach:

- *Globalnym*
- *Lokalnym*
- *W kierunku odniesienia*
- *Względnie do pręta / żebra*
- *Względnie do krawędzi*

Globalny

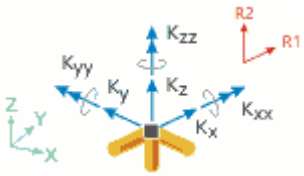
Definiuje elementy podpory węzłowej równolegle do osi układu globalnego. Należy wybrać węzły, które są podparte w identyczny sposób i określić odpowiadające sztywności na przesuw (K_X, K_Y, K_Z) i na obrót (K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}).



Dla węzła można zdefiniować tylko jedną globalna podporę. Nie można zdefiniować podpory węzłowej dla węzła pośredniego (pomiędzy węzłami narożnymi) elementu powierzchniowego.

Lokalny

Aby zdefiniować lokalny układ dla podpory, konieczne są minimum dwa odpowiednie odniesienia (**patrz** *4.9.21 Odniesienia*). Ten typ podpory jest w rzeczywistości obróconą wersją podpory globalnej. Pierwsze odniesienie dotyczy lokalnego kierunku -x-, a drugie odniesienie wraz z pierwszym determinuje płaszczyznę lokalnej osi -z- . Oczywiście oprócz odniesień należy zdefiniować również sztywności podpory (charakterystyki sprężyn).



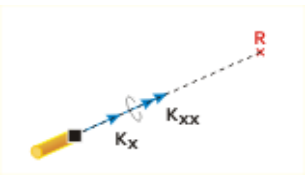
Dla pojedynczego węzła można zdefiniować tylko jedną lokalną podporę.

Ten typ podpory pozostaje nieaktywny w oknie dialogowym, dopóki na modelu nie znajdą się odpowiednie odniesienia, pozwalające określić układ lokalny.

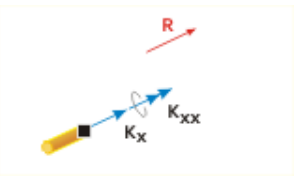
Odniesienie

Definiuje podpory węzłowe w kierunku odniesienia (punkt lub wektor **patrz** *4.9.21 Odniesienia*). Należy wybrać węzły, które są podparte w identyczny sposób i określić odpowiednią sztywność (na przesuw $\boldsymbol{K_x}$ i na obrót K_{xx}).

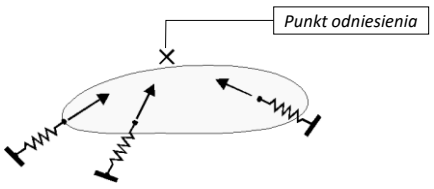
Kierunek wektora odniesienia definiowany jest przez węzeł elementu i jego punkt odniesienia lub wektor odniesienia w następujący sposób:



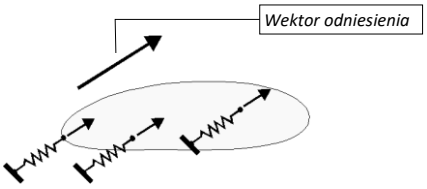
Punkt odniesienia



Wektor odniesienia



Podpory skierowane w stronę punktu odniesienia

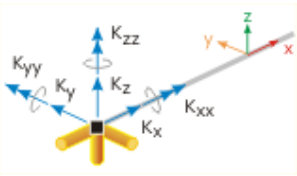


Elementy podpór równoległe do wektora odniesienia

Ten typ podpory pozostaje nieaktywny w oknie dialogowym, dopóki na modelu nie znajdą się odpowiednie odniesienia, pozwalające określić kierunek podpory.

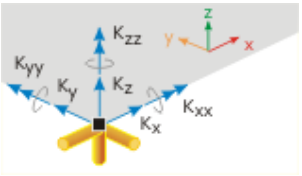
Względnie do pręta/żebra

Definiuje podpory węzłowe odnośnie do lokalnych osi pręta / żebra. Należy wybrać elementy prętowe / żebrowe oraz węzły, w identyczny sposób i określić odpowiednie sztywności na przesuw (K_X, K_Y, K_Z) i na obrót (K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}).



Względnie do krawędzi

Definiuje podpory węzłowe odnośnie do lokalnych osi krawędzi elementu powierzchniowego. Należy wybrać elementy powierzchniowe oraz węzły, które są podparte w identyczny sposób i określić odpowiednie sztywności na przesuw (K_X, K_Y, K_Z) i na obrót (K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}).



Jeżeli jedna z powierzchni jest połączona z krawędzią, lokalne osie krawędzi to:

x = oś krawędzi
y = oś skierowana do środka elementu powierzchniowego w jego płaszczyźnie
z = równoległa do lokalnej osi *z* elementu powierzchniowego

Jeżeli dwie powierzchnie są połączone z krawędzią, kierunek lokalnej osi *z* jest dwusieczną kąta powierzchni. Oś *y* określana jest zgodnie z regułą prawej dłoni.
Jeżeli więcej niż dwie powierzchnie połączone są z krawędzią, można wybrać jedną lub dwie z nich, co sprawi, że lokalny układ zostanie określony w oparciu o wybrane powierzchnie.

Dodatnie wartości przemieszczenia wydłużają sprężynę podpory, co generuje siłę rozciągającą. Ujemne wartości przemieszczenia skracają sprężynę podpory, co generuje siłę ściskającą.

Nieliniowa charakterystyka podpór uwzględniana jest tylko w analizie statycznej lub dynamicznej z włączona opcją nieliniowości fizycznej. W przypadku statyki liniowej, dynamiki liniowej i analizy wyboczeniowej uwzględniane są wartości *sztywności początkowych*, **a dla analizy drgań własnych** *sztywności modalne*.
Współczynniki tłumienia uwzględniane są tylko podczas analizy dynamicznej.

Podpory węzłowe wyświetlane są jako brązowe (K_X, K_Y, K_Z) i pomarańczowe (K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}) kołki w 3 ortogonalnych kierunkach.

Pobierz z... >>

Patrz... Pobierz w sekcji *4.9.8 Elementy liniowe*.

Obliczenia...

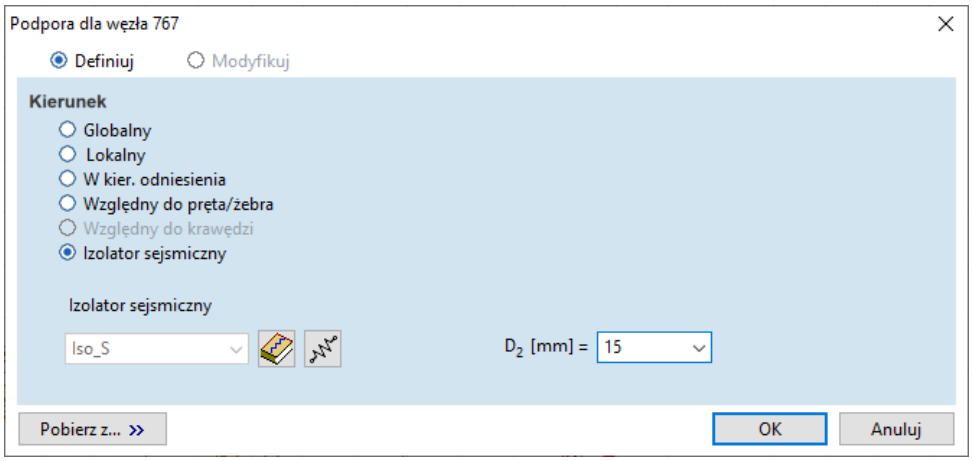
Patrz... *4.9.10.1 Obliczenie sztywności podpory*

Import wartości sztywności podpór z arkusza Excel

Wartości sztywności początkowej mogą zostać skopiowane z arkusza kalkulacyjnego wprost do tabeli podpór węzłowych za pomocą schowka. W takim przypadku podpory z charakterystykami liniowymi tworzone są ze składnikami sztywności początkowych wg danych z arkusza.
Kolumny kopiowanej tabeli odpowiadają kolejno wartościom K_x, K_y, K_z, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}.

	A	B	C	D	E	F
1	2,00E+00	3,42E+02	2,34E+03	2,00E+00	2,22E+02	2,22E+02
2	3,00E+00	3,75E+04	1,21E+05	1,00E+10	4,22E+06	1,00E+10
3	3,52E+04	7,89E+04	1,00E+10	8,85E+04	8,68E+03	1,00E+10
4	2,35E+04	5,35E+05	1,00E+10	7,81E+06	7,57E+06	1,00E+10
5	1,00E+10	8,24E+04	7,68E+05	8,78E+02	2,45E+06	1,00E+10
6	1,00E+10	1,23E+07	1,00E+10	5,00E+00	4,58E+04	1,00E+10
7	1,00E+10	5,45E+04	1,00E+10	5,50E+01	8,75E+06	1,00E+10
8	1,00E+10	1,23E+02	1,00E+10	5,00E+00	4,45E+04	1,00E+10

Izolator sejsmiczny



D_2 to maksymalne obliczeniowe przemieszczenie dla SGN

Osie izolatora sejsmicznego są równoległe do osi układu globalnego.
Patrz... *3.1.17.2 Izolator sejsmiczny*.

Dany węzeł na modelu może mieć przypisany albo izolator sejsmiczny albo podporę węzłową. Zdefiniowanie izolatora sejsmicznego usunie z węzła wcześniej utworzone podpory węzłowe. Zdefiniowanie podpory węzłowej usunie z węzła wcześniej utworzony izolator sejsmiczny.

Modyfikuj

Po wybraniu elementów tego samego typu aktywowana zostanie Modyfikacja. Zaznaczone właściwości można zmienić lub pobrać z innych elementów. Po wybraniu elementów różnych typów aktywowana zostanie Definicja.

Import wartości sztywności podpór z arkusza Excel

Wartości sztywności początkowej mogą zostać skopiowane z arkusza kalkulacyjnego wprost do tabeli podpór węzłowych za pomocą schowka. W takim przypadku podpory z charakterystykami liniowymi tworzone są ze składnikami sztywności początkowych wg danych z arkusza.
Kolumny kopiowanej tabeli odpowiadają kolejno wartościom K_x, K_y, K_z, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}.

	A	B	C	D	E	F
1	2,00E+00	3,42E+02	2,34E+03	2,00E+00	2,22E+02	2,22E+02
2	3,00E+00	3,75E+04	1,21E+05	1,00E+10	4,22E+06	1,00E+10
3	3,52E+04	7,89E+04	1,00E+10	8,85E+04	8,68E+03	1,00E+10
4	2,35E+04	5,35E+05	1,00E+10	7,81E+06	7,57E+06	1,00E+10
5	1,00E+10	8,24E+04	7,68E+05	8,78E+02	2,45E+06	1,00E+10
6	1,00E+10	1,23E+07	1,00E+10	5,00E+00	4,58E+04	1,00E+10
7	1,00E+10	5,45E+04	1,00E+10	5,50E+01	8,75E+06	1,00E+10
8	1,00E+10	1,23E+02	1,00E+10	5,00E+00	4,45E+04	1,00E+10

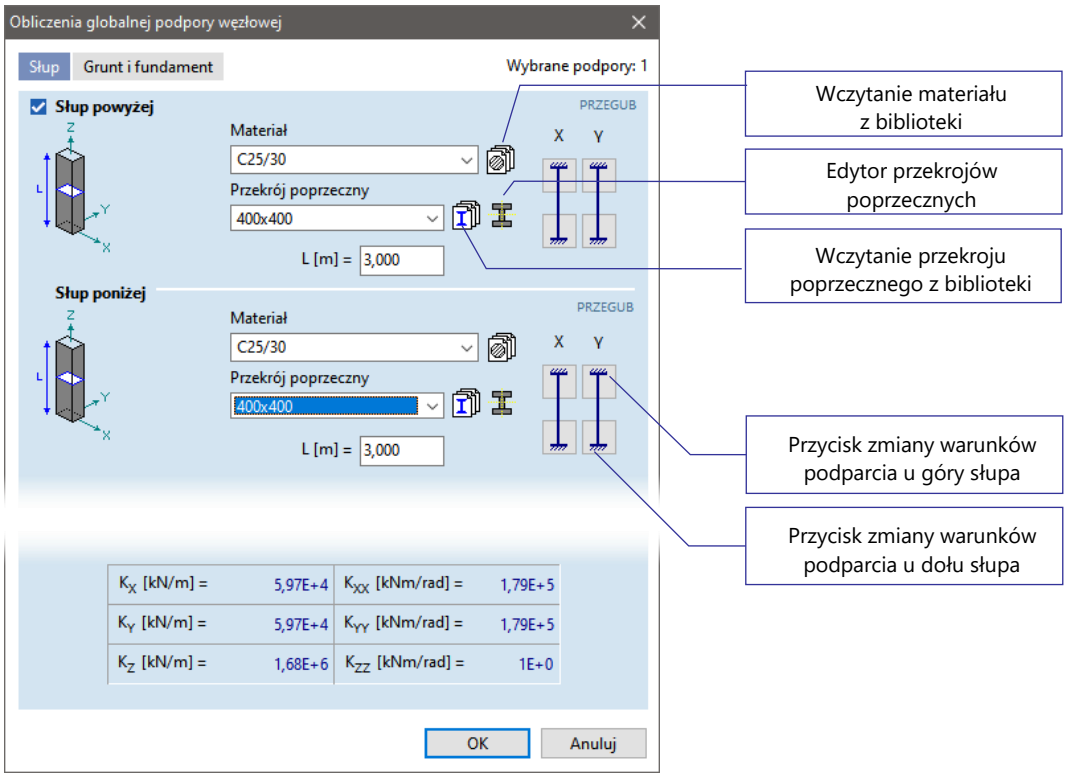
4.9.10.1 Obliczenie sztywności podpory

Kliknięcie w przycisk *Obliczenia...* w głównym oknie dialogowym umożliwia obliczenie lub oszacowanie sztywności podpory. Dostępne są dwie metody: *Słup* oraz *Grunt i fundament*. W pierwszym przypadku sztywność podpory wyznaczana jest na podstawie podanych przez użytkownika parametrów słupa stanowiącego referencję dla definiowanej podpory, a w drugim szacowana na podstawie fundamentu i określonych warstw gruntu.

4.9.10.1.1 Sztywność na podstawie parametrów słupa

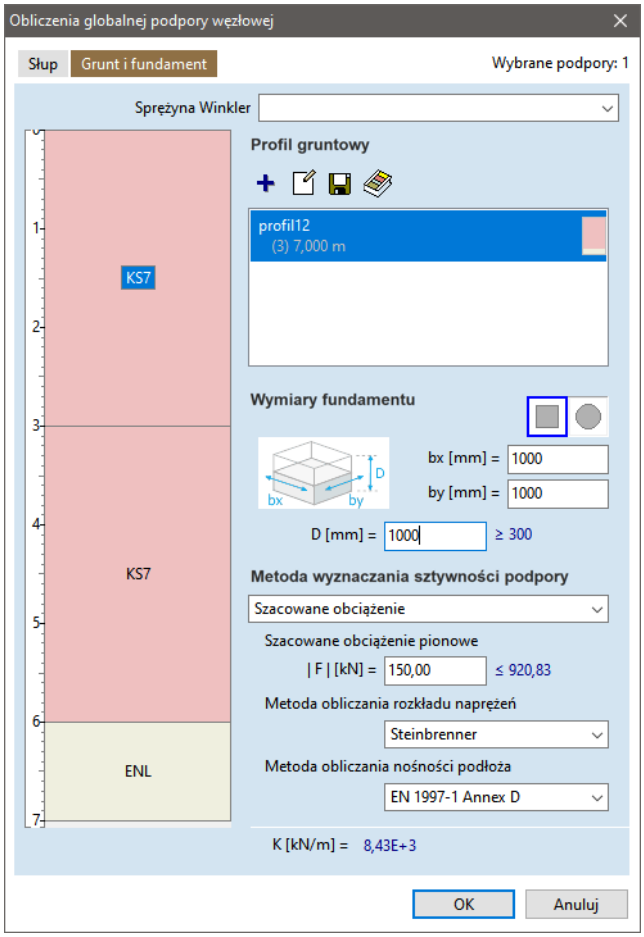
Składowe sztywności podpory wyznaczane są na podstawie parametrów słupa: zwolnień węzłowych, materiału oraz geometrii. Parametry te służą do wyznaczenia charakterystyk sprężyn, które generowane są przez program.

Przy obliczaniu sztywności podpory węzłowej, słup powyżej i poniżej węzła może zostać definiowany niezależnie. Parametry te mogą zostać użyte również przy sprawdzeniu przebicia (zwłaszcza w przypadku pośrednich płyt). Słupy i ściany służące do wygenerowania podpory wyświetlane są na modelu i wykrywane są za pomocą kursora.



4.9.10.1.2 Sztywność na podstawie podłoża uwarstwionego oraz parametrów fundamentu

Wybranie zakładki *Grunt i fundament* umożliwia oszacowanie przez program sztywności podpory po globalnym kierunku -Z- na podstawie wielkości fundamentu oraz profilu gruntowego.
Dostępne są dwie metody wyznaczania sztywności: na podstawie *Szacowania obciążenia* lub *Osiadania przy maksymalnym oporze*.



Na podstawie Oszacowania obciążenia

Program wyznacza osiadanie *s* pod fundamentem na podstawie szacowanej, centralnie umieszczonej siły ściskającej *F* oddziałującej na grunt, a następnie oblicza przybliżoną sztywność podpory ze wzoru $K = F/s$.
Osiadanie obliczane jest w ten sam sposób, jaki został opisany w *6.5.9.1 Wymiarowanie stóp fundamentowych*.
W obliczeniach tych zakłada się, że $F \leq R_{v,d}$, tzn. obciążenie nie przekracza nośności gruntu pod fundamentem, dlatego w oknie zablokowana jest możliwość określenia siły *F* większej niż nośność gruntu.

Na podstawie osiadanie przy maksymalnym odporze

Jeżeli znany jest maksymalny odpór gruntu pod fundamentem i towarzyszące mu osiadanie s_{lim}, to sztywność podpory może zostać oszacowana ze wzoru $K = R_{v,d}/s_{lim}$

W obu przypadkach konieczne jest wyznaczenie granicznego oporu podłoża gruntowego. W pierwszej metodzie jest ona potrzebna do znalezienia granicznej wartości siły F, w drugiej metodzie do obliczenia sztywności.
Ogólny wzór na opór graniczny podłoża
- w warunkach z odpływem: $R_{v,d} = (c'N_c b_c s_c i_c g_c d_c + qN_q b_q s_q i_q g_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma g_\gamma d_\gamma) \cdot A'$
- w warunkach bez odpływu: $R_{v,d} = \left((\pi + 2)c_u b_c s_c i_c \gamma_c d_c + q\right) \cdot A'$

Gdzie *A'* to efektywna (zredukowana) powierzchnia podstawy fundamentu, *B'* to efektywny wymiar fundamentu, γ to obliczeniowy ciężar objętościowy gruntu poniżej fundamentu, *c'* to charakterystyczna wartość spójności gruntu, *q* to naprężenie od nakładu w poziomie podstawy fundamentu.
N to bezwymiarowe współczynniki nośności zależące od efektywnego kąta tarcia wewnętrznego gruntu *φ'*, współczynników *b* uwzględniających nachylenie podstawy fundamentu, współczynników *s* uwzględniających kształt fundamentu, współczynników *i* uwzględniających wpływ obciążenia

poziomego, współczynników *g* uwzględniających nachylenie terenu oraz współczynników *d* uwzględniających głębokość posadowienia fundamentu.
W programie dostępnych jest wiele metod, które w różny sposób wyznaczają współczynniki *N, b, s, i, γ, d*: *EN 1997-1 zał. D, Terzaghi (Bowles), Terzaghi (Sprangler-Handy), Meyerhof, Hansen, Vesic*.
D jest głębokością posadowienia fundamentu, *θ* jest kątem od pionu pod jakim oddziałuje obciążenie, *β* jest kątem nachylenia terenu.

EN 1997-1 zał. D

Metoda ta uwzględnia większość współczynników.

$$N_q = e^{\pi \operatorname{tg}\varphi'} \operatorname{tg}^2\left(45° + \frac{\varphi'}{2}\right), \quad N_c = \left(N_q - 1\right) \operatorname{tg}\varphi', \quad N_\gamma = 2\left(N_q - 1\right) \operatorname{ctg}\varphi'$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \operatorname{tg}\varphi')^2, \quad b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \operatorname{tg}\varphi'}$$

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} sin\,\varphi', \quad s_\gamma = 1 - 0{,}3\frac{B'}{L'}, \quad s_c = \frac{s_q N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \operatorname{tg}\varphi'}, \quad i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A' c' \operatorname{ctg}\varphi'}\right)^m, \quad i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A' c' \operatorname{ctg}\varphi'}\right)^{m+1},$$

gdzie $m_B = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}$, $m_L = \frac{2 + L'/B'}{1 + L'/B'}$, $m = m_\theta = m_L \cos^2\theta + m_B \sin^2\theta$

Terzaghi (Bowles)

Metodę *Terzaghi (Bowles)* stosuje się głównie w przypadku fundamentów bezpośrednich obciążonych osiowo, gdzie głębokość posadowienia fundamentu *D* nie przekracza jego wymiarów. Nachylenie fundamentu i obciążenia jest ignorowane, stąd wykorzystuje ona tylko następujące współczynniki:

$$N_q = \frac{e^{2\left(0{,}75\pi - \frac{\varphi'}{2}\right)\operatorname{tg}\varphi'}}{2\cos^2\left(45° + \frac{\varphi'}{2}\right)}, \quad N_c = \left(N_q - 1\right) \operatorname{ctg}\varphi', \quad N_\gamma = \frac{\operatorname{tg}\varphi'}{2}\left(\frac{K_{pg}}{\cos^2\varphi'} - 1\right),$$

gdzie K_{pg} to współczynnik parcia biernego gruntu, a $s_q = 1,\ s_\gamma = 0{,}8,\ s_c = 1{,}3$

Terzaghi (Sprangler-Handy)

Metoda *Terzaghi (Sprangler-Handy)* wykorzystuje takie same współczynniki *N* jak *EN 1997-1 załącznik D* oraz współczynniki *s* jak w metodzie *Terzaghi (Bowles)*, ale

$$N_\gamma = 1.1(N_q - 1) \operatorname{tg}(1{,}3\varphi')$$

Meyerhof

Uwzględniane są tylko współczynniki *N, s, i, d*:

$$N_q = e^{\pi \operatorname{tg}\varphi'} \operatorname{tg}^2\left(45° + \frac{\varphi'}{2}\right), \quad N_c = \left(N_q - 1\right) cot\,\varphi', \quad N_\gamma = \left(N_q - 1\right) tan(1{,}4\varphi')$$

$$s_c = 1 + 0{,}2K_p\frac{B'}{L'}, \quad s_\gamma = 1 + 0{,}1K_p\frac{B'}{L'}, \quad s_q = s_\gamma$$

$$i_c = 1 - \theta/90°, \quad i_\gamma = (1 - \theta\ /\ \varphi')^2, \quad i_q = i_c,$$

$$d_c = 1 - 0{,}2\sqrt{K_p}\frac{D}{B'}, \quad d_\gamma = 1 - 0{,}1\sqrt{K_p}\frac{D}{B'}, \quad d_q = d_\gamma,$$

gdzie $K_p = \operatorname{tg}^2(45° + \varphi')$

Hansen

Metoda ta lepiej opisuje grunty spoiste. Wykorzystuje ona współczynniki *N* jak w metodzie *Mayerhofa*, ale:

$$N_\gamma = 1{,}5(N_q - 1) \operatorname{tg}\varphi'$$

$$b_c = 1 - \frac{\alpha}{147°} \qquad b_q = (1 - \alpha \operatorname{tg}\varphi')^2 \qquad b_\gamma = b_q$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c}\frac{B'}{L'} \qquad s_q = 1 + \frac{B'}{L'}\operatorname{tg}\varphi' \quad s_\gamma = 1 - 0{,}4\frac{B'}{L'}$$

dla gruntów spoistych $s_c = 0{,}2B'/L'$

$$i_c = 1 - \theta/90°, \quad i_\gamma = (1 - \theta\ /\ \varphi')^2, \quad i_q = i_c$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta}{147°}, \quad g_q = (1 - \operatorname{tg}\beta)^2 \qquad g_\gamma = g_q$$

$$d_c = 1 + 0{,}4k, \quad d_q = 1 + 2\operatorname{tg}\varphi'(1 - \sin\varphi')^2 k$$

gdzie $k = D/B'$, jeżeli $k > 1$ to $k = \operatorname{arc\,tg}\,(D\ /\ B')$

Vesic

Współczynniki są takie jak w metodzie *Hansena*, ale

$$N_\gamma = 2\left(N_q - 1\right) tg\,\varphi'$$

Sprężyna Winkler

Oszacowana sztywność podpory na podstawie wprowadzonego profilu gruntowego, parametrów fundamentu oraz niezbędnych obliczeń reprezentowana jest i nazwana w programie jako *Sprężyna Winkler*. Charakterystyka takiej sprężyny zapisywana jest w pliku z modelem pod własną nazwą i może ona zostać przypisana do wielu podpór na modelu. Wcześniej zdefiniowane sprężyny mogą zostać wybrane z rozwijanej listy znajdującej się na górze okna dialogowego.

Profil gruntowy

Pasek narzędziowy nad listą profili gruntowych zawiera takie same funkcje, jak opisane w *6.5.9.1 Wymiarowanie stóp fundamentowych*.

Utwórz nowy profil gruntowy
Nowy profil gruntowy można utworzyć za pomocą edytora profili gruntowych (*6.5.9.3 Edytor profili gruntowych).*

Edytuj profil gruntowy
Edytuje aktualny profil gruntowy w edytorze.

Zapisz do biblioteki wybrane profile gruntowe
Zaznaczony aktualnie profil zostaje zapisany w bibliotece profili gruntowych.

Biblioteka profili gruntowych
Biblioteka ta jest dostępna po otwarciu dowolnego pliku z modelem (*6.5.9.4 Biblioteka profili gruntowych*).

Wymiary fundamentu

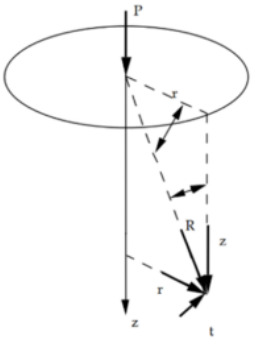
Fundament może mieć kształt prostokąta lub koła.
Prostokątne fundamenty opisane są za pomocą wymiaru *bx* oraz *by*, a kołowe za pomocą średnicy d_p.
W obu przypadkach należy również podać głębokość posadowienia *D*.

Wyznaczanie sztywności

Obliczenia mogą zostać przeprowadzne na podstawie *szacowanego obciążenia* lub *osiadania przy granicznym oporze*.

Szacowane obciążenie

W tej metodzie należy wprowadzić szacunkową, bezwzględną wartość *F* pionowego obciążenia gruntu. Program obliczy opór graniczny podłoża uwarstwionego, aby sprawdzić wartość dopuszczalnego obciążenia.
W podejściu tym należy również wybrać jedną z metod obliczania rozkładu naprężeń w ośrodku gruntowym (*Boussinesq, Westergaard, Steinbrenner, Stosunek 2:1*) oraz metodę obliczania oporu granicznego podłoża (patrz wyżej).

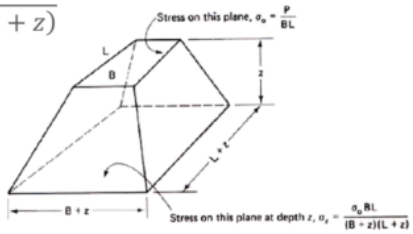


Boussinesq → $\sigma_Z = \frac{3F}{2\pi}\frac{z^3}{R^5}$

Westergaard → $\sigma_Z = \frac{F}{z^2 2\pi}\frac{\alpha_\mu}{\left(\alpha_\mu{}^2+\left(\frac{r}{z}\right)^2\right)^{3/2}};\ \alpha_\mu = \sqrt{\frac{1-2\mu}{2-2\mu}}$

Steinbrenner → $\sigma_Z = \frac{\sigma_0}{2\pi} arc\tan\left(\frac{b}{z}\frac{a(a^2+b^2)-2az(r-z)}{(a^2+b^2)(r-z)-z(r-z)^2}\right)+\left(\frac{bz}{b^2+z^2}a\frac{r^2+z^2}{(a^2+z^2)r}\right)$ $\quad r=\sqrt{a^2+b^2+z^2}$

Ratio 2:1 → $\sigma_Z = \sigma_0\frac{BL}{(B+z)(L+z)}$



Osiadanie przy maksymalnym oporze

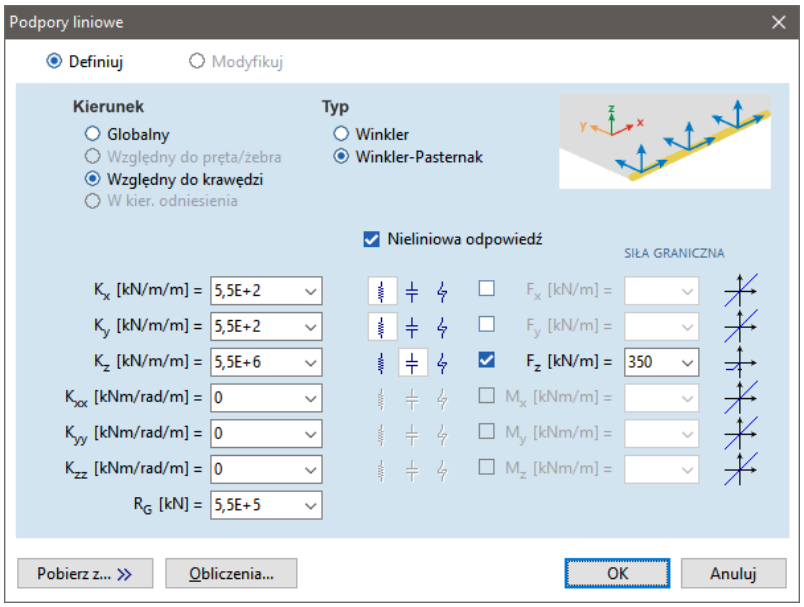
W metodzie tej musi zostać określone osiadanie s_{lim} dla oporu granicznego podłoża oraz metoda obliczenia tej nośności (patrz powyżej).

Po określeniu wszystkich powyższych parametrów dla wybranej metody, oszacowana sztywność *K* podpory zostanie wyświetlona w dolnej części okna dialogowego. Po zamknięciu tego okna, program przypisze charakterystyki podpory do każdego translacyjnego komponentu sprężyny, tworząc nazwy tych charakterystyk na podstawie nazwy sprężyny Winkler oraz liter wskazujących dany kierunek (*_x, _y, _z*). Sztywność składowej po globalnym kierunku *-Z-* to wyznaczona wartość sztywności *K*, podczas gdy pozostałe dwa komponenty stanowią 10^{-4} wartości *K*. Komponenty sztywności rotacyjnej nie są wyznaczane przez program.

Zaktualizuj parametry podpór na podstawie przyjętych fundamentów

Po uzyskaniu wyników z analizy statycznej, możliwe jest przeprowadzenie wymiarowania fundamentów (*6.5.9.1 Wymiarowanie stóp fundamentowych*). Parametry przyjęte podczas wymiarowania fundamentów (ich wymiary oraz profil gruntowy) mogą zostać wykorzystane do zaktualizowania wartości sztywności podpór. Operację tę można wykonać za pomocą polecenia znajdującego się w menu głównym (*Edycja / Zaktualizuj parametry podpór na podstawie przyjętych fundamentów*). Polecenie to przeliczy sztywność wskazanych podpór węzłowych lub liniowych. Operacja ta, z oczywistych powodów, unieważni aktualne rezultaty.

4.9.11 Podpora liniowa



Te elementy podpory służą do modelowania warunków podparcia liniowego konstrukcji. Podpory liniowe to elementy sprężyście podpierające pręty, żebra lub krawędzie powierzchni (obszarów). Siły wewnętrzne tych elementów podpierających to reakcje podpory.

Aby zdefiniować podporę liniową, należy wskazać krawędź obszaru, pręt lub żebro, a następnie określić wartości sztywności na przesuw i obrót. Nieliniową odpowiedź może zostać przypisana do każdego kierunku. Aby zmienić charakterystykę, należy kliknąć na jeden z trzech przycisków (dwukierunkowy, tylko ściskanie, tylko rozciąganie) znajdujących się obok pola z wartością sztywności i ustawić w razie potrzeby dodatkowo pole wyboru siły granicznej i jej wartość.

Podporę można zdefiniować w następujących układach:

- *Globalnym*
- *Względnie do pręta/żebra*
- *Względnie do krawędzi*
- *W kierunku odniesienia* (wg punktu lub wektora odniesienia)

Dostępne są dwa modele podpory: *Winkler* oraz *Winkler-Pasternak*.

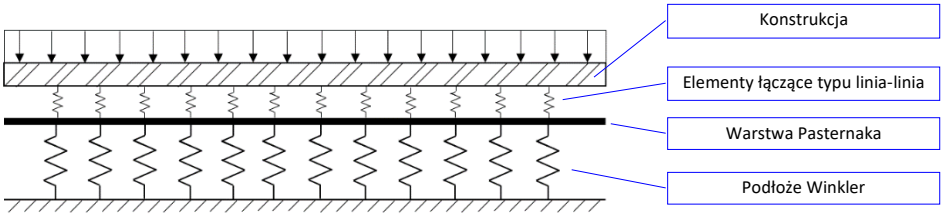
Podpora typu Winkler

Ten typ podpór reprezentuje sprężyste podłoże typu Winkler. Aby je zdefiniować, należy wskazać krawędź obszaru, pręt lub żebro, a następnie określić wartości sztywności na przesuw i obrót.

☞ **Domyślne wartości sztywności to 1E+7 [kN/m/m] i [kNm/rad/m].**

Podpora typu Winkler-Pasternak

Ten typ podpór odzwierciedla sprężyste podłoże typu Winkler na przesuw i obrót w kierunkach -x- oraz -y-, ale odpowiedź na przesuw w kierunku -z- jest bardziej złożona. Mianowicie nad podłożem typu Winklera umieszczona jest specjalna warstwa (Pasternak) modelująca pionową sztywność gruntu na ścinanie. Warstwa ta ma stałą wartość wytrzymałości na ścinanie R_G. Ponad warstwą Pasternaka tworzona jest dodatkowa warstwa elementów łączących typu linia-linia o wartości sztywności równej $1000 \cdot K_z$. W analizie liniowej jedynym zadaniem tej warstwy jest przekazywanie reakcji między gruntem na konstrukcją.



☞ **Zarówno liniowe podpory elementów prętowych jak i krawędzi obszarów traktowane są jako elementy konstrukcyjne, tzn. podczas siatkowania są wewnętrznie automatycznie dzielone, ale tabele i etykiety zawsze odwołują się do nich jako do całego elementu konstrukcyjnego.**

Globalny Definiuje podpory liniowe równolegle do osi globalnych. Należy określić odpowiadające sztywności na przesunięcie (K_X, K_Y, K_Z) i na obrót (K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}).

Względnie do pręta/żebra Definiuje podpory liniowe dla prętów / żeber w ich lokalnych układach współrzędnych, działające jako sprężysty fundament. Należy określić odpowiadające sztywności na przesuw (K_X, K_Y, K_Z) i na obrót (K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}).

☞ **Pręty / żebra z podporami liniowymi muszą zostać podzielone przynajmniej na cztery elementy.**

Dodatkowo musi zostać spełniony następujący warunek:

$$L \le l_k = \frac{1}{2}\min\left(\sqrt[4]{\frac{4E_x I_z}{k_y}}, \sqrt[4]{\frac{4E_x I_y}{k_z}}\right)$$

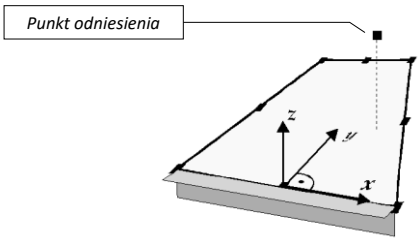
gdzie *L* to długość pręta lub żebra.

☞ **AxisVM ostrzeże użytkownika, jeżeli warunek nie został spełniony (przez jeden lub większą liczbę elementów). W takim przypadku moduł Winklera dla zdefiniowanych elementów ustawiany jest na zero, dzięki czemu można podzielić elementy i powtórzyć proces definicji / modyfikacji.**
Po określeniu podpór liniowych, siły wewnętrzne są interpolowane liniowo pomiędzy końcami elementu, dlatego wymagany jest jego podział.

Względnie do krawędzi Definiuje podpory krawędziowe względem lokalnych osi współrzędnych krawędzi. Należy określić odpowiadające sztywności (na przesuw K_x, K_y, K_z i na obrót K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}).
Jeżeli jedna z powierzchni połączona jest z krawędzią, lokalne osie współrzędnych krawędzi to:

- ***x*** = oś krawędzi
- ***y*** = oś skierowana do środka elementu powierzchniowego w jego płaszczyźnie
- ***z*** = równoległa do lokalnej osi *z* elementu powierzchniowego

Jeżeli dwie powierzchnie połączone są z krawędzią, kierunek lokalnej osi *z* jest dwusieczną kąta powierzchni. Oś *y* określana jest zgodnie z regułą prawej dłoni.
Jeżeli więcej niż dwie powierzchnie połączone są z krawędzią, można wybrać jedną lub dwie z nich, co sprawi, że lokalny układ zostanie określony w oparciu o wybrane powierzchnie.



W kier. odniesienia Definiuje podporę liniową w układzie **x, y, z** zgodnie z regułą prawej dłoni, gdzie:

- ***x*** = kierunek podłużny podpory
- ***y*** = kierunek prostopadły do osi podłużnej jak i kierunku odniesienia dla osi *-z-*
- ***z*** = kierunek zdefiniowany poprzez punkt lub wektor odniesienia

Dodatnie wartości przemieszczenia rozciągają sprężynę podpory, co generuje siłę rozciągającą. Ujemne wartości przemieszczenia ściskają sprężynę podpory, co generuje siłę ściskającą.

Nieliniowa odpowiedź Nieliniową charakterystykę siła-przemieszczenie dla tego elementu można zdefiniować w jeden następujących sposobów: tylko ściskanie (bardzo mała sztywność przy rozciąganiu), tylko rozciąganie (bardzo mała sztywność przy ściskaniu). Dla każdego z nich można również określić wartość siły granicznej.

☞ **Parametry nieliniowości uwzględniane są tylko w analizie nieliniowej. We wszystkich innych przypadkach w analizie (liniowej statycznej, modalnej I/II-go rzędu, wyboczeniowej) uwzględniane są początkowe sztywności.**

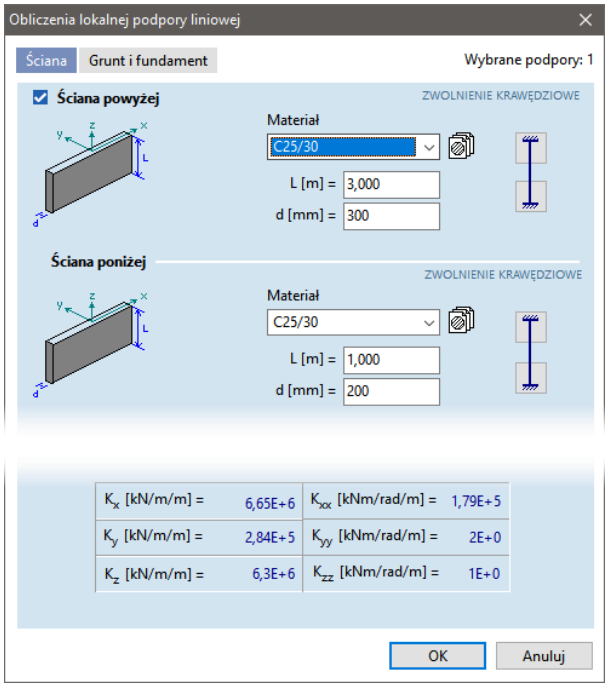
Nieliniowa odpowiedź w lokalnym kierunku -z- dla podłoża typu Winkler-Pasternak pochodzi z nieliniowej charakterystyki warstwy elementów łączących typu linia-linia. W przypadku podpór aktywnych tylko przy ściskaniu elementy łączące rozciągają się swobodnie, pozwalając konstrukcji oderwać się od podłoża. Siła reakcji *Rz* będzie wtedy wynosić zero, ale ze względu na warstwę Pasternaka podłoże Winklera pozostanie obciążone.

Podpory liniowe wyświetlane są jako brązowe (K_X, K_Y, K_Z)) i pomarańczowe (K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}) linie.

4.9.11.1 Obliczanie sztywności podpory

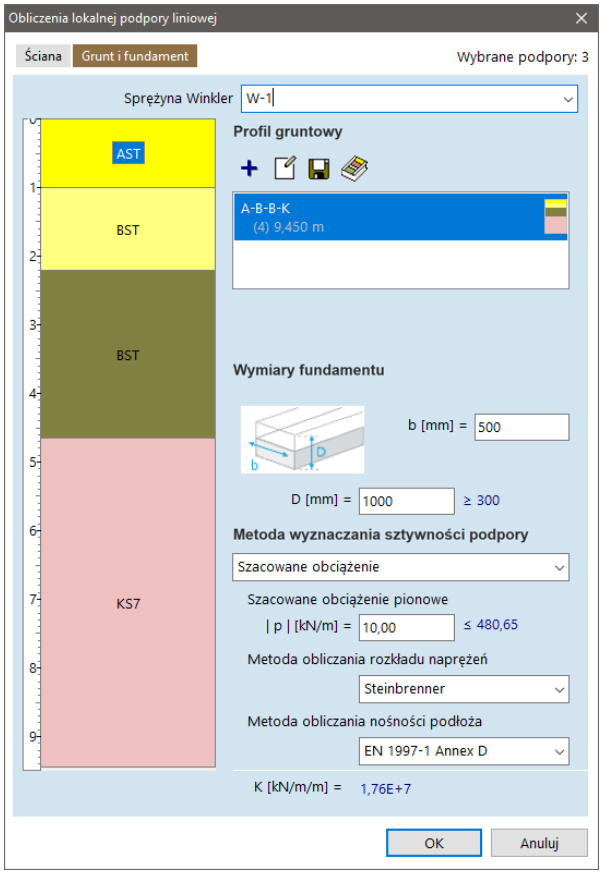
Kliknięcie w przycisk *Obliczenia*... w głównym oknie dialogowym umożliwia obliczenie lub oszacowanie sztywności podpory. Dostępne są dwie metody: *Ściana* oraz *Grunt i fundament*. W pierwszym przypadku sztywność podpory wyznaczana jest na podstawie podanych przez użytkownika parametrów ściany stanowiącej referencję dla definiowanej podpory, a w drugim szacowana na podstawie fundamentu i określonych warstw gruntu.

4.9.11.1.1 Sztywność na podstawie parametrów ściany



Składowe sztywności podpory wyznaczane są na podstawie parametrów ściany: zwolnień krawędziowych, materiału oraz jej geometrii. Parametry te służą do wyznaczenia charakterystyk sprężyn, które generowane są przez program.

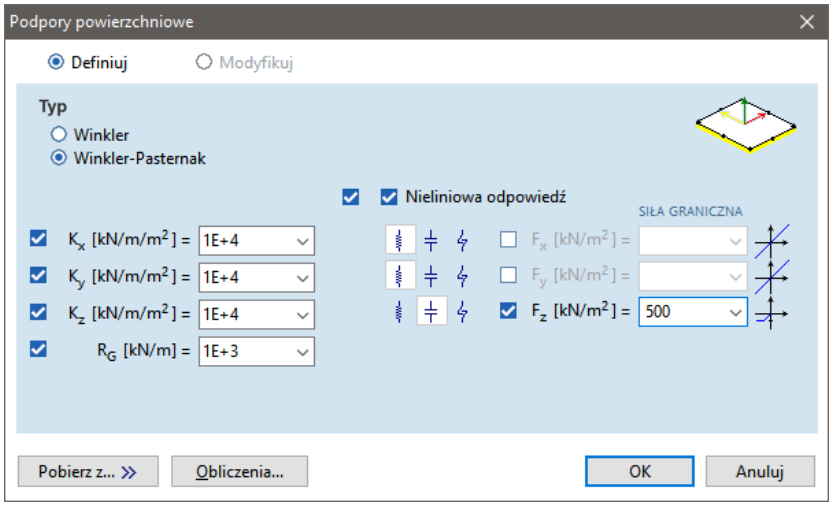
4.9.11.1.2 Sztywność na podstawie podłoża uwarstwionego oraz parametrów fundamentu



Wartość sztywności podpory szacowana jest w taki sam sposób jak dla podpór węzłowych (*4.9.10.1.2 Sztywność na podstawie podłoża uwarstwionego oraz parametrów fundamentu*), z tą różnicą, że obciążenie *p* oraz wynikowa sztywności *K* są wartościami podawanymi na jednostkę długości.

Parametry przyjęte podczas wymiarowania fundamentów (ich wymiary oraz profil gruntowy) (*6.5.9.2 Wymiarowanie ław fundamentowych*) mogą zostać wykorzystane do zaktualizowania wartości sztywności podpór (*Edycja / Zaktualizuj parametry podpór na podstawie przyjętych fundamentów*). Polecenie to przeliczy sztywność wskazanych podpór węzłowych lub liniowych. Operacja ta, z oczywistych powodów, unieważni aktualne rezultaty.

4.9.12 Podpora powierzchniowa



Podpora powierzchniowa zapewnia podparcie elementów powierzchniowych oraz obszarów, a jej komponenty sztywności interpretowane są w lokalnym układzie współrzędnych elementu skończonego lub obszaru.

Podpora typu Winkler

Definiuje element podpory powierzchniowej (sprężyste podłoże typu Winklera) dla elementów powierzchniowych.

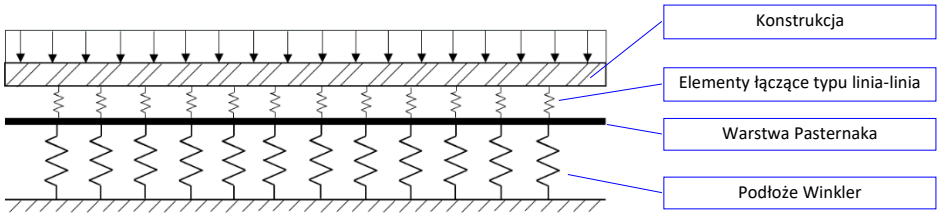
W tym celu należy określić sztywność na przesuw w lokalnym układzie współrzędnych elementu powierzchniowego. Podpora powierzchniowa zachowuje się tak samo przy rozciąganiu jak i ściskaniu oraz przyjmuje się, że jest stała w obrębie elementu.

W jej właściwościach, należy określić sztywność podpory K_x, K_y, K_z (moduł Winklera) dla lokalnych osi *x*, *y*, oraz *z* elementu powierzchniowego.

☞ **Domyśle wartości sztywności to 1E+4 [kN/m/m²].**

Podpora typu Winkler-Pasternak

Ten typ podpór odzwierciedla sprężyste podłoże typu Winkler na przesuw i obrót w kierunkach -x- oraz -y-, ale odpowiedź na przesuw w kierunku -z- jest bardziej złożona. Mianowicie nad podłożem typu Winklera umieszczona jest specjalna warstwa (Pasternak) modelująca pionową sztywność gruntu na ścinanie. Warstwa ta ma stałą wartość wytrzymałości na ścinanie R_G. Ponad warstwą Pasternaka tworzona jest dodatkowa warstwa elementów łączących typu linia-linia o wartości sztywności równej 1000 · K_z. W analizie liniowej jedynym zadaniem tej warstwy jest przekazywanie reakcji między gruntem na konstrukcją.



Dodatnie wartości przemieszczenia rozciągają sprężynę podpory, co generuje siłę rozciągającą. Ujemne wartości przemieszczenia ściskają sprężynę podpory, co generuje siłę ściskającą.

Nieliniowa odpowiedź

Nieliniową charakterystykę siła-przemieszczenie dla tego elementu można zdefiniować w jeden z następujących sposobów: tylko ściskanie (bardzo mała sztywność przy rozciąganiu), tylko rozciąganie (bardzo mała sztywność przy ściskaniu). Dla każdego z nich można również określić wartość siły granicznej.

☞ **Parametry odpowiedzi nieliniowej uwzględniane są tylko w analizie nieliniowej. We wszystkich innych przypadkach w analizie (liniowej statycznej, modalnej I/II-go rzędu, wyboczeniowej) uwzględniane są początkowe sztywności.**

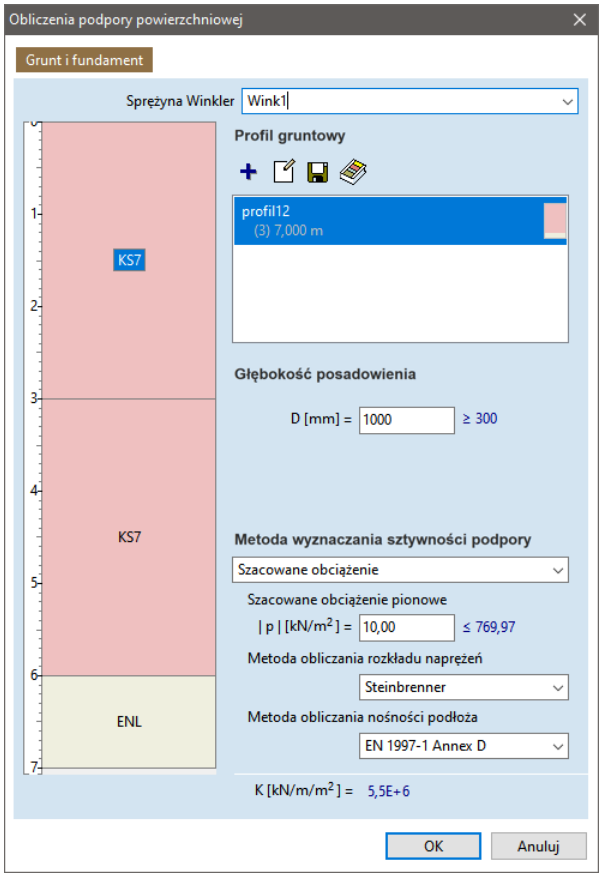
Nieliniowa odpowiedź w lokalnym kierunku -z- dla podłoża typu Winkler-Pasternak pochodzi z nieliniowej charakterystyki warstwy elementów łączących typu linia-linia. W przypadku podpór aktywnych tylko przy ściskaniu elementy łączące rozciągają się swobodnie, pozwalając konstrukcji oderwać się od podłoża. Siła reakcji *Rz* będzie wtedy wynosić zero, ale ze względu na warstwę Pasternaka podłoże Winklera pozostanie obciążone.

Podpory powierzchniowe wyświetlane są jako pomarańczowe zakreskowane wypełnienie.

4.9.12.1 Obliczanie sztywności podpory

Kliknięcie w przycisk *Obliczenia*... w głównym oknie dialogowym umożliwia oszacowanie sztywności podpory. Sztywność podpory powierzchniowej wyznaczana jest na podstawie definiowanego podłoża uwarstwionego.

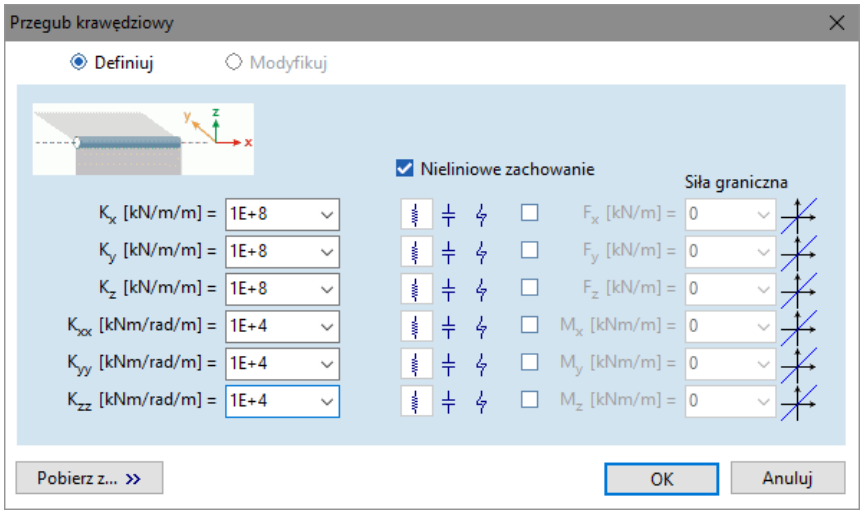
4.9.12.1.1 Sztywności na podstawie podłoża uwarstwionego oraz parametrów fundamentu



Wartość sztywności podpory szacowana jest w taki sam sposób jak dla podpór węzłowych (*4.9.10.1.2 Sztywność na podstawie podłoża uwarstwionego oraz parametrów fundamentu*), z tą różnicą, że obciążenie *p* oraz wynikowa sztywności *K* są wartościami podawanymi na m^2.
Wymiary fundamentu nie są określane, ponieważ obciążenie jest rozkładane na całym obszarze podpory powierzchniowej. Jedynym parametrem geometrycznym jest poziom posadowienia *D*.

4.9.13 Zwolnienia krawędziowe

Zwolnienia krawędziowe można zdefiniować pomiędzy krawędziami obszaru lub pomiędzy żebrem a krawędzią obszaru. W tym celu należy wybrać krawędź i obszar. Sztywność połączenia można zdefiniować w lokalnym układzie krawędzi wybranego obszaru.

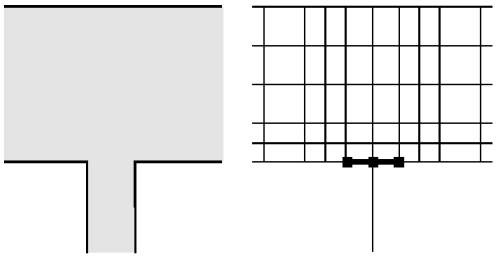


4.9.14 Elementy sztywne

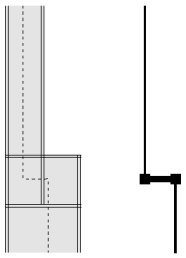
Elementy sztywne można wykorzystać do modelowania części konstrukcji zachowujących się jako sztywne względem innych.
Elementy te definiowane są poprzez wybór linii, które łączą ich węzły. Wybrane linie, które posiadają wspólne węzły, zdefiniują jeden element sztywny. Nie ma ograniczeń co do liczby węzłów w elemencie.

☞ **Nie można zablokować węzłowych stopni swobody dla elementu sztywnego.**

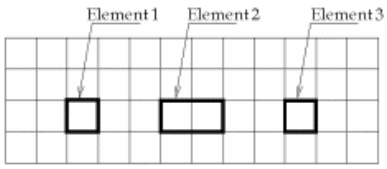
Modelowanie połączenia tarcza - pręt:



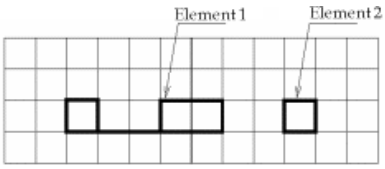
Modelowanie połączenia mimośrodkowego pręt - pręt:



Definiuj Umożliwia zdefiniowanie elementów sztywnych. W tym celu należy wybrać linie, które łączą węzły powiązane ze sztywnym elementem. Należy pamiętać, że linie ze wspólnymi węzłami definiują ten sam element sztywny.



sztywny 1 2 3



sztywny 1 2

Elementy sztywne można łączyć i rozdzielać za pomocą poleceń edycji.
Po zaznaczeniu linii, które łączą węzły różnych elementów sztywnych, elementy te zostaną połączone. Odznaczenie linii elementów sztywnych, zakłócając ich ciągłość, skutkuje rozdzieleniem odpowiednich elementów.

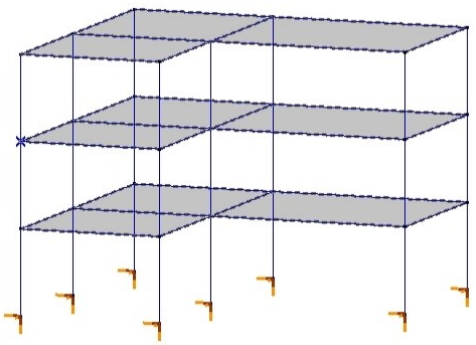
☞ **Element skończony nie może mieć wszystkich swoich linii przypisanych do tego samego ciała sztywnego.**

Chcąc uwzględnić masę ciała sztywnego w analizie modalnej, należy umieścić w środku jego ciężkości węzeł połączony z nim linią, a potem zamienić tę linię na częścią ciała sztywnego. Następnie wystarczy przypisać masę ciała do węzła w jego środku ciężkości.

☞ Elementy sztywne wyświetlane są na ekranie za pomocą grubych czarnych linii.

4.9.15 Przepona

Przepon używa się w celu uproszczenia modelu. Są to specjalne ciała sztywne, w których względna pozycja węzłów pozostaje stała w płaszczyźnie globalnej. Przepony znacząco redukują ilość obliczeń. Może to ułatwić przeprowadzenie analizy modalnej dla dużych modeli. Przepony mogą reprezentować płyty całkowicie sztywne w swoich płaszczyznach.



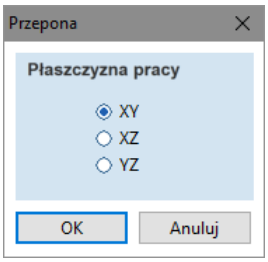
Definicja

Aby zdefiniować przepony, należy wybrać linie. Każdy zestaw powiązanych linii tworzy przeponę.

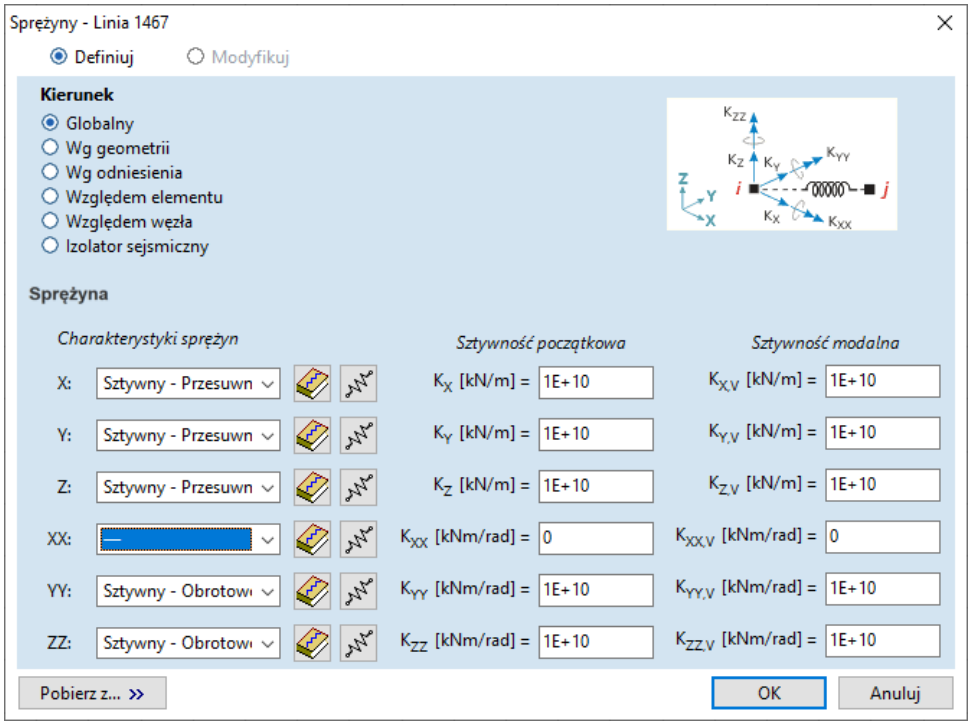
Przepony wyświetlane są jako grube przerywane linie.

Podczas definiowania, należy wybrać płaszczyznę pracy przepony. Względna pozycja węzłów elementów pozostaje stała w tej płaszczyźnie. Dla sztywnych płyt w płaszczyźnie X-Y należy wybrać XY.

Podczas edycji, usuwania lub dodawania przepon, wszystkie przepony na modelu zostaną zweryfikowane, aby program mógł znaleźć połączone grupy linii. Niedołączone grupy linii utworzą odrębne przepony.



4.9.16 Sprężyna

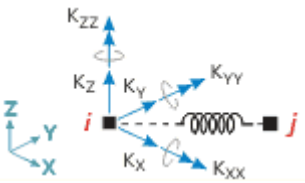


Element typu sprężyna łączy stopnie swobody dwóch węzłów na modelu. Element ten ma swój własny układ współrzędnych. Użytkownik może określić charakterystykę na przesuw (*Kx*, *Ky*, *Kz*) oraz/lub na obrót (*Kxx*, *Kyy*, *Kzz*) zgodnie z przyjętym układem. Ponadto wyświetlane są w okienkach edycyjnych wartości sztywności początkowej i modalnej oraz współczynnik tłumienia (ten ostatni tylko gdy charakterystyka sprężyny zawiera choć jeden z nich różny od zera). Nieliniowe parametry charakterystyki mogą zostać przypisane do każdego kierunku. Aby zmienić parametry należy kliknąć w ikonę charakterystyki sprężyny (**patrz...** *4.9.16.1 Charakterystyka sprężyn*)

Sprężyna może zostać zdefiniowana w następujących układach: *Globalnym*, *Wg geometrii*, *Wg odniesienia*, *Względem elementu*, *Względem węzła* lub jako *Izolator sejsmiczny*.

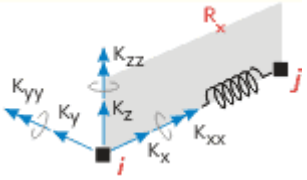
Globalny

Definiuje elementy podpory węzłowej równolegle do osi układu globalnego. Należy wybrać linie do zmiany na sprężyny oraz określić odpowiadające charakterystyki na przesuw (K_X, K_Y, K_Z) i na obrót (K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}).



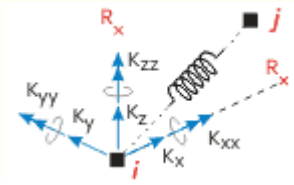
Wg geometrii

Przy określaniu sprężyny na podstawie geometrii, kierunek wybranej linii stanie wyznaczy lokalną osią -x- sprężyny. Płaszczyzna zawierająca lokalną oś -z- wyznaczana jest na podstawie odniesienia -z- oraz lokalnej osi -x-.
Ten typ definicji wymaga przynajmniej jednego poprawnego dla tej sytuacji odniesienia.



Wg odniesienia

Po wskazaniu linii do utworzenia sprężyny, należy określić charakterystyki sprężyny oraz wybrać wcześniej zdefiniowane odniesienia.
Element typu sprężyna definiowany wg odniesienia jest określony przez dwa odpowiednie odniesienia. Kierunek lokalnej osi -x- przypisywany jest wg odniesienia -x-. Odniesienie -z- razem z lokalną osią -x- wyznacza płaszczyznę dla lokalnej osi -z-.

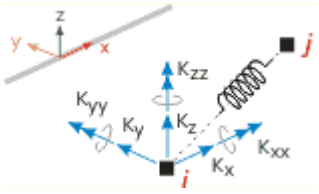


Względem elementu

Podczas definicji tego typu należy wybrać linię dla sprężyny, wskazać pręt/żebro, z którego ma zostać przyjęty układ lokalny, a na końcu określić charakterystykę sprężyny dla każdego kierunku.

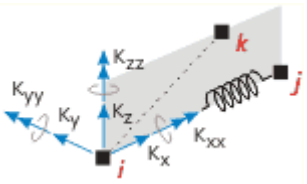
Lokalny układ współrzędnych sprężyny dopasowany zostaje do lokalnego układu współrzędnych wybranego pręta/żebra.

Model musi zawierać przynajmniej jeden pręt/żebro, aby móc w ten sposób zdefiniować sprężynę.



Względem węzła

Sprężyna utworzona względem węzła określona jest oprócz wskazanej linii także przez dwa odpowiednie węzły. Węzeł odniesienia lokalnej osi -x- razem z węzłem sprężyny o niższym numerze określają lokalną oś -x- sprężyny. Węzeł odniesienia dla lokalnej osi -z- wraz z lokalną osią -x- wyznaczają płaszczyznę dla lokalnej osi -z-.



Biblioteka charakterystyk dla sprężyn

Charakterystyka sprężyny może zostać zaimportowana z Biblioteki charakterystyk dla sprężyn (patrz... *3.1.17 Biblioteka charakterystyk dla sprężyn*). Program automatycznie filtruje odpowiadające charakterystyki w zależności od wybranego stopnia swobody.

Edytor charakterystyki sprężyny

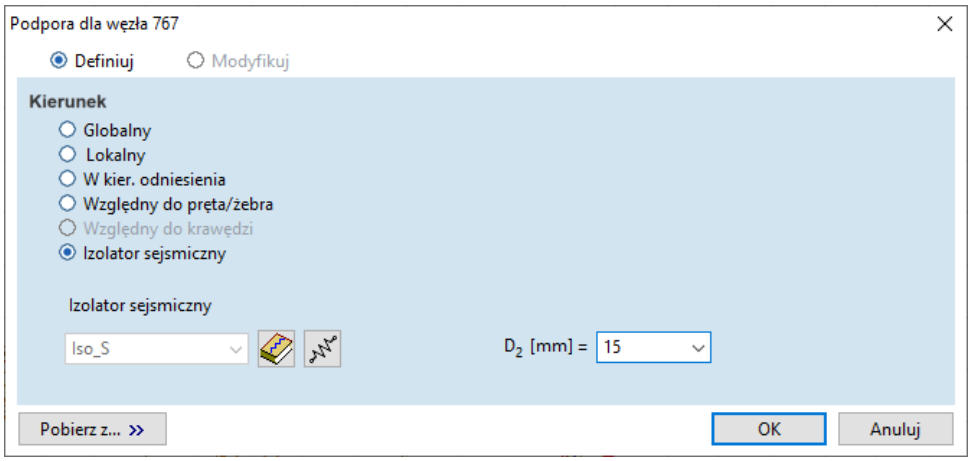
Poszczególne składniki charakterystyk mogą zostać określone i wyedytowane po kliknięciu w ikonę ze sprężyną.
Więcej szczegółów w *3.1.17 Biblioteka charakterystyk dla sprężyn*.
Pola z wartościami dla liniowej charakterystyki sprężyny są edytowalne, aby można bezpośrednio wprowadzić sztywność oraz tłumienie. Zamknięcie okna dialogowego automatycznie utworzy w zadaniu nową charakterystykę sprężyny z zadanymi wartościami. Kolumna z wartościami współczynnika tłumienia jest widoczna, jeżeli choć jedna wartość tego współczynnika jest różna od zera.

☞ **Nieliniowe charakterystyki sprężyn są uwzględniane tylko w nieliniowej analizie statycznej i dynamicznej z włączoną opcją nieliniowości materiałowej.**

W przypadku materiałowo liniowej analizy statycznej, materiałowo liniowej analizy dynamicznej i analizy wyboczeniowej w charakterystykach pracy sprężyn uwzględniana jest zawsze sztywność początkowa, nawet gdy została do nich przypisana charakterystyka nieliniowa.
Dla analizy drgań własnych pierwszego i drugiego rzędu przyjmowana jest zawsze sztywność modalna, której parametry pozostają niezmienne w trakcie trwania analizy.
Współczynniki tłumienia uwzględniane są tylko podczas analizy dynamicznej.

Sprężyny nie są rzeczywistymi elementami konstrukcji. Łączą one węzłowe stopnie swobody pojedynczych węzłów końcowych. Nie występuje żadne geometryczne sprzężenie pomiędzy poszczególnymi stopniami swobody (przesuw – obrót czy siła moment).

Izolator sejsmiczny



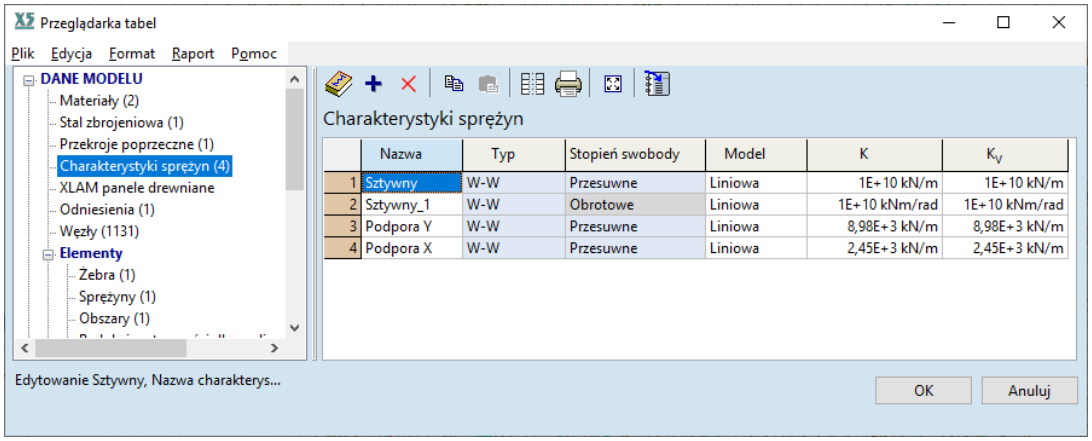
D_2 Maksymalne obliczeniowe przemieszczenie dla SGN

Osie izolatora sejsmicznego są równoległe do osi układu globalnego.
Patrz... *3.1.17.2 Izolator sejsmiczny*.

4.9.16.1 Charakterystyka sprężyn

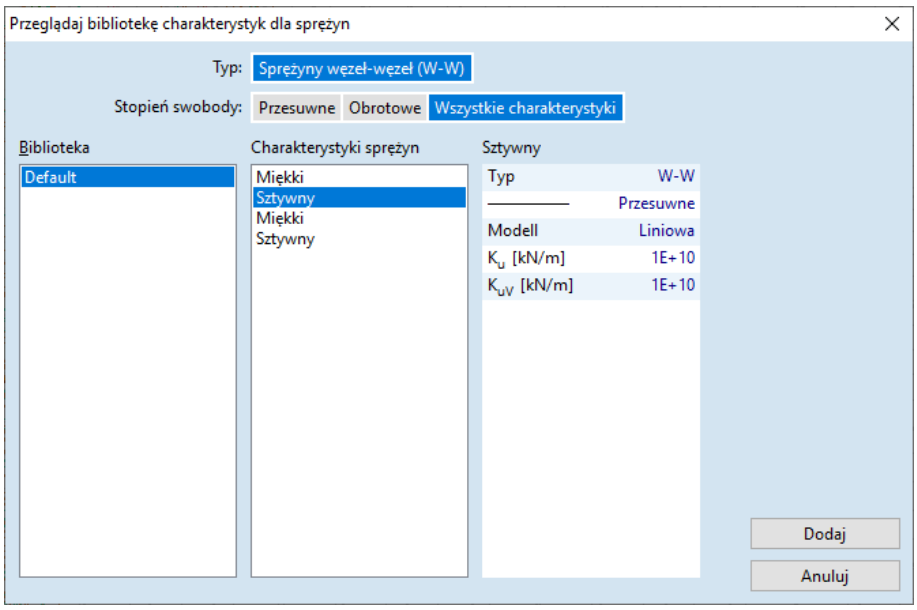
Definiowanie charakterystyki sprężyny

Nowa charakterystyka sprężyny może zostać wprowadzona w *Przeglądarce tabel* w *Charakterystyce sprężyn*. Tabela ta zawiera charakterystyki sprężyn zdefiniowane w bieżącym modelu. Nieużywane charakterystyki mogą zostać usunięte za pomocą polecenia *Edycja* > *Usuń nieużywane sprężyny*.

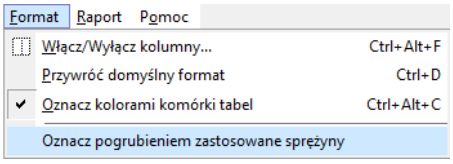


Przeglądaj bibliotekę charakterystyk dla sprężyn

Charakterystyka sprężyny może zostać wczytana z *Biblioteki charakterystyk sprężyn*. Po kliknięciu w tę ikonę zostanie wyświetlone okno z bibliotekami zawierającymi charakterystyki. Charakterystyki wyświetlane są w zależności od wybranego stopnia swobody (przesuwne, obrotowe, wszystkie). Właściwości wybranej charakterystyki wyświetlone zostaną w trzeciej kolumnie.



Włączenie opcji *Format* > *Oznacz pogrubieniem zastosowane sprężyny* pozwala zorientować się i uniknąć usunięcia charakterystyki, która została zastosowana na modelu. Charakterystyki znajdujące się na liście, ale nieużywane mogą zostać łatwo usunięte za pomocą polecenia *Edycja* > *Usuń nieużywane sprężyny*.



Nowa charakterystyka sprężyny

Pozwala utworzyć i określić wszystkie parametry nowej charakterystyki sprężyny dla bieżącego zadania. Polecenie to przebiega w analogiczny sposób, jak dodawanie charakterystyki sprężyny do biblioteki, patrz *3.1.17 Biblioteka charakterystyk dla sprężyn*.

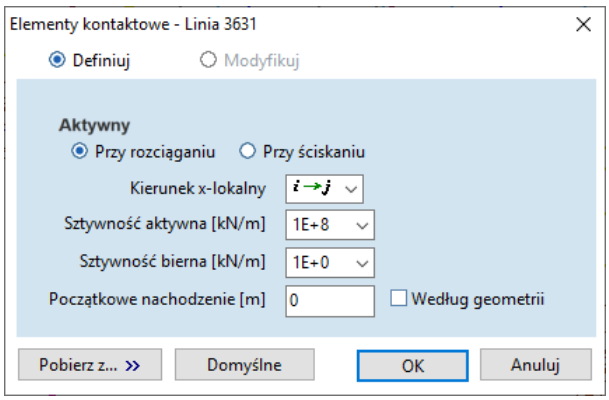
Właściwości charakterystyki sprężyny

Istniejące charakterystyki sprężyny mogą zostać zmodyfikowane poprzez kliknięcie w komórkę należącą do wybranej charakterystyki (poza komórką z Nazwą). W wyświetlonym oknie dialogowym można zdefiniować lub zmodyfikować wszystkie parametry charakterystyki sprężyny.
Właściwości charakterystyki zostały opisane w *3.1.17 Biblioteka charakterystyk dla sprężyn*.

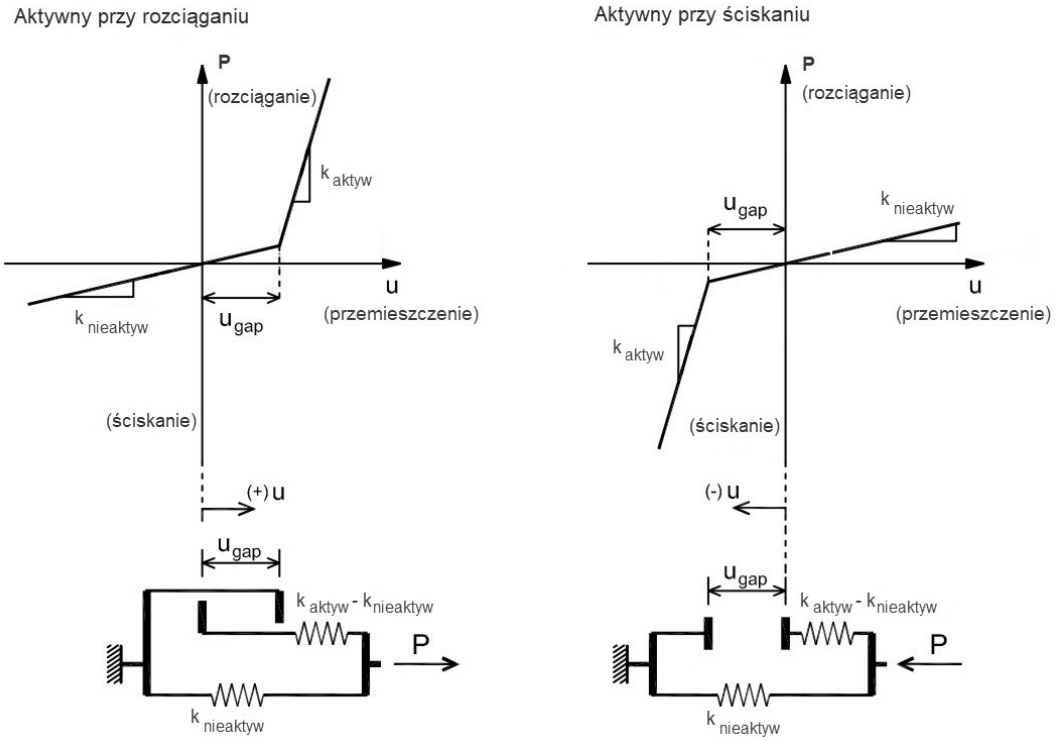
4.9.17 Element kontaktowy

Element kontaktowy wykorzystuje się, aby wymodelować zetknięcie punkt-punkt. Element ten posiada dwa stany:

- *aktywny*, kiedy posiada dużą wartość sztywności (symuluje, że zetknięcie zostało osiągnięte)
- *nieaktywny*, kiedy posiada małą wartość sztywności (symuluje, że żadne zetknięcie (kontakt) nie zostało osiągnięte).



Ponieważ stan nieaktywny ma bardzo małą (ale niezerową) wartość sztywności, to sam element jest aproksymacją kontaktu pomiędzy dwoma punktami. Używając jednak tego elementu macierz sztywności pozostaje macierzą pasmową i na modelu można zastosować dowolną liczbę elementów kontaktowych.



Element kontaktowy jest elementem nieliniowym, który może nastręczać trudności w rozwiązaniu zadania nieliniowego. Jest to spowodowane dużą zmianą sztywności tego elementu podczas zmiany stanu jego pracy (aktywny/nieaktywny).
W przypadku wystąpienia numerycznego problemu ze zbieżnością zadania, użytkownik powinien sprawdzić czy dopuszczalne jest zmniejszenie stosunku wartości sztywności aktywnej do nieaktywnej (biernej). Zabieg ten łagodzi bowiem efekt nieliniowości wywołany przez element kontaktowy.

Element kontaktowy definiowany jest przez wybranie dwóch węzłów.

Definiowanie kierunku x-lokalny wygląda tak samo, jak w przypadku elementów prętowych.

Aktywny: Aktywny stan może być przy rozciąganiu (połączenie śrubowe rozciągane) lub ściskaniem (zetknięcie dwóch płyt)

Orientacja (z jednego węzła do drugiego)

Sztywność aktywna: Domyślnie wynosi 1E+8 kN/m.

Sztywność bierna: Domyślnie wynosi 1E-2 kN/m.

Początkowa szczelina \ nachodzenie: Domyślnie wynosi 0. Początkową szczelinę można ustawić również w oparciu o geometrię elementu (zaznacz *Wg geometrii*). Początkowa szczelina jest wartością dodatnią lub zerową. Do momentu, kiedy początkowa szczelina nie zamknie się, element kontaktowy traktowany jest jako nieaktywny.

☞ **Jeżeli element kontaktowy użyty jest w analizie innej niż nieliniowa analiza statyczna, to element ten zostanie uwzględniony jako sprężyna o sztywności odpowiadającej jego początkowej szczelinie. Jeżeli początkowa szczelina wynosi zero, uwzględniona zostanie sztywność aktywna.**

4.9.18 Izolator sejsmiczny

Analiza sejsmiczna (moduł SE1)

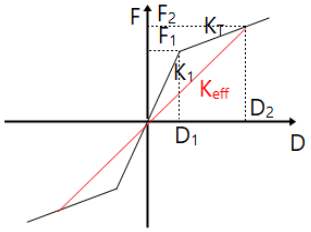
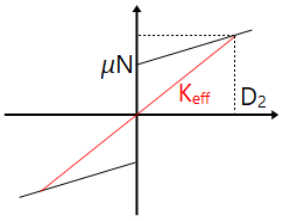
Izolator sejsmiczny w zależności od analizy jest różnie uwzględniany w pracy układu.
Izolator sejsmiczny traktowany jest jako układ z pojedynczym stopniem swobody, który ma następujące parametry:

T_{is}	wartość okresu dla układu
ξ_{esi}	współczynnik tłumienia układu
K_{esi}	efektywna sztywność pozioma
K_v	efektywna sztywność pionowa
dc_x, dc_y	współrzędne środka układu izolatora w płaszczyźnie X-Y

Efektywna sztywność pozioma oraz współczynnik tłumienia

W celu wyznaczenia efektywnej sztywności poziomej izolatora z charakterystyka nieliniową trzeba znać graniczną wartość przemieszczenia izolatora (parametr D_2 **patrz** *4.9.10 Podpora węzłowa, 4.9.16 Sprężyna*). Ponieważ przemieszczenie izolatora zależy od obciążenia sejsmicznego, to rozwiązanie może zostać znalezione tylko na drodze iteracji. Ostatecznie względna różnica pomiędzy przemieszczeniem obliczeniowym a rzeczywistym przemieszczeniem maksymalnym musi być mniejsza niż 5%.

Efektywna sztywność i współczynnik tłumienia w zależności od typu izolatora może zostać wyznaczony w poniższy sposób:

Łożysko elastomerowe	*Łożysko soczewkowe*	*Inne*
		Użytkownik definiuje efektywną wartość sztywności (E_xy) i współczynnik tłumienia (ξ). **Patrz** *3.1.17.2 Izolator sejsmiczny*.

Parametry:

$$D_1 = \frac{F_1}{K_1}$$

$$F_2 = F_1 + K_T(D_2 - D_1)$$

$$K_{eff} = \frac{F_2}{D_2}$$

$$\xi_{eff} = \frac{2}{\pi}\left(\frac{F_1}{F_2} - \frac{D_1}{D_2}\right)$$

$$K_{eff} = N\left(\frac{1}{R} + \mu\frac{}{D_2}\right)$$

$$\xi_{eff} = \frac{2}{\pi}\left(\frac{1}{1 + \frac{D_2}{\mu R}}\right)$$

gdzie *N* to siła normalna na element izolatora

Sztywność pionowa i pozioma układu izolatora

$$K_v = \sum E_{z,i}\,, \qquad K_{esi} = \sum K_{eff,i}$$

Parametr okresu dla układu izolatora

$T_{is} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{K_{esi}}{M_{is}}}}$ gdzie M_{is} to masa izolowanej konstrukcji

Współczynnik tłumienia układu

$$\xi_{esi} = \frac{\sum \xi_{eff,i} K_{eff,i}}{K_{esi}}$$

Środek sztywności układu izolatora

$$dc_x = \frac{\sum x_i K_{eff,i}}{K_{esi}},\ dc_y = \frac{\sum y_i K_{eff,i}}{K_{esi}}$$

Podczas analizy spektrum odpowiedzi izolatory uwzględniane są w następujący sposób (dotyczy tylko normy włoskiej NTC)

Spektrum poziome

Spektrum sprężyste, gdzie

$$\xi = \begin{cases} 5\%, & T < 0.8T_{is} \\ \xi_{esi}, & T \geq 0.8T_{is} \end{cases}$$

- Dla stanów granicznych SLO, SLD

$$\eta = \max\left(0.55, \sqrt{\frac{10}{5+\xi}}\right)$$

- Dla stanów granicznych SLV, SLC

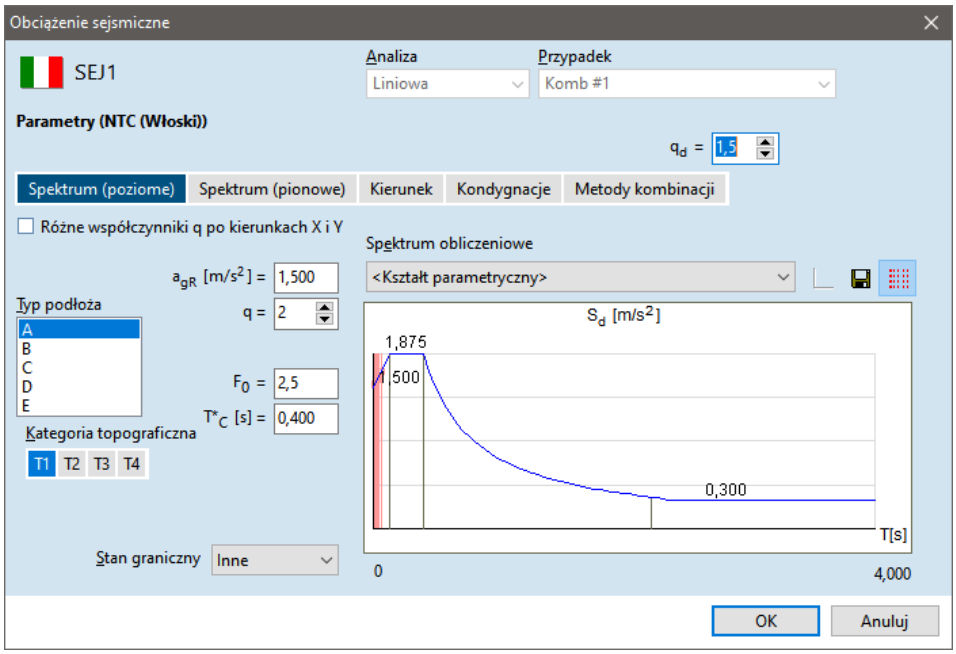
$\eta = \max\left(\frac{2}{3}, \sqrt{\frac{10}{5+\xi}}\right)$,

z tą modyfikacją ekwiwalentny współczynnik odpowiedzi nie może być większy niż 1.5.

Spektrum pionowe

Spektrum sprężyste, gdzie $\xi = 5\%$.

Spektrum poziome w przypadku, gdy zostały zastosowane izolatory:



Liniowa analiza statyczna

W tym przypadku program przyjmuje efektywną sztywność izolatora $K_{eff,i}$ (patrz powyżej).

Nieliniowa analiza statyczna

W nieliniowej analizie statycznej (pushover) izolatory uwzględniane są z bilinearnym prawem konstytutywnym.

Drgania własne

Dla analizy modalnej pierwszego i drugiego rzędu przyjmowana jest efektywna sztywność izolatora $K_{eff,i}$ (patrz powyżej).
Jeżeli model zawiera izolatory, to najpierw przeprowadzana jest liniowa analiza statyczna w celu ustalenia masy izolowanego układu.

Wyboczenie

W analizie wyboczeniowej elementy są uwzględniane ze sztywnością początkową K_1. W przypadku elementu soczewkowego na zakrzywionej powierzchni wartość sztywności poziomej jest przyjmowana jako 1e10 kN/m.

Analiza dynamiczna

Bez nieliniowości fizycznej (wyłączona opcja nieliniowe właściwości materiałów i elementów skończonych)

Przyjmowana jest efektywna sztywność $K_{eff,i}$ izolatorów, która została opisana powyżej. Ponadto program uwzględnia rozproszenie energii z powodu sprężysto-plastycznej odpowiedzi w i-tym izolatorze:

$$c_i = \frac{W_{d,i}}{\pi\omega {D_{2,i}}^2}$$

gdzie
$\omega_{is} = \frac{2\pi}{T_{is}}$,
$W_{d,i}$ to rozproszenie energii podczas jednego cyklu, w którym $W_d = 4(F_1D_2 - F_2D_1)$ dla elementu elastomerowego oraz $W_d = 4\mu ND_2$ dla elementu soczewkowego.

Z nieliniowością fizyczną

Łożyska izolatorów elastomerowych oraz soczewkowych uwzględniane są bilinearnym prawem konstytutywnym.

Uwaga: jeżeli na modelu zdefiniowano łożysko soczewkowe, to obliczenia rozpoczynają się od liniowej analizy statycznej w celu wyznaczenia siły normalnej działającej na element łożyska od danego przypadku. Program pomija oscylacje siły nacisku na element izolatora.
Nieliniowa odpowiedź izolatorów reprezentowana jest przez oddzielne sprężyny po kierunku *-x-* oraz *-y-*. Interakcja pomiędzy nimi nie jest uwzględniana.

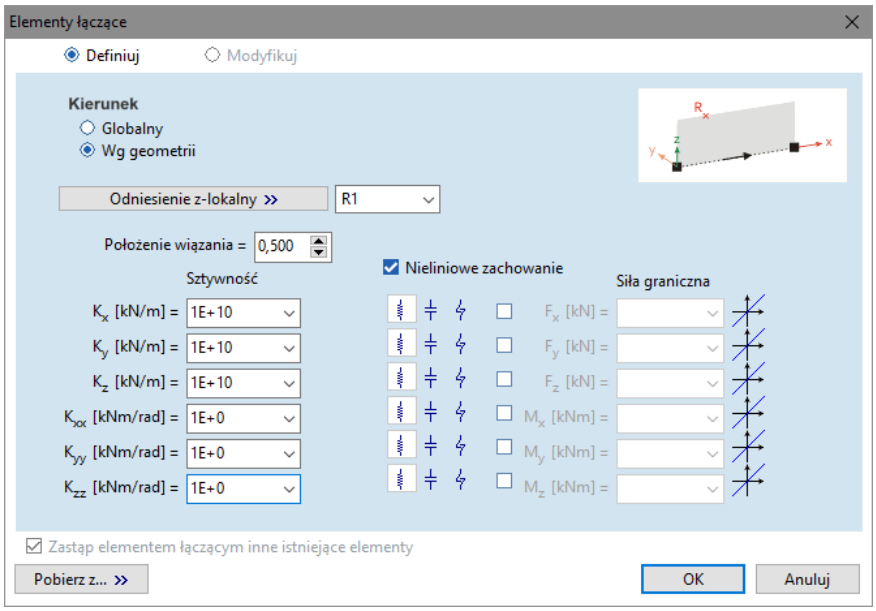
4.9.19 Element łączący

Elementy łączące

Elementy łączące wiążą dwa węzły (W-W) lub dwie linie (L-L) oraz posiadają sześć składowych sztywności (definiowanych w układzie elementu), które są skupione w wiązaniu (zlokalizowanym pomiędzy łączonymi węzłami / liniami). Położenie tego wiązania można ustawić względem jednego z węzłów / linii, który jest traktowany jako referencyjny (węzeł główny).
Elementy łączące mogą posiadać parametr nieliniowy zwany siłą graniczną, która ogranicza siłę jaką są w stanie przekazać.

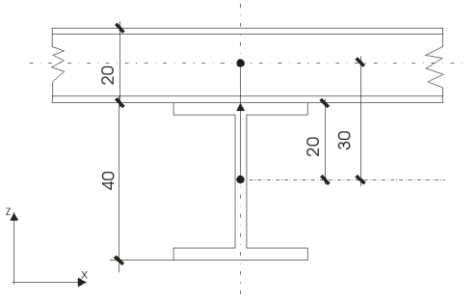
Element łączący węzeł-węzeł (W-W)

Łączy dwa węzły. Składowe sztywności definiowane są w globalnym układzie współrzędnych. Położenie wiązania może być ustawione od 0 do 1 względem węzła głównego. Jeżeli położenie wiązania wynosi 0, wiązanie znajduje się w węźle głównym. Jeżeli wynosi 1 to wiązanie jest na przeciwległym węźle. Dla każdej wartości większej od 0 i mniejszej od 1 odniesienie znajduje się pomiędzy węzłami.



Typowe zastosowania to połączenie dźwigar główny - płatew; niektóre typy połączeń rusztowych; połączenia stężenia krzyżowego; itd.

Przykład: Połączenie dźwigar główny - płatew (**Patrz...** EC3# Prosta_hala_stalowa.axs w folderze z przykładami).
Przyjmijmy, że pionowa oś to Z i jest równoległa do lokalnej osi z. Główny dźwigar to IPE400 w płaszczyźnie X-Z, płatew to I200. Użytkownik chce przekazać siły z płatwi na dźwigar główny, ale bez momentów.



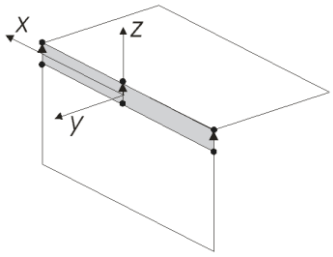
Elementy te reprezentowane są przez ich linię ciężkości. Element łączący należy umieścić pomiędzy tymi dwiema osiami w ich punkcie przecięcia (w widoku z góry). Dlatego też element łączący musi zostać przypisany do linii pionowej o długości równej odległości między osiami, tj. 30 cm (40/2 + 20/2). Należy wybrać węzeł na dźwigarze głównym jako główny węzeł łączenia. Wiązanie zawsze musi znajdować się w rzeczywistym punkcie kontaktu. W tym przypadku wiązanie znajduje się w odległości 20 cm (40/2) od węzła głównego (tj. osi dźwigara głównego), więc położenie wiązania to 20/30 = 0.666. Załóżmy, że połączenie ma zablokowane przesuwy, ale może się obracać. Dlatego należy wpisać 1E+10 dla sztywności na przesuw oraz 0 dla sztywności na obrót. Jeżeli płatwie są podparte tylko przez te elementy łączące, należy wprowadzić $K_{YY} = 0.001$ lub podobnie małą wartość, aby wyeliminować obrót wokół głównej osi dźwigara.

Parametry nieliniowe

Parametry nieliniowe można przypisać każdej niezerowej składowej sztywności. Aby zmienić charakterystykę, należy kliknąć na jeden z trzech przycisków (dwukierunkowy, tylko ściskanie, tylko rozciąganie) i zaznaczyć pole wyboru siły granicznej oraz określić jej wartość, jeżeli jest wymagana.

Element łączący linia-linia

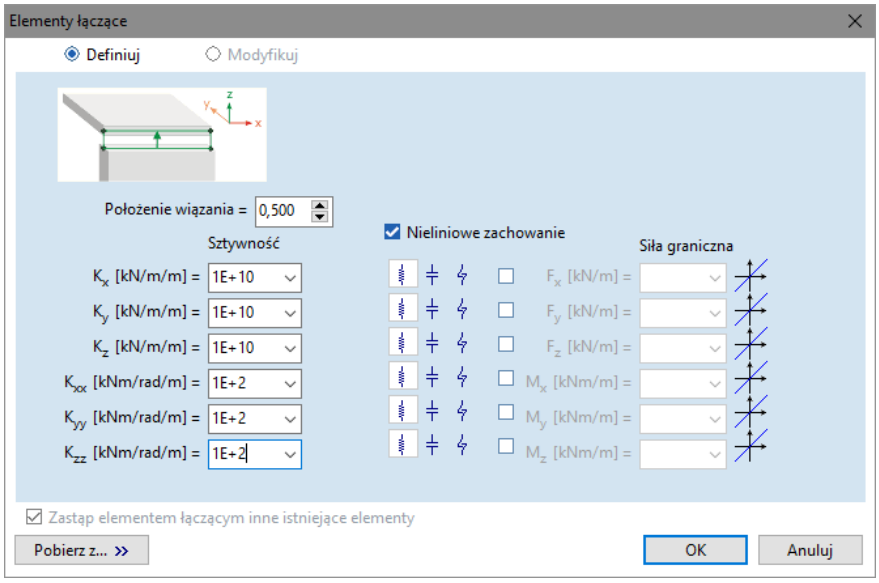
Łączy dwie linie z trzema węzłami na każdej z nich, które mogą być elementami żebrowymi i / lub krawędziami elementów powierzchniowych. Element łączący linia-linia zawsze ma 6 węzłów. Składowe sztywności definiowane są w lokalnym układzie współrzędnych łączenia, który znajduje się w płaszczyźnie elementu łączącego z lokalną osią *x* równoległą do linii głównej oraz lokalną osią *z* zorientowaną w płaszczyźnie elementu łączącego w kierunku drugiej linii i prostopadle do lokalnej osi *x*.



Położenie wiązania może być ustawione od 0 do 1 względem linii głównej (wybranej przez użytkownika).

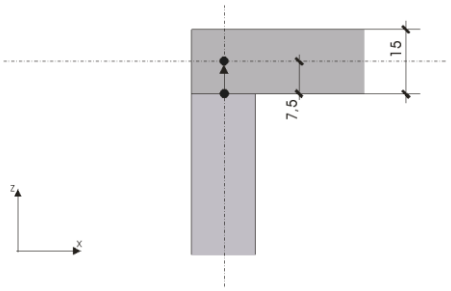
Jeżeli położenie wiązania wynosi 0, wiązanie znajduje się na linii głównej (w punkcie początkowym strzałki).
Jeżeli wynosi 1, wiązanie znajduje się na przeciwległej linii (punkt końcowy strzałki). Dla wartości większych od 0 i mniejszych od 1 wiązanie znajduje się pomiędzy liniami.

Typowe zastosowania: przegubowe połączenia płyta-ściana; zespolone belki warstwowe, półsztywne połączenia żebro-powłoka itd.



Przykład: Połączenie przegubowe strop-ściana.

Przyjmijmy, że oś pionowa to Z, ściana jest w płaszczyźnie Y-Z, strop jest równoległy do płaszczyzny X-Y, a ściany reprezentowane są przez elementy powłokowe. Grubość stropu wynosi 15 cm.
Użytkownik chce przekazać siły ze stropu na ścianę, ale bez momentów.



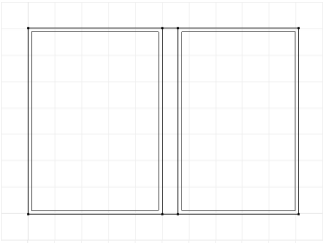
Elementy reprezentowane są przez ich płaszczyzny środkowe. Ściana musi sięgać do dolnej płaszczyzny stropu. Elementy łączące należy umieścić pomiędzy górną krawędzią ściany a krawędzią stropu. W tym przypadku elementy łączące muszą znajdować się w płaszczyźnie ściany. Odległość pomiędzy krawędziami wynosi 7.5 cm (15/2).
Należy wybrać węzły krawędziowe ściany jako węzły główne. Wiązanie musi znajdować się w rzeczywistym punkcie kontaktu, czyli w dolnej płaszczyźnie stropu i w odległości 0 cm od węzła głównego. Dlatego jako położenie wiązania należy wprowadzić 0. Przyjęto, że połączenie jest zablokowane na przesuw, ale może się obracać. Dlatego należy wpisać 1E+10 dla sztywności na przesunięcie oraz 0 dla sztywności na obrót.

Parametry nieliniowości

Można określić siłę graniczną dla każdej odpowiadającej składowej o niezerowej sztywności.

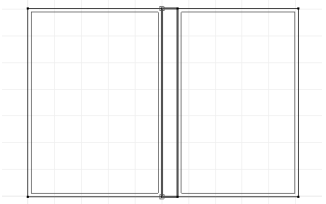
Aby zdefiniować elementy łączące linia-linia w połączeniu z obszarami należy wykonać następujące kroki:

1. Zdefiniuj obszary **(Patrz...** *4.9.5 Obszar*) i połącz odpowiadające przeciwległe węzły obszarów za pomocą linii (liczba węzłów na krawędziach obszarów powinna być równa).

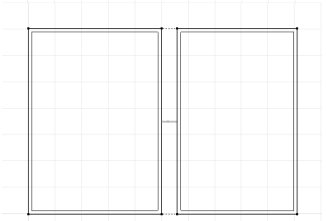


2. Wybierz czworokąt pomiędzy obszarami. Kliknij **OK** na pasku narzędzi wyboru.

3. Wybierz linię główną elementu łączącego. Kliknij **OK** na pasku narzędzi wyboru.

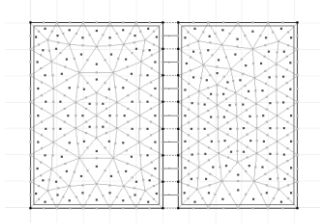


4. Zdefiniuj sztywność elementu łączącego i ustaw położenie łączenia. Domyślnie wiązanie znajduje się punkcie środkowym elementu łączącego. Element łączący zostanie utworzony.



5. Następnie można wygenerować siatkę dla obszarów.
Patrz... *4.11.1.2 Generowanie siatki obszaru*

6. Elementy łączące zostaną podzielone zgodnie z siatką obszaru.

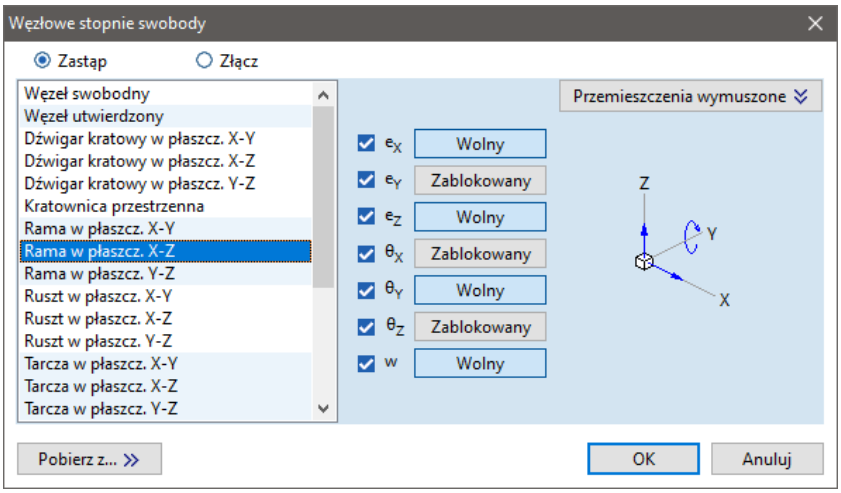


4.9.20 Węzłowe stopnie swobody

Węzły same w sobie nie są elementami skończonymi, ale ich stopnie swobody są ściśle powiązane z analizą elementów skończonych. Okno to umożliwia zablokowanie sześciu (lub siedmiu) węzłowych stopni swobody: translacyjnych (e_X, e_Y, e_Z), obrotowych (θ_X, θ_Y, θ_Z) oraz deplanacyjnego (w) (ten ostatni dotyczy modeli zawierających przynajmniej jedną belkę 7 DoF – patrz *4.9.8.3 Pręt z siedmioma stopniami swobody (moduł 7DOF)*).
W ustawieniu domyślnym węzły nie mają zablokowanych żadnych stopni swobody.
Równania równowagi w trakcie przeprowadzania analiz są układane tylko dla kierunków (przesunięcia/obroty), które nie zostały zablokowane.
Można wybrać dowolną kombinację sześciu węzłowych stopni swobody (e_X, e_Y, e_Z, θ_X, θ_Y, θ_Z). Jednak w wielu przypadkach można wykorzystać typowe ich kombinacje. W tych sytuacjach można szybko zastosować predefiniowane ustawienia wybierając je z listy.

Następujące typy konstrukcji znajdują się na liście:

Dźwigar kratowy w płaszczyźnie / Kratownica przestrzenna / Rama w płaszczyźnie / Ruszt / Tarcza / Płyta



Definicja węzłowych stopni swobody

Za pomocą przycisków można ustawić wybrane stopnie swobody. Napisy na przyciskach wskazują aktualnie wybrany stan. Zmiany będą zastosowane tylko do tych węzłowych stopni swobody, przy których zaznaczono pole wyboru (po ich lewej stronie). Niezaznaczone w ten sposób komponenty zachowają swoje pierwotne wartości.
Węzłowe stopnie swobody można zmienić za pomocą dwóch opcji.

Zastąp

Nowe ustawienia zastępują istniejące ustawienia stopni swobody wybranych węzłów.

Złącz

Ustawia w węzłach wybrany stopień swobody jako zablokowany, jeżeli istniejący status lub nowo zdefiniowana wartość jest wybrana jako zablokowana.
Ta opcja jest przydatna podczas definiowania warunków symetrii.

Przykład operacji złączenia

	eX	*eY*	*eZ*	*ΘX*	*ΘY*	*ΘZ*	*w*
początkowy zestaw:	*wolny*	*zablok.*	*wolny*	*zablok.*	*wolny*	*zablok.*	*wolny*
nowy zestaw:	*wolny*	*wolny*	*wolny*	*zablok.*	*zablok.*	*zablok.*	*wolny*
wynikowy zestaw:	*wolny*	*zablok.*	*wolny*	*zablok.*	*zablok.*	*zablok.*	*wolny*

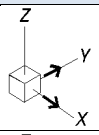
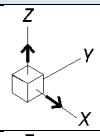
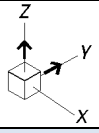
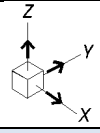
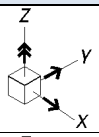
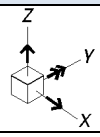
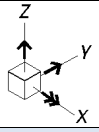
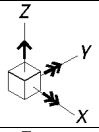
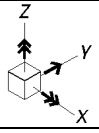
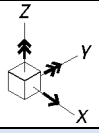
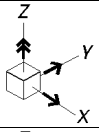
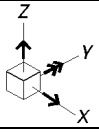
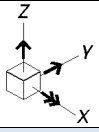
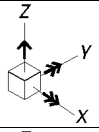
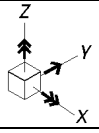
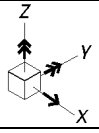
Sześć węzłowych stopni swobody (e_X, e_Y, e_Z, θ_X, θ_Y, θ_Z) ustawianych jest przez sześcioznakowe oznaczenie, składające się z symboli o (w**o**lny) i B (za**B**lokowany).
Każdy symbol odnosi się do jednego komponentu stopnia swobody. Domyślnie węzły ustawiane są jako wolne (wszystkie symbole o). Ustawienie symbolu na B (zaBlokowany) sprawi, że odpowiadający komponent stopnia swobody zostanie zablokowany.

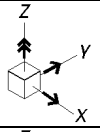
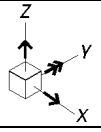
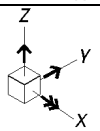
Domyślne oznaczenie stopni swobody węzła to [o o o o o o].

☞ **Obciążenia, które przyłożone są po kierunku zablokowanego stopnia swobody, nie są uwzględniane. Obciążenia po kierunku zablokowanego stopnia swobody zostaną wyświetlone w tabeli obciążeń niezrównoważonych.**

Węzły o stopniach swobody innych niż [o o o o o o] wyświetlane są na ekranie w kolorze błękitnym.

Oznaczenia dla poniższej tabeli: ↑ swobodny przesuw, ↟ swobodny obrót wokół określonej osi.

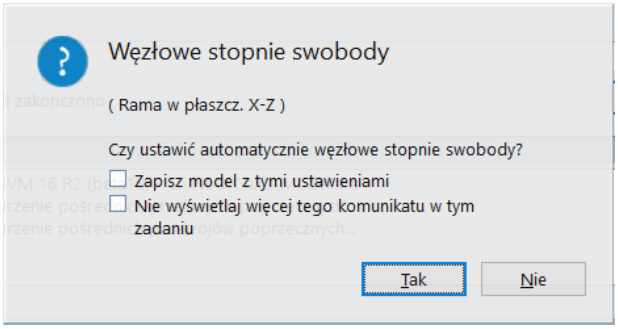
Stopnie swobody	*Swobodne przemieszczenia*	*Stopnie swobody*	*Swobodne przemieszczenia*
Dźwigary kratowe			
Dźwigar kratowy w płaszczyźnie **X-Y**		Dźwigar kratowy w płaszczyźnie **X-Z**	
Dźwigar kratowy w płaszczyźnie **Y-Z**		Kratownica przestrzenna	
Ramy			
Rama w płaszczyźnie **X-Y**		Rama w płaszczyźnie **X-Z**	
Rama w płaszczyźnie **Y-Z**			
Ruszty			
Ruszt w płaszczyźnie **X-Y**		Ruszt w płaszczyźnie **X-Z**	
Ruszt w płaszczyźnie **Y-Z**			
Tarcze			
Tarcza w płaszczyźnie **X-Y**		Tarcza w płaszczyźnie **X-Z**	
Tarcza w płaszczyźnie **Y-Z**			
Płyty			
Płyta w płaszczyźnie **X-Y**		Płyta w płaszczyźnie **X-Z**	
Płyta w płaszczyźnie **Y-Z**			

Symetria			
Płaszczyzna symetrii **X-Y**		Płaszczyzna symetrii **X-Z**	
Płaszczyzna symetrii **Y-Z**			

Pobierz z... >> Stopnie swobody można pobrać z innego węzła i przypisać do wybranych.

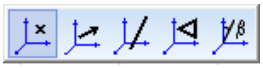
Sprawdzanie węzłowych stopni swobody przez analizą

Przed uruchomieniem obliczeń program sprawdza, czy węzłowe stopnie swobody są zgodne z geometrią oraz obciążeniami danej konstrukcji. Jeżeli to konieczne, wyświetlony zostanie komunikat z pytaniem o zmianę ustawień stopni swobody. Modyfikacja ta może być tymczasowa lub trwale zapisana w zadaniu za pomocą opcji *Zapisz model z tymi ustawieniami*.



Zaznaczenie drugiej opcji (*Nie wyświetlaj więcej tego komunikatu w tym zadaniu*) spowoduje zapamiętanie przez program wyboru użytkownika, a komunikat nie pojawi się więcej dla tego zadania, nawet jeżeli sugerowana przez komunikat modyfikacja nie zostanie zapisana.
Wyświetlanie tego komunikaty można przywrócić w Ustawienia/Preferencje/Obliczenia (poprzez zaznaczenie opcji *Pokaż komunikat o węzłowych stopniach swobody przed uruchomieniem analizy*).
Patrz... *3.3.11.13 Obliczenia*.

4.9.21 Odniesienia



Umożliwia zdefiniowanie punktów, wektorów, osi i płaszczyzn odniesienia. Odniesienia określają kierunki lokalnych układów elementów skończonych w przestrzeni 3D. Lokalne układy elementów zdefiniowane przez odniesienia wykorzystywane są do określania cech przekroju poprzecznego i do interpretacji wyników.
W lokalnym układzie są zdefiniowane cechy elementu oraz siły wewnętrzne (N_x, V_y, V_z, T_x, M_y, M_z dla prętów, m_x, m_y, m_{xy} dla płyt, n_x, n_y, n_{xy} dla tarcz, itd.).

Szybka modyfikacja: Kliknięcie na symbol odniesienia wywołuje Przeglądarkę tabel z włączoną tabelą odniesień. Wektor i oś odniesienia mogą być definiowane za pomocą dwóch punktów, a płaszczyzna odniesienia za pomocą trzech punktów. Po zamknięciu tabeli, wektory i osie odniesień są normalizowane do jedności.

Oznaczenia kolorystyczne: ***x*** = czerwony, ***y*** = żółty, ***z*** = zielony.

Można wykorzystać następujące odniesienia:

Odniesienia automatyczne

Automatyczne odniesienia dla elementów typu pręt i pręt kratowy:

Wektor odniesienia dla prętów kratowych i prętów jest generowany i przypisywany w następujący sposób: Jeżeli oś elementu jest równoległa do globalnej osi Z, wektor odniesienia będzie równoległy do globalnej osi X.
We wszystkich innych przypadkach będzie równoległy do globalnej osi Z.
W przypadku łuków: jeżeli płaszczyzna łuku jest równoległa do globalnej płaszczyzny X-Y, automatyczne odniesienie jest prostopadłe do niej i wskazuje kierunek +Z. Jeżeli łuk znajduje się w innej płaszczyźnie, jego wektor odniesienia jest w płaszczyźnie łuku i wskazuje na zewnątrz od punktu środkowego łuku.

Automatyczne odniesienia dla elementów typu żebro:

Jeżeli żebro jest niezależne, wektor odniesienia zostanie wygenerowany i przypisany do elementu tak jak w przypadku pręta.
Jeżeli żebro połączone jest z elementem powierzchniowym, wektor odniesienia zostaje wygenerowany w sposób następujący:
Wektor odniesienia będzie równoległy do dwusiecznej lokalnych osi z (prostopadłej do powierzchni) powierzchni, które są połączone z żebrem.

Automatyczne odniesienia dla obszarów i elementów powierzchniowych:

Wektory odniesienia zostaną wygenerowane i przypisane do powierzchni w następujący sposób:

Odniesienie oś x-lokalna

Jeżeli płaszczyzna powierzchni jest równoległa do płaszczyzny X-Y, wektor odniesienia dla lokalnej osi x zostanie wygenerowany jako wektor równoległy do globalnej osi X.
We wszystkich innych przypadkach wektor będzie równoległy do linii przecięcia powierzchni i płaszczyzny X-Y.

Odniesienie oś z-lokalna

Jeżeli płaszczyzna elementu powierzchniowego jest równoległa do osi Z, wygenerowane odniesienie będzie wektorem skierowanym w kierunku początku układu globalnego XYZ. Gdy początek układu globalnego znajduje się w płaszczyźnie elementu powierzchniowego, to wektor odniesienia wskaże dodatnią połówkę półprzestrzeni w kierunku X lub Y. We wszystkich innych przypadkach będzie równoległy do globalnej osi Z.

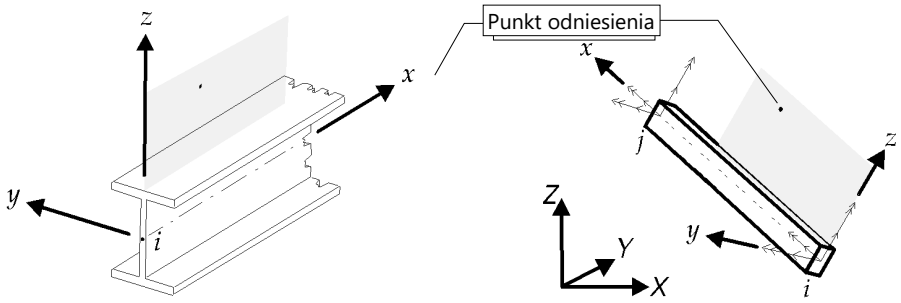
Opcja menu *Edycja / Konwertuj odniesienia automatycznie* przekonwertuje odniesienia automatyczne na wektory odniesienia.

Punkt odniesienia

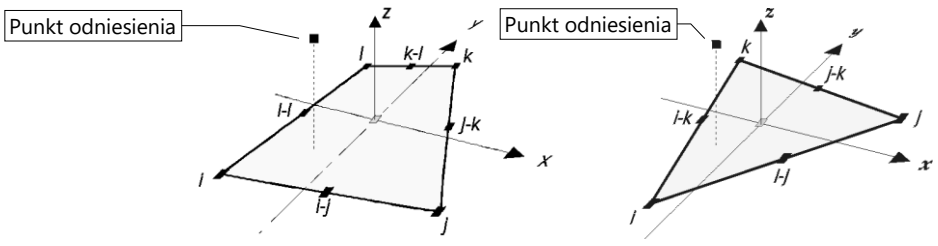
Punkt odniesienia wykorzystuje się do definiowania orientacji (lokalnego układu współrzędnych) prętów, żeber, podpór i sprężyn lub do definiowania dodatnich osi lokalnych *x* i *z* elementów powierzchniowych. Punkty odniesienia definiowane są (poprzez swoje współrzędne) w globalnym układzie współrzędnych.

Punkty odniesienia wyświetlane są na ekranie jako małe czerwone symbole +.

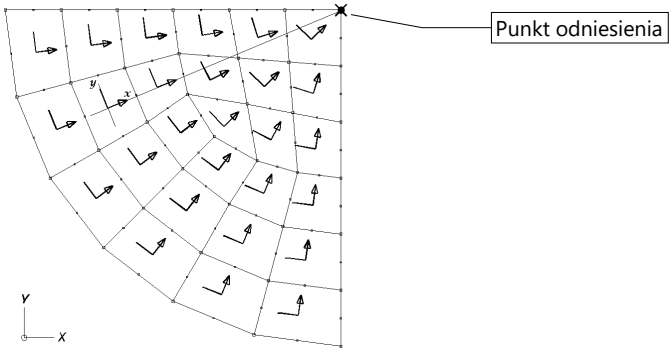
Pręty, żebra i sprężyny:
Punkt odniesienia i lokalna oś ***x*** elementu definiują lokalną płaszczyznę ***x-z***. Dodatnie kierunki lokalnych osi ***y*** i ***z*** określane są zgodnie z regułą prawej dłoni.



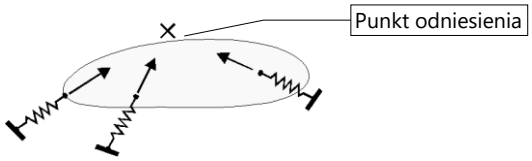
Elementy powierzchniowe:
Dodatnia oś lokalna *z* zorientowana jest w kierunku półprzestrzeni, w której zlokalizowany jest punkt odniesienia i jest prostopadła do płaszczyzny elementu. Po zdefiniowaniu lokalnej osi *x* określona zostaje lokalna oś *y* zgodnie z regułą prawej dłoni.



Lokalna oś *x* będzie zorientowana w kierunku punkt odniesienia.
W przypadku elementu powierzchniowego, punkt odniesienia musi być zlokalizowany w płaszczyźnie elementu.



Podpory:
W przypadku elementu podporowego, punkt odniesienia można wykorzystać, aby zdefiniować lokalną oś x.

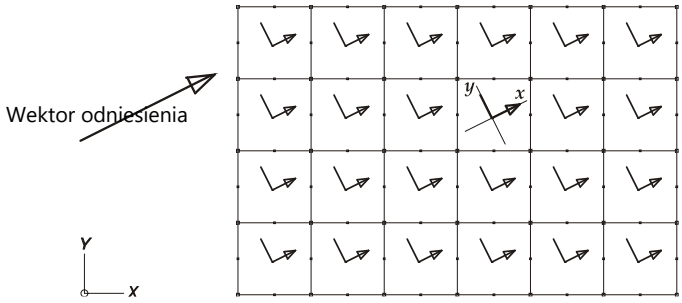


Wektor odniesienia

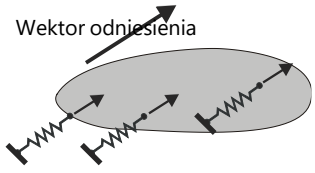
Umożliwia zdefiniowanie lokalnej osi ***x*** dla elementów powierzchniowych, podporowych i sprężynowych. Definiuje także orientację lokalnej osi ***z*** prętów, żeber i sprężyn.

Wektory odniesienia wyświetlane są na ekranie jako czerwone strzałki.

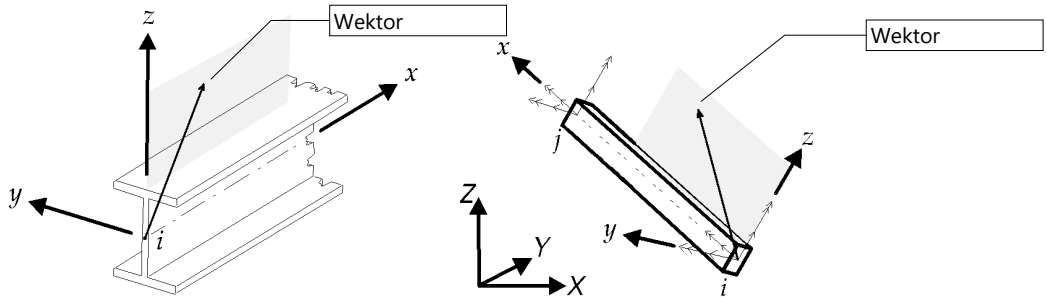
Powierzchnie:
Lokalna oś ***x*** będzie równoległa do wektora odniesienia. W przypadku elementu powierzchniowego, wektor odniesienia musi być równoległy do płaszczyzny elementu.
Orientację lokalnej osi *z* można również zdefiniować poprzez wektor odniesienia.



Podpory:
W przypadku elementu podporowego, wektor odniesienia można wykorzystać, aby zdefiniować lokalną oś ***x***.

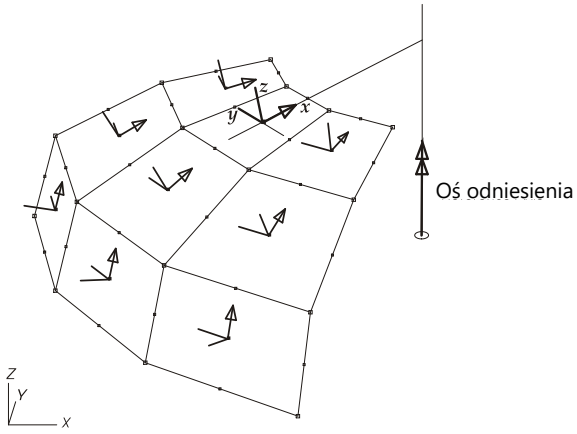


Pręty, żebra i sprężyny:
Wektor odniesienia i lokalna oś ***x*** elementu definiują lokalną płaszczyznę ***x-z***.
Dodatnie kierunki lokalnych osi ***y*** i ***z*** określane są zgodnie z regułą prawej dłoni.



Oś odniesienia

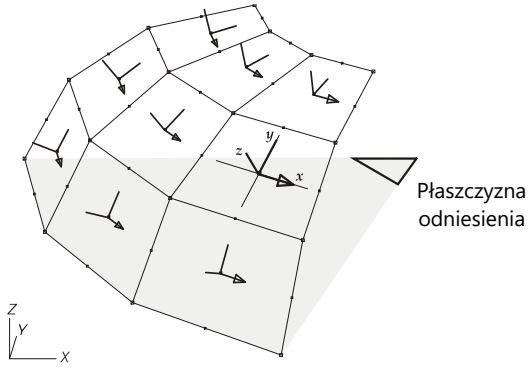
Oś odniesienia wykorzystywana jest do definiowania lokalnej osi ***x*** elementów powierzchniowych, która będzie zorientowana w kierunku osi odniesienia. Oś odniesienia nie może zawierać punktu środkowego elementu.



Osie odniesienia wyświetlane są na ekranie jako czerwone podwójne strzałki.

Płaszczyzna odniesienia

Płaszczyzna odniesienia wykorzystywana jest do definiowana lokalnej osi *x* elementów powierzchniowych, która będzie równoległa do linii przecięcia płaszczyzny odniesienia i płaszczyzny elementu. Płaszczyzna odniesienia nie może być równoległa do płaszczyzny elementu.



Kąt odniesienia

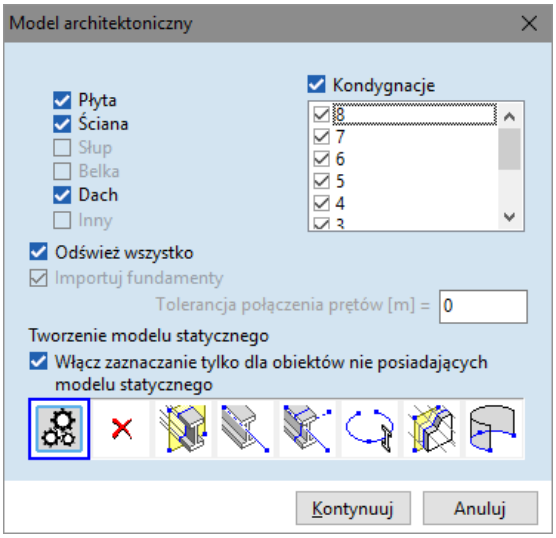
Obrót przekrojów poprzecznych prętów kratowych / prętów / żeber ułatwia kąt odniesienia. Automatyczny lokalny układ współrzędnych (i przekrój poprzeczny) można obrócić wokół osi elementu o dowolny kąt. Jeżeli element jest równoległy do globalnego kierunku Z, kąt jest względem globalnej osi X. W każdym innym przypadku kąt będzie względem globalnej osi Z.

Płaszczyzna odniesienia wyświetlana jest na ekranie jako czerwony trójkąt.

Nieużywane odniesienia mogą zostać usunięte w *Przeglądarce tabel*, poprzez wybranie z listy *Odniesienia*, a następnie z menu *Edycja / Usuń nieużywane odniesienia.*

4.9.22 Tworzenie modelu obliczeniowego z modelu architektonicznego

Ta ikona rozpoczyna operację konwertowania modelu architektonicznego, jeżeli wcześniej jako warstwę podkładu wczytano plik IFC (*.IFC) poprzez polecenie *Plik / Import* (**Patrz ...** *3.1.7 Import*).
Utworzenie modelu obliczeniowego z pliku IFC wymaga modułu IFC.



Wyświetl Należy wybrać kondygnacje modelu architektonicznego i typy elementów, które mają zostać wyświetlone.

☞ **Aby usprawnić wybór, należy wykorzystać wbudowany filtr.**

Podczas tworzenia modelu obliczeniowego lub usuwania obiektów, gdy nic nie jest wybrane, wyświetlony zostanie pasek narzędzi wyboru. Kliknij ikonę filtru właściwości, aby wybrać belki i słupy o zadanym zakresie wielkość według minimalnej długości ich boków lub aby wybrać ściany lub płyty z zakresu danej grubości.
W celu przywrócenia całego zakresu, należy kliknąć na przycisk u dołu po lewej stronie.
Jeżeli zaznaczono opcję *Tylko obiekty bez modelu statycznego*, wybrane zostaną tylko elementy nieposiadające modelu statycznego.

Odśwież wszystko Model architektoniczny staje się widoczny we wszystkich oknach.

Importuj fundamenty Po aktywowaniu tej opcji, fundamenty znajdujące się w pliku IFC są także przetwarzane.

Usuń obiekty Kliknięcie w przycisk usuwa wybrane obiekty modelu architektonicznego.

☞ **Usunięcie obiektu architektonicznego posiadającego model statyczny nie usunie jego powiązanego modelu statycznego.**

Utwórz model statyczny Model obliczeniowy zostanie utworzony z wybranych elementów. Słupy zostaną zredukowane do ich osi, a ściany, stropy i dachy zostaną zredukowane do ich płaszczyzny środkowej. Węzły i linie modelu obliczeniowego staną się częścią modelu AxisVM i będą niezależne od warstwy podkładu.

Podczas importu pliku IFC nie zawsze jest możliwe wykrycie modeli statycznych importowanych obiektów. Obiekty, dla których nie udało się wykryć modelu statycznego, przedstawione są na ekranie za pomocą przerywanej linii. Mimo to, użytkownik posiada teraz kilka możliwości do utworzenia, zmodyfikowania lub usunięcia takiego modelu statycznego.

Automatyczne wykrywanie modelu statycznego;
Program tworzy model statyczny na podstawie danych, które udało się automatycznie zdefiniować podczas importu. **Dla tego polecenia można wskazać więcej niż jeden element.**

Usuń obiekty;
Za pomocą tego polecenia użytkownik może usunąć wybrane elementy z podkładu IFC. **Warto pamiętać o tym, że jeżeli zostaną usunięte obiekty, dla których wcześniej utworzono model statyczny, to model ten nie zostanie usunięty wraz z obiektem IFC. Dla tego polecenia można wskazać więcej niż jeden element.**

Wyznacz przekrój poprzeczny dla elementów o charakterze prętowym za pomocą płaszczyzny tnącej: Wybrane obiekty są wycinane przez płaszczyznę zdefiniowaną przez użytkownika za pomocą 3 punktów. Następnie algorytm definiuje przekroje dla wszystkich wybranych elementów i wyznacza ich normalne oraz położenie środka ciężkości. Wartości te pozwolą nanieść linie dla wybranych obiektów. Wynikowe odcinki mogą być traktowane jako model statyczny obiektów, a wyznaczone wielokąty jako ich przekroje poprzeczne. **Dla tego polecenia można wskazać więcej niż jeden element.**

Określ oś aby zdefiniować przekrój poprzeczny elementu o charakterze prętowym;
Użytkownik musi określić 2 punkty linii. Linia ta zostanie naniesiona w wybranych konturach obiektów, a wynikowe odcinki znajdujące się wewnątrz, będą służyć jako osie środkowe elementów. Uwzględniając punkty pośrednie tych odcinków i ich wektory, uzyskana zostanie płaszczyzna wycinająca. W ostatnim kroku, odcinki przesuwane są do środka ciężkości przekroju poprzecznego. **Dla tego polecenia można wskazać więcej niż jeden element.**

Określ oś i przekrój poprzeczny reprezentujący wybrany element o charakterze prętowym:
Polecenie działa podobnie do wyżej opisanego, z tą różnicą, że położenie dla przekroju poprzecznego musi zostać także podane przez użytkownika. Następnie linia środkowa wybranego konturu modyfikowana jest w taki sposób, że punkt początkowy pozostaje niezmieniony, a punkt końcowy jest skalowany na podstawie punktu początkowego. **Dla tego polecenia można wskazać tylko jeden element.**

Określ oś wybranych łukowych elementów o charakterze prętowym
Użytkownik musi wskazać łuk na podstawie 3 punktów. Następnie algorytm wyznaczy punkty przecięć tego łuku i wybranego konturu obiektu. Jeżeli powstanie więcej niż 2 punkty przecięć, to algorytm weźmie 2 ekstremalne. Punkt środkowy wynikowego łuku i jego normalna dostarczają wycinek płaszczyzny, który wykorzystuje algorytm do wyznaczenia przekroju poprzecznego. **Dla tego polecenia można wskazać więcej niż jeden element.**

Wyznacz obszar za pomocą płaszczyzny tnącej
Wybrane obszary wycinane są za pomocą płaszczyzny zdefiniowanej poprzez 3 punkty, a następnie wynikowy wielokąt staje się modelem statycznym obiektu. **Dla tego polecenia można wskazać więcej niż jeden element.**

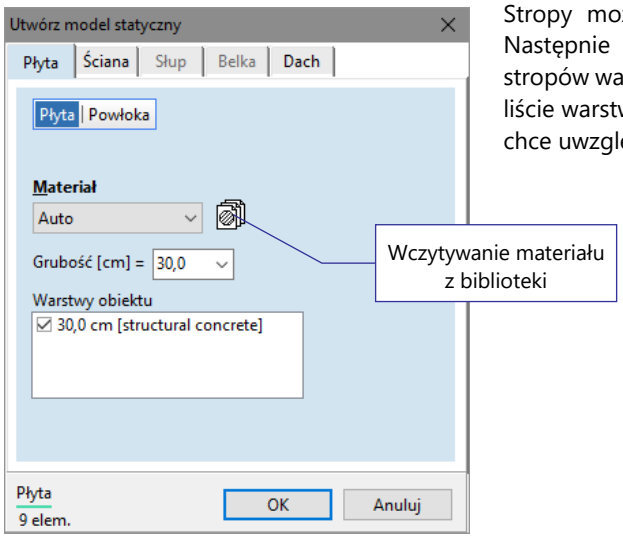
Wyznacz łukową powierzchnię za pomocą wycinającego walca
Użytkownik musi wyznaczyć walec, który zostanie wykorzystany przez algorytm do wycięcia. Walec jest dopasowywany w dwóch krokach. W pierwszym uzyskiwany jest łuk poprzez 3 punkty. W drugim kroku łuk kołowy jest odsuwany podczas ruchu kursora. W wyniku tego powstaje bazowy kształt walca. Jego wysokość jest automatycznie wyznaczana z parametrów geometrycznych konturu obiektu. Na samym końcu powstaje model statyczny, który jest wynikiem przecięcia walca i wybranego konturu. **Dla tego polecenia można wskazać tylko jeden element.**

W każdym powyższym poleceniu edycyjnym, użytkownik wizualnie śledzi w czasie rzeczywistym powstający model statyczny, dlatego możliwe są pewne zmiany w trakcie trwania polecenia w celu prawidłowego wygenerowania modelu. Czasami jednak konieczne mogą być pewne czynności poprzedzające edycję. Opcjonalny filtr pozwala odfiltrować obiekty IFC, które posiadają już wyznaczony swój model statyczny. Jeśli jednak zdecydujemy się wyedytować obiekt z już istniejącym swoim modelem statycznym, to wynik tej operacji nadpisze poprzedni model.

Fragmenty zostaną automatycznie utworzone dla kondygnacji i typów obiektów, a elementy utworzone dla modelu obliczeniowego zostaną uwzględnione we właściwych fragmentach.
Przegubowe połączenia ścian mogą zostać wymodelowane za pomocą przegubów krawędziowych podczas tworzenia modelu obliczeniowego z modelu architektonicznego.

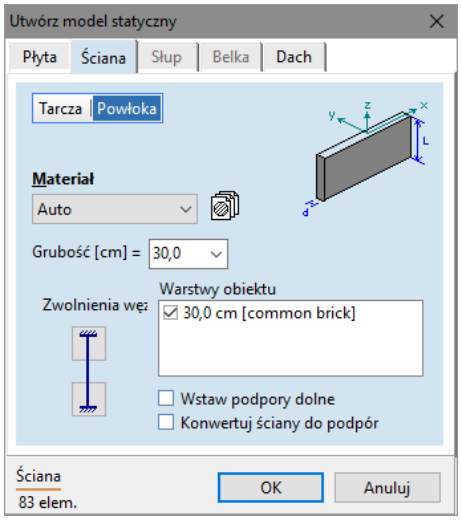
Jeżeli pole *Materiał* ustawiono na *Auto*, a plik IFC zawiera dane o materiałach i ich odpowiednie przypisanie, zostaną one zaimportowane do modelu.
Można również przypisać właściwości wybranym obiektom architektonicznym w następujący sposób:

Płyta



Stropy można zdefiniować jako płyty lub powłoki. Następnie należy przypisać materiał i grubość. Dla stropów warstwowych, grubość warstw wyświetli się na liście warstw. Użytkownik może wybrać warstwy, które chce uwzględnić.

Ściana



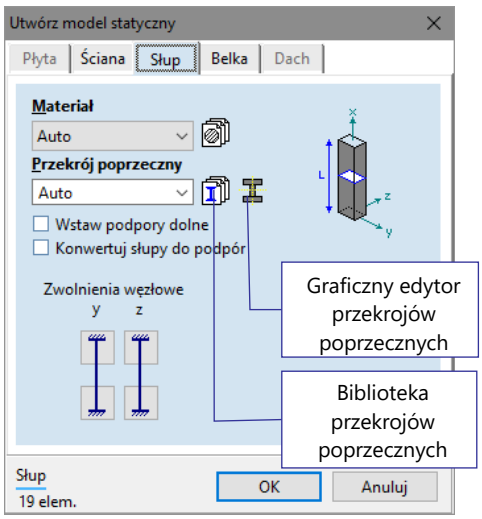
Ściany można zdefiniować jako tarcze lub powłoki. Następnie należy przypisać materiał i grubość. Dla ścian warstwowych, użytkownik może zastosować grubość warstwy nośnej, całkowitą grubość lub własną wartość.

Wstaw podpory dolne:

Umożliwia automatyczne przypisanie podpory do dolnej krawędzi wybranych ścian.

Konwertuj ściany do podpór: Zaznaczenie tego pola umożliwia przekonwertowanie ścian do podpór. Podpora zostanie umieszczona na górnej krawędzi odpowiadającej ściany. Sztywność podpory zostanie obliczona na podstawie dolnych i górnych zwolnień węzłowych.

Słup

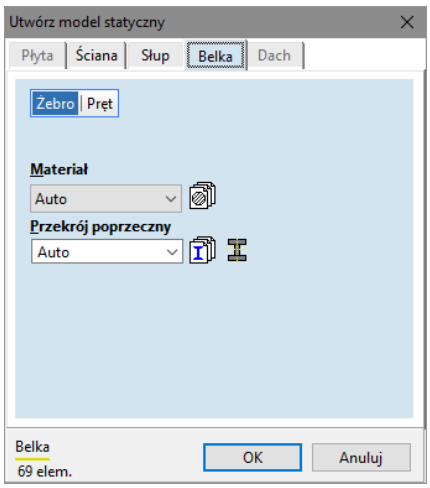


Słupy zawsze konwertowane są do elementów prętowych. Należy przypisać materiał i przekrój poprzeczny. Jeżeli wybrano opcję Auto, przekrój poprzeczny tworzony jest na podstawie opisu geometrycznego obiektu architektonicznego.

Użytkownik może przypisać podporę u dołu słupa.

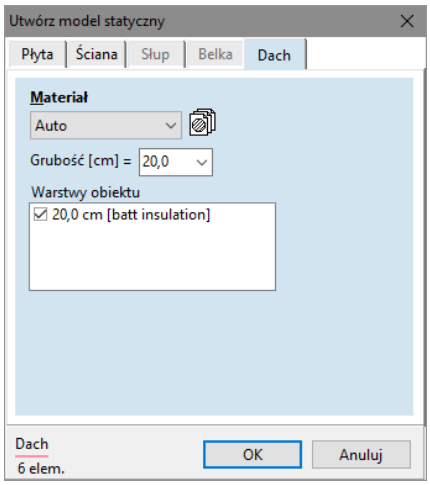
Konwertuj słupy do podpór: Wybrane słupy mogą zostać przekonwertowane do podpór. Sztywność podpór zostanie ustalana jest na podstawie dolnych i górnych zwolnień węzłowych. Podpora zostanie umieszczona u góry słupa.

Belka



Belki zawsze konwertowane są do elementów prętowych. Należy przypisać materiał i przekrój poprzeczny. Jeżeli wybrano opcję *Auto*, przekrój poprzeczny tworzony jest na podstawie opisu geometrycznego obiektu architektonicznego.

Dach



Dachy zawsze konwertowane są do elementów typu powłoka. Należy przypisać materiał i przekrój poprzeczny.
W przypadku dachów warstwowych, grubość warstw wyświetli się na liście warstw.

Użytkownik może wybrać warstwy, które chce uwzględnić.

4.9.23 Modyfikacja elementów

Umożliwia zmodyfikowanie definicji wybranych elementów.

1. Przytrzymując wciśnięty klawisz **[Shift]** wybierz elementy, które mają zostać zmodyfikowane. Można również użyć polecenia Wyboru.
2. Kliknij na ikonę elementu w pasku narzędzi Elementy.
3. W oknie dialogowym elementu, zaznacz właściwości, które mają zostać zmodyfikowane. Pola właściwości pokazują wspólną wartość wyboru. Jeżeli wybrane elementy posiadają różne właściwości, to pole jest puste.
4. Zmodyfikuj odpowiednie właściwości.
5. Kliknij przycisk **OK**, aby zastosować modyfikacje i wyjść z okna dialogowego.

☞ **Proces modyfikacji jest podobny do procesu definicji, ale nie przypisuje właściwości do niezdefiniowanych elementów geometrycznych i zezwala na dostęp do określonej właściwości, nie wpływając na inne. Można również przełączyć przycisk na definiowanie elementów, aby zdefiniować wszystkie właściwości wszystkich wybranych elementów, linii lub powierzchni.**

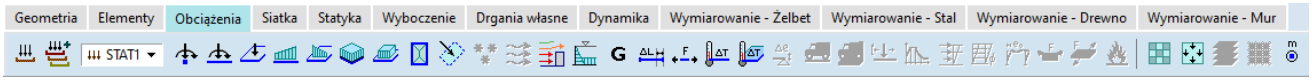
Tryb bezpośredni

Jeżeli zakładka Geometria lub Elementy jest aktywna, można kliknąć na element skończony, aby zmodyfikować jego właściwości. Jeżeli wybrano więcej elementów skończonych, mogą zostać natychmiast zmodyfikowane, klikając na jeden z nich. Kliknięcie na niezaznaczony element sprawi, że wybór zniknie, a możliwa będzie modyfikacja kliknięty elementu. Klikając na węzeł można od razu edytować jego węzłowe stopnie swobody. Można również modyfikować właściwości za pomocą Edytora właściwości. **Patrz...** *3.6.1 Edytor właściwości*

4.9.24 Usuń

[Del] **Patrz...** *3.2.9 Usuń*

4.10 Obciążenia

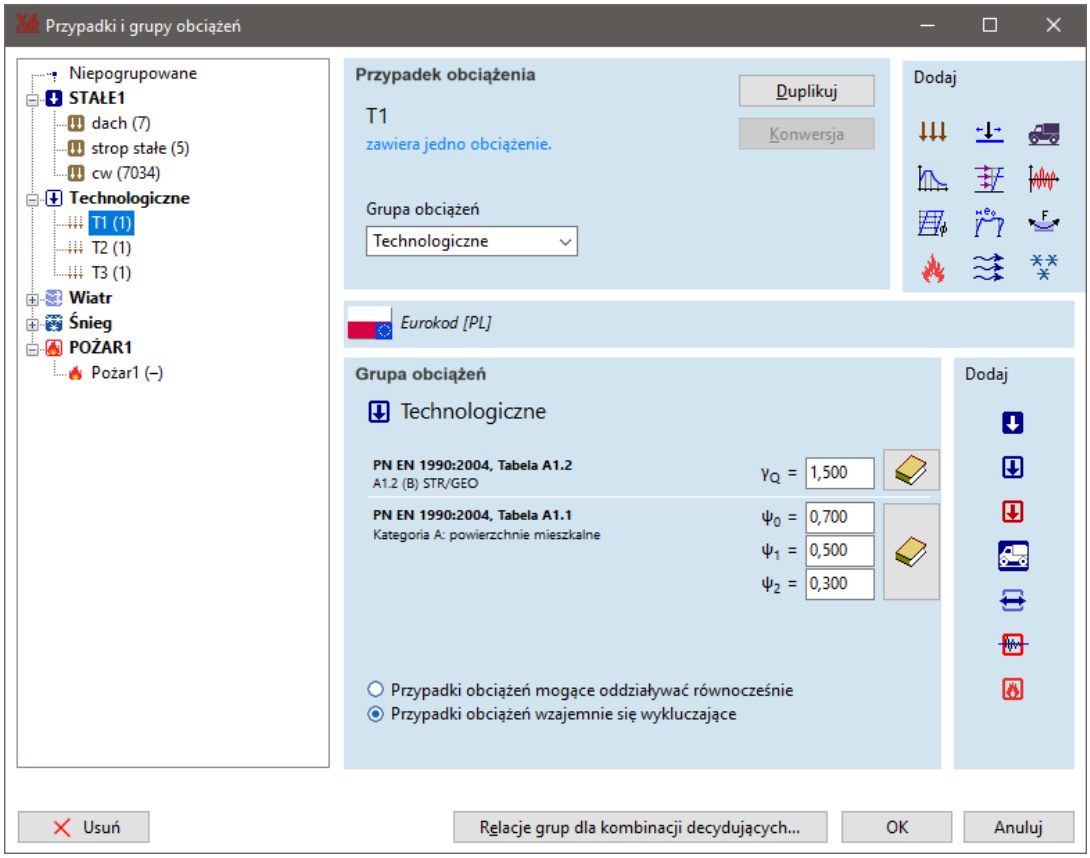


Umożliwia przyłożenie różnych obciążeń do celów analizy statycznej, dynamicznej, wyboczeniowej i zdefiniowanie skupionych mas dla analizy modalnej. Bieżący przypadek obciążenia może zostać wybrany z rozwijanej listy.

4.10.1 Przypadki obciążeń, grupy obciążeń

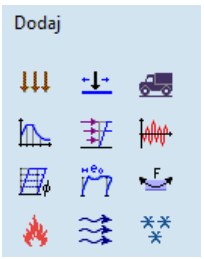
Przypadek obciążenia

Umożliwia ustawienie bieżącego przypadku obciążenia, a także utworzenie nowego lub modyfikowanie i usunięcie już istniejących przypadków. Każde utworzone obciążenie zostanie zapisane w aktywnym przypadku obciążenia. W konfiguracji *Professional* programu liczba przypadków obciążeń jest nieograniczona. W wersji podstawowej (*Mała Obiekt*) można utworzyć maks. 99 przypadków. Grupy obciążeń można tworzyć z różnych przypadków obciążeń.



Nowy przypadek

Każdemu przypadkowi należy przypisać inną nazwę. Podczas tworzenia nowego przypadku obciążenia można wybrać jeden z następujących typów obciążenia.



1. Statyczne

Statyczny przypadek obciążenia można zastosować w analizie statycznej, modalnej lub wyboczeniowej. W przypadku analizy modalnej, obciążenia mogą być również uwzględnione w obliczeniach jako masy.

Przypadek obciążenia może być zawarty w grupie obciążeń. Podczas obliczania decydującej kombinacji obciążeń, przypadek obciążenia zostanie uwzględniony zgodnie z parametrami grupy, do której należy.

☞ **Kombinacje decydujące (czyli automatyczne obwiednie z kombinacji normowych) mogą być wyznaczone tylko na podstawie wyników liniowej analizy statycznej.**

2. Linia wpływu

Umożliwia przyłożenie obciążenia względnym przemieszczeniem, aby otrzymać linię wpływu wynikowej składowej w pręcie kratowym lub pręcie.

☞ **Jeżeli wrany jest typ obciążenia linia wpływu, to można przyłożyć tylko obciążenie dla linii wpływu.**

3. Obciążenie ruchome

W tym typie przypadku obciążenia można definiować tylko obciążenia ruchome (liniowe lub powierzchniowe). Podczas definiowania obciążenia ruchomego, utworzona zostanie grupa nowych przypadków obciążeń. Liczba tych przypadków obciążeń jest równa liczbie kroków określonych w oknie dialogowym obciążenia ruchomego. Ich nazwa jest tworzona automatycznie jak np. RUCH_xx. Gdy pojawią się w grupie obciążeń, najbardziej niekorzystne oddziaływania obciążenia ruchomego można sprawdzić wyświetlając wynik kombinacji decydującej. Te automatycznie utworzone przypadki obciążeń można przenosić tylko razem i tylko do innej grupy obciążeń ruchomych.

Jeżeli do danego przypadku obciążenia zastosuje się więcej niż jedno obciążenie ruchome, liczba kroków (i liczba automatycznie utworzonych przypadków) będzie równa określonej maksymalnej liczbie kroków.

Jeżeli maksymalna liczba kroków to *k,* a kolejne obciążenie ruchome posiada *i* kroków *(i < k)*, wtedy to obciążenie pozostanie na końcu toru jazdy w krokach i*+1, i+2, ..., k.*

Aby uzyskać szczegółowe informacje, patrz... *4.10.29 Obciążenie ruchome*

☞ **Przypadek obciążenia ruchomego może być umieszczony tylko w grupie obciążeń ruchomych. Istnieje możliwość zdefiniowania na modelu obciążeń statycznych dla przypadku obciążenia ruchomego. Te obciążenia statyczne będą obecne we wszystkich krokach obciążenia ruchomego.**

4. Sejsmiczne (wymaga modułu SE1)

Wybierając typ sejsmicznego przypadku obciążenia należy określić parametry do obliczeń obciążeń sejsmicznych (trzęsienia ziemi). Przed utworzeniem przypadku obciążenia sejsmicznego należy przeprowadzić analizę modalną. Na podstawie postaci drgań własnych i mas konstrukcji, AxisVM wygeneruje przypadek obciążenia sejsmicznego, w liczbie *k*+2, gdzie *k* to liczba najmniejszych dostępnych częstości. Dwa dodatkowe przypadki odnoszą się do znaków + i -, które zawierają kombinacje decydujące.

Na konstrukcji można zdefiniować wiele oddziaływań sejsmicznych. Oddziaływania sejsmiczne nie mogą być ze sobą kombinowane.

Patrz... *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*

☞ **Po wybraniu przypadku obciążenia sejsmicznego, jedyną dostępną ikoną na pasku narzędzi będzie ikona *Obciążenie sejsmiczne.***

5. Pushover (wymaga modułu SE2)

Wybierając typ przypadku obciążenia pushover użytkownik może określić parametry do generowania rozkładu obciążeń, które można wykorzystać w analizie pushover. Przed utworzeniem przypadku obciążeń pushover, należy przeprowadzić analizę modalną. Na podstawie określonych postaci drgań własnych, AxisVM wygeneruje siły węzłowe w każdym węźle modelu. Łącznie cztery przypadki obciążenia są generowane na początku. Reprezentują one rozkład jednorodny (U od słowa Uniform) i modalny (M od słowa Modal) w kierunku każdej z poziomych osi (domyślnie X i Y).

Opcja jednorodnego rozkładu obciążeń generuje siły węzłowe proporcjonalnie do mas przypisanych do każdego węzła w modelu. Opcja modalnego rozkładu obciążeń wykorzystuje postać drgania

własnego ważonego przez masy w każdym węźle, aby wygenerować rozkład sił węzłowych. W obu przypadkach suma wygenerowanych sił wynosi 1 kN w tym samym kierunku poziomym.
Aby uzyskać szczegółowe informacje, **patrz**... *4.10.25 Obciążenie „pushover" (moduł SE2)*

☞ **Po wybraniu przypadku obciążenia pushover, jedyną dostępną ikoną na pasku narzędzi będzie ikona pushover.**

6. Imperfekcje globalne oraz imperfekcje z postaci wyboczenia

Jeżeli utworzony zostanie przypadek obciążenia imperfekcją, to automatycznie będzie on umieszczony w grupie obciążeń IMPERFEKCJE, która zawiera tylko przypadki obciążeń imperfekcjami. Ta grupa obciążeń nie posiada parametrów i jest automatycznie usuwana, gdy usunięte zostaną jej przypadki obciążeń. Przypadki obciążeń imperfekcjami można wykorzystać w analizie nieliniowej z geometryczną nieliniowością. Podczas generowania decydujących kombinacji obciążeń SGN w tabeli kombinacji mogą zostać także uwzględnione przypadki obciążeń imperfekcjami. Kombinacje obciążeń zawierające przypadek obciążenia imperfekcjami wymagają analizy nieliniowej z geometryczną nieliniowością.
Aby uzyskać szczegółowe informacje, **patrz**... *4.10.26 Imperfekcje globalne*, *4.10.27 Imperfekcje geometryczne na podstawie postaci wyboczenia*

☞ **Przypadki obciążeń imperfekcjami nie wpływają na wyniki z kombinacji dla analizy liniowej.**

7. Sprężenie (wymaga modułu PS1)

Jeżeli zgodnie z bieżącą normą projektową obliczanie sprężenia jest obsługiwane, można tworzyć przypadki obciążeń od sprężenia. Te przypadki zawsze zostają włączone do grupy obciążeń sprężających.
Po zdefiniowaniu przypadku obciążenia o nazwie *SPR,* utworzone zostaną dwa przypadki obciążeń. *SPR-T0* zawierać będzie ekwiwalentne obciążenie obliczone dla końca procesu sprężenia, *SPR-TI* zawierać będzie długotrwałą część obciążenia ekwiwalentnego.
Każdy z tych przypadków obciążenia może być wybrany do definiowania sprężenia. Po zdefiniowaniu zostaną obliczone tylko obciążenia dla *SPR-T0* ponieważ, aby określić długotrwałe obciążenia ekwiwalentne, wymagane są wyniki analizy statycznej.
Aby uzyskać szczegółowe informacje, **patrz**... *4.10.28 Sprężenie (moduł PS1)*.

☞ **Po wybraniu przypadku obciążenia sprężającego, jedyną dostępną ikoną na pasku narzędzi będzie ikona *Sprężenie*.**

8. Przypadek obciążenia dynamicznego (wymaga modułu DYN)

Po zdefiniowaniu przypadku obciążenia dynamicznego i wybraniu go, w zakładce Obciążenia możliwe będzie zdefiniowanie obciążeń dynamicznych i przyspieszenia węzłowego.
Aby uzyskać szczegółowe informacje, **patrz**... *4.10.30 Obciążenia dynamiczne (dla analizy zależnej od czasu)*

☞ **Przypadki obciążeń dynamicznych nie mogą być zawarte w grupach i kombinacjach obciążeń. Obciążenia dla przypadków obciążeń dynamicznych można zastosować tylko w analizie dynamicznej.**

9. Przypadki obciążenia śniegiem (wymaga modułu SWG)

AxisVM potrafi wyznaczyć i przyłożyć obciążenia od śniegu na konstrukcji. Ograniczenia automatycznej generacji obciążeń od śniegu w programie, przedstawione są w *4.10.13 Obciążenie śniegiem*.
Obciążenia od śniegu mogą być przyłożone na płaskich panelach obciążeniowych w dowolnej płaszczyźnie. Na początku tworzony jest tymczasowy przypadek obciążenia śniegiem w grupie obciążeń dla śniegu, którego nazwa może być zmieniona.
Jeżeli norma projektowa wymaga przeprowadzenia weryfikacji od obciążenia śniegiem dla wyjątkowej sytuacji obliczeniowej, to utworzona zostanie osobna grupa obciążeń wyjątkowych od śniegu z odpowiednim przypadkiem (z wyjątkiem wyjątkowej sytuacji obliczeniowej wg Załącznika B Eurokodu 1-3). Po zdefiniowaniu paneli obciążeniowych i ustawieniu parametrów obciążenia śniegiem, program zastąpi tymczasowy przypadek obciążenia automatycznie wygenerowanymi przypadkami obciążeń od śniegu.
Przypadek obciążenia śniegiem bez nawiewania otrzymuje przyrostek UD (od ang. Undrifted). Przypadki obciążeń śniegiem z uwzględnieniem nawiewania otrzymują przyrostek D (od ang. Drifted) z 2-4 dodatkowymi literami. Litery te wskazują na kierunek wiatru (X+, X–, Y+, Y–). Poza kierunkami

działania wiatru, równoległymi do globalnego układu współrzędnych, uwzględniane są również kierunki 45°+*n**90° (gdzie *n* = 0, 1, 2, 3). Oznaczane są one za pomocą odpowiedniej ćwiartki koła, na który wskazuje wektor prędkości wiatru.

W ten sposób np.: X+Y– odnosi się do wiatru w kierunku 315° (0° definiowane przez dodatnią oś X i kąty mierzone przeciwnie do ruchu wskazówek zegara).
Algorytm tworzy tylko potrzebne przypadki obciążeń, dlatego ich ilość i typy zależą od rozpatrywanej konstrukcji i parametrów zadawanych przez użytkownika dla obciążenia śniegiem. Parametry dla obciążeń od śniegu należy definiować po zamknięciu okna dialogowego Przypadek obciążenia, poprzez kliknięcie na pasku narzędzi ikony Obciążenie śniegiem. Przed tym krokiem zaleca się zdefiniować panele obciążeniowe dachu, za pomocą polecenia Panele obciążeniowe znajdującego się na pasku narzędzi.
Aby uzyskać szczegółowe informacje na temat generowania obciążenia od śniegu **Patrz...** *4.10.13 Obciążenie śniegiem (moduł SWG)*

☞ **Jeżeli wybrano przypadek obciążenia śniegiem, tylko dwa przyciski na pasku narzędzi Obciążenia będą aktywne: panel obciążeniowy i definicja obciążenia śniegiem.**

10. Przypadki obciążenia wiatrem (wymaga modułu SWG)

Przy definicji obciążenia od wiatru konieczne jest zdefiniowanie przynajmniej jednej podkonstrukcji wystawionej na działanie wiatru. Jeżeli zaznaczono opcję *Oddzielne przypadki obciążeń dla każdej podkonstrukcji* to obciążenia każdej podkonstrukcji zostaną utworzone w odrębnych przypadkach obciążeń. W przeciwnym razie przypadki obciążeń będą zawierały obciążenia od wiatru dla wielu podkonstrukcji.

Obliczone obciążenia od wiatru są wiarygodne tylko dla konkretnych typów budynków i konstrukcji tak, jak opisano to w normie projektowej. Zaleca się korzystanie z tych automatycznych metod tylko w zakresie geometrii przedstawionej w *4.10.14 Obciążenie wiatrem (moduł SWG)*

Obciążenia od wiatru mogą być przyłożone do płaskich paneli obciążeniowych w dowolnych płaszczyznach. Na początku tworzony jest tymczasowy przypadek obciążenia od wiatru w grupie obciążeń dla wiatru, którego nazwa może być zmieniona. Po zdefiniowaniu paneli obciążeniowych i ustawieniu parametrów dla obciążenia od wiatru, program zastąpi tymczasowy przypadek obciążenia automatycznie wygenerowanymi przypadkami.
Przypadki obciążeń od wiatru generowane są z nazwą odnoszącą się do sytuacji obciążeniowej.

Dwa pierwsze znaki po nazwie przypadku obciążenia opisują kierunek wiatru (X+, X–, Y+, Y–). Logika tych zapisów odpowiada oznaczeniom jak dla obciążenia od śniegu.
Jeden lub dwa kolejne znaki oznaczają typ oddziaływania wiatru.

P i S odnoszą się odpowiednio do parcia i ssania. W przypadku dachów połaciowych, norma projektowa wymaga weryfikacji wszystkich możliwych kombinacji oddziaływania wiatru na obu połaciach dachu. Dlatego dla dachów połaciowych tworzone są następujące przypadki obciążeń: Pp, Ps, Sp, Ss. Tutaj pierwszy symbol odnosi się do strony wystawionej na działanie wiatru (nawietrznej), a drugi do strony osłoniętej (zawietrznej). Dla specjalnych oddziaływań skręcających używa się symboli T+ i T– odnoszących się do dwóch różnych kierunków skręcania.

Ostatni symbol odnosi się do typu oddziaływania wewnętrznego. Litera O oznacza, że wewnętrzne oddziaływania wiatru są pomijane, P oznacza wewnętrzne parcie, a S wewnętrzne ssanie.
Przypadki tych obciążeń są potrzebne tylko, gdy brak jest dokładnych informacji na temat ciśnienia wewnętrznego. Dlatego w celu bezpiecznego przybliżenia muszą zostać użyte dodatnie i ujemne krytyczne wartości ciśnienia. Jeżeli ostatni symbol to C, oznacza to, że przypadek obciążenia utworzony został na podstawie wartości μ określonej przez użytkownika, która zależy od układu otworów w konstrukcji. Jeżeli przypadek obciążeń z C utworzony jest dla danego kierunku, przypadki obciążeń P i S nie są wymagane i dlatego nie są tworzone.

Algorytm tworzy tylko potrzebne przypadki obciążeń, dlatego ich ilość i typy zależą od rozpatrywanej konstrukcji i parametrów zadawanych przez użytkownika dla obciążenia od wiatru. Parametry dla obciążeń od wiatru należy definiować po zamknięciu okna dialogowego Przypadek obciążenia, poprzez kliknięcie na pasku narzędzi ikony Obciążenie wiatrem. Przed tym krokiem zaleca się zdefiniować panele obciążeniowe ścian i dachu budynku, za pomocą polecenia Panele obciążeniowe znajdującego się na pasku narzędzi.

Aby uzyskać szczegółowe informacje na temat definiowania obciążenia od wiatru **Patrz...** *4.10.14 Obciążenie wiatrem (moduł SWG)*

☞ **Jeżeli wybrano przypadek obciążenia wiatrem, tylko dwa przyciski na pasku narzędzi Obciążenia będą aktywne: panel obciążeniowy i definicja obciążenia wiatrem.**

11. Przypadki obciążenia pożarem (Wymaga modułu SD8, TD8 lub RC8-B)

Oddziaływanie od pożaru może zostać przypisane do prętowych elementów stalowych i drewnianych. Podczas dodawania tego przypadku zostanie utworzona grupa POŻAR (jeżeli wcześniej nie została utworzona). Grupa ta zawiera tylko przypadki obciążenia pożarem. Ponadto grupa ta nie ma żadnych parametrów i jest automatycznie usuwana, gdy wszystkie przypadki obciążeń od pożaru zostaną usunięte.
Podczas tworzenia kombinatoryki automatycznej, AxisVM uwzględnia przypadki obciążenia pożarem tylko w kombinacjach wyjątkowych. Oczywiście możliwe jest uwzględnienie ich także w kombinacjach ręcznych, utworzonych przez użytkownika.
Definiowanie oddziaływania od pożaru wyjaśnione jest w *4.10.31 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy stalowe (moduł SD8)*, *4.10.32 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy drewniane (moduł TD8)* oraz *4.10.33 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy żelbetowe (moduł RC8-B)*

☞ **Po wybraniu przypadku obciążenia pożarem, jedyną dostępną ikoną na pasku narzędzi będzie ikona Oddziaływanie pożaru.**

Klasa trwania obciążenia Moduł wymiarowania drewna wymaga wprowadzenia informacji na temat czasu trwania obciążenia. Jeżeli w modelu zdefiniowany został materiał typu drewno, to w oknie dialogowym z przypadkami obciążeń należy wpisać klasę trwania obciążenia: (Stałe: > 10 lat; Długotrwałe: 6 miesięcy–10 lat; Średniotrwałe: 1 tydzień–6 miesięcy; Krótkotrwałe: < 1 tydzień; Chwilowe; Niezdefiniowane)

Duplikuj Umożliwia utworzenie kopii wybranego przypadku obciążenia pod inną nazwą. Należy określić nową nazwę i współczynnik, który pomnoży obciążenia w trakcie kopiowania. Współczynnik może być liczbą ujemną.

☞ **Wybrane obciążenia mogą zostać skopiowane lub przeniesione do innego przypadku obciążenia, przez zmianę przypadku obciążenia podczas procesu kopiowania lub przenoszenia.**

Konwersja Automatycznie wygenerowane przypadki obciążeń od śniegu i wiatru mogą zostać przekonwertowane na zwykłe przypadki obciążeń (edytowalne), poprzez kliknięcie w przycisk *Konwersja*. Przekonwertowane zostaną wszystkie przypadki obciążeń danej grupy. Po konwersji poszczególne przypadki obciążeń mogą zostać usunięte lub zmodyfikowane.

Usuń Pozwala usunąć zaznaczony przypadek lub grupę obciążenia. Wszelkie powiązane przypadki i grupy zostaną również usunięte (np. usunięcie grupy obciążeń sejsmicznych usuwa wszystkie wygenerowane przypadki obciążenia sejsmicznego).

Aby zmienić kolejność wyświetlanych przypadków obciążeń, należy kliknąć prawym przyciskiem myszy na drzewiastej liście z przypadkami. Z menu podręcznego można wybrać opcję *Porządek alfabetyczny* lub *Według kolejności definicji*, aby zmienić kolejność przypadków obciążeń wewnątrz grup.
Aby zmienić położenie obciążeń niepogrupowanych, należy wybrać jedną z dwóch opcji: *Niepogrupowane przypadki na początek* lub *...na koniec*.

Grupa obciążeń Grupy obciążeń wykorzystywane są podczas generowania wyników od kombinacji decydujących, czyli są one konieczne, aby program utworzył automatyczną kombinatorykę.

Nowa grupa Umożliwia zdefiniowanie nowej grupy obciążeń. Kliknięcie na jedną z ikon *Grupa obciążeń / Dodaj* w polu grup, utworzy nową grupę na liście i możliwe będzie określenie jej nazwy oraz parametrów (jeżeli takie są dostępne dla wybranej grupy obciążeń), np. dla grupy obciążeń zmiennych można wprowadzić współczynniki częściowe zgodnie z bieżącą normą projektową.

Kliknięcie w tę ikonę spowoduje wyświetlenie zalecanych wartości współczynników zgodnie z aktualnie wybraną normą projektową.

W następnym kroku należy określić, które przypadki obciążeń należą do danej grupy. Przypadek obciążeń można przypisać do grupy poprzez utworzenie go bezpośrednio w danej grupie lub poprzez zmodyfikowanie przypadku: zaznaczając go i wybierając dla niego odpowiednią grupę z rozwijanej listy lub przez przeciągnięcie go kursorem na liście do właściwej grupy.
Patrz... *4.10.2 Kombinacje obciążeń.*

Preferencje dla nowych przypadków i grup obciążeń mogą zostać ustawione w *Ustawienia / Preferencje / Grupy obciążeń*. **Patrz…** *3.3.11 Preferencje.*

W zależności od normy projektowej możliwe są następujące grupy obciążeń i ich opcje:

Stała

Obejmuje ciężar własny, obciążenia stałe w danej konstrukcji...

Uwzględnij wszystkie przypadki obciążeń w kombinacjach

Wszystkie przypadki obciążeń z grupy zostaną uwzględnione we wszystkich kombinacjach obciążeń, razem z ich zwiększającym lub zmniejszającym współczynnikiem częściowym.

Uwzględnij tylko najbardziej niekorzystny przypadek obciążenia

Tylko najbardziej niekorzystny przypadek obciążenia zostanie uwzględniony z danej grupy obciążeń, razem z jego zwiększającym lub zmniejszającym współczynnikiem częściowym.

Zmienna

Obejmuje obciążenia zmienne, wiatrem, śniegiem, od suwnicy itd.

Przypadki obciążeń mogące oddziaływać równocześnie

Dowolna liczba przypadków obciążeń z grupy może działać równocześnie w kombinacjach decydujących.

Przypadki obciążeń wzajemnie się wykluczające

W decydującej kombinacji obciążeń tylko jeden przypadek obciążenia z grupy będzie uwzględniany w danej sytuacji.

Wyjątkowa

Obejmuje trzęsienie ziemi, osiadanie podpór, wybuch, kolizja... Tylko jeden przypadek obciążenia z grupy będzie uwzględniany w kombinacji obciążeń w danym momencie. Ten przypadek obciążenia musi posiadać współczynnik równoczesności $\alpha = 0$.

Grupa obciążeń ruchomych

Automatycznie tworzone przypadki dla obciążeń ruchomych umieszczane są w grupie obciążeń ruchomych.

Grupa obciążeń sprężających (jeżeli sprężenie można obliczać zgodnie z bieżącą normą projektową)

Grupa obciążeń sprężających traktowana jest jako grupa obciążeń stałych. Może ona jednak zawierać tylko przypadki obciążeń sprężających. W żadnej kombinacji obciążeń nie można uwzględnić obu typów przypadków obciążeń dla takiego samego sprężenia (nazwa-T0 i nazwa-TI).

Grupa obciążeń sejsmicznych (Eurokod, SIA 26x, DIN 1045-1, STAS i norma włoska)

Tylko jeden przypadek obciążenia z grupy może zostać uwzględniony w kombinacji obciążeń w danym momencie. Ten przypadek obciążenia musi posiadać współczynnik równoczesności $\alpha = 0$.

Grupa obciążeń oddziaływania od pożaru (Eurokod)

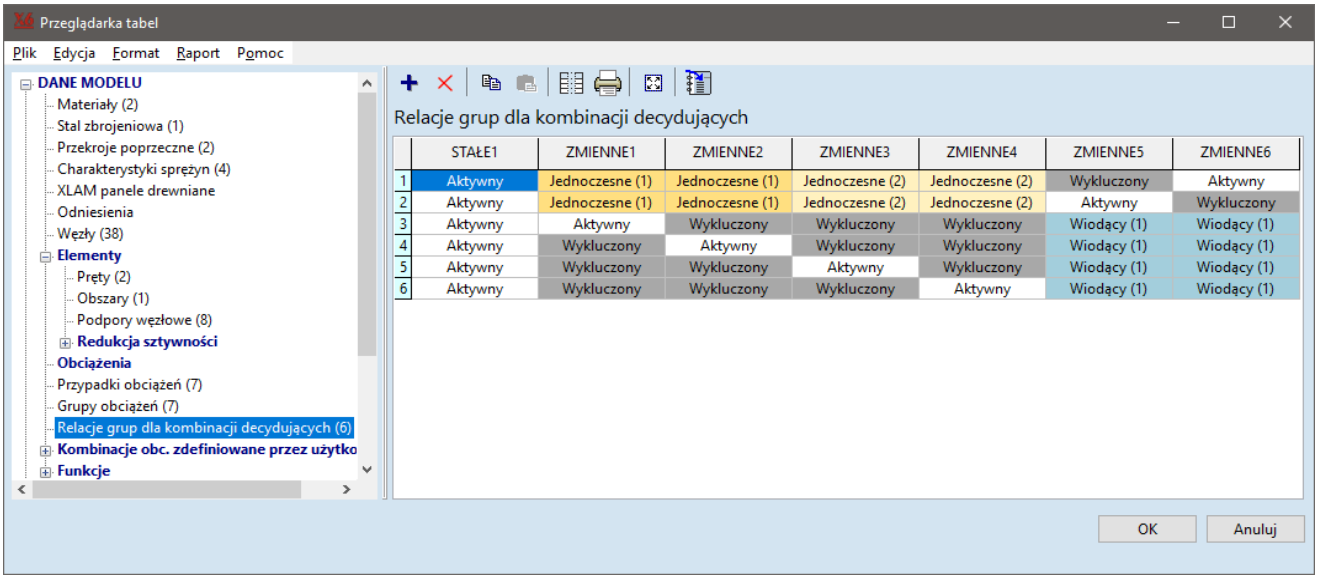
Grupa ta zawiera tylko przypadki obciążenia od pożaru. Zawarte w niej przypadki obciążeń mogą występować łącznie lub się całkowicie wykluczać. Dla ustawienia przypadków z możliwością ich równoczesnego występowania w grupie, dostępne jest przypisanie tylko jednego oddziaływania od pożaru do jednego elementu prętowego.

Relacje grup dla kombinacji decydujących

Kombinacje decydujące wyznaczane są na podstawie relacji grup obciążeń. Automatycznie wykrywane są pewne wykluczające się określone sytuacje obliczeniowe (jak śnieg i wyjątkowy śnieg, tak aby kombinacje decydujące nie zawierały obu tych obciążeń na raz).

Jeżeli wymagane są dodatkowe ustawienia odnośnie do wykluczania się lub powiązania ze sobą pewnych grup obciążeń, to należy zrobić to w dedykowanej tabeli, która otwierana jest po kliknięciu przycisku *Relacje grup dla kombinacji decydujących* w oknie *Przypadki i grupy obciążeń*.

Tabelę tę można otworzyć również z poziomu *Przeglądarki tabel*.



Kolumny tej tabeli przedstawiają poszczególne grupy obciążeń zdefiniowane w zadaniu, a każdy wiersz opisuje regułę tworzenia kombinacji decydujących.

Kliknięcie w ikonę plusa spowoduje dodanie nowego wiersza z nową regułą. Status *Aktywny* dla grupy obciążeń stałych nie może zostać zmieniony. Dla grup obciążeń zmiennych ich udział w kombinacjach decydujących może zostać wybrany z rozwijanej listy z odpowiadającej komórki tabeli.

Dostępne statusy:

Aktywny — Przypadki obciążeń z tej grupy mogą być uwzględniane w automatycznym tworzeniu kombinacji.

Wykluczony — Przypadki obciążeń z tej grupy nie mogą być uwzględniane w automatycznym tworzeniu kombinacji. Dla wzajemnie wykluczających się grup należy utworzyć tyle dodatkowych reguł (wierszy tabeli), ile wynosi liczba wykluczających się grup, a w każdym wierszu tylko jedna taka grupa musi mieć status *Aktywny*, a pozostałe grupy *Wykluczony*.

Jednoczesne (1), (2), ... — Grupy obciążeń oddziałujących jednocześnie jako działania równoczesności. Grupy mające ten status zawsze oddziałują razem tzn. są uwzględniane łącznie w kombinacjach automatycznych. Status ten można przypisać do więcej niż jednej grupy w danym wierszu. Przypisanie statusu *Jednoczesne (1)* do dwóch grup w danej regule, spowoduje automatycznie dodanie na rozwijanej liście kolejnego statusu *Jednoczesne (2)* itd.

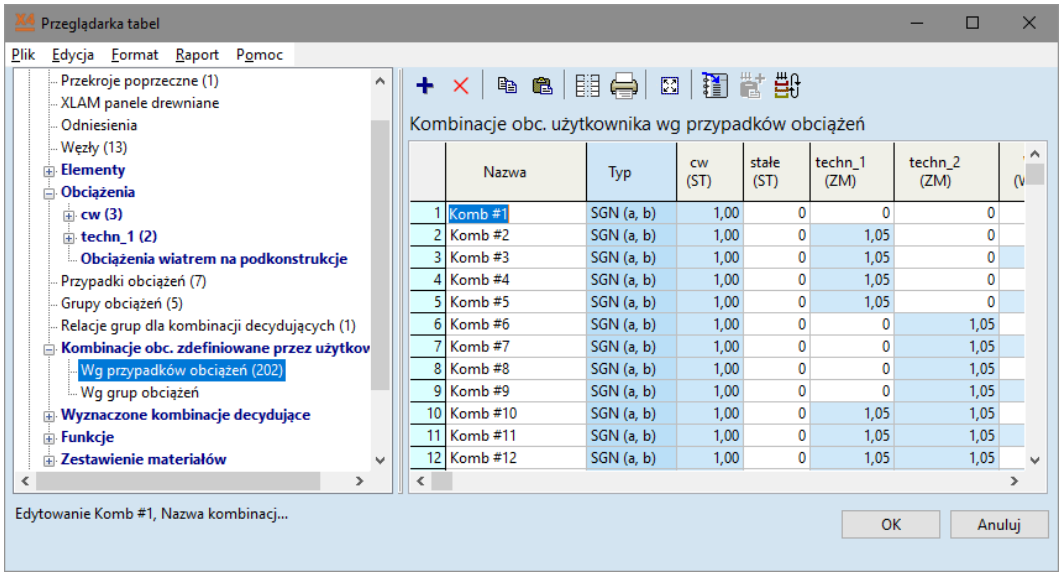
Wiodący (1), (2), ... — Grupy obciążeń oddziałujących jednocześnie jako działania wiodące. Grupy mające ten status zawsze oddziałują razem tzn. są uwzględniane łącznie w kombinacjach automatycznych jako odziaływanie wiodące. Status ten można przypisać do więcej niż jednej grupy w danym wierszu. Przypisanie statusu *Wiodący (1)* do dwóch grup w danej regule, spowoduje automatycznie dodanie na rozwijanej liście kolejnego statusu *Wiodący (2)* itd.

AxisVM wewnętrznie (w sposób niejawny) tworzy automatyczne kombinacje wg reguł zdefiniowanych w tej tabeli, a następnie znajduje najbardziej niekorzystną z nich jako decydującą.
Tabela *Kombinacje obc. zdefiniowane przez użytkownika* pozwala wygenerować wszystkie te automatycznie utworzone kombinacje, w celu ich zweryfikowania (całkowita liczba kombinacji może być ogromna i zależy od liczby grup obciążeń). Jakkolwiek należy pamiętać, że generowanie wszystkich tych kombinacji w tabeli, aby uzyskać decydujące siły jest zbędne (o czym informuje odpowiedni komunikat).

Typy obciążeń — Następujące obciążenia można przyłożyć do elementów:

Obciążenie	*Element*
Skupione	węzeł, pręt
Liniowe (rozłożone)	pręt, żebro, płyta, tarcza, powłoka
Krawędziowe (rozłożone)	płyta, tarcza, powłoka
Ciężar własny	pręt kratowy, pręt, żebro, płyta, tarcza, powłoka
Obciążenie temperaturą	pręt kratowy, pręt, żebro, płyta, tarcza, powłoka
Defekt długości	pręt kratowy, pręt
Rozciąganie/Ściskanie	pręt kratowy, pręt
Wymuszone przemieszczenia podpór	podpora
Hydrostatyczne	płyta, powłoka
Sejsmiczne	węzeł
Linii wpływu	pręt kratowy, pręt
Sprężające	pręt, żebro
Ruchome	pręt, żebro, płyta, powłoka
Pożar	pręt kratowy, pręt, żebro
Śnieg	pręt, żebro, płyta, powłoka
Wiatr	pręt, żebro, płyta, powłoka
Pożar	Pręt, żebro, pręt kratowy

4.10.2 Kombinacje obciążeń



	Nazwa	Typ	cw (ST)	stałe (ST)	techn_1 (ZM)	techn_2 (ZM)
1	Komb #1	SGN (a, b)	1,00	0	0	0
2	Komb #2	SGN (a, b)	1,00	0	1,05	0
3	Komb #3	SGN (a, b)	1,00	0	1,05	0
4	Komb #4	SGN (a, b)	1,00	0	1,05	0
5	Komb #5	SGN (a, b)	1,00	0	1,05	0
6	Komb #6	SGN (a, b)	1,00	0	0	1,05
7	Komb #7	SGN (a, b)	1,00	0	0	1,05
8	Komb #8	SGN (a, b)	1,00	0	0	1,05
9	Komb #9	SGN (a, b)	1,00	0	0	1,05
10	Komb #10	SGN (a, b)	1,00	0	1,05	1,05
11	Komb #11	SGN (a, b)	1,00	0	1,05	1,05
12	Komb #12	SGN (a, b)	1,00	0	1,05	1,05

Umożliwia zdefiniowanie kombinacji dla zdefiniowanych już przypadków obciążeń. Dla każdego przypadku w kombinacji można określić dowolny współczynnik.
Wyniki dla kombinacji są wyznaczane z uwzględnieniem współczynników określonych dla poszczególnych przypadków. Współczynnik równy zero oznacza, że dany przypadek nie oddziałuje w danej kombinacji.
Aby znaleźć najbardziej niekorzystne kombinacje użytkownika, które zostały tutaj zdefiniowane, należy utworzyć obwiednie dla tych kombinacji.
Kombinacje obciążeń można wyświetlić na liście, definiować i usuwać na widoku wg przypadków obciążeń lub grup obciążeń (druga opcja jest łatwiejsza do ogólnego przeglądu).
W pierwszym wypadku należy wprowadzić współczynnik dla każdego przypadku obciążenia.
W drugim wypadku należy wprowadzić współczynnik dla każdej grupy obciążeń.
Faktyczne kombinacje obciążeń zostaną utworzone z wykorzystaniem tych współczynników i zgodnie z właściwościami grup obciążeń (np. czy przypadki w obrębie grup się wykluczają czy nie. Aby uzyskać szczegółowe informacje patrz poprzedni rozdział). Tworzenie kombinacji grup obciążeń z wieloma przypadkami może skutkować bardzo dużą liczbą pojedynczych kombinacji obciążeń.

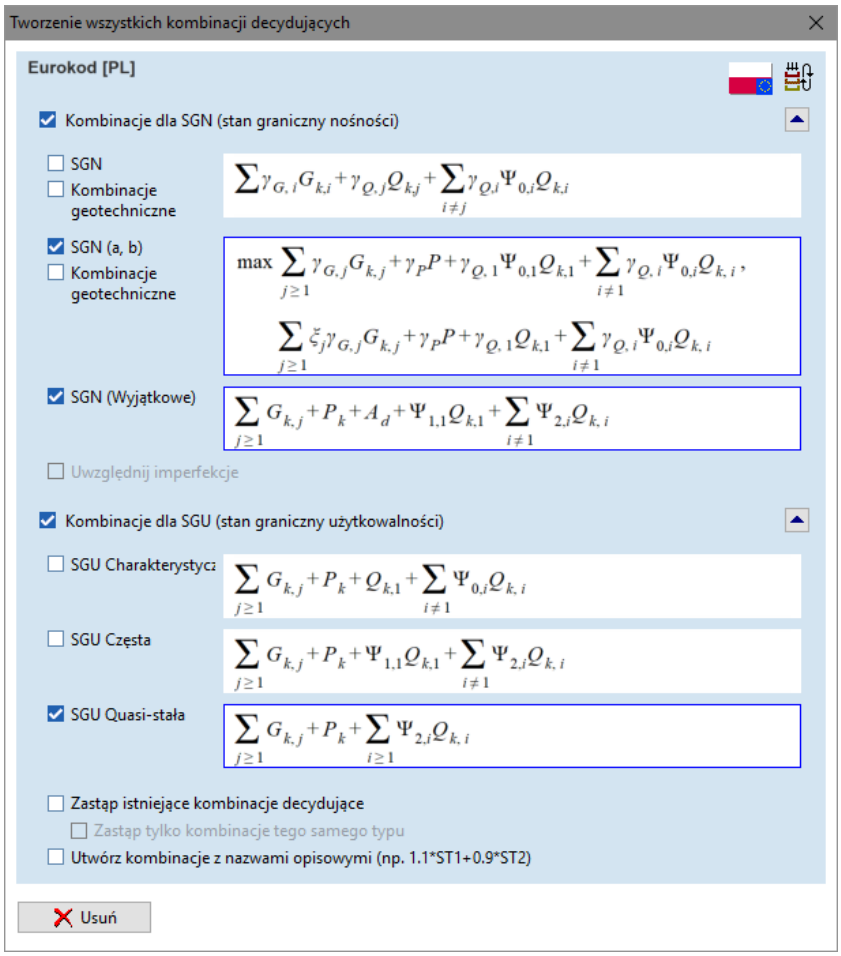
☞ **Nie jest konieczne generowanie wszystkich normowych kombinacji obciążeń w tej tabeli. Automatycznie utworzona obwiednia Decydujące będzie zawierała wszystkie kombinacje normowe.**

Jeżeli grupy obciążeń są zdefiniowane i przypisane są do nich przypadki obciążeń, program automatyczne znajdzie kombinację decydującą w każdym węźle konstrukcji, bez potrzeby tworzenia kombinacji.

Wstawia tabelę kombinacji obciążeń do bieżącego raportu.

Wkleja zebrane kombinacje obciążeń ze schowka.
Podczas wyszukiwania minimalnych i maksymalnych wartości lub podczas wyświetlania wyników dla pojedynczego elementu, użytkownik może dodać aktualną kombinację decydującą do listy przechowywanej w schowku. (**Patrz...** *6.1.1 Wartości minimalne i maksymalne*). Za pomocą tej ikony można wkleić te kombinacje do tabeli.

Tworzy wszystkie kombinacje decydujące w oparciu o grupy obciążeń i przenosi je do tabeli kombinacji obciążeń.



Opcja *Uwzględnij imperfekcje* dostępna jest tylko, jeżeli model zawiera grupę obciążeń dla imperfekcji (tworzona jest ona automatycznie po dodaniu przypadku obciążenia typu *Imperfekcja*).

Jeżeli zaznaczono opcję *Zastąp istniejące kombinacje decydujące*, wszystkie wygenerowane kombinacje decydujące zostaną usunięte i zastąpione nowymi. Jeżeli zaznaczono opcję *Zastąp tylko kombinacje tego samego typu*, zastąpione zostaną tylko kombinacje z wybranych typów kombinacji SGN/SGU.

Zaznaczenie opcji *Twórz kombinacje obciążeń z opisowymi nazwami* zmienia konwencję nazewnictwa w taki sposób, że nazwy wygenerowanych kombinacji będą ich opisem (np. 1.1*ST1+0.9*ST2) zamiast Kom. #1, Kom. #2, itd.

☞ **Kombinacje obciążeń można również zdefiniować po ukończeniu liniowej analizy statycznej. Następnie postprocesor oblicza konieczne wyniki dla tych kombinacji.**

W przypadku nieliniowej analizy statycznej, każda odrębna kombinacja stanowi odrębny proces analizy.

Automatyczna kombinacja obciążeń

Program bada wszystkie możliwe kombinacje w zależności od parametrów grup obciążeń i wymogów bieżącej normy projektowej.
Minimalne i maksymalne wartości wyników tych kombinacji zostają wybrane jako wartości decydujące (do wymiarowania). Decydujące kombinacje dla Eurokodu, SIA26x, STAS, DIN i włoskiej normy są grupowane wg następujących schematów:

Decydujące kombinacje sił wewnętrznych (SGN)

SGN 1 – Stałe i Zmienne

Eurokod

AxisVM wykorzystuje poniższe wzory zgodnie z EN 1990:2005 (6.10.a) i (6.10.b). Wzory te dają w rezultacie mniejsze siły i przemieszczenia sprawiając, że wymiarowanie jest bardziej ekonomiczne.

$$\max \begin{Bmatrix} \sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j\geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \end{Bmatrix} \begin{matrix} 6.10.a \\ 6.10.b \end{matrix}$$

W niektórych państwach (np. w Austrii) załącznik krajowy nie zezwala na użycie (6.10.a) i (6.10.b). W takich przypadkach wykorzystuje się następujący wzór:

Eurokod(A), DIN, SIA26x, norma włoska

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Współczynniki częściowe do sprawdzania geotechnicznych stanów granicznych nośności (GEO)

Dla kombinacji geotechnicznych program również wykorzystuje powyższe wzory. Współczynniki częściowe do oddziaływań są wybierane z kolumny A1 oraz A2, które są sklasyfikowane zgodnie z załącznikiem A normy EN 1997-1.

Oddziaływanie		**Symbol**	**Zestaw**	
			A1	**A2**
Stałe	niekorzystne	γ_G	1,35	1,0
	korzystne		1,0	1,0
Zmienne	niekorzystne	γ_Q	1,5	1,3
	korzystne		0	0

Uwaga: Jeżeli powyższe wartości są określone przez Załącznik Krajowy, to zostaną one odpowiednio zastosowane w programie.

Współczynniki częściowe do sprawdzania stanu granicznego równowagi (EQU)

W przypadku sprawdzania stanu granicznego równowagi, uwzględniane są następujące współczynniki częściowe (EN 1997-1 załącznik A).

Oddziaływanie		**Symbol**	**Wartość**
Stałe	niekorzystne (destabilizujące)	$\gamma_{G;dst}$	1,1
	korzystne (stabilizujące)	$\gamma_{G;stb}$	0,9
Zmienne	niekorzystne (destabilizujące)	$\gamma_{Q;dst}$	1,5
	korzystne (stabilizujące)	$\gamma_{Q;stb}$	0

SGN 2 – Sejsmiczne

Eurokod, SIA26x

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P_k + A_{Ed} + \sum_{i\geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Norma włoska

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P + E + \sum_{i\geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

DIN

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i\geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

SGN 3 – Wyjątkowe

Eurokod i inne normy

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P_k + A_d + \Psi_{1,1} Q_{k,1} \sum_{i\neq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

SIA26x

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P_k + A_d + \Psi_{2,1} Q_{k,1} \sum_{i\neq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Decydujące kombinacje przemieszczeń (SGU)

SGU 1 – Charakterystyczne

Eurokod i inne normy

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i\neq 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

SGU 2 – Częste

Eurokod i inne normy

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P_k + \Psi_{1,1} Q_{k,1} \sum_{i\neq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

SGU 3 - Quasi-stałe

Eurokod i inne normy

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i\geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

STAS, Eurokod (RO)

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + 0.6\gamma_I A_{Ek} + \sum_{i\geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Tryb kombinacji decydujących dla sił wewnętrznych i przemieszczeń wybierany jest automatycznie. Tryb kombinacji decydujących dla przemieszczeń zależy od typu modelowanej konstrukcji. Aby ustawić wzór decydującej kombinacji należy kliknąć na Parametry wyświetlania wyników na pasku narzędzi Statyka.

Obciążenia sejsmiczne: Patrz powyżej - Siły wewnętrzne.

Norma włoska

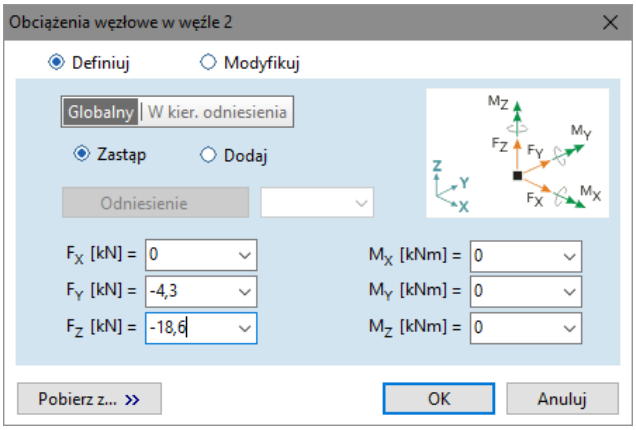
Kombinacja obciążeń sejsmicznych z innymi typami obciążeń $\sum G_K + \gamma_I \cdot E + \sum \Psi_{ji} Q_{Ki}$

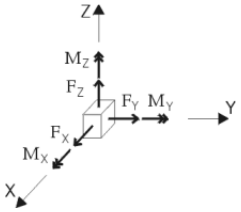
gdzie:

γ_I	współczynnik ważności
E	obciążenie sejsmiczne
G_K	charakterystyczna wartość obciążeń stałych
Q_{Ki}	charakterystyczna wartość obciążeń zmiennych
Ψ_{ji}	Ψ_{2i} współczynnik kombinacyjny (SGN) dla obciążenia Q_i quasi-stałego
Ψ_{0i}	współczynnik kombinacyjny (DLS) dla obciążenia Q_i rzadkiego

4.10.3 Obciążenie węzłowe

Umożliwia przyłożenie sił / momentów do wybranych węzłów. Użytkownik musi określić wartości obciążeń składowych F_X, F_Y, F_Z oraz M_X, M_Y, M_Z w globalnym układzie współrzędnych.
Aby zdefiniować obciążenie zadane po kierunku odniesienia (odniesienie musi istnieć na modelu w momencie definicji obciążenia), należy wybrać odniesienie z listy i wprowadzić wartość dla *Fx* oraz *Mx*.
Przykładając obciążenie węzłowe do węzła, który już jest obciążony można je zastąpić lub dodać do istniejącego obciążenia.





Dodatnie kierunki są zgodne z dodatnimi kierunkami globalnych osi współrzędnych.

Modyfikuj obciążenia węzłowe

Obciążenia węzłowe można wybierać, przenosić, kopiować i modyfikować niezależnie od węzła.

Modyfikuj położenie

1. Wybierz obciążenia, które chcesz przenieść razem.
2. Chwyć dowolne z nich przyciskając lewy przycisk myszy.
3. Przesuń je na nowe położenie.
4. Kliknij lewym przyciskiem myszy lub użyj klawisza polecenia. (Enter lub Spacja).

Modyfikuj wartość

1. Wybierz obciążenie.
2. Kliknij ikonę Obciążenie węzłowe na pasku narzędzi.
3. Zmień wartości.

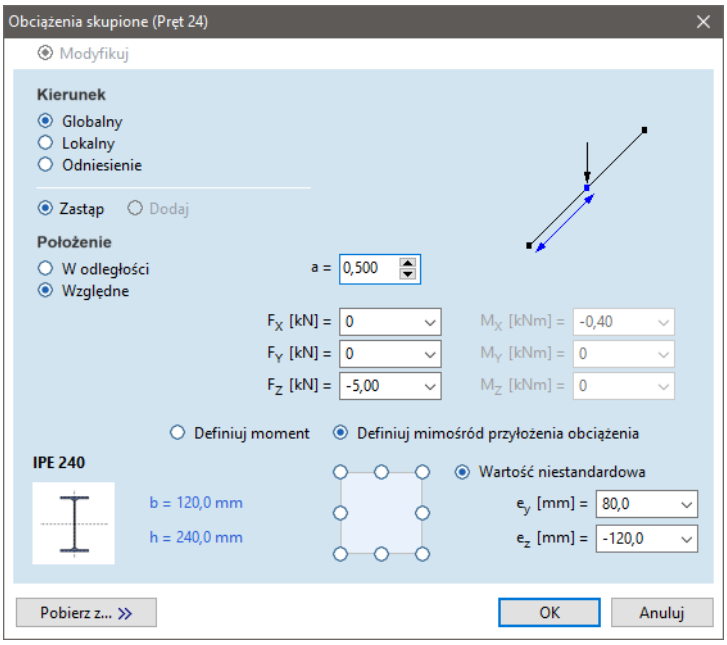
Obciążenia węzłowe można przenosić na pręt, żebro lub obszar.
Znaki dla wartości obciążeń ustalane są zgodnie z regułą prawej dłoni.

☞ **Składowe obciążeń przyłożone w kierunku zablokowanego stopnia swobody nie zostaną uwzględnione w analizie.**

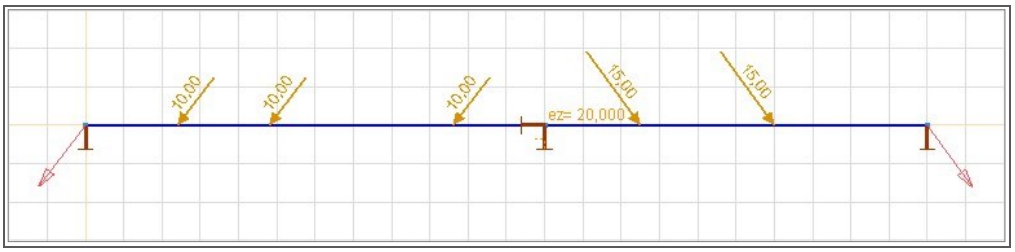
Siły wyświetlane są na ekranie jako żółte strzałki, a momenty jako podwójne zielone strzałki.

4.10.4 Skupione obciążenie na pręcie

Umożliwia przyłożenie skupionych sił / momentów do wybranych elementów typu pręt lub żebro. Użytkownik musi określić wartości składowych obciążeń *(F_X, F_Y, F_Z, M_X, M_Y, M_Z)* w lokalnym lub globalnym układzie współrzędnych.
Aby zdefiniować obciążenie w kierunku odniesienia (odniesienie musi istnieć na modelu w momencie definicji obciążenia), należy wybrać odniesienie z listy i wprowadzić wartość dla *Fx* oraz *Mx*.
Odniesienie może zostać wybrane z rozwijanej listy lub wskazane w widoku (jeżeli wyświetlanie symboli odniesień jest włączone, **Patrz...** *2.16.18 Opcje wyświetlania*) poprzez kliknięcie w przycisk *Odniesienie >>*.
Zamiast definiowania momentów możliwe jest również ustawienie mimośrodu siły e_y oraz e_z w lokalnym układzie współrzędnych pręta.



Aby zadać mimośród, należy wybrać opcję *Definiuj mimośród przyłożenia obciążenia*, następnie wskazać jeden z przełączników na prostokątnej skrajni przekroju poprzecznego lub wprowadzić jego wartość ręcznie.



Obciążenia w kierunku odniesienia na pręcie

Jeżeli obciążenie skupione jest przykładane do węzła, który jest już obciążony, można zastąpić istniejące obciążenie (opcja *Zastąp*) lub dodać je do niego (opcja *Dodaj*).
Obciążenia skupione można zaznaczać, przenosić, kopiować i modyfikować niezależnie od pręta. Wartości obciążenia można modyfikować identycznie jak w przypadku obciążeń węzłowych.

Dodatnie kierunki są zgodne z dodatnimi kierunkami lokalnych lub globalnych osi współrzędnych.

☞ **Jeżeli wybrano tylko pewien fragment elementu konstrukcyjnego (np. określone elementy skończone), wtedy obciążenia będą interpretowane w lokalnym układzie elementów skończonych. W takim przypadku takie same obciążenie zostanie zastosowane do wszystkich wybranych elementów skończonych.**

Siły wyświetlane są na ekranie jako żółte strzałki, a momenty jako podwójne zielone strzałki.

Interpretacja obciążeń elementów na mimośrodzie

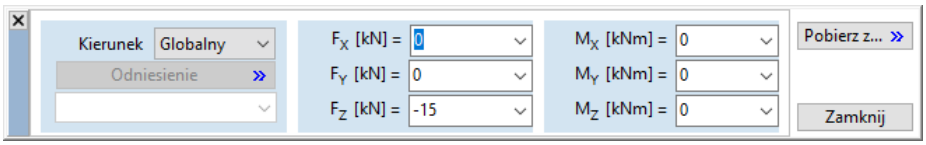
W przypadku mimośrodowo ułożonych prętów lub żeber, ich rzeczywista oś elementu nie pokrywa się na modelu z linią łączącą węzły końcowe. Mimośród obciążenia ustawiany jest względem rzeczywistej (mimośrodowo ustawionej) osi elementu.

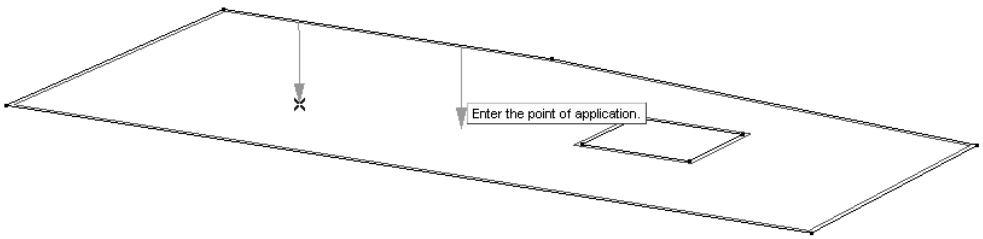
4.10.5 Obciążenie skupione na obszarze lub panelu obciążeniowym

Przykłada obciążenie skupione (punktowe) w lokalizacji kursora, jeżeli znajduje się on na obszarze lub panelu obciążeniowym.
Można również wprowadzić lokalizację obciążenia podając jego współrzędne. Obciążenia mogą być wstawione przez kliknięcie lewym przyciskiem myszy lub naciśnięcie dowolnego klawisza polecenia.
Patrz... *4.7.2 Numeryczne wprowadzanie współrzędnych*

Kierunek obciążenia może być:

Globalny (w odniesieniu do globalnego układu współrzędnych)
Lokalny (w odniesieniu do lokalnego układu współrzędnych elementu)
Odniesienie (wg podanego odniesienia)





Modyfikuj obciążenie skupione na obszarze

Umożliwia zmianę położenia i wartości (intensywności) obciążenia:

Modyfikuj położenie

1. Wybierz obciążenie za pomocą kursora (obok kursora pojawi się symbol obciążenia).
2. Trzymaj wciśnięty lewy przycisk myszy.
3. Przesuń mysz lub wprowadź odpowiednie współrzędne, aby przesunąć obciążenie do nowego położenia.
4. Zwolnij przycisk myszy, aby ustawić obciążenie w nowym położeniu.

Modyfikuj wartość

1. Wybierz obciążenie za pomocą kursora.
2. Kliknij lewy przycisk myszy.
3. Wpisz nowe wartości obciążenia w oknie dialogowym.
4. Kliknij na przycisk Modyfikuj, aby zastosować zmiany i zamknij okno.

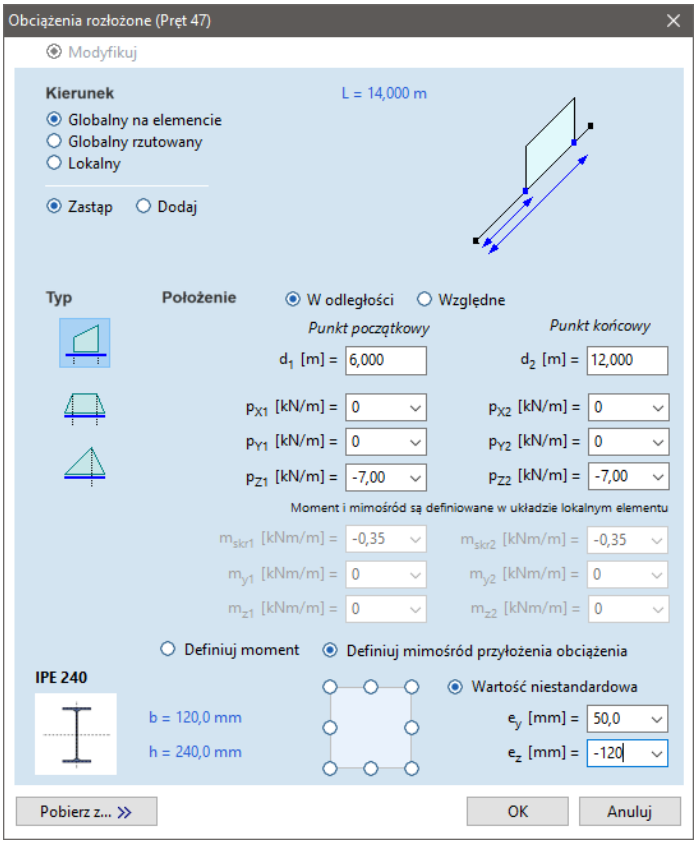
Wartość obciążenia można zmieniać także w Przeglądarce tabel.

☞ **Modyfikowanie siatki powierzchniowej nie wpływa na obciążenia skupione (przyłożone do tego obszaru).**

4.10.6 Obciążenia rozłożone na pręcie / żebrze

Umożliwia przyłożenie równomiernych lub liniowo zmiennych sił i momentów do wybranych elementów typu pręt lub żebro. Można przyłożyć wiele obciążeń rozłożonych do pręta / żebra w tym samym przypadku obciążenia.

Zamiast definiowania wartości momentów możliwe jest również ustawienie mimośrodu siły e_y oraz e_z w lokalnym układzie współrzędnych pręta. Aby zadać mimośród, należy wybrać opcję *Definiuj mimośród przyłożenia obciążenia*, następnie wskazać jeden z przełączników na prostokątnej skrajni przekroju poprzecznego lub wprowadzić jego wartość ręcznie.
Moment i mimośrody są zawsze definiowane w układzie lokalnym elementu, nawet jeżeli w opcjach kierunku obciążenia zaznaczony został *Globalny na elemencie/ Globalny rzutowany*.

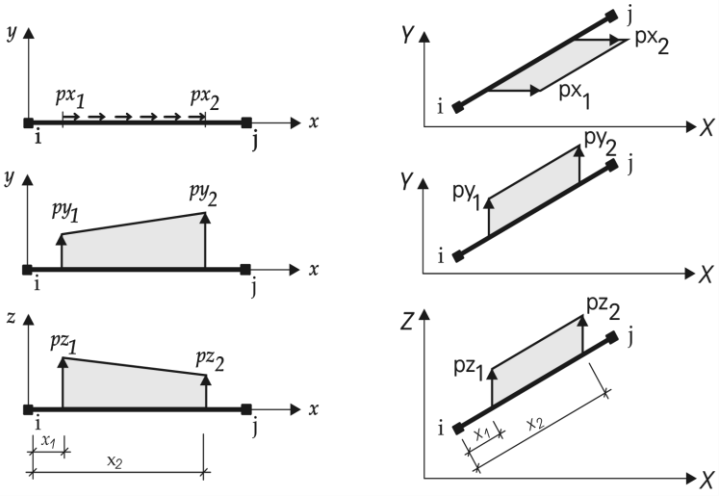


Obciążenia liniowe można zaznaczać, przenosić, kopiować i modyfikować niezależnie od pręta lub żebra. Modyfikowanie wartości obciążenia odbywa się identycznie jak w przypadku obciążeń węzłowych.
Jeżeli obciążenie przykładane jest do elementu, który jest już obciążony, to można zastąpić istniejące obciążenie (opcja *Zastąp*) lub dodać je do niego (opcja *Dodaj*).

☞ **Jeżeli wybrano tylko pewien fragment elementu konstrukcyjnego (np. określone elementy skończone), wtedy obciążenia będą interpretowane w lokalnym układzie elementów skończonych. W takim przypadku takie same obciążenie zostanie zastosowane do wszystkich wybranych elementów skończonych.**

Użytkownik musi określić rozkład, położenie i wartości składowych obciążenia w lokalnym lub globalnym układzie współrzędnych jak poniżej:

Obciążenia w lokalnym układzie współrzędnych | *Obciążenia w globalnym układzie współrzędnych*



Należy określić następujące parametry:

Typ	*liniowe* *trapezowe* *trójkątne*
Pozycja	*Po długości:* między d_1 oraz d_2 [m], gdzie $0 \le d_1 < d_2 \le L$ (L [m] to długość elementu) *Względna:* między a_1 oraz a_2, gdzie $0 \le a_1 < a_2 \le 1$
Położenie początkowe	d_1[m] lub a_1 w lokalnym układzie współrzędnych
Położenie końcowe	d_2[m] lub a_2 w lokalnym układzie współrzędnych
Wartość początkowa	obciążenie siłą p_{x1}, p_{y1}, p_{z1} [kN/m], momentem skręcającym m_{SKR1} [kNm/m]
Wartość końcowa	obciążenie siłą p_{x2}, p_{y2}, p_{z2} [kN/m], momentem skręcającym m_{SKR2} [kNm/m]

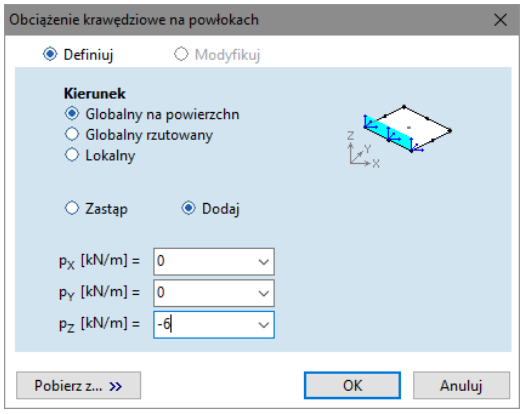
Jeżeli obciążenie jest rzutowane, wartość obciążenia przyłożonego do pręta / żebra wynosi p*sin α, gdzie α to kąt kierunku obciążenia i osi pręta / żebra.

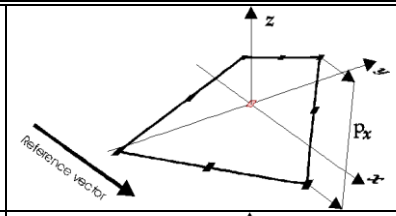
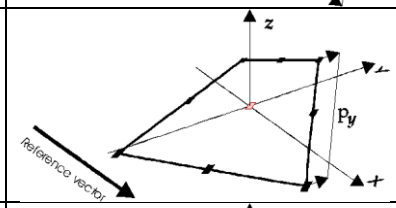
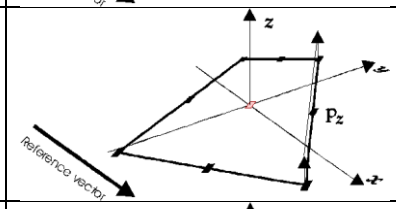
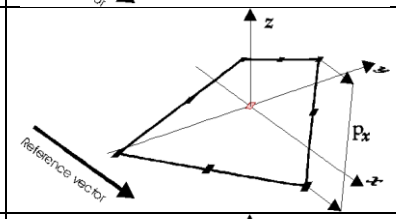
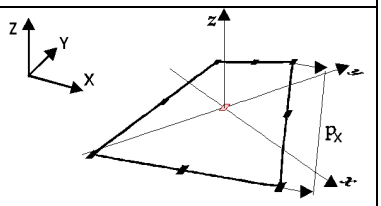
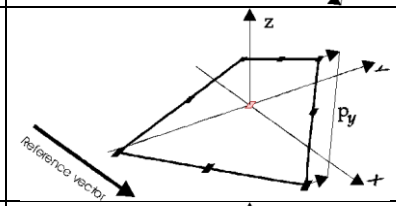
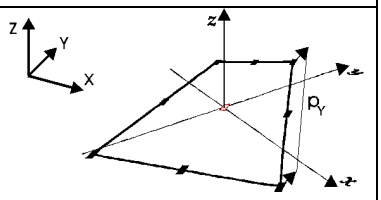
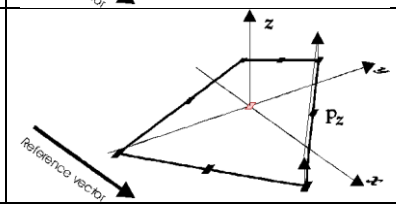
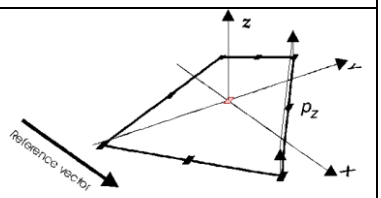
Interpretacja obciążeń elementów na mimośrodzie

W przypadku mimośrodowo ułożonych prętów lub żeber, ich rzeczywista oś elementu nie pokrywa się na modelu z linią łączącą węzły końcowe. Mimośród obciążenia ustawiany jest względem rzeczywistej (mimośrodowo ustawionej) osi elementu.

4.10.7 Obciążenie krawędziowe

Umożliwia przyłożenie rozłożonych (równomiernie) obciążeń do wybranych krawędzi elementów powierzchniowych.
Polecenie jest widoczne wtedy, gdy włączona jest opcja *Pokaż na pasku przestarzałe polecenia dla elementów powierzchniowych* w *Ustawienia / Preferencje... / Pasek narzędzi.*
Jeżeli więcej niż dwa elementy skończone są połączone z tą samą krawędzią lub mają inne lokalne układy współrzędnych, to podczas określania obciążenia o kierunku lokalnym użytkownik musi wybrać zarówno krawędź jak i element skończony. Obciążenie zostanie zdefiniowane w lokalnym układzie wybranego elementu.

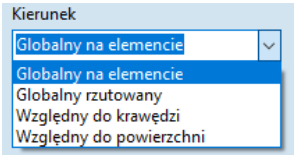


Element	Obciążenie w kierunkach lokalnych (w lokalnym układzie współrzędnych)		Obciążenie w kierunkach globalnych (w globalnym układzie współrzędnych)	
Tarcza	x		-	-
	y		-	-
Płyta	z		-	-
Powłoka	x		X	
	y		Y	
	z		Z	

W przypadku elementów typu powłoka obciążenie, które przyłożone jest w globalnych kierunkach współrzędnych może posiadać rozkład rzutowany. Jeżeli obciążenie *p* jest rzutowane, wartość obciążenia przyłożonego do powłoki to *p**cosα, gdzie α to kąt kierunku obciążenia i prostopadłej do płaszczyzny elementu.

4.10.8 Obciążenie liniowe obszaru / panelu obc.

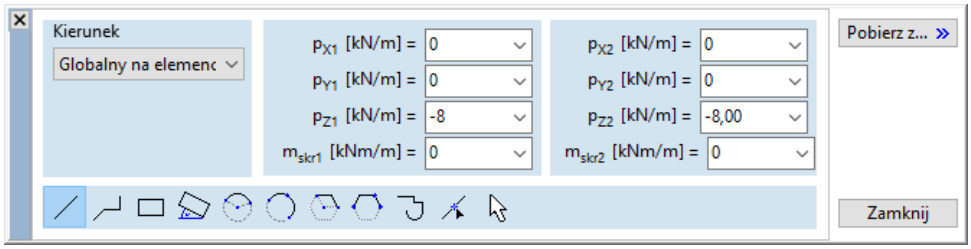
Przykłada równomierne lub liniowo zmienne obciążenie liniowe na obszarze lub panelu obciążeniowym.



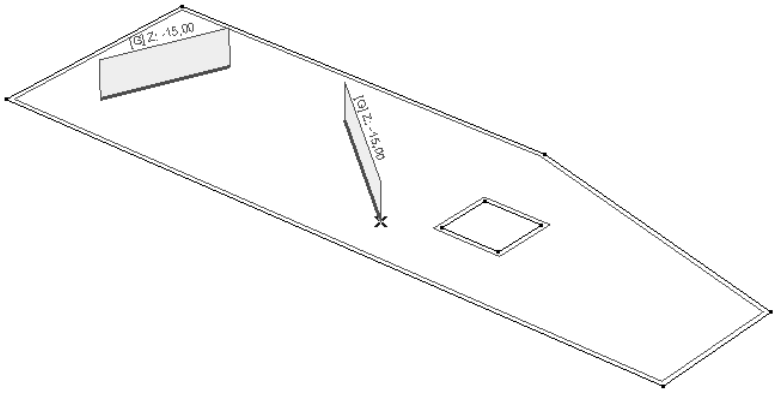
Kierunek obciążenia może być ustawiony jako globalny na elemencie, globalny rzutowany, względnie do krawędzi lub względnie do powierzchni.
Wartość m_{skr} to zawsze moment skręcający wokół linii przyłożonego obciążenia. Aby przyłożyć obciążenie, należy ustawić składowe obciążenia i metodę jego wstawienia, a następnie narysować obciążenie (lub kliknąć na linie).
W przypadku kierunku ustawionego jako Względny do krawędzi, lokalny układ współrzędnych obciążenia będzie podążał za kierunkiem określonej krawędzi (linii, łuku lub polilinii). Oś -x- jest zawsze

skorelowana z linią obciążenia i jej zwrot ustawiony jest w kierunku rysowania tej linii. Oś *-z-* dla obciążenia jest zawsze równoległa do lokalnej osi *-z-* obszaru. Podczas wstawiania obciążenia liniowego na istniejącej krawędzi, należy zawsze sprawdzić kierunki poszczególnych składowych, ponieważ kierunek narysowania wybranej linii nie musi być określony przez kolejność węzłów.

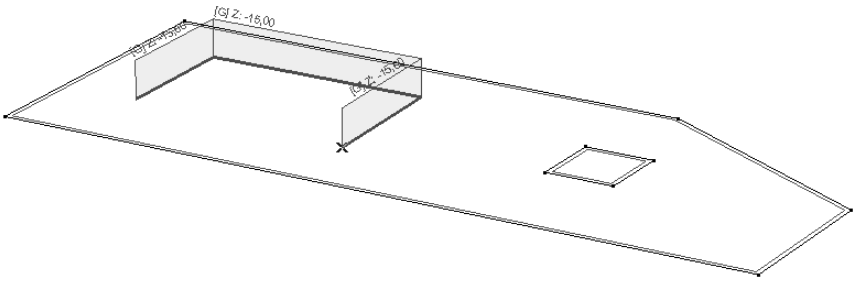
Jeżeli kierunek obciążenia jest zdefiniowany jako *względny do powierzchni*, to układ lokalny obciążenia (oś *-x-*, *-y-* oraz *-z-*) skorelowane są zawsze z układem lokalnym obszaru.



Obciążenie liniowe pomiędzy dwoma punktami



Obciążenie liniowe wzdłuż polilinii



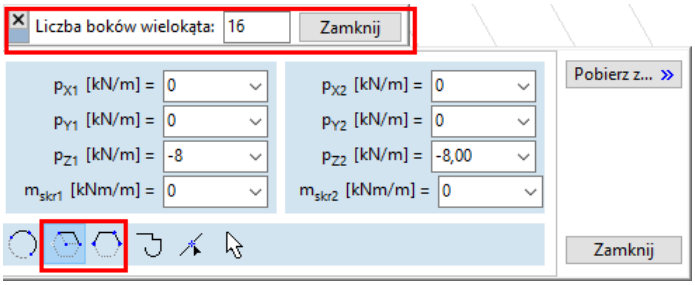
Obciążenie liniowe na prostokącie

Obciążenie liniowe na obróconym prostokącie

Obciążenie liniowe na łuku definiowanym przez punkt środkowy i dwa punkty

Obciążenie liniowe na łuku definiowanym przez trzy punkty

Liczba boków wielokąta (dla obciążenia na planie wielokąta)



Obciążenie liniowe na wielokącie foremnym definiowanym przez punkt środkowy i dwa punkty

Obciążenie liniowe na wielokącie foremnym definiowanym przez trzy punkty

Obciążenie liniowe na złożonym wielokącie. Złożone wielokąty mogą posiadać łuki.

Podczas definiowania złożonego wielokąta wyświetlony zostaje pasek podręczny z kilkoma funkcjami geometrycznymi. Funkcje te obejmują: rysowanie linii, rysowanie linii jako stycznej łuku, rysowanie łuku za pomocą punktu środkowego, rysowanie łuku przez jego punkt pośredni, rysowanie łuku poprzez styczną poprzedniego odcinka wielokąta, rysowanie łuku z daną styczną, pobranie istniejącej linii.

Rozłożone obciążenie liniowe na istniejącej linii lub łuku.

Aby zastosować wcześniej zdefiniowane obciążenie, należy kliknąć na dowolną linię lub łuk na obrysie obszaru lub w obrębie obszaru. Ten typ obciążenia jest skojarzony.
Przesunięcie obrysu lub linii wewnętrznej przesunie także obciążenie. Usunięcie linii usunie obciążenie.

Obciążenie liniowe poprzez wybór.

Funkcja podobna do poprzedniej z tym wyjątkiem, że obciążenie zostanie przyłożone do wybranych linii.

Modyfikacja obciążenia

Można modyfikować położenie i wartość (intensywność) oraz dowolny wierzchołek polilinii obciążenia:

Modyfikuj położenie

1. Wybierz obciążenie za pomocą kursora.
2. Trzymaj wciśnięty lewy przycisk myszy.
3. Przesuń mysz lub wpisz odpowiednie współrzędne, aby przesunąć obciążenie do nowego położenia.
4. Zwolnij przycisk myszy, aby ustawić obciążenie w nowym położeniu.

Modyfikuj kształt

1. Przesuń kursor nad wierzchołek (obok kursora pojawi się symbol wierzchołka polilinii).
2. Kliknij lewy przycisk myszy.
3. Przeciągnij wierzchołek w nową pozycję, po wciśnięciu lewego przycisku myszy.
4. Kliknij lewy przycisk myszy.

Modyfikuj wartość

1. Wybierz obciążenie za pomocą kursora (obok kursora pojawi się symbol obciążenia).
2. Kliknij lewy przycisk myszy.
3. Wpisz nowe wartości obciążenia w oknie dialogowym.
4. Kliknij na przycisk Modyfikuj, aby zastosować zmiany i zamknij okno.

Wartość obciążenia może być zmieniana także w Przeglądarce tabel.

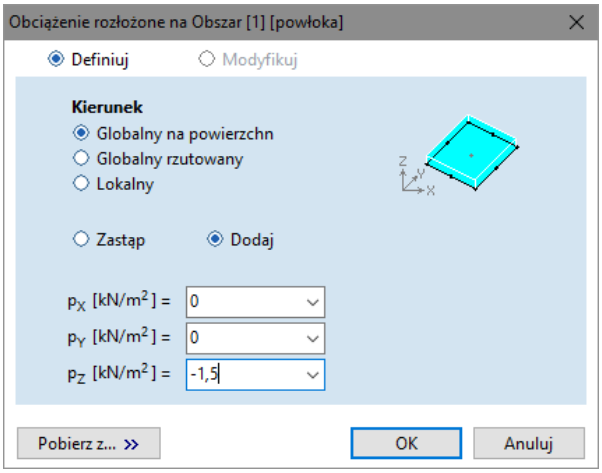
Usuń

Należy wybrać obciążenia, które mają zostać usunięte i nacisnąć klawisz **Delete**.

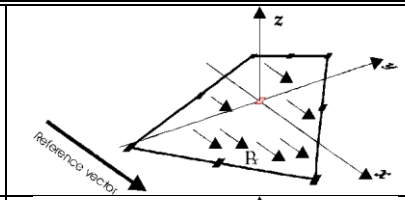
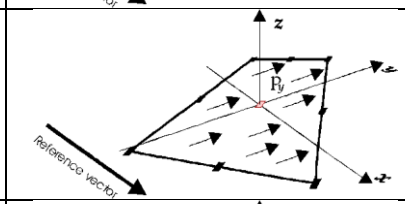
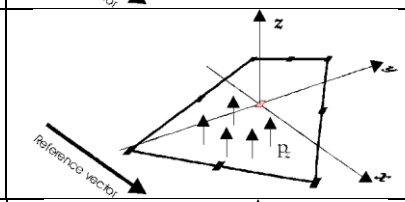
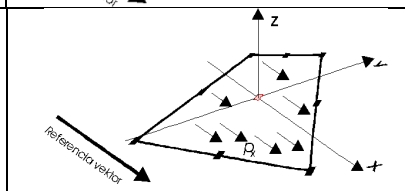
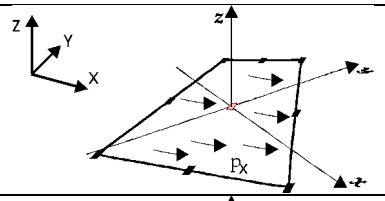
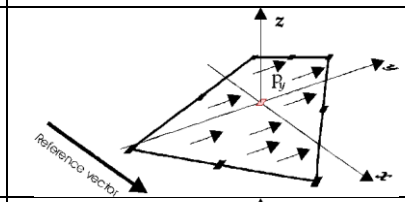
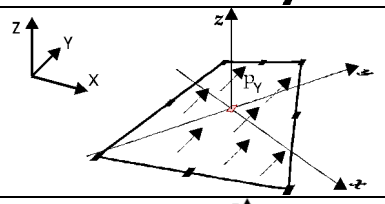
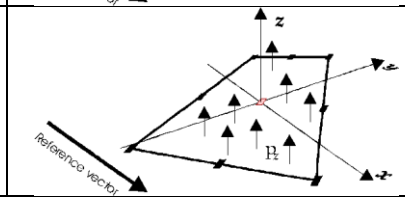
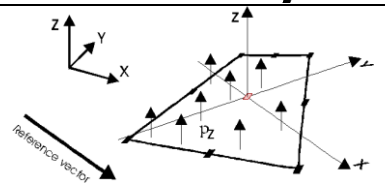
☞ **Modyfikowanie siatki powierzchniowej obszaru nie wpływa na obciążenia liniowe (przyłożone do tego obszaru).**

4.10.9 Obciążenie powierzchniowe

Obciążenie powierzchniowe może zostać przyłożone na powierzchniowym elemencie skończonym, całym obszarze i panelu obciążeniowym.
Wartość obciążenia rozłożonego na elemencie powierzchniowym jest stała (obciążenie równomierne).



☞ **Modyfikowanie siatki powierzchniowej obszaru nie wpływa na obciążenia przyłożone na tym obszarze.**

Element	Obciążenie w kierunkach lokalnych (w lokalnym układzie współrzędnych)		Obciążenie w kierunkach globalnych (w globalnym układzie współrzędnych)	
Tarcza	x		-	-
	y		-	-
Płyta	z		-	-
Powłoka	x		X	
	y		Y	
	z		Z	

4.10.10 Obciążenie powierzchniowe obszaru / panelu obciążeniowego

Przykłada do obszaru lub panelu obciążeniowego niezależne od siatki obciążenie powierzchniowe.

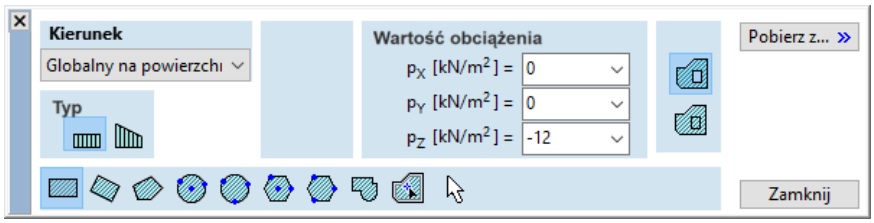
Typ obszaru określa typ obciążenia i kierunek jak następuje:
Dla tarcz obciążenie musi znajdować się w płaszczyźnie obszaru. Dla płyt obciążenie musi być prostopadłe do płaszczyzny obszaru. W przypadku powłok dowolny kierunek obciążenia jest dozwolony. Panele obciążeniowe przyjmują obciążenia w dowolnym kierunku, ale jeżeli przenoszą je na tarcze lub płyty, to zastosowanie mają powyższe ograniczenia.
Obciążenie może być jako globalne obciążenie na powierzchni, globalne rzutowane lub lokalne, a składowe zostaną zinterpretowane odpowiednio do rodzaju.
Użytkownik może wybrać pomiędzy równomiernymi lub nierównomiernymi intensywnościami obciążenia oraz ustawić, czy obciążenia zanikają nad otworami czy też są rozłożone na krawędzi otworu.

Obciążenia zanikają / są dozwolone nad otworami

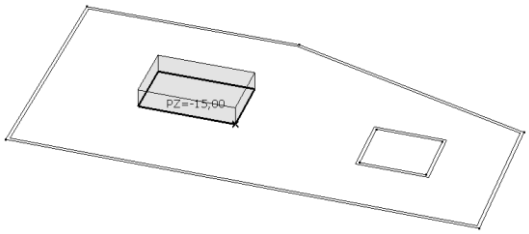
Pierwsza ikona reprezentuje opcję, w której obciążenia nad otworami nie zostają przyłożone do konstrukcji. Druga ikona reprezentuje opcję, w której obciążenia rozkładane są na krawędzi otworu.

Etapy definiowania obciążenia w przypadku obciążenia równomiernego:

Równomierne obciążenie

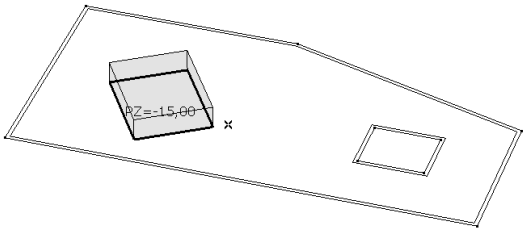


Prostokątny obszar obciążenia



1. Wprowadź składowe obciążenia (p_x, p_y, p_z)
2. Wprowadź dwa punkty prostokąta po przekątnej, klikając lub wpisując współrzędne. (Ta funkcja dostępna jest tylko w płaszczyznach X-Y, Y-Z i X-Z)

Nachylony prostokątny obszar obciążenia



1. Wprowadź składowe obciążenia (p_x, p_y, p_z)
2. Wprowadź trzy wierzchołki prostokąta klikając lub wpisując współrzędne.

Wielokątny obszar obciążenia

1. Wprowadź składowe obciążenia (p_x, p_y, p_z)
2. Wprowadź wierzchołki wielokąta klikając lub wpisując współrzędne. W drugim przypadku, aby zakończyć, naciśnij dodatkowy Enter po wpisaniu ostatniej lokalizacji. Jeżeli wielokąt jest wprowadzany poprzez wskazania kursorem na obszarze, zamknij wielokąt klikając ponownie na pierwszy wierzchołek lub klikając podwójnie na ostatni. Zamiast lewego przycisku myszy możesz również użyć klawisza Space lub Enter, aby wprowadzać wierzchołki wielokąta.

Kołowy obszar obc. definiowany przez punkt środkowy i dwa punkty

Kołowy obszar obc. definiowany przez trzy punkty

Obszar obciążenia w kształcie wielokąta foremnego definiowanego przez punkt środkowy i dwa punkty na obwodzie

Obszar obciążenia w kształcie wielokąta foremnego definiowanego przez trzy punkty na obwodzie

Obszar obciążenia w kształcie złożonego wielokąta

Podczas definiowania złożonego wielokąta wyświetlony zostaje pasek podręczny z kilkoma funkcjami geometrycznymi. Funkcje te obejmują: rysowanie linii, rysowanie linii jako stycznej łuku, rysowanie łuku za pomocą punktu środkowego, rysowanie łuku przez jego punkt pośredni, rysowanie łuku poprzez styczną poprzedniego odcinka wielokąta, rysowanie łuku z daną styczną, pobranie istniejącej linii.

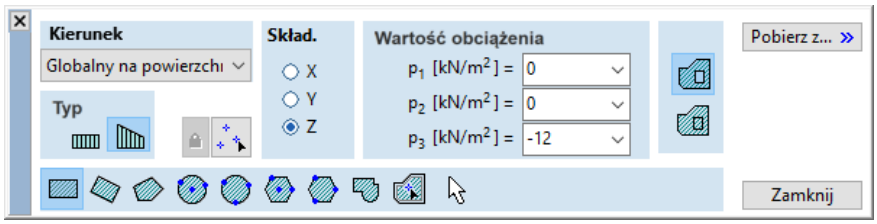
Rozkład obciążenia na całym obszarze

1. Wprowadź składowe obciążenia (p_x, p_y, p_z)
2. Kliknij na obszar.

Obciążenie zostanie rozłożone na całym obszarze. Kształt tego typu obciążenia automatycznie zostanie zaktualizowany po wprowadzeniu dowolnej zmiany do geometrii obszaru. W jednym przypadku obciążenia można zastosować tylko jedno obciążenie tego typu na danym obszarze. Definicja nowego obciążenia rozłożonego na obszarze zawsze zastępuje poprzednią.

Etapy definiowania obciążenia w przypadku obciążenia nierównomiernego:

Obciążenie nierównomierne



Płaszczyznę intensywności obciążenia można określić poprzez wartości intensywności obciążenia (p_1, p_2, p_3) w trzech punktach [(1), (2), (3)] w płaszczyźnie obszaru. Punkty te stanowią punkty odniesienia dla wartości obciążenia. Aby zastosować te same punkty odniesienia i wartości do wielu obciążeń o różnych kształtach i położeniach, należy zablokować je i ich wartości, klikając na przycisk kłódki. Obciążenia są przykładane przez wprowadzenie na obszarze.

Definiuj punkty odniesienia dla poszczególnych wartości nierównomiernego obciążenia

Zablokuj / Odblokuj punkty odniesienia dla wartości obciążenia.

Prostokątny obszar obciążenia

1. Wprowadź wartości obciążenia w punkach odniesienia (p_1, p_2, p_3).
2. Wprowadź dwa punkty prostokąta po przekątnej, klikając lub wpisując współrzędne. (Ta funkcja dostępna jest tylko w płaszczyznach X-Y, Y-Z i X-Z)
3. Wprowadź trzy punkty odniesienia, klikając lub wpisując współrzędne.

Nachylony prostokątny obszar obciążenia

1. Wprowadź wartości obciążenia w punktach odniesienia (p_1, p_2, p_3).
2. Wprowadź trzy wierzchołki prostokąta klikając lub wpisując współrzędne.
3. Wprowadź trzy punkty odniesienia klikając lub wpisując współrzędne.

Wielokątny obszar obciążenia

1. Wprowadź wartości obciążeń w punktach odniesienia (p_1, p_2, p_3).
2. Wprowadź wierzchołki wielokąta klikając lub wpisując współrzędne. W drugim przypadku, aby zakończyć, naciśnij dodatkowy Enter po wpisaniu ostatniej lokalizacji. Jeżeli wielokąt jest wprowadzany poprzez wskazania kursorem na obszarze, zamknij wielokąt klikając ponownie na pierwszy wierzchołek lub klikając podwójnie na ostatni. Zamiast lewego przycisku myszy możesz również użyć klawisza Space lub Enter, aby wprowadzać wierzchołki wielokąta.
3. Wprowadź trzy punkty odniesienia klikając lub wpisując współrzędne.

Kołowy obszar obc. definiowany przez punkt środkowy i dwa punkty

Kołowy obszar obc. definiowany przez trzy punkty

Obszar obciążenia w kształcie wielokąta foremnego definiowanego przez punkt środkowy i dwa punkty na obwodzie

Obszar obciążenia w kształcie wielokąta foremnego definiowanego przez trzy punkty na obwodzie

Obszar obciążenia w kształcie złożonego wielokąta

Podczas definiowania złożonego wielokąta wyświetlony zostaje pasek podręczny z kilkoma funkcjami geometrycznymi. Funkcje te obejmują: rysowanie linii, rysowanie linii jako stycznej łuku, rysowanie łuku za pomocą punktu środkowego, rysowanie łuku przez jego punkt pośredni, rysowanie łuku poprzez styczną poprzedniego odcinka wielokąta, rysowanie łuku z daną styczną, pobranie istniejącej linii.

Obszar obciążenia rozłożonego

1. Wprowadź wartości obciążeń w punktach odniesienia (p_1, p_2, p_3).
2. Kliknij na obszar.
3. Wprowadź trzy punkty odniesienia klikając lub wpisując współrzędne.

W jednym przypadku obciążenia można przyłożyć tylko jedno obciążenie tego typu na dany obszar. Definicja nowego obciążenia rozłożonego na obszarze zawsze zastępuje poprzednią.

Modyfikuj obciążenie powierzchniowe

Położenie, kształt i intensywność obciążenia powierzchniowego niezależnego od siatki może być zmieniane.

Modyfikuj położenie

1. Umieść kursor na konturze obciążenia (kursor rozpozna obciążenie).
2. Naciśnij lewy przycisk myszy i porusz nią.
3. Znajdź nowe położenie obciążenia przesuwając mysz lub wpisując współrzędne.
4. Upuść obciążenie klikając lewym przyciskiem myszy lub przyciskając klawisz Space lub Enter.

Modyfikuj kształt

1. Umieść kursor na wierzchołku wielokąta obciążenia (kursor rozpozna wierzchołek wielokąta obciążenia jako narożnik).
2. Naciśnij lewy przycisk myszy i porusz nią.
3. Znajdź nową pozycję wierzchołka przesuwając mysz lub wpisując współrzędne.
4. Upuść wierzchołek klikając lewym przyciskiem myszy lub przyciskając klawisz Space lub Enter. Kształt obciążenia zmieni się.

Modyfikuj intensywność

1. Umieść kursor na konturze obciążenia (kursor rozpozna obciążenie).
2. Naciśnij lewy przycisk myszy. Wyświetlone zostanie okno obciążenia.
3. Zmień wartości intensywności obciążenia.
4. Kliknij na przycisk Modyfikuj, aby zastosować zmiany.

W ten sposób można wybierać i modyfikować na raz wiele obciążeń.

Intensywność obciążenia obszaru oraz jego kształt można zmienić również w Przeglądarce tabel, zmieniając właściwe wartości w tabeli obciążeń.

Usuń

Należy wybrać obciążenia, które mają zostać usunięte i nacisnąć klawisz [**Del**].

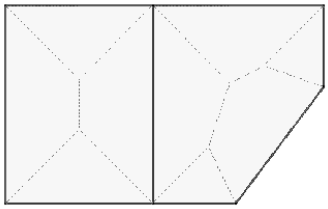
☞ **Usuwanie lub ponowne generowanie siatki powierzchniowej obszaru nie wpływa na obciążenia niezależne od siatki.**

4.10.11 Obciążenie powierzchniowe rozłożone na elementach liniowych

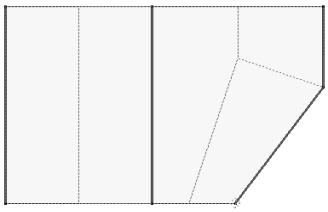
Jednorodne obciążenie powierzchniowe może być przyłożone do elementów liniowych (pręty kratowe, pręty i żebra).
Obciążenia przyłożone do prętów kratowych zostaną przekonwertowane do obciążeń w węzłach końcowych pręta kratowego.

1. Kliknij na ikonę i wybierz zakres rozłożenia obciążenia w oknie dialogowym.

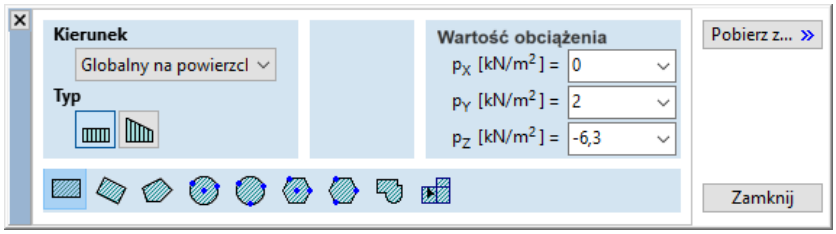
Opcja *Auto* rozkłada obciążenie na elementy znajdujące się pod obciążeniem.
Każdy nowy pręt kratowy, pręt lub żebro zdefiniowane po przyłożeniu obciążenia ponownie rozkłada obciążenie.



Opcja *Tylko na wybranych elementach* rozkłada obciążenie tylko na wybranych elementach. Należy wybrać linie za pomocą paska narzędzi Wybór.
Rozkład pozostaje taki sam, gdy nowy pręt lub żebro zostanie zdefiniowane po przyłożeniu obciążenia.



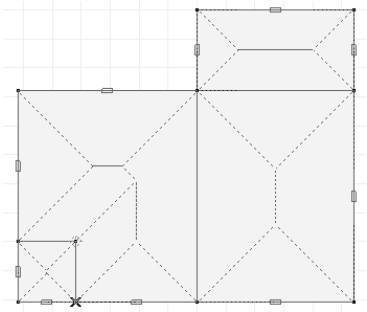
2. Zdefiniuj wielokątny obszar obciążenia w taki sam sposób jak w przypadku równomiernego lub nierównomiernego obciążenia powierzchniowego obszaru.



Kierunek obciążenia może być globalny na powierzchni, globalny rzutowany lub lokalny. Lokalne kierunki definiowane są tak jak automatyczne odniesienia dla obszarów. **Patrz...** *4.9.21 Odniesienia*

Wartości obciążenia należy wprowadzić do pól edycyjnych (p_X, p_Y, p_Z)

Wielokąt obciążenia może mieć kształt prostokąta, nachylonego prostokąta lub dowolnego zamkniętego wielokąta. Ostatnią metodą na pasku ikon jest kliknięcie w linie prętów / żeber tworzących zamknięty wielokąt. W ten sposób obciążenie staje się skojarzone. Oznacza to, że przesunięcie elementów lub ich węzłów końcowych zmieni odpowiednio wielokąt obciążenia.



Opcja menu głównego *Edycja / Konwertuj rozłożone obciążenia powierzchniowe na pręty* konwertuje utworzone w ten sposób obciążenia do pojedynczych obciążeń na prętach.

4.10.12 Panele obciążeniowe

Panele obciążeniowe wykorzystywane są do przenoszenia na elementy konstrukcji obciążeń węzłowych, liniowych rozłożonych i powierzchniowych. Jeżeli obciążenia od śniegu i wiatru mają zostać wygenerowane automatycznie (moduł SWG), to również niezbędne jest utworzenie paneli obciążeniowych.
Panele te nie pełnią żadnej funkcji konstrukcyjnej (nie mają sztywności). Ich jedynym zadaniem jest rozkład obciążeń na obszary i elementy prętowe. Obciążenia mogą zostać rozłożona automatycznie na wszystkie obszary i elementy prętowe leżące w płaszczyźnie panelu. Aby sterować przenoszeniem obciążeń, możliwe jest także ręczne określenie elementów przenoszących obciążenia, jak i wskazanie elementów, które znajdują się poza płaszczyzną panelu. W tym ostatnim przypadku rzut tych elementów powinien znaleźć się w obrysie panelu obciążeniowego.

Narzędzia kształtu

Prostokąt

Pochyły prostokąt

Wycinek koła lub pełne koło przez punkt środkowy i dwa punkty

Wycinek koła lub pełne koło przez trzy punkty

Wycinek wielokąta lub pełny wielokąt przez punkt środkowy i dwa punkty

Wycinek wielokąta lub pełny wielokąt przez trzy punkty

Złożony wielokąt

Narzędzia selekcji specjalnej

Pokryj panelem całe obszary
Kliknięcie na obszar tworzy panel obciążeniowy na całym wskazanym obszarze.

Pokryj wybrane obszary panelem obciążeniowym.
Wybrany obszary przy pomocy paska selekcji zostaną w całości pokryte panelami.

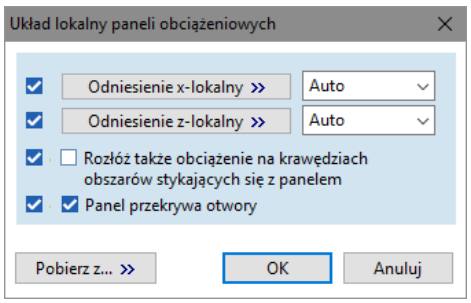
Ta funkcja tworzy panele obciążeniowe w oparciu o wybrane linie. Kontury paneli określane są na podstawie konturów współpłaszczyznowych podzestawów wybranych linii.

Przypisane elementy i właściwości

Wybór przenoszących obciążenia elementów pod panelem
Polecenie to pozwala zmodyfikować elementy przenoszące obciążenia z panelu. Po kliknięciu i wskazaniu panelu pojawi się okno dialogowe, w którym można wybrać sposób redefinicji tych elementów:

- *Tak jak pierwotnie zdefiniowano*
- *Automatyczna*
- *Wybrane elementy liniowe i lub obszary pod panelem obciążeniowym*
- *Wybrane elementy liniowe, wybrane obszary*
- *Elementy liniowej wyświetlonego fragmentu*

Właściwości
Po wskazaniu panelu obciążeniowego, polecenie to ustawia jego właściwości takie jak układ lokalny, sposób rozkładania obciążenia na krawędzie dochodzących do panelu obszarów oraz pokrycie obciążeniem otworów.



Tryby rozkładu obciążeń

Umożliwia rozłożenie obciążenia **na wszystkich obszarach, żebrach i prętach** znajdujących się pod panelem.

Obciążenie rozkładane jest **na wszystkich obszarach oraz wybranych żebrach i prętach**.
Obciążenia na panelu mogą zostać również rozłożone na wybrane węzły.
Obciążenia mogą zostać rozłożone również na węzły i elementy typu pręt i żebro, które nie leżą w płaszczyźnie panelu obciążeniowego, ale których rzut na panel znajduje się w jego obrysie. W takim przypadku obciążenia rozkładane są na rzutowanych przez te elementy odcinkach, ale oddziałują one w położeniu rzeczywistym elementów.

Obciążenie jest rozkładane na **wybranych obszarach oraz wybranych żebrach i prętach**.

Wybranie tej opcji rozkłada obciążenie na **obszary, żebra i pręty** pod panelem we włączonych (widocznych) fragmentach modelu.

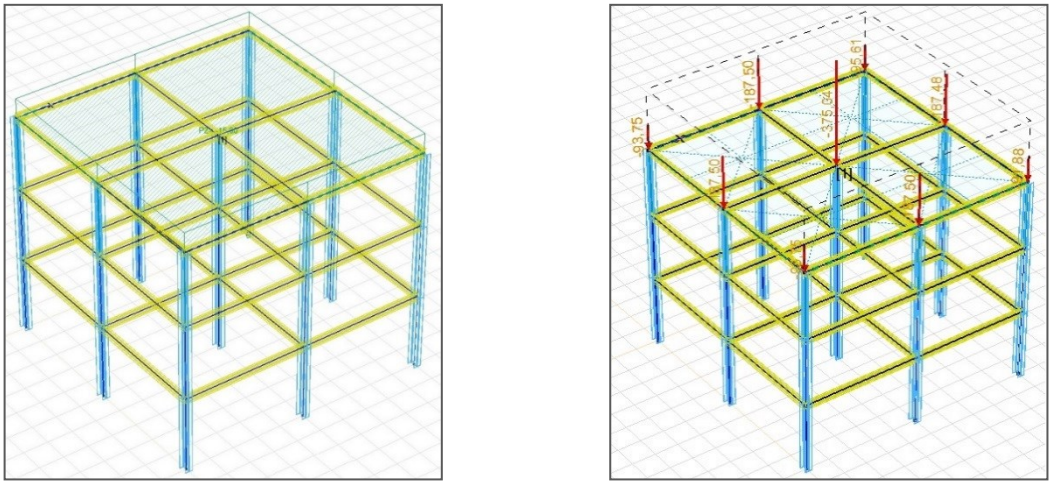
Opcje obciążania otworów

Obciążenie na panelu zostanie również zastosowane nad otworami (otwory są wtedy interpretowane jak np. okna).

Obciążenie na panelu nie jest przykładane nad otworami (rzeczywiste otwory bez przekrycia).

Obciążenie z wybranych paneli obciążeniowych może zostać przekonwertowane na samodzielne obciążenia. **Patrz...** *3.2.19 Konwertuj obciążenia z wybranych paneli obciążeniowych do obciążeń samodzielnych.*

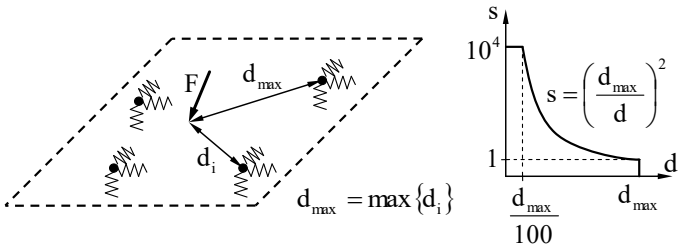
☞ **Wybrane pręty / żebra / obszary mogą znajdować się poza płaszczyzną panelu obciążeniowego. Jeżeli wybranych zostało kilka obszarów, których kontury rzutowane na płaszczyznę panelu nakładają się to obciążenie zostanie przekazane tylko na obszar znajdujący się najbliżej panelu.**



Obciążenia skupione na słupach (po prawej), pochodzące z obciążenia rozłożonego na panelu obciążeniowym (po lewej)

Sposób rozkładu obciążenia

Rozkładanie obciążeń skupionych odbywa się w oparciu o model panelu obciążeniowego traktowanego jako sztywny płat, oparty w każdym punkcie rozkładu obciążenia na trzech sprężynach. Te trzy sprężyny posiadają taką samą sztywność, która jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości od punktu oddziaływania.



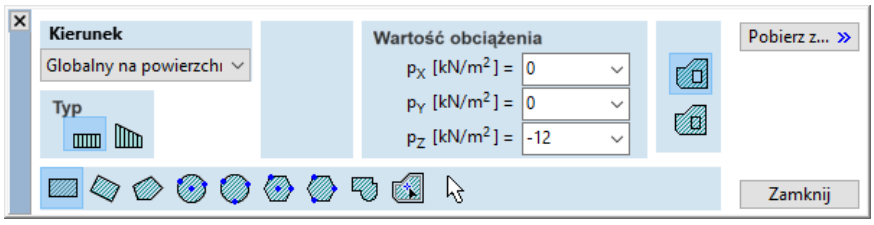
Obciążenia rozkładane wzdłuż linii konwertowane są to serii obciążeń punktowych, a obciążenia punktowe rozkładane są zgodnie z powyższą metodą. Obciążenia powierzchniowe rozkładane są za pomocą metody opisanej w *4.10.11 Obciążenie powierzchniowe rozłożone na elementach liniowych.*

Definiowanie obciążeń

Obciążenie skupione, liniowe i powierzchniowe może być umieszczone na panelu w taki sam sposób jak na obszarze. Na przykład:

Wybierz zakładkę *Obciążenia* i polecenie *Obciążenie rozłożone na obszarze*

Wprowadź parametry obciążenia i wybierz z paska *Obciążenie rozłożone na obszarze*.
Kliknij w dowolną ilość obszarów lub paneli obciążeniowych. Obciążenia zostaną do nich przyłożone.



4.10.13 Obciążenie śniegiem (moduł SWG)

Normy projektowe

Obciążenie od śniegu generowane jest w programie automatycznie wg wytycznych kilku norm krajowych i ich załączników. Normy dostępne w programie, według których możliwe jest automatyczne generowanie obciążenia śniegiem, wymienione są poniżej. Na liście wymienione są także normy krajowe, które służą jako podstawa do obliczeń w programie dla danej normy.

Eurokod ogólny	EN 1991-1-3:2003 (EC1-1-3) Eurokod 1 Oddziaływanie na konstrukcje Część 1-3 Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem
EC niemiecki	EN 1991-1-3:2003 DIN EN 1991-1-3/NA grudzień 2010
NTC włoski	EN 1991-1-3:2003 UNI EN 1991-1-3/NA lipiec 2007 NTC 2018
EC holenderski	EN 1991-1-3:2003 NEN EN 1991-1-3/NB listopad 2007
EC węgierski	EN 1991-1-3:2003 MSZ EN 1991-1-3:2005/NA czerwiec 2011
EC rumuński	CR 1-1-3/2012 zgodne z SR EN 1991-1-3
EC czeski	EN 1991-1-3:2003 CSN EN 1991-1-3/NA lipiec 2012
EC słowacki	EN 1991-1-3:2003 STN EN 1991-1-3/NA grudzień 2004
EC polski	EN 1991-1-3:2003 PN EN 1991-1-3/NA wrzesień 2005
EC duński	EN 1991-1-3:2003 EN 1991-1-3 DK NA listopad 2007
EC belgijski	EC 1991-1-3:2003 NBN EN 1991-1-3/ANB październik 2007
EC austriacki	EN 1991-1-3:2003 ÖNORM B 1991-1-3 wrzesień 2013
EC fiński	EN 1991-1-3:2003 SFS-EN 1990-1-3/NA listopad 2007
EC norweski	EN 1991-1-3:2003 NS-EN 1991-1-3/NA 2018
EC grecki	EN 1991-1-3:2003 ELOT EN 1991-1-3
Norma szwajcarska	SIA261:2020 Einwirkungen auf Tragwerke SIA261/1:2003 Ergänzende Festlegungen

Założenia Zakres stosowania

Możliwość stosowania algorytmu w programie ograniczona jest przez stosowalność specyfikacji normowych, na których ten algorytm bazuje. Poniżej znajduje się lista tych ograniczeń dla każdej normy ujętej w programie.

Eurokod ogólny

- Algorytm generuje obciążenie śniegiem na dachach budynków. Jego stosowanie nie jest zalecane na konstrukcje innego typu np.: mosty.
- Algorytm można stosować na różne typy geometrii dachów. Uwzględnia on wpływ przeszkód i zagłębień przy gromadzeniu się śniegu na panelach obciążeniowych przylegających do przeszkód i zagłębień. Algorytm nie uwzględnia wpływu lokalnego gromadzenia się śniegu na odległych (tj. nieprzylegających) panelach dachu. W związku z tym, nie jest zalecane stosowanie go dla dachów o skomplikowanej geometrii, gdzie spodziewane są efekty, mające znaczny wpływ na wartość charakterystyczną obciążenia śniegiem. Należy zwrócić uwagę, że takie przypadki obciążenia śniegiem nie są określone w EC1-1-3.

- Wysokość położenia nad poziomem morza budynku powinna być niższa niż 1500m.
- Uderzenie od śniegu, gdy śnieg odpadnie z wyższego dachu nie jest uwzględniane; obciążenie śniegiem zawsze klasyfikowane jest jako oddziaływanie statyczne.
- Obciążenie oblodzeniem nie jest uwzględniane.
- Obciążenie boczne (parcie) od śniegu nie jest uwzględniane.
- Wyjątkowe zaspy śnieżne jak w załączniku B nie są uwzględniane.
- Wyjątkowe obciążenie śniegiem nie jest uwzględniane.
- Zakłada się, że dach nie jest zabezpieczony przed zsuwaniem się śniegu.
- Lokalne gromadzenie się śniegu na dachu w sąsiedztwie wyższej budowli i mniejszych przeszkód jest brane pod uwagę.
- Obciążenie śniegiem barierek przeciwśnieżnych nie jest uwzględniane.
- Obciążeniem nawisem śnieżnym krawędzi jest uwzględniane.
- Program może wygenerować obciążenie śniegiem dla dowolnego okres powrotu.

EC niemiecki

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami / modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Metodologia dla dachów wielospadowych (5.3.4) nie jest zastosowana, ponieważ prowadzi do generowania niejednoznacznego obciążenia dla przypadków 3D.
- Uwzględniany jest taki sam rozkład wyjątkowego obciążenie od śniegu.

NTC włoski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy.

EC holenderski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami / modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Brak ograniczenia odnośnie do położenia powyżej 1500m n.p.m., ponieważ nie ma takich wysokości w Holandii.

EC węgierski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy.

EC rumuński

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy.

EC czeski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy.

EC słowacki

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy.
- Uwzględniany jest taki sam rozkład wyjątkowego obciążenie od śniegu.

EC polski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy.

EC duński

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy.

EC belgijski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami / modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Brak ograniczenia odnośnie do położenia powyżej 1500m n.p.m., ponieważ nie ma takich wysokości w Belgii.

EC austriacki

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy.
- Algorytm dostarcza wiarygodne wyniki tylko dla wysokości poniżej 1500 m n.p.m. Obciążenie śniegiem dla większych wysokości należy liczyć zgodnie z 5.1 EC1-1-3 NA.
- Wpływ paneli słonecznych zgodnie z Załącznikiem B w EC1-1-3 NA nie jest uwzględniany.
- Obszar oddziaływania dla obciążenia śniegiem założony jest jako większy niż $10m^2$. Dla elementów konstrukcyjnych o mniejszej powierzchni, których dotyczy obciążenie śniegiem, patrz 9.2.1.1 w EC1-1-3 NA i zastosuj zwiększoną wartość s_k do analizy.

- Zakłada się, że całkowita powierzchnia dachu jest mniejsza niż 2000m^2. Dla dachów o większej powierzchni, patrz 9.2.1.2 w EC1-1-3 NA i zastosuj odpowiednio zwiększoną wartość s_k do analizy.
- Wpływ krótkiego okapu (h < 0,5m) zgodnie z 9.2.1.3 w EC1-1-3 NA nie jest uwzględniany automatycznie. Wpływ ten może zostać uwzględniony za pomocą odpowiednio rozszerzonego modelu, który zawiera powierzchnię gruntu dookoła budynku jako poszerzenie dachu.
- Wpływ zagłębień zgodnie z 9.2.5.4 w EC1-1-3 NA nie jest uwzględniany.

EC fiński

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy.

EC norweski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy.
- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem obliczana jest wg NA 4.1, nawet dla wysokości ponad 1500m.
- Wyjątkowe obciążenie śniegiem nie jest uwzględniane.

EC grecki

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, ograniczenia tam przedstawione stosuje się również do tej normy.
- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem obliczana jest wg NA 4.1.

Norma szwajcarska

- Algorytm generuje obciążenie śniegiem na dachach budynków. Jego stosowanie nie jest zalecane na konstrukcje innego typu np.: mosty.
- Algorytm można stosować na różne typy geometrii dachów. Uwzględnia on wpływ przeszkód i zagłębień przy gromadzeniu się śniegu na panelach obciążeniowych przylegających do przeszkód i zagłębień. Algorytm nie uwzględnia wpływu lokalnego gromadzenia się śniegu na odległych (tj. nieprzylegających) panelach dachu. W związku z tym, nie jest zalecane stosowanie go dla dachów o skomplikowanej geometrii, gdzie spodziewane są efekty, mające znaczny wpływ na wartość charakterystyczną obciążenia śniegiem. Należy zwrócić uwagę, że takie przypadki obciążenia śniegiem nie są określone w SIA261.
- Wysokość położenia budynku powinna być niższa niż 2000m.
- Wyjątkowe obciążenie śniegiem nie jest uwzględniane.
- Zakłada się, że dach nie jest zabezpieczony przed zsuwaniem się śniegu.
- Lokalne gromadzenie się śniegu na dachu w sąsiedztwie wyższej budowli i mniejszych przeszkód jest brane pod uwagę.
- Nawis śnieżny na krawędzi dachu jest uwzględniany.
- Program może uwzględnić wpływ barierek przeciwśnieżnych
- Zgodnie z ustawieniami, program oblicza zwiększone obciążenie śniegiem dużych połaci o małym nachyleniu. Jeżeli zaznaczona została opcja Wg największego wymiaru, to wielkość odniesienia musi zostać podana przez użytkownika. W takim przypadku zwiększone obciążenie śniegiem uwzględniane jest na każdym panelu obciążeniowym. Jeżeli zaznaczona została opcja Wg przylegających paneli obc., program przeanalizuje wielkość i geometrię grupy paneli. Zwiększone obciążenie śniegiem uwzględniane jest wtedy oddzielnie na podstawie geometrii danej grupy paneli. Opcja działa tylko dla grup obciążeń, które mają kształt prostokątny lub okrągły.

Szczegóły obliczeń

Metodyka obliczeń obciążeń śniegiem wyjaśniona jest poniżej dla każdej normy zawartej w programie.

Eurokod ogólny

- Przyjmuje się zalecane wartości normowe, chyba że zostaną one zdefiniowane przez użytkownika. Nie zakłada się żadnych zaleceń z Załączników Krajowych.
- Współczynniki dla wartości kombinacyjnej, częstej i quasi-stałej obciążenia śniegiem, brane są z Tabeli 4.1 EC1-1-3.
- Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu powinna zostać określona przez użytkownika.
- Obciążenie śniegiem na dachu obliczane jest za pomocą równania (5.1) z EC1-1-3.
- Współczynnik ekspozycji bazuje na podstawie wybranej przez użytkownika topografii. Wartość Ce, które odnoszą się do poszczególnych typów topografii, pobierane są z Tabeli 5.1 EC1-1-3.
- Współczynnik termiczny przyjmowany jest domyślnie równy 1.0 i powinien zostać zmodyfikowany przez użytkownika, jeżeli użycie innej wartości jest uzasadnione.
- Współczynnik kształtu dachu do obciążenia śniegiem dachów składających się z płaskich paneli obliczany jest zgodnie z pkt. 5.3.1 – 5.3.4 w EC1-1-3.

- Współczynniki kształtu dachu dla przypadku obciążenia bez nawiewania bazują na μ1 z Tablicy 5.2 w EC1-1-3. Każdy panel posiada swoją własną wartość μ1, która obliczana jest na podstawie nachylenia panelu.
- Współczynniki kształtu dachu dla przypadku obciążenia z nawiewaniem bazują na μ2 z Tablicy 5.2. Współczynniki μ2 dla zagłębień obliczane są zgodnie z rys. 5.4 w EC1-1-3, wykorzystując nachylenie połączonych paneli dachowych w kierunku działania wiatru danego przypadku obciążenia śniegiem z nawiewaniem. (np. poziome zagłębienie w kierunku X nie spowoduje w rezultacie gromadzenia się śniegu, gdy wiatr wieje w kierunku X, ponieważ nachylenie połączonych paneli dachowych po kierunku X wynosi 0o.) Jeżeli na dachu nie ma zagłębień, to obciążenie śniegiem dla przypadku z nawiewaniem przyjmuje się zgodnie z rys. 5.3 EC1-1-3. Zmniejszona wartość obciążenia od śniegu przyjmowana jest zawsze po stronie nawietrznej dachu.
- Współczynniki kształtu dachu dla dachów walcowych obliczane są zgodnie z rozdz. 5.3.5 w EC1-1-3. W celu uzyskania zadowalającej dokładności dla kształtu dachu, zalecane jest przybliżenie jego kształtu za pomocą co najmniej 20 płaskich segmentów.
- Wpływ wyższych obiektów budowlanych i przeszkód na dachu uwzględniany jest zgodnie rozdz. 5.3.6 i 6.2 EC1-1-3. Ich wpływ jest brany pod uwagę tylko dla przypadków obciążeń z nawiewaniem. Zakłada się, że śnieg jest nawiewany tylko, gdy ściana lub przeszkoda leży nierównolegle do kierunku działania wiatru.
- Obciążenie nawisem śnieżnym na krawędzi dachu jest uwzględniany zgodnie z rozdz. 6.3 w EC1-1-3
- Obciążenie śniegiem odpowiadające niestandardowemu okresowi powrotu obliczane jest zgodnie z procedurą w EC1-1-3 załącznik D.

EC niemiecki

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, postępowanie tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem gruntu obliczana jest automatycznie na podstawie 4.1 NA EC1-1-3, wykorzystując podział na strefy i wysokość nad poziomem morza określone przez użytkownika.
- Wyjątkowe obciążenie śniegiem jest generowane. Przyjmuje się domyślną wartość śniegu dla wyjątkowej sytuacji obciążeniowej, równą 2.0, ale wartość ta powinna zostać zastąpiona przez użytkownika odpowiednią wartością dla rejonu północnych Niemiec, zgodnie z 4.3 NA EC1-1-3.
- Wpływ wyższych obiektów obliczany jest zgodnie z 5.3.5 NA EC1-1-3.

NTC włoski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, postępowanie tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami / modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem gruntu obliczana jest automatycznie na podstawie 4.1 NA EC1-1-3, wykorzystując podział na strefy i wysokość nad poziomem morza określone przez użytkownika.
- Wartość współczynnika ekspozycji określana jest na podstawie 5.2 (7) NA EC1-1-3.

EC holenderski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, postępowanie tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami / modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem gruntu przyjmowana jest jako wartość 0.7 kN/m^2, zgodnie z 4.1 (1) NA EC1-1-3.
- Współczynniki dla wartości kombinacyjnej, częstej i quasi-stałej obciążenia śniegiem, przyjmowane są odpowiednio jako 0.0, 0.2 i 0.0, zgodnie z 4.2 (1) NA EC1-1-3.

EC węgierski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, postępowanie tam przedstawione stosuje się również do tej normy.

EC rumuński

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, postępowanie tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami / modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem gruntu obliczana jest automatycznie na podstawie 3.1 CR 1-1-3, wykorzystując wartość podstawową s_k i wysokość nad poziomem morza określone przez użytkownika.
- Obciążenie śniegiem na dach obliczane jest zgodnie z równaniem (4.1) CR 1-1-3.
- Współczynnik ważności powinien być wybrany przez użytkownika. Lista zalecanych wartości bazuje na Tablicy 4.2 CR 1-1-3.

- Współczynniki dla wartości kombinacyjnej, częstej i quasi-stałej obciążenia śniegiem, przyjmowane są odpowiednio jako 0.7, 0.5 i 0.4, zgodnie z Tablicą 4.4 CR 1-1-3.

EC czeski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, postępowanie tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami / modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem gruntu bazuje na mapie przytoczonej w 2.7 NA EC1-1-3 (www.snehovamapa.cz).
- Współczynniki kształtu dachu dla dachów walcowych obliczane są zgodnie z 2.19 i rysunkiem NA.1 w NA EC1-1-3.
- Wpływ wyższych obiektów brany jest pod uwagę zgodnie z 2.20 NA EC1-1-3 przy założeniu $b_{1,s} = 0.5b_1$.

EC polski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, postępowanie tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami / modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem gruntu obliczana jest automatycznie na podstawie 1.7, Rysunku 1 i Tabeli 1 NA EC1-1-3, wykorzystując podział na strefy i wysokość nad poziomem morza określone przez użytkownika.

EC duński

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, postępowanie tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami / modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem gruntu przyjmowana jest jako wartość 0.9 kN/m^2, zgodnie z 4.1 (1) NOTE 1 w NA EC1-1-3.
- Współczynniki kształtu dachu dla dachów walcowych obliczane są zgodnie z 5.3.3 (3) NA EC1-1-3.

EC belgijski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, postępowanie tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami / modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem gruntu obliczana jest automatycznie na podstawie 4.1 (1) w NA EC1-1-3 z funkcji uwzględniającej wysokość n.p.m. określoną przez użytkownika.
- wykorzystując podział na strefy i wysokość nad poziomem morza określone przez użytkownika.
- Współczynniki kombinacyjne dla kombinacji częstej i quasi-stałej zgodnie z EC1-1-3 NA 4.2(1).
- Współczynnik ekspozycji i termiczny przyjmowany jest równy 1 zgodnie z przepisami EC1-1-3 NA 5.2 (7) oraz (8).
- W przypadku oddziaływania związanego z sąsiedztwem wyższego budynku, górna granica μw wynosi 2.0 jak w przypadku EC1-1-3 NA 5.3.6 (1).
- Oddziaływanie od nawisów śnieżnych nie jest uwzględniane (EC1-1-3 NA 6.3).

EC austriacki

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, postępowanie tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami / modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem gruntu obliczana jest automatycznie na podstawie równania (C.1) w EC1-1-3 NA wykorzystując strefę i wysokość określoną przez użytkownika.
- Współczynniki kształtu dla dachów wielopołaciowych obliczane są zgodnie z 9.2.3 w EC1-1-3 NA.
- Współczynniki kształtu dla dachów sklepionych obliczane są zgodnie z 9.2.4.3 w EC1-1-3 NA.
- Modyfikacje dla obliczeń wpływu wyższej konstrukcji z 9.2.5 w EC1-1-3 NA są brane pod uwagę.

EC fiński

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, postępowanie tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami / modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem gruntu określana jest przez użytkownika na podstawie mapy Rys. 4.1 w EC1-1-3 NA.
- Współczynnik ekspozycji bazuje na EC1-1-3 NA Tabela 5.1
- Rozkład obciążenia śniegiem na dachach walcowych obliczany jest zgodnie z EC1-1-3. Wyjątkowy rozkład obciążeń przedstawiony na rys. 5.6 EC1-1-3 NA nie jest stosowany. Mógłby on prowadzić do znacznych błędów dachów walcowych o niskiej wyniosłości.

- Modyfikacje do wyznaczania wpływu pracy wyższych konstrukcji wg 5.3.6(1) EC1-1-3 NA są uwzględniane. Zakłada się, że powierzchnia dachu przekracza $6m^2$.

EC norweski

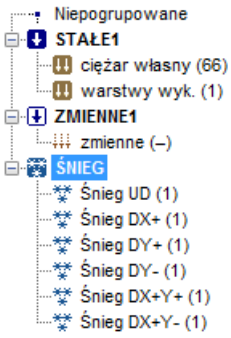
- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, postępowanie tam przedstawione stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami / modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Rozkład obciążenia od nawiewania dla dachów walcowych obliczany jest wg NA 5.3.5, ale specjalne przypadki dla lokalnego obciążenia śniegiem wzdłuż okapów nie są generowane.
- Wyznaczanie obciążenia śniegiem dachów przylegających do wyższych konstrukcji nie uwzględnia przypadku II z NA 5.3.6(1).

Norma szwajcarska

- Wartości zalecane przyjmowane są dla wszystkich współczynników, o ile nie zostaną one określone przez użytkownika.
- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem gruntu obliczana jest automatycznie na podstawie wysokości odniesienia. Wysokość odniesienia powinna zostać określona przez użytkownika na podstawie mapy z Załącznika D.
- Obciążenie śniegiem na dach obliczane jest zgodnie z równaniem (9) SIA261.
- Współczynnik ekspozycji bazuje na podstawie wybranej przez użytkownika topografii. Wartość C_e, które odnoszą się do poszczególnych typów topografii, bazują na wartościach z 5.2.4 SIA261.
- Współczynnik termiczny przyjmowany jest domyślnie równy 1.0 i powinien zostać zmodyfikowany przez użytkownika, jeżeli użycie innej wartości jest uzasadnione.
- Współczynniki kształtu dachu obliczane są zgodnie z rozdziałem 5.3 i Rysunkiem 2 oraz 3 z SIA261. Każdy panel posiada swoją własną wartość μ, która obliczana jest na podstawie nachylenia panelu.
- Współczynniki kształtu dachu μ_2 dla zagłębień obliczane są zgodnie z drugą kolumną Rysunku 3 z SIA261, wykorzystując nachylenie połączonych paneli dachowych w kierunku działania wiatru danego przypadku obciążenia śniegiem z nawiewaniem. (np.: zagłębienie w kierunku X nie spowoduje w rezultacie gromadzenia się śniegu, gdy wiatr wieje w kierunku X, jeżeli nachylenie połączonych paneli dachowych po kierunku X wynosi 0°.) Jeżeli na dachu nie ma zagłębień, to brane są pod uwagę ustalenia z pierwszej kolumny Rysunku 3 z SIA261 dla warunków z nawiewaniem. Zmniejszona wartość obciążenia od śniegu przyjmowana jest zawsze po stronie nawietrznej dachu.
- Współczynniki kształtu dachu dla dachów walcowych obliczane są zgodnie z trzecią kolumną Rysunku 3 z SIA261.
- Wpływ wyższych obiektów budowlanych i przeszkód na dachu uwzględniany jest zgodnie z 5.3.6 w SIA261, biorąc pod uwagę zalecane wartości ciężaru śniegu z 5.4.1 SIA261. Powyższe wpływy brane są pod uwagę tylko dla przypadków obciążeń z nawiewaniem. Zakłada się, że śnieg jest nawiewany tylko, gdy ściana lub przeszkoda leży nierównolegle do kierunku działania wiatru.
- Zwiększone obciążenie śniegiem dla dużych przekryć o małym nachyleniu obliczane jest wg 5.3.5 z SIA261.
- Oddziaływanie nawisów śnieżnych jest uwzględniane zgodnie z 6.3 EC1-1-3

Stosowanie

Poniższy paragraf wyjaśnia stosowanie modułu do automatycznego generowania obciążenia śniegiem.



Aby przyłożyć obciążenie od śniegu, należy najpierw kliknąć na ikonę *Przypadki i grupy obciążeń* i zdefiniować przypadek obciążenia śniegiem, klikając na przycisk przypadek obciążenia śniegiem. Grupa obciążeń od śniegu zostanie utworzona automatycznie. Grupa wyjątkowych obciążeń od śniegu zostanie również utworzona, jeżeli sprawdzenie takiej wyjątkowej sytuacji obliczeniowej jest wymagane i dostępne w danej normie projektowe.

Tymczasowy przypadek obciążenia od śniegu zostanie automatycznie utworzony w grupie *Śnieg*. Przypadek ten jest później zastępowany przez wygenerowane przypadki obciążeń od śniegu, po określeniu parametrów dla tego obciążenia. Algorytm obsługuje zarówno przypadki bez nawiewania jak i z nawiewaniem śniegu. Uwzględniane są kierunki wiatru X+, X–, Y+, Y– oraz $45°+n*90°$ (gdzie n = 0, 1, 2, 3).

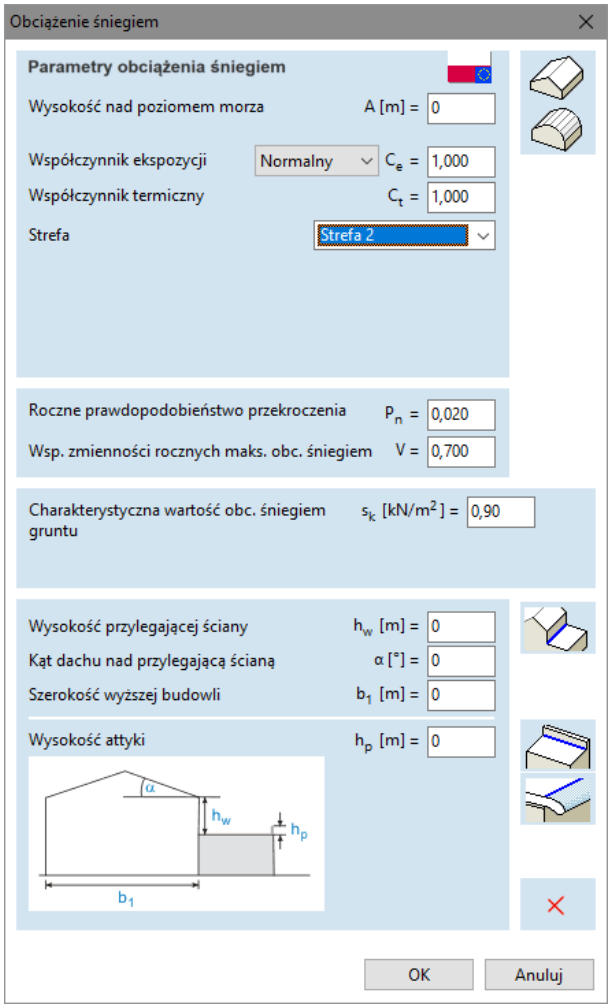
Zobacz więcej szczegółów oraz konwencję nazewnictwa w *4.10.1 Przypadki obciążeń, grupy obciążeń.*

Aby ustawić parametry obciążeń od śniegu, należy wybrać jeden z przypadków obciążenia śniegiem jako bieżący przypadek obciążenia. Spowoduje to aktywowanie ikony obciążenia śniegiem na zakładce *Obciążenia*.

Jeżeli nie utworzono wcześniej żadnych paneli obciążeniowych, należy narysować panele zgodnie z rozdziałem *4.10.12 Panele obciążeniowe*.

Aby wprowadzić parametry obciążenia śniegiem należy kliknąć na ikonę obciążenia śniegiem w zakładce *Obciążenia*.
Okno dialogowe parametrów umożliwi wybranie paneli dachu połaciowego (lub też płaskiego) lub dachu walcowego dla obciążenia śniegiem i ustawienie parametrów tego obciążenia.

Parametry obciążenia śniegiem



Do paneli obciążeniowych można przypisać dwa typy dachów. Należy kliknąć na ikonę i wybrać panele należące do dachu.

Dach połaciowy (lub płaski)

Dach walcowy

Parametry obciążenia śniegiem:

Wysokość nad poziomem morza
Charakterystyczne obciążenie śniegiem gruntu zależy od regionu klimatycznego i wysokości bezwzględnej terenu. Większa wysokość generalnie oznacza większe obciążenie. Program oblicza wartość obciążenia śniegiem na podstawie parametrów.

Współczynnik ekspozycji
W zależności od warunków topografii, współczynnik ekspozycji może być ustawiony na wartość inną niż 1.0 (wystawiony na działanie wiatru; normalny; osłonięty od wiatru lub inny). Można również określić niestandardową wartość C_e. W takim przypadku program zapyta o potwierdzenie, a następnie wykorzysta wartość zdefiniowaną przez użytkownika do obliczeń intensywności obciążenia śniegiem oraz wyjątkowego obciążenia śniegiem.

Współczynnik termiczny
Współczynnik termiczny C_t można ustawić na inną wartość niż 1.0 tylko, jeżeli inżynier przeprowadził obliczenia przenikania ciepła dla dachu (straty ciepła mogą powodować topnienie śniegu). W takim przypadku program zapyta o potwierdzenie, a następnie wykorzysta podaną wartość.

Współczynnik dla wyjątkowego obciążenia śniegiem
W krajach, w których norma projektowa wymaga sprawdzenia wyjątkowych obciążeń śniegiem, obliczana jest intensywność wyjątkowego obciążenia przez przemnożenie zwykłej intensywności przez C_{esl}. Można również wprowadzić wartości zdefiniowane przez użytkownika. W takim przypadku program zapyta o potwierdzenie i wykorzysta podaną wartość.

Strefa
W krajach, w których charakterystyczne obciążenie śniegiem zależy od lokalizacji geograficznej, załącznik krajowy dzieli obszar kraju na strefy. Wybrana strefa wpływa na charakterystyczne obciążenie śniegiem.

Współczynnik ważności
Współczynnik ważności można wprowadzić w zależności od kwalifikacji budynku, jeżeli jest wymagany przez normę projektową. Można również użyć wartości niestandardowych, które po zatwierdzeniu zostaną zastosowane.

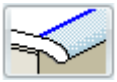
Roczne prawdopodobieństwo przekroczenia
oraz
Współczynnik zmienności rocznych maksymalnych obc. śniegiem
Wartości z tych pól służą do obliczenia obciążenia śniegiem dla niestandardowego okresu powrotu. Domyślne wartości odnoszą się do normowego okresu powrotu wynoszącego 50 lat.

Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem gruntu
AxisVM oblicza wartości s_k i s_{Ad} na podstawie powyższych parametrów. Można je zastąpić wartością podaną przez użytkownika, ale w takim przypadku zmiana powyższych parametrów nie będzie już wpływała na tę wartość.

AxisVM oblicza współczynniki kształtu dachów przylegających i będących w bliskiej odległości do wyższych konstrukcji lub posiadających attykę, która działa jak przeszkoda. Może także uwzględnić oddziaływanie na krawędziach dachu nawisów śnieżnych.
Parametry przechowywane są razem z krawędziami, więc różne krawędzie dachów mogą posiadać różne parametry.

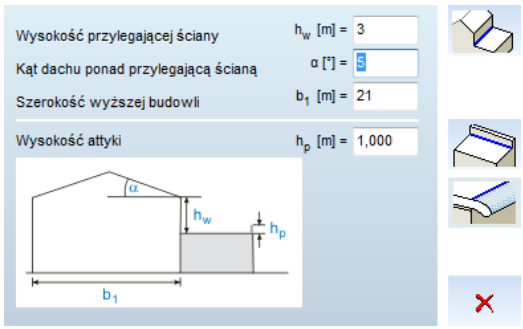
Wybierz krawędź ściany przylegającej
Aby zdefiniować krawędzie dachu z przylegającymi ścianami, należy wprowadzić parametry h_w, α, b_1, a następnie kliknąć na tę ikonę, aby wybrać odpowiednie linie.

Wybierz krawędź attyki
Aby zdefiniować attyki, należy wprowadzić parametr h_p, a następnie kliknąć na drugą ikonę, aby wybrać odpowiednie linie.



Krawędzie dachu z nawisem śnieżnym
Kliknij w ikonę, aby wybrać krawędzie dachu, na które oddziałuje nawis śnieżny.

Usuń
Właściwości przypisane do danych krawędzi można usunąć klikając na ikonę Usuń i wybierając je.

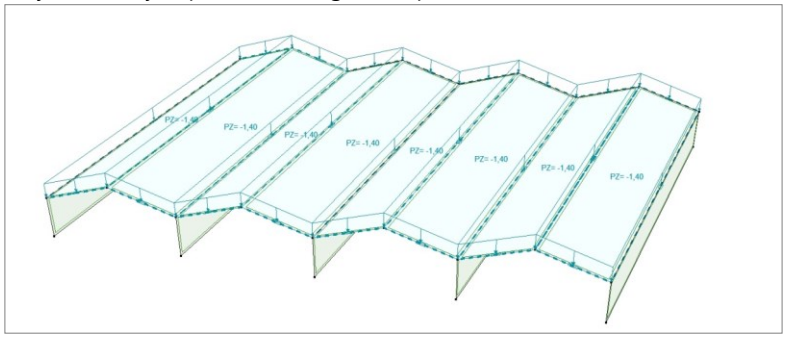


Wysokość przylegającej ściany [m]
h_w to wysokość przylegającej ściany do poziomu dachu

Kąt dachu ponad przylegającą ścianą
α to kąt dachu nad przylegającą ścianą. Decyduje o ilości śniegu spadającego z wyższego dachu.

Szerokość wyższej budowli
b_1 to szerokość wyższej konstrukcji mierzona prostopadle do ściany.

Wysokość attyki
h_p to wysokość attyki lub innych przeszkód względem poziomu dachu.



4.10.14 Obciążenie wiatrem (moduł SWG)

Normy

Obciążenie od wiatru generowane jest w programie automatycznie wg wytycznych kilku norm krajowych i ich załączników. Normy dostępne w programie, według których możliwe jest automatyczne generowanie obciążenia wiatrem, wymienione są poniżej. Na liście wymienione są także normy krajowe, które służą jako podstawa do obliczeń w programie dla danej normy.

Eurokod ogólny	EN 1991-1-4:2005 (EC1-1-4) Eurokod 1 Oddziaływanie na konstrukcje Część 1-4 Oddziaływania ogólne – Obciążenie wiatrem
EC niemiecki	EC 1991-1-4:2005 DIN EN 1991-1-4/NA grudzień 2010
NTC włoski	EC 1991-1-4:2005 UNI EN 1991-1-4/NA lipiec 2007 NTC 2018
EC holenderski	EC 1991-1-4:2005 NEN EN 1991-1-4/NB listopad 2007
EC węgierski	EC 1991-1-4:2005 MSZ EN 1991-1-4/NA czerwiec 2011
EC rumuński	CR 1-1-4/2012 zgodne z SR EN 1991-1-4
EC czeski	EC 1991-1-4:2005 CSN EN 1991-1-4/NA lipiec 2013
EC słowacki	EC 1991-1-4:2005 CSN EN 1991-1-4/NA lipiec 2013
EC belgijski	EC 1991-1-4:2005 NBN EN 1991-1-4/ANB grudzień 2010
EC polski	EC 1991-1-4:2005 PN EN 1991-1-4/NA październik 2008
EC duński	EC 1991-1-4:2005 EN 1991-1-4 DK NA listopad 2007
EC austriacki	EN 1991-1-4:2005 ÖNORM B 1991-1-4 maj 2013
EC fiński	EN 1991-1-4:2005 SFS-EN 1991-1-4/NA listopad 2007
EC norweski	EN 1991-1-4:2005 SN-EN 1991-1-4/NA 2009
EC grecki	EN 1991-1-4:2005 ELOT EN 1991-1-4
Norma szwajcarska	SIA261:2020 Einwirkungen auf Tragwerke SIA261/1:2003 Ergänzende Festlegungen

Założenia
Zakres stosowania

Możliwość stosowania algorytmu w programie ograniczona jest przez stosowalność specyfikacji normowych, na których ten algorytm bazuje. Poniżej znajduje się lista tych ograniczeń dla każdej normy ujętej w programie.

Eurokod ogólny

- Algorytm pozwala wyznaczyć obciążenie od wiatru dla budynków na rzucie prostokątnym, wiat na rzucie prostokątnym, wolnostojących ścian i tablic. Przez budynki rozumiane są konstrukcje z pustą przestrzenią wewnątrz otoczone zamkniętą linią ścian i przykryte dachem.
- Algorytm obsługuje następujące typy dachów: płaski, jednospadowy, dwuspadowy, czterospadowy, walcowy.
- Algorytm obsługuje następujące typy dachów wiat: jednospadowe, dwuspadowe.
- Wysokość i szerokość budynku nie powinna przekraczać 200m.

- Globalne oddziaływanie od wiatru wyznaczane jest na konstrukcję. W związku z tym współczynniki ciśnienia obliczane są przy założeniu obciążonej powierzchni przynajmniej 10m2 w przypadku budynków. Obciążenie wiatrem na wiaty i elementy wolnostojące bazuje na współczynnikach siły.
- Wpływ sąsiednich konstrukcji i przeszkód przyjmuje się jako nieistotny.
- Przy obliczaniu współczynników ciśnienia wewnętrznego przyjmuje się, że budynek nie ma dominującego otworu zewnętrznego. Ciśnienie wewnętrzne jest obliczane tylko dla budynków.
- Współczynnik konstrukcyjny cscd przyjmowany jest równy 1.0 (odpowiednie ograniczenia jego zastosowania podano w 6.2 (1) EC1- 1-4).
- Wpływ oblodzenia i śniegu przyjmuje się jako nieistotny.

EC niemiecki

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej
- wysokość budynku < 300m
- wysokość położenia n.p.m. < 1100m

NTC włoski

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej
- wysokość położenia n.p.m. < 1500m

EC holenderski

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy

EC węgierski

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy

EC rumuński

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej
- wysokość położenia n.p.m. < 1000m (dla budynków położonych w południowo-zachodnim Banat i w obszarach powyżej 1000m wymagana jest szczególna uwaga, a podstawowa prędkość wiatru powinna zostać określona przez użytkownika)

EC czeski

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy

EC słowacki

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy

EC belgijski

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy

EC polski

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy

EC duński

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy

EC austriacki

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy

EC fiński

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy

EC norweski

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy

EC grecki

- ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy

Norma szwajcarska

- algorytm ma zastosowanie tylko do budynków o rzucie prostokąta jako dla wewnętrznej pustej przestrzeni otoczonej ścianami i przykrytej dachem
- współczynniki ciśnienia obliczane są zgodnie z EC1-1-4; uwzględnione są następujące rodzaje dachów: płaski, jednospadowy, dwuspadowy, czterospadowy i łukowy
- wysokość budynku < 200m
- oddziaływanie wiatru jest obliczane dla ogólnej konstrukcji nośnej, dlatego zakłada się wielkość powierzchni obciążanej nie mniejszą niż $10m^2$
- zakłada się, że wpływ tarcia wiatru jest nieznaczny
- zakłada się, że wpływ konstrukcji sąsiednich i przeszkód jest nieznaczny
- zakłada się, że budynek nie posiada dominującej strony

Szczegóły obliczeń

Metodyka obliczeń obciążeń wiatrem wyjaśniona jest poniżej dla każdej normy zawartej w programie.

Eurokod ogólny

- Przyjmuje się zalecane wartości normowe, chyba że zostaną one zdefiniowane przez użytkownika. Nie zakłada się żadnych dodatkowych zaleceń z Załączników Krajowych.
- Podstawowa prędkość wiatru obliczana jest z równania (4.1) w 4.2 (2) EC1-1-4.
- Chropowatość terenu obliczana jest z równania (4.4) w 4.3.2 (1) EC1-1-4.
- Rzeźba terenu (orografia) brana jest pod uwagę za pomocą współczynnika orografii c0, który powinien zostać obliczony przez użytkownika.
- Średnia prędkość wiatru obliczana jest z równania (4.3) w 4.3.1 (1) EC1-1-4.
- Wartość turbulencji wiatru obliczana jest z równania (4.7) w 4.4 (1) EC1-1-4.
- Wysokość odniesienia obliczana jest zgodnie z 7.2.2 (1) EC1-1-4.
- Wartość szczytowa ciśnienia prędkości obliczana jest z równania (4.8) w 4.5 (1) EC1-1-4.
- Współczynniki ciśnienia dla ścian budynków obliczane są zgodnie z 7.2.2 (2) EC1-1-4. Z powodu konserwatywnego założenia, nie jest brany pod uwagę brak korelacji pomiędzy ciśnieniem wiatru między nawietrzną i zawietrzną stroną.
- Współczynniki ciśnienia zewnętrznego dla dachów budynków obliczane są zgodnie z 7.2.3 – 7.2.6 i 7.2.8 EC1-1-4.
- Współczynniki ciśnienia wewnętrznego obliczane są albo na podstawie wartości μ (ustalonej z równania (7.3) w EC1-1-4 i podanej przez użytkownika) z Rysunku 7.13 EC1-1-4 albo wartości c_{pi} zdefiniowanej przez użytkownika. Jeżeli użytkownik nie określi wartości μ ani c_{pi}, zostaną uwzględnione dwie różne wartości: c_{pi} = +0.2 i c_{pi} = -0.3, zgodnie z 7.2.9 (6) Uwaga 2 EC1-1-4.
- Efekty skręcania obliczane są zgodnie z 7.1.2 EC1-1-4.
- Ciśnienie działające od spodu na wystające połacie dachu jest ustalane zgodnie z EC 1-1-4 7.2.1 jako ciśnienie z bezpośrednio dochodzących ścian.
- Obciążenie wiatrem na wiaty obliczane jest wg 7.3 EC1-1-4. Generowane obciążenie rozłożone jest kompatybilne ze współczynnikami ciśnienia dla stref A, B, C, D i tworzy obciążenie wiatrem o wielkości i położeniu określonym przez ogólny współczynnik siły.
- Obciążenie wiatrem ścian wolnostojących wyznaczane jest wg 7.4.1-7.4.2 EC1-1-4.
- Obciążenie wiatrem tablic wyznaczane jest wg 7.4.3 EC1-1-4.
- Oddziaływanie od tarcia wiatru określane jest wg 7.5 EC1-1-4

EC niemiecki

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Podstawowa prędkość wiatru na podstawie Rysunku NA A.1 EC1-1-4. Wysokość położenia n.p.m. uwzględniana jest zgodnie z A.2 NA EC1-1-4.
- Średnia prędkość wiatru i turbulencje od wiatru obliczane są zgodnie z Tabelą NA B.2 EC1-1-4.
- Szczytowa wartość ciśnienia prędkości wiatru obliczana jest zgodnie z równaniem NA B.11 w NA B.4.1 (4) EC1-1-4.
- Współczynniki ciśnienia dla ścian obliczane są zgodnie z Tabelą NA.1 w NA EC1-1-4.
- Współczynniki ciśnienia dla dachów płaskich są zmodyfikowane zgodnie z 7.2.3 NA EC1-1-4.

NTC włoski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Podstawowa prędkość wiatru obliczana jest z użyciem parametrów z Tabeli NA.1 w NA EC1-1-4.
- Chropowatość terenu obliczana jest z 3.3.7 NTC 2018.
- Rozkład obciążeń od wiatru na ściany smukłych budynków nie jest zmienna jak w EC1-1-4, ale równomierna, tak jak określono w przepisach w 3.3 NTC 2018.
- Współczynniki ciśnienia dla ścian bazują na Tablicy IV w 3.3 NTC 2018.
- Geometria stref obciążenia oraz odpowiadające im współczynniki ciśnienia dla dachów bazują na 3.3 NTC 2018.
- Globalne współczynniki ciśnienia wg NTC 2018 nie są uwzględniane.
- Automatyczne obliczenia ciśnienia wewnętrznego bazuje na 3.3 NTC 2018, przyjmując c_{pi} = ±0.2.

EC holenderski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Podstawowa prędkość wiatru bazuje na strefach zgodnie z Rysunkiem NB.1 i odpowiednimi wartościami w Tabeli NB.1 w NA EC1-1-4.
- Chropowatość terenu obliczana jest z równania (4.5) i Tabeli 4.1 w NA EC1-1-4.
- Współczynniki ciśnienia dla ścian obliczane są zgodnie z Tabelą 7.1 w NA EC1-1-4. Brak zależności pomiędzy ciśnieniem na stronie nawietrznej i zawietrznej jest zawsze uwzględniony poprzez przemnożenie wartości ciśnienia przez 0.85.
- Współczynniki ciśnienia zewnętrznego dla dachów obliczane są zgodnie z Tabelami 7.2, 7.3a, 7.3b, 7.4a, 7.4b i 7.5 EC1-1-4 NA.

EC węgierski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Podstawowa prędkość wiatru jest przyjmowana jako 23.6 m/s, zgodnie z NA4.1 EC1-1-4.
- Zalecana wartość c_{dir} = 0.85 przyjmowana jest zgodnie z NA4.2 EC1-1-4.

EC rumuński

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Podstawowa prędkość wiatru obliczana jest na podstawie równania (2.2) i Rysunku 2.1 w NA EC1-1-4.
- Współczynnik ważności jest uwzględniany podczas obliczania wartości ciśnienia wiatru zgodnie z równaniem (3.1) i (3.2) w NA EC1-1-4.

EC czeski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Podstawowa prędkość wiatru bazuje na wartości z mapy wiatrowej Republiki Czeskiej na Rysunku NA.4.1 w NA EC1-1-4.

EC słowacki

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Podstawowa prędkość wiatru obliczana jest wg Tablicy EC1-1-4 NA NB1.
- Współczynniki ciśnienia zewnętrznego dla dachów zmodyfikowane są wg EC1-1-4 NA 2.27-2.30.

EC belgijski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Podstawowa prędkość wiatru bazuje na wartości z mapy wiatrowej Belgii na Rysunku 4.3 w NA EC1-1-4.
- Współczynniki c_{dir} i c_{season} o wartościach zalecanych przez NA EC1-1-4 mogą zostać uwzględnione przez użytkownika, ale domyślną wartością dla nich jest 1.0.
- Współczynnik turbulencji k_1 obliczany jest zgodnie z 4.4 w NA EC1-1-4.

EC polski

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Podstawowa prędkość wiatru obliczana jest zgodnie z Tabelą NA.1 w NA EC1-1-4.
- Współczynniki c_{dir} o wartościach zalecanych przez Tabelę NA.2 w NA EC1-1-4 mogą zostać uwzględnione przez użytkownika, ale domyślną wartością dla nich jest 1.0.
- Chropowatość terenu obliczana jest z Tabeli NA.3 w NA EC1-1-4.

EC duński

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Podstawowa prędkość wiatru przyjmowana jest 24m/s zgodnie z 4.1 (1)P w NA EC1-1-4. Inne wartości (jak dla obszarów bliższych niż 25km od linii brzegowej morza Północnego) powinny zostać określone przez użytkownika.
- Współczynniki c_{dir} i c_{season} o wartościach zalecanych przez 4.2 (2)P w NA EC1-1-4 mogą zostać uwzględnione przez użytkownika, ale domyślną wartością dla nich jest 1.0.

EC austriacki

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Podstawowa prędkość wiatru (q_b) powinna zostać określona przez użytkownika na podstawie Załącznika A EC1-1-4 NA.

- Szczytowa wartość ciśnienia prędkości wiatru obliczana jest zgodnie z Tabelą 1 w EC1-1-4 NA.
- Uproszczone metody obliczeniowe współczynników ciśnienia z EC1-1-4 NA nie są stosowane. Współczynniki ciśnienia obliczane są za każdym razem za pomocą bardziej dokładnych, złożonych metod.
- Współczynniki ciśnienia dla ścian obliczane są zgodnie z Tabelą 3a, 3b i 4 EC1-1-4 NA.
- Strefy F i G nie są stosowane dla dachów, kiedy ich powierzchnia kumulacyjna jest mniejsza niż 20% całkowitej powierzchni dachu, zgodnie z 9.2 EC1-1-4 NA.

EC fińska

- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Podstawowa prędkość wiatru dla różnych regionów kraju bazuje na 4.2(1)P EC1-1-4 NA.
- Unikalna wartość k_r z 4.3.2(1) EC1-1-4 NA jest uwzględniana, gdy obliczona została chropowatość terenu.

EC norweski

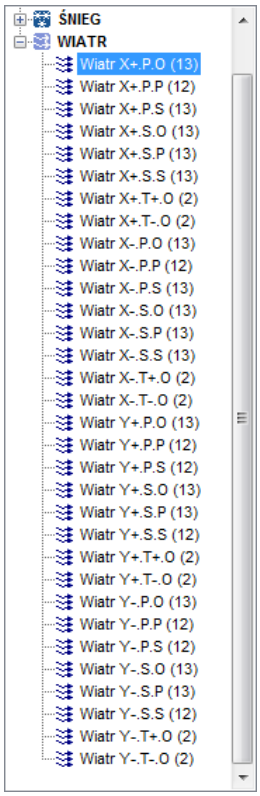
- Ponieważ obliczenia bazują na ogólnej normie Eurokod, zakres tam przedstawiony stosuje się również do tej normy z rozszerzeniami/modyfikacjami wymienionymi poniżej.
- Podstawowa wartość bazowej prędkości wiatru (v_{b0}) powinna zostać określona przez użytkownika.
- Podstawowa prędkość wiatru obliczana jest z uwzględnieniem współczynnika c_{alt}. Współczynnik wysokości nad poziomem morza powinien zostać określony przez użytkownika. Domyślna jego wartość wynosi 1.
- Współczynnik turbulencji (k_I) może zostać ustawiony indywidualnie. Domyślną jego wartością jest 1. Współczynnik turbulencji jest niezbędny do obliczenia intensywności turbulencji $I_v(z)$.
- Przy obliczaniu współczynnika chropowatości terenu, moduł bierze pod uwagę specyfikacje dla kr, z0, zmin określone w EC1-1-4 NA 4.3.2 (1).
- W przypadku dachów walcowych i kopuł uwzględniane są specyfikacje wg strefy G oraz F z NA 7.2.8 (1).
- Specjalne przypadki opisane w NA 4.3.2 (2) oraz NA 4.3.3 nie są obsługiwane przez ten moduł.

Norma szwajcarska

- Wartości zalecane przyjmowane są dla wszystkich współczynników, o ile nie zostaną one określone przez użytkownika.
- Podstawowa prędkość ciśnienia wiatru (qp0) powinna zostać określona przez użytkownika na podstawie Załącznika E do SIA261.
- Wartość szczytowa ciśnienia prędkości obliczana jest z równania (11) z 6.2.1.1 SIA261
- Współczynnik profilu wiatru c_h obliczany jest z równania (12) z 6.2.1.2 SIA261, zgodnie z parametrami z Tabeli 4 odpowiadającej kategorii terenu wybranej przez użytkownika.
- Ciśnienie wiatru obliczane jest z równania (13) (zewn.) i równania (14) (wewn.) z 6.2.2.1 SIA261. Odpowiadające współczynniki ciśnienia nie są uwzględniane z Załącznika C, ale z Tabeli 7.2.3 – 7.2.6 i 7.2.8 EC1-1-4, aby umożliwić bardziej ogólne, powszechnie obowiązujące rozwiązanie, które jest zgodne ze szwajcarską praktyką projektową.
- Współczynnik redukcyjny c_{red} przyjmowany jest jako równy 1.0 we wszystkich przypadkach.
- Współczynnik dynamiczny c_d przyjmowany jest jako równy 1.0 we wszystkich przypadkach. Odpowiednie ograniczenia wymienione są w 6.3.5 SIA261.

Stosowanie

Poniższy paragraf wyjaśnia stosowanie modułu do automatycznego generowania obciążenia wiatrem.



Aby przyłożyć obciążenia wiatrem według Eurokodu, należy najpierw kliknąć na przycisk *Przypadki i grupy obciążeń* i zdefiniować przypadek obciążenia wiatrem, klikając na przycisk *Obciążenie wiatrem*. Grupa obciążeń wiatrem zostanie utworzona automatycznie. W pierwszym kroku tworzony jest tymczasowy przypadek obciążenia wiatrem w grupie obciążeń wiatrem, którego nazwę można zmienić. Po zdefiniowaniu paneli obciążeń i ustawieniu parametrów obciążenia wiatrem, program zastąpi tymczasowy przypadek obciążenia wymaganymi przypadkami obciążeń wiatrem.

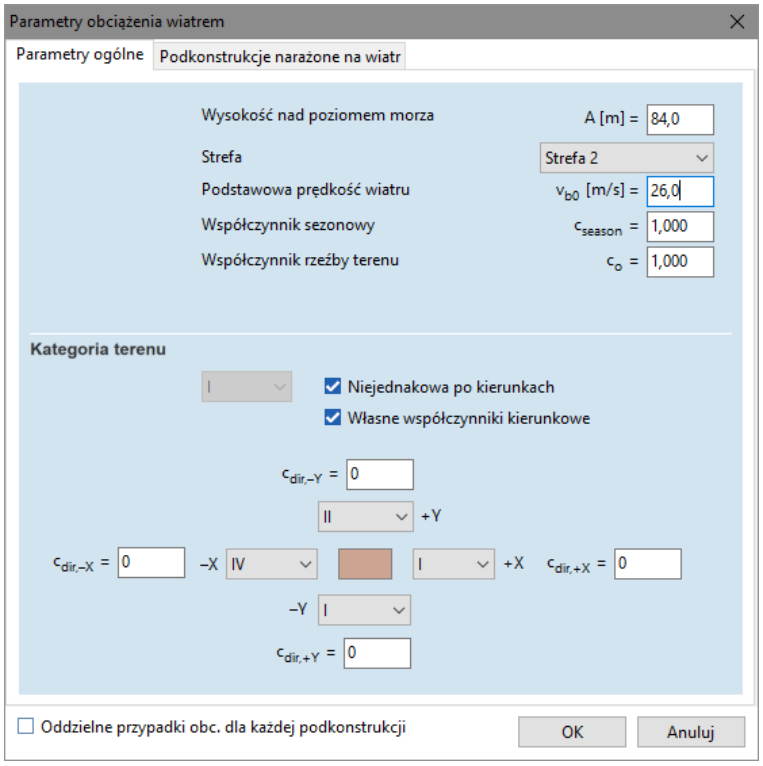
Zobacz więcej szczegółów oraz konwencję nazewnictwa w *4.10.1 Przypadki obciążeń, grupy obciążeń.*

Aby określić parametry obciążenia wiatrem, należy wybrać (tymczasowy –patrz wyżej) przypadek obciążenia wiatrem. Spowoduje to aktywowanie ikony obciążenia wiatrem na zakładce *Obciążenia*. Jeżeli panele obciążeń nie zostały jeszcze utworzone, należy je narysować dla ścian i dachu zgodnie z rozdziałem *4.10.12 Panele obciążeniowe.*

Parametry obciążenia wiatrem

Kliknij na ikonę *Obciążenie wiatrem*, aby otworzyć okno dialogowe z parametrami obciążenia wiatrem. Pierwsza zakładka w oknie dotyczy ogólnych parametrów obciążenia, a druga wykorzystywana jest do określenia charakterystyki konstrukcji.

Parametry ogólne



W tej zakładce mogą zostać określone następujące parametry (niektóre z nich nie są wymagane przez wszystkie normy projektowe):

Wysokość nad poziomem morza
Wysokość bezwzględna jest jednym ze współczynników wpływających na podstawową prędkość wiatru w niektórych krajach.
Jeżeli v_{b0} zależy od *A,* to wtedy wartość v_{b0} obliczana jest automatycznie.

Współczynnik ważności
Współczynnik ważności można wprowadzić w zależności od klasyfikacji budynku, jeżeli taki jest wymagany przez normę projektową. Za potwierdzeniem można również wprowadzić wartości niestandardowe.

Strefa
W krajach, w których charakterystyczne obciążenie wiatrem zależy od lokalizacji geograficznej, załącznik krajowy dzieli dany kraj na strefy. Wybrana strefa automatycznie definiuje podstawową prędkość wiatru.

Podstawowa prędkość wiatru
v_{b0} obliczana jest automatycznie na podstawie powyższych parametrów. Wartość ta w razie potrzeby, może zostać określona i zastąpiona przez użytkownika.

Współczynnik sezonowy
Norma projektowa może zezwolić na zredukowanie oddziaływania wiatru poprzez współczynnik c_{season} dla konstrukcji tymczasowych. Uwzględnia on, że obliczona prędkość wiatru nie wystąpi w trakcie istnienia konstrukcji. Rzeczywista wartość leży w kwestii oceny i odpowiedzialności projektanta.

Współczynnik wysokości n.p.m. c_{alt}
Współczynnik ten może zostać ustawiony tylko dla załącznika norweskiego normy projektowej, a jego wartość domyślna wynosi 1. Parametr ten uwzględniany jest przy obliczaniu podstawowej prędkości wiatru. Parametr należy ustawić wg wytycznych załącznika krajowego.

Współczynnik turbulencji k_I
Współczynnik ten może zostać ustawiony tylko dla załącznika norweskiego normy projektowej, a jego wartość domyślna wynosi 1. Parametr ten jest niezbędny do obliczenia intensywności turbulencji Iv(z). W przypadku innych załączników krajowych, moduł przyjmuje stałą wartość określoną w tych załącznikach.

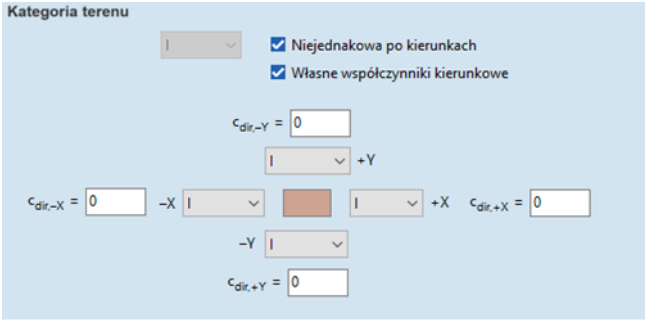
Współczynnik rzeźby terenu
Współczynnik c_o uwzględnia oddziaływanie orografii (wzgórza itd.) na prędkości wiatru. Norma projektowa wskazuje kiedy i jak używać tego współczynnika.

Współczynnik konstrukcyjny $c_s \cdot c_d$

Współczynnik ten można ustawić tylko dla załącznika holenderskiego. Jego wartość domyślna wynosi 1. Współczynnik ten uwzględnianyc jest poczas obliczeń oddziaływania wiatru.

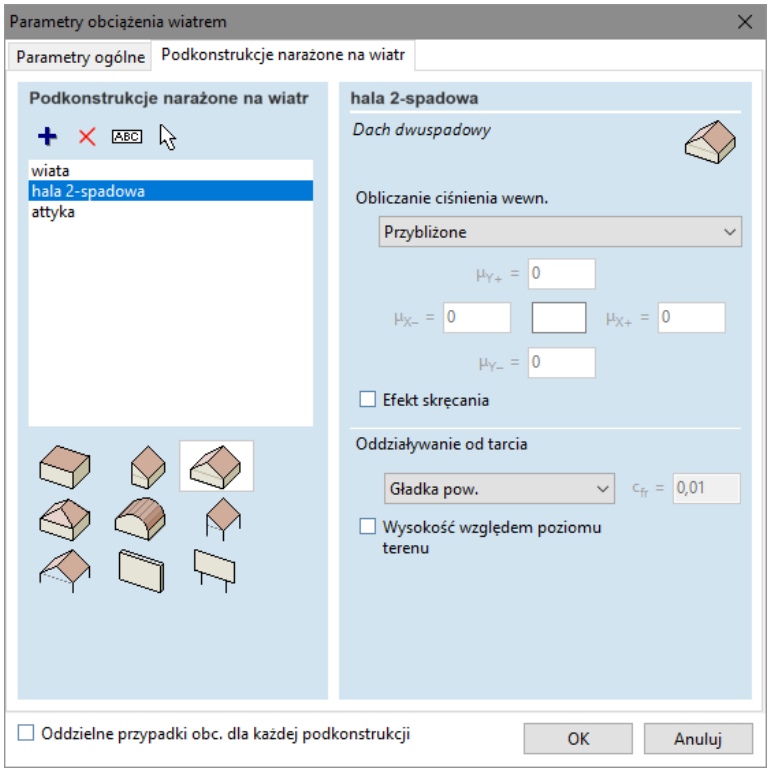
Kategoria terenu
Z rozwijanej listy należy wybrać kategorię terenu. Każda kategoria odpowiada obszarom wymienionym poniżej.

- ***0*** Morze, obszar przybrzeżny wystawiony na otwarte morze
- ***I*** Jeziora lub płaskie poziome obszary o niewielkiej wegetacji i bez przeszkód
- ***II*** Obszar o małej wegetacji np. z trawiasty lub z odizolowanymi przeszkodami (drzewa, budynki) w odstępach przynajmniej 20 wysokości przeszkód
- ***III*** Obszar o regularnej wegetacji lub z budynkami lub z odizolowanymi przeszkodami w odstępach maksymalnie 20 wysokości przeszkód (np. wioski, tereny podmiejskie, stały las)
- ***IV*** Obszar, gdzie przynajmniej 15 % powierzchni pokryta jest budynkami i ich średnia wysokość przekracza 15 m



Jeżeli teren nie jest jednakowy w różnych kierunkach działania wiatru, należy zaznaczyć opcję *Niejednakowa po kierunkach* i ustawić kategorie terenu dla każdego kierunku wiatru osobno. Zaznaczenie opcji *Własne współczynniki kierunkowe* uaktywni cztery współczynniki kierunkowe c_{dir}, które uwzględniają dominujący kierunek wiatru. Spowoduje to, że rozpatrywana prędkość wiatru nie będzie taka sama we wszystkich kierunkach. Domyślny współczynnik jest równy 1,0 dla każdego kierunku.

Podkonstrukcje narażone na wiatr



Zakładka *Podkonstrukcje narażone na wiatr* umożliwia definiowanie parametrów określających konstrukcję. Program może wyznaczać obciążenie od wiatru na kilka niezależnych konstrukcji. Możliwe jest także traktowanie tych niezależnych konstrukcji jako podkonstrukcje, czyli składowe jednej, większej konstrukcji. Wówczas program połączy obciążenia od wiatru na takie podkonstrukcje w ogólne obciążenie od wiatru na całą konstrukcję. Jeżeli takie działanie jest niepożądane, należy zaznaczyć opcję *Oddzielne przypadki obc. dla każdej podkonstrukcji* na dole okna dialogowego.

Nowa podkonstrukcja
Tworzenie nowej podkonstrukcji wymaga określenia jej nazwy, a następnie wskazania odpowiednich paneli obciążeniowych. Numery tych paneli są wyświetlane po najechaniu kursorem na nazwę podkonstrukcji.

Usuń podkonstrukcję
Usuwa zaznaczone podkonstrukcje.

Zmień nazwę
Zmienia nazwę zaznaczonej podkonstrukcji.

Modyfikuj
Modyfikuje przypisane panele obciążeniowe do wybranej podkonstrukcji.

Budynki

Geometria dachu

Należy wybrać ikonę, która najlepiej opisuje geometrię dachu. Dostępne rodzaje dachu to: płaski, jednospadowy, dwuspadowy, czterospadowy i walcowy:

Płaski *Jednospadowy* *Dwuspadowy* *Czterospadowy* *Walcowy*

Po wybraniu rodzaju dachu należy określić poniższe parametry:

Krawędź dachu dla dachu płaskiego

Jeżeli zdefiniowano dach płaski, to jego krawędź ma znaczący wpływ na wartość obciążenia wiatrem. Dostępne są cztery opcje krawędzi: prosta (brak parametrów), z attyką (wprowadź wysokość attyki), zaokrąglone okapy (wprowadź promień zaokrąglenia), mansardowe okapy (wprowadź kąt pochylenia).

Efekt skręcania

Eurokod wymaga sprawdzenia oddziaływania wiatrów skręcających dla konstrukcji wrażliwych na skręcanie. Jeżeli zaznaczono tę opcję, utworzone zostaną dodatkowe przypadki obciążeń dla oddziaływania od wiatru powodującego skręcanie.

Obliczenie ciśnienia wewnętrznego

Dostępne są cztery opcje służące do określenia ciśnienia wewnętrznego dla budynków.

Przybliżone

Program stosuje krytyczne wartości ciśnienia dla parcia i ssanie, zalecane przez Eurokod. Dla tej opcji tworzone są po dwa zestawy obciążeń od wiatru.

Bazujące na powierzchni otworów

Użytkownik określa wartość μ na podstawie rozmieszczenia otworów w budynku na poszczególnych kierunkach działania wiatru, a program oblicza współczynniki ciśnienia wewnętrznego jako funkcję tych wartości. Jeżeli zdefiniowana została wartość μ=0 to program dla danego kierunku wykorzysta metodę przybliżoną.

Współczynniki ciśnienia wewnętrznego

Użytkownik określa bezpośrednio wartości współczynników ciśnienia.

Wyłączone

Podczas generowania obciążenia od wiatru program nie wyznacza żadnego ciśnienia wewnętrznego.

Wysokość względem poziomu terenu

Zakłada się, że najniższy punkt paneli obciążeniowych wybranych do wygenerowania obciążenia wiatrem jest domyślnie poziomem terenu. Niestandardowy poziom terenu umożliwia użytkownikowi określenie własnej wysokości dla tego punktu. Dzięki temu możliwe jest przeprowadzenie zaawansowanych analiz, które np. uwzględniają obciążenie wiatrem tylko na dach budynku.

Oddziaływanie od tarcia

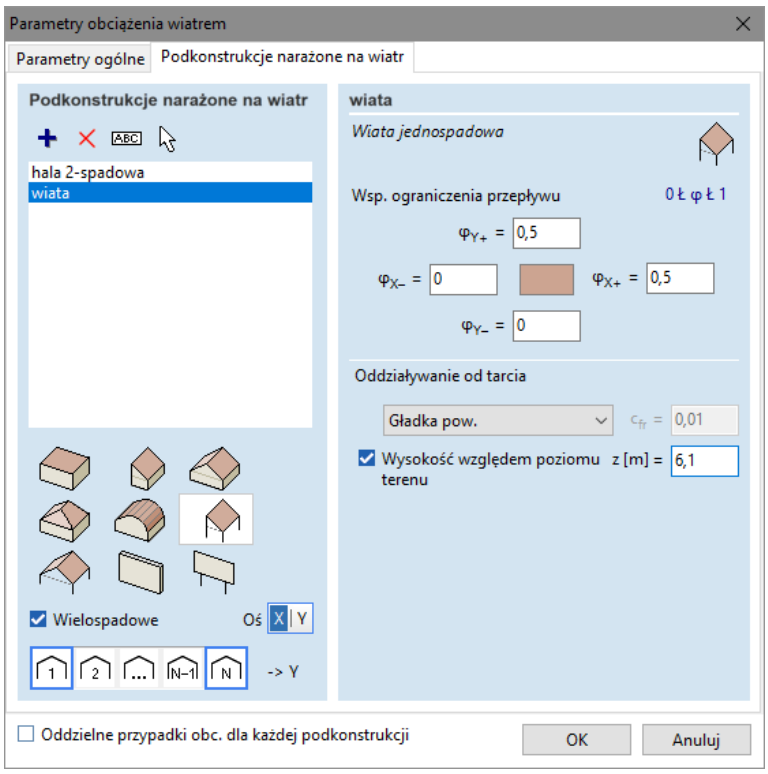
Oddziaływanie od tarcia wiatru uwzględniane jest domyślnie na każdą konstrukcję. Współczynnik tarcia odpowiadający danej powierzchni konstrukcji może być wybrany z rozwijanej listy. Możliwe jest także zdefiniowane przez użytkownika własnej wartości współczynnika tarcia. Uwzględnienie oddziaływania od tarcia może zostać pominięte poprzez własną definicję wartości niestandardowej równej c_{fr} = 0.

Wiaty

Geometria dachu

Należy wybrać ikonę, która najlepiej opisuje geometrię dachu. Dostępne rodzaje dachu to: jednospadowy, dwuspadowy:

Jednospadowy *Dwuspadowy*



Po zdefiniowaniu geometrii dachu dostępne są następujące parametry:

Wsp. ograniczenia przepływu

Współczynnik ograniczenia przepływu opisuje ilość przeszkód obecnych pod zadaszeniem wiaty, które mogą blokować swobodny przepływ mas powietrza w danym kierunku. Wartość 0 reprezentuje pustą przestrzeń pod wiatą, a wartość 1.0 odpowiada sytuacji, gdy przepływa powietrza w danym kierunku jest całkowicie zablokowany. Współczynniki te mogą być definiowane w czterech głównych kierunkach.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że gdy nawietrzna strona wiaty jest całkowicie zablokowana przez przeszkodę, często warto rozważyć zastosowanie kilku podkonstrukcji i połączonego obciążenia wiatrem. Całkowicie zablokowana strona w tym przypadku może być modelowana jako budynek.

Wiaty wielospadowe

Obciążenie wiatrem na wiatach wielospadowych powinno być modelowane jako połączenie obciążeń od wiatru na zespół podkonstrukcji. Położenie każdej podkonstrukcji (z całej konstrukcji wielospadowej) powinno zostać określone za pomocą ikony znajdującej się w lewym, dolnym narożniku okna. Ikony reprezentują przęsło konstrukcji skrajne, drugie od brzegu, pośrednie.

Aby uwzględnić ogólne obciążenie wiatrem na całą konstrukcję, istotne jest wyłączenie opcji *Oddzielne przypadki obc. dla każdej podkonstrukcji* na dole okna dialogowego.

Wysokość względem poziomu terenu

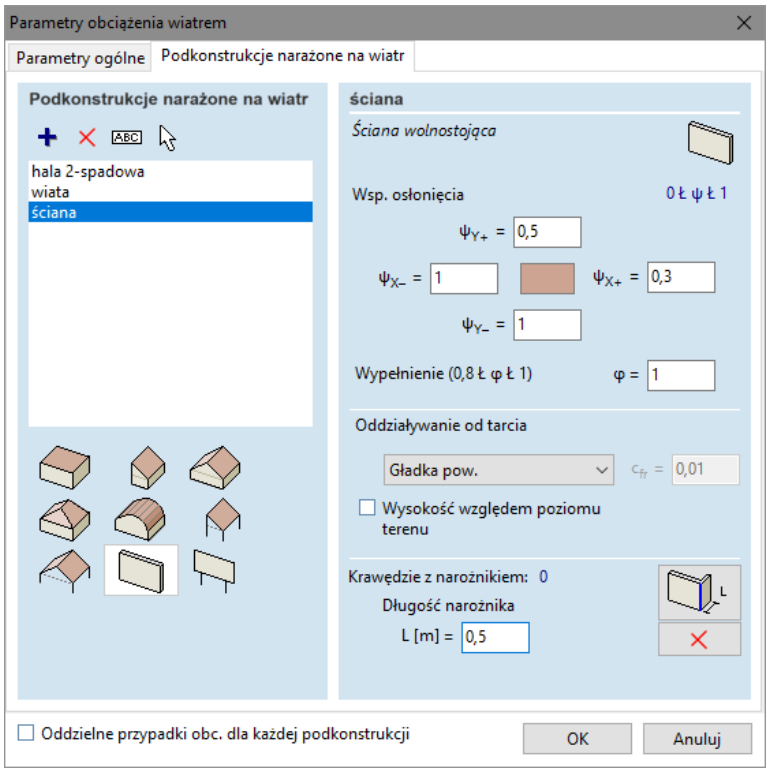
Jeżeli panele obciążeniowe opisujące geometrię wiaty nie uwzględniają żadnej ściany (typowy przypadek), to algorytm domyślnie zdefiniuje poziom terenu w najniższym punkcie wskazanych paneli obciążeniowych, czyli na poziomie dachu. Jest to niewłaściwe założenie w większości przypadków, dlatego musi ono zostać skorygowane za pomocą zdefiniowanej przez użytkownika wartości wysokości najniższego punktu dachu względem poziomu terenu.

Konstrukcje wolnostojące

Dostępne są następujące typy konstrukcji wolnostojących do automatycznego generowania obciążenia od wiatru:

Ściana wolnostojąca

Tablica



Po zdefiniowaniu typu konstrukcji dostępne są następujące parametry:

Ściany wolnostojące

Współczynnik osłonięcia

Współczynnik osłonięcia uwzględnia wzniesione dodatkowe ściany lub ogrodzenia, które mogą zmniejszyć ciśnienie wiatru działające na modelowaną ścianę. Dla czterech głównych kierunków można określić różne współczynniki osłonięcia.

Wypełnienie

Stosunek wypełnienia jest proporcjonalny do ilości otworów. Wartość 1.0 odnosi się do całkowicie nieprzepuszczalnej ściany. Ściany z wypełnieniem poniżej 0.8 powinny być obliczane jako ogrodzenie i są poza zakresem działania algorytmu wyznaczania obciążenia od wiatru.

Wysokość względem poziomu terenu

Tablice, które są odseparowane od podłoża na wysokość mniejszą niż ¼ ich wysokości powinny być modelowane jako ściany wolnostojące, a ich wysokość (do najniższego punktu) nad poziomem terenu powinna zostać tutaj określona.

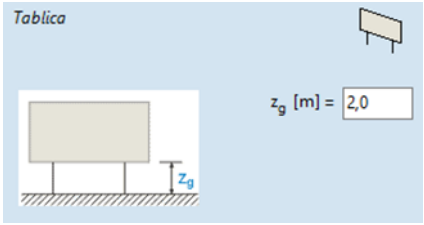
Krawędzie z narożnikiem

Obciążenie ściany z narożnikami zależy od długości wystających narożników na obu końcach ściany. Najpierw należy podać wartość długości narożnika, a następnie kliknąć w ikonę narożnika, aby wskazać odpowiednią krawędź ściany, do której ma on zostać przypisany. Na wyznaczane obciążenia wiatrem na ścianę ma wpływ tylko długość tego narożnika, a nie jego kierunek.

Aby usunąć zdefiniowane narożniki ściany, należy kliknąć przycisk *Usuń narożniki z krawędzi*.

Tablice

Obliczenia dla tablic wymagają podania tylko wysokości od poziomu terenu do dolnej krawędzi tablicy.



Po kliknięciu przycisku OK w oknie dialogowym zostanie automatycznie wygenerowane obciążenie od wiatru.

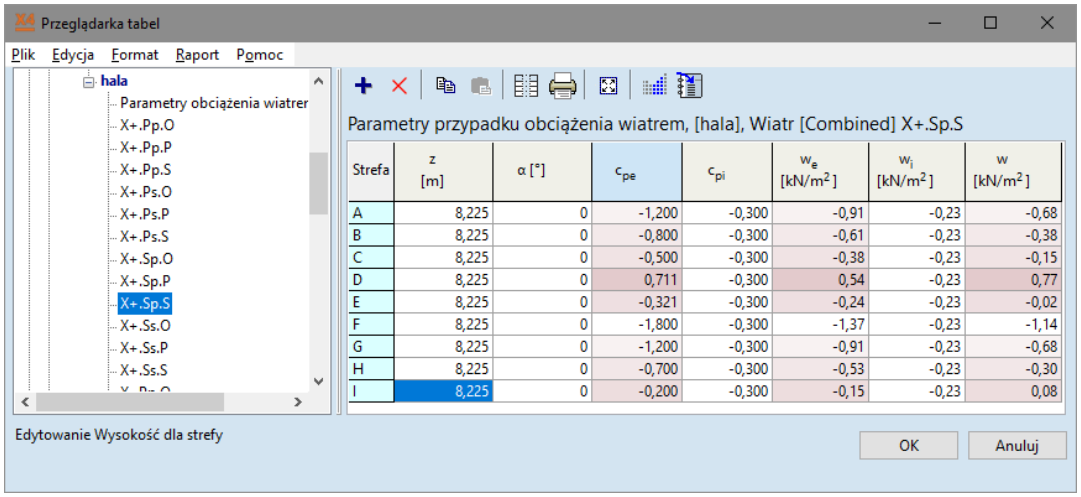
Dane dla obciążenia wiatrem

Po wygenerowaniu obciążeń od wiatru, wszystkie związane z ich obliczeniem dane są dostępne w Przeglądarce tabel w części *Obciążenia / Obciążenia wiatrem na podkonstrukcje*.

Parametry obciążenia wiatrem podsumowują wartości, które nie są wyszczególnione dla poszczególnych przypadków obciążeń od wiatru. Domyślne ustawienia powodują utworzenie obciążeń od wiatru, które są niezależne od jego kierunku, tak więc wszystkie parametry we wszystkich czterech kierunkach są takie same. Jeżeli użytkownik określi kategorie terenu i/lub współczynniki kierunkowe zależne od kierunków, wówczas wartości te będą różne w każdym kierunku.

Parametry przypadku obciążenia wiatrem podsumowują parametry szczegółowe dla danego przypadku obciążenia, dla każdego kierunku działania wiatru. Parametry te są pogrupowane wg stref generowanych na poszczególnych panelach. Liczba występująca po literze strefy wskazuje na występowanie większej ilości danej strefy dla wybranego przypadku obciążenia. Strefy ścienne (A-E) dla budynków wysokich podzielone są na dwie części: „1" zawsze odnosi się do dolnej, a „2" do górnej części ścian. Wielokrotne występowanie stref dachowych tego samego typu dostępne jest dla dachów jednospadowych (F) i dwuspadowych (F-I).

Strefy strony nawietrznej dla wiat oznaczone są za pomocą „1", a strony zawietrznej za pomocą „2". Strefy z symbolem „S" dla ścian wolnostojących oznaczają strefy, w których uwzględniono osłonięcie. Strefy „FR" wyświetlają oddziaływanie od tarcia wiatru na każdy typ konstrukcji.



Strefa	z [m]	α [°]	c_{pe}	c_{pi}	w_e [kN/m²]	w_i [kN/m²]	w [kN/m²]
A	8,225	0	-1,200	-0,300	-0,91	-0,23	-0,68
B	8,225	0	-0,800	-0,300	-0,61	-0,23	-0,38
C	8,225	0	-0,500	-0,300	-0,38	-0,23	-0,15
D	8,225	0	0,711	-0,300	0,54	-0,23	0,77
E	8,225	0	-0,321	-0,300	-0,24	-0,23	-0,02
F	8,225	0	-1,800	-0,300	-1,37	-0,23	-1,14
G	8,225	0	-1,200	-0,300	-0,91	-0,23	-0,68
H	8,225	0	-0,700	-0,300	-0,53	-0,23	-0,30
I	8,225	0	-0,200	-0,300	-0,15	-0,23	0,08

4.10.15 Generowanie obciążenia od wiatru z pliku CFD – moduł CFD

CFD interface

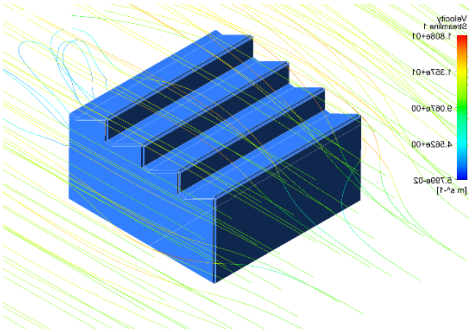
Skrót CFD od ang. Computational Fluid Dynamics oznacza komputerową analizę dynamiki płynów. Interfejs CFD pozwala przyłożyć rozkład ciśnienia na obszary lub panele obciążeniowe.
Normy projektowe zawierają wytyczne dotyczące wyznaczania współczynników ciśnienia i sił tylko na konstrukcje o prostych kształtach (*4.10.14 Obciążenie wiatrem (moduł SWG)*. W przypadku złożonych lub rozbudowanych konstrukcji wytyczne te nie mają zastosowania, a współczynnik ciśnienia powinien wtedy zostać określony dla konstrukcji indywidualnie za pomocą symulacji dynamiki płynów (analiza CFD) lub w tunelu aerodynamicznym. Interfejs CFD pozwala zaimportować wyniki z symulacji CFD do AxisVM.
CFD to ogólny interfejs do definiowania ciśnień wywołanych przez opływające substancje.

Kroki definiowania obciążeń

Export modelu do pliku STL

Plik STL (*Stereo Lithography*) zawiera informacje o trójkątnej siatce elementów skończonych opisującą powierzchnię danego obiektu. Aby dokonać eksportu modelu, należy wybrać z menu głównego *Plik / Eksport*, a następnie format pliku *STP*. Pod typem pliku pojawią się dodatkowe opcje, z których należy wybrać *Model CFD*. Model 3D konstrukcji zostanie wygenerowany do pliku z obszarami i panelami obciążeń. Plik ten musi zostać załadowany do oprogramowania typu CFD.

Import rozkładu ciśnienia z oprogramowania do symulacji



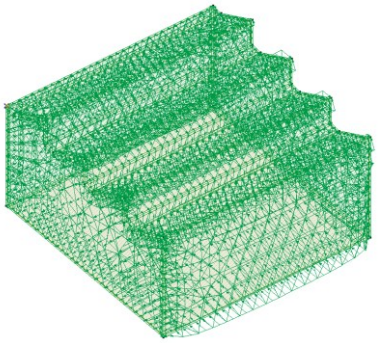
Moduł CFD importuje rozkład ciśnienia wyznaczony w programie do symulacji dynamiki płynów i przykłada je do elementów w AxisVM jako ustalony stan obciążenia wiatrem.
Wartości ciśnienia muszą zostać zaimportowane poprzez przetworzenie pliku interfejsu.

Moduł CFD odczytuje wartości ciśnienia z tekstowego pliku ASCII. Każdy wiersz takiego pliku musi zawierać:

- globalne współrzędne **X, Y, Z**
- wartość ciśnienia

Separatorem pomiędzy tymi wpisami może być spacja, przecinek lub średnik. Jednostka wartości ciśnienia może zostać wskazana, ale współrzędne muszą być określone w metrach.

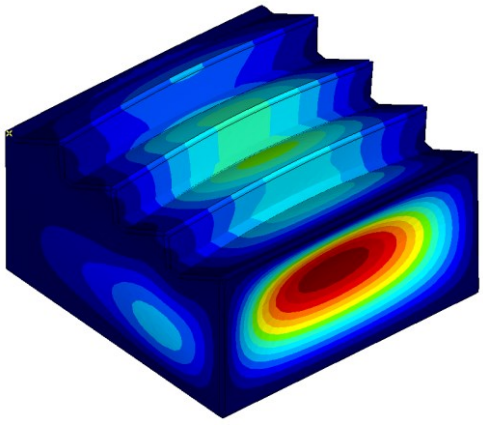
Interpolacja (przetwarzanie pola ciśnienia)



Plik wygenerowany z oprogramowania do symulacji przypływu płynu może zostać wczytany na zakładce *Obciążenia*, poprzez kliknięcie w ikonę przedstawioną na początku tego rozdziału. Wartości obciążenia uzyskiwane są poprzez interpolację pola ciśnienia opisanego w pliku wymiany danych.
Zaimportowane punkty ciśnienia są interpolowane na siatce trójkątnej, przy założeniu liniowego rozkładu ciśnienia w każdym trójkącie. Wypadkowa z tego liniowego rozkładu jest równa wypadkowej z odpowiadającego oryginalnego pola.
Jeżeli jakiś element powierzchniowy w AxisVM nie będzie mógł zostać powiązany z punktami ciśnienia (lub powierzchnia nie będzie mogła zostać jednoznacznie określona), to wyświetlone zostanie ostrzeżenie.

☞ **Metoda ta ignoruje obciążenia krawędziowe, ponieważ powierzchni nie można jednoznacznie powiązać z punktami na krawędzi.**

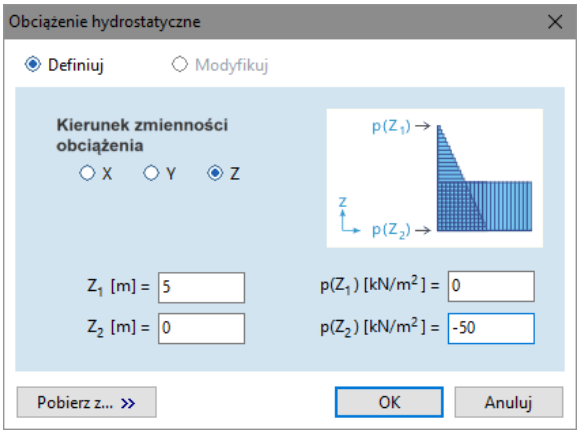
Wyświetlanie rezultatów



Odkształcenia i siły w konstrukcji wygenerowane przez wyznaczony rozkład ciśnienia od wiatru mogą zostać wyświetlone w standardowy sposób za pomocą wykresów, izolinii lub izopowierzchni.

4.10.16 Obciążenie hydrostatyczne

Umożliwia przyłożenie do wybranych elementów płyt lub powłok, obciążeń jako ciśnienia od cieczy. Rzeczywiste, przyłożone obciążenie obliczane jest z wyliczonych wartości w narożnikach elementów.
Obciążenia hydrostatyczne utworzone z takiej samej definicji będą traktowane jako jedno obciążenie. Jeżeli więc użytkownik określi obciążenie hydrostatyczne na więcej niż jednym elemencie i kliknie na kontur obciążenia na którymkolwiek z tych elementów, obciążenie zostanie zaznaczone na wszystkich elementach, co umożliwia łatwą zmianę parametrów obciążenia.



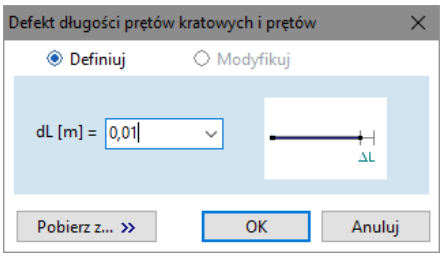
4.10.17 Ciężar własny

Umożliwia uwzględnienie w analizie ciężaru własnego elementów (mających przypisane materiały) i obszarów. Ciężar własny obliczany jest na podstawie przekroju poprzecznego, gęstości masy materiału, przyspieszenia grawitacyjnego *g* i długości lub pola powierzchni elementu. Obciążenie przyłożone jest jako rozłożone w kierunku wektora grawitacji.

Wzdłuż elementów liniowych lub konturów powierzchni / obszaru rysowana jest przerywana linia. Jeżeli etykiety wartości obciążeń są włączone, wyświetlona zostaje litera G.

4.10.18 Defekt długości (błąd produkcyjny)

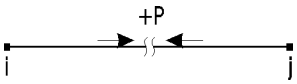
Ten typ obciążenia używany jest w przypadku, gdy konstrukcyjny element prętowy ze względu na błąd produkcyjny jest dłuższy lub krótszy niż jest to wymagane.
W takim wypadku możliwe jest przyłożenie obciążenia, które jest wymagane, aby wpasować element prętowy krótszy / dłuższy niż odległość odpowiadających jemu węzłów.
Użytkownik musi określić wartość błędu produkcyjnego *dL* [m]. Dodatnia wartość *dL* oznacza, że pręt jest za długi o *dL*.

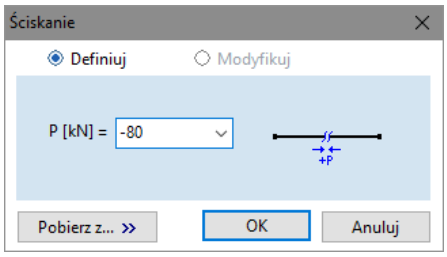


Obciążenie ma taki sam efekt jak obciążenie termiczne $dT^{=} = \frac{dL}{\alpha \cdot L}$.

4.10.19 Rozciąganie/ściskanie

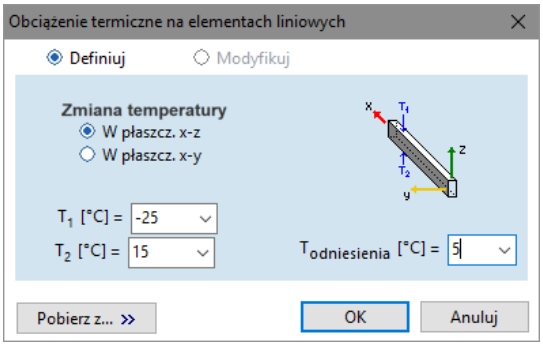
Umożliwia zdefiniowanie początkowej wewnętrznej siły normalnej w elementach typu pręt kratowy lub pręt. Obciążenie ma taki sam efekt jak obciążenie termiczne $dT^{=} = -\frac{P}{\alpha \cdot E \cdot A}$.





4.10.20 Obciążenie termiczne na elementach liniowych

Umożliwia przyłożenie obciążeń termicznych do wybranych elementów liniowych (pręt kratowy, pręt i/lub żebro). Użytkownik musi określić wartości dla następujących parametrów:



Pręt kratowy

$T_{odniesienia}$ - temperatura odniesienia (odnosząca się do początkowego, niewytężonego stanu)
T - temperatura przyjęta dla analizy

$dT = T - T_{odn}$ to zmienność temperatury uwzględniana w analizie. Dodatnia wartość dT oznacza ogrzanie pręta kratowego.

Pręt / Żebro

$T_{odniesienia}$: - temperatura odniesienia (odnosząca się do początkowego, niewytężonego stanu)
T_1 - temperatura górnych włókien (w odpowiadającym lokalnym kierunku)
T_2 - temperatura dolnych włókien (w odpowiadającym lokalnym kierunku)

$dT^{=} = T - T_{odn}$ to równomierna zmiana temperatury uwzględniana w analizie, gdzie T to temperatura przekroju poprzecznego w jego środku ciężkości.

w kierunku y-lokalny: $T = T_2 + (T_1 - T_2)\frac{y_G}{H_y}$

w kierunku z-lokalny: $T = T_2 + (T_1 - T_2)\frac{z_G}{H_z}$

gdzie,

y_G, z_G oraz H_y, H_z to właściwości przekroju poprzecznego.

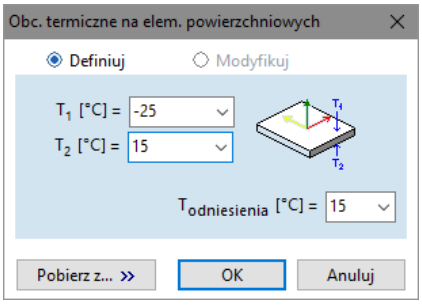
Dodatnia wartość $dT^{=}$ wskazuje na podwyższenie temperatury w pręcie.

$dT^{\#} = T_1 - T_2$ to nierównomierna zmiana temperatury, która jest uwzględniana w obliczeniach.

4.10.21 Obciążenie termiczne na elementach powierzchniowych

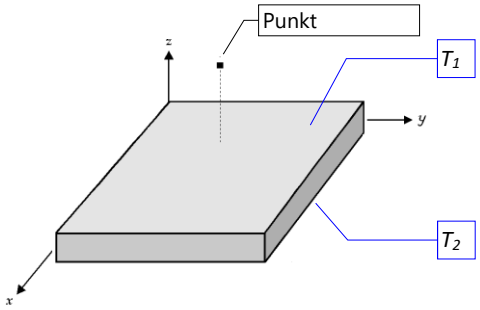
Umożliwia przyłożenie obciążeń termicznych do wybranych elementów powierzchniowych. Użytkownik musi określić wartości dla następujących parametrów:

$T_{odniesienia}$ - temperatura odniesienia (odnosząca się do początkowego, niewytężonego stanu)
T_1 - temperatura górnej powierzchni (w dodatnim kierunku z-lokalny)
T_2 - temperatura dolnej powierzchni (w ujemnym kierunku z-lokalny)



$dT^{=} = T - T_{odn}$ to równomierna zmiana temperatury uwzględniana w analizie, gdzie T to temperatura przekroju poprzecznego w jego środku ciężkości.

$dT^{\#} = T_1 - T_2$ to nierównomierna zmiana temperatury uwzględniana w analizie.



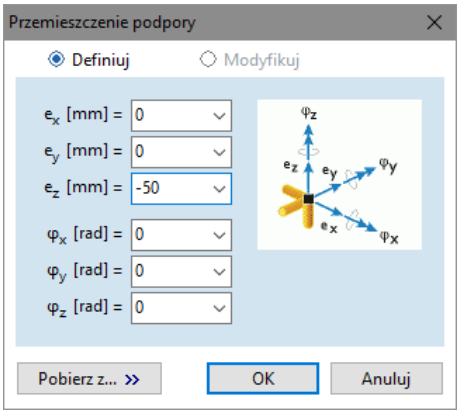
☞ **Dla tarcz uwzględniana jest tylko wartość dT$^{=}$. Dla płyt uwzględniana jest tylko wartość dT$^{\#}$.**

4.10.22 Wymuszone przemieszczenia podpór

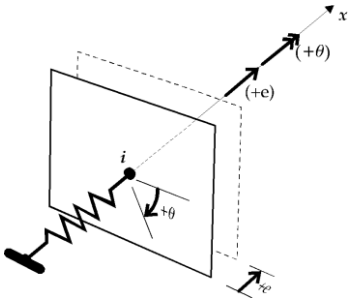
Umożliwia przyłożenie wymuszonych przemieszczeń w wybranych podporach. Użytkownik musi określić wartości składowe wymuszonego przemieszczenia (przesuwne: *e* [m]; obrotowe: θ [rad]).
AxisVM wykonuje przybliżenie tego zagadnienia stosując siłę $P_{support}$ w kierunku podpory, tak aby utworzyć wymuszone przemieszczenie *e*.

$$P_{support} = K_{support} \cdot e$$

gdzie $K_{support}$ to odpowiadające sztywność podpory.

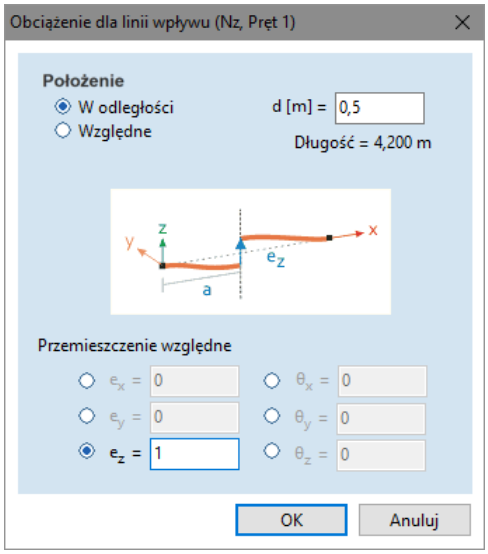


Jeżeli sztywność elementu podporowego jest wystarczająco duża, dodatkowe ugięcia spowodowane innymi obciążeniami będą nieznaczące. Dlatego też wymuszone przemieszczenia można zastosować tylko do podpór o wystarczającej sztywności względem sztywności konstrukcji (przynajmniej 10^3x większej) w odpowiadającym kierunku. Zawsze należy sprawdzić to założenie, sprawdzając wyniki przemieszczenia i kontrolując przemieszczenie w odnośnym węźle.
Dodatnie wymuszone przemieszczenie przesuwa węzeł w dodatnim kierunku osi lokalnej.



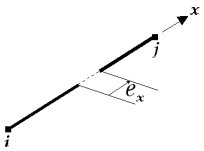
4.10.23 Linia wpływu

Umożliwia przyłożenie obciążenia od względnego przemieszczenia, aby otrzymać linię wpływu składowej sił wewnętrznych na wybranych elementach typu pręt kratowy / pręt. Użytkownik musi określić wartość przemieszczenia względnego *e* jako +1 lub –1.

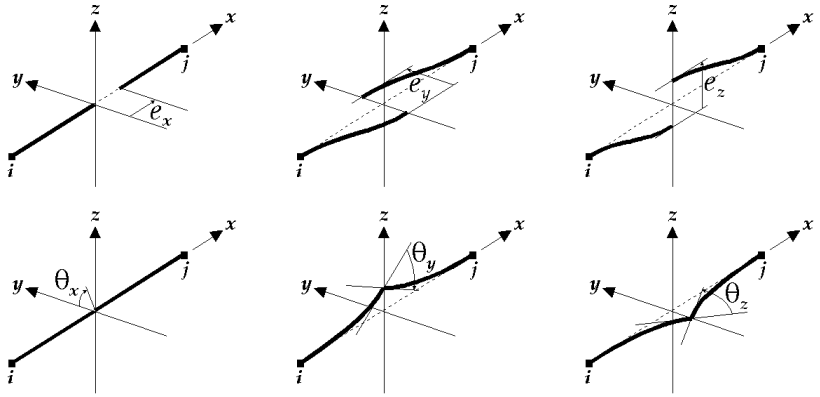


☞ **Obciążenie dla linii wpływu można zdefiniować tylko dla przypadku obciążenia linia wpływu.** **Patrz**... *4.10.1 Przypadki obciążeń, grupy obciążeń*

Pręt kratowy Wartość przemieszczenia względnego e_x można określić jako +1 lub –1.



Pręt Wartość przemieszczenia względnego $e_x / e_y / e_z / \theta_x / \theta_y / \theta_z$ można określić jako +1 lub –1.



4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)

Moduł SE1 w programie AxisVM zawiera kilka narzędzi, które ułatwiają wykonanie analizy spektrum odpowiedzi modalnej (MRSA). Narzędzia te automatycznie generują obciążenia sejsmiczne w trzech prostopadłych kierunkach dla każdej postaci drgań własnych: obliczenia odpowiedzi konstrukcji dla każdej postaci drgań własnych. Poniższy opis zawiera informacje na temat ustawień i opcji dostępnych w programie oraz wyjaśnia, jak je używać. Ze względu na obszerną literaturę MRSA nie jest możliwe dostarczenie tutaj teoretycznych wyjaśnienie krok po kroku do zastosowania w tej analizie.

Normy projektowe

Obliczenia są wykonywane zgodnie z ogólnymi normami Eurokod (w szczególności z Eurokod 8) uzupełnianymi przez Załączniki Krajowe, które odpowiadają normie projektowej wybranej przez użytkownika. Wyjątkiem od takiego podejścia jest krajowa norma szwajcarska i węgierska, które to nie bazują na Eurokodzie. Normy zawarte w programie, w odniesieniu do których dostępne są obliczenia MRSA wymienione są poniżej.

Eurokod ogólny	*EN 1998-1:2004 (EC 8-1)* *Eurocode 8 Design of structures for earthquake resistance* *Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*
EC niemiecki	*EN 1998-1:2004* *DIN EN 1998-1/NA:2011-01*
EC holenderski	*NPR 9998:2018*
EC węgierski	*EN 1998-1:2004*
EC rumuński	*P100-1-2013*
EC czeski	*EN 1998-1:2004*
EC słowacki	*EN 1998-1:2004*
EC polski	*EN 1998-1:2004*
EC duński	*EN 1998-1:2004*
EC austriacki	*EN 1998-1:2004*
EC brytyjski	*EN 1998-1:2004*
EC fiński	*EN 1998-1:2004*
EC norweski	*EN 1998-1:2004* *NS EN 1998-1:2004/NA:2014*
EC belgijski	*EN 1998-1:2004*
EC szwedzki	*EN 1998-1:2004*
EC grecki	*ELOT EN 1998-1*
NTC włoski	*NTC 2018*
Norma szwajcarska	*SIA 261:2003*
Węgierska norma projektowa (MSZ)	
STAS rumuński	
DIN 1045-1 niemiecki	*DIN 4149:2005-04*

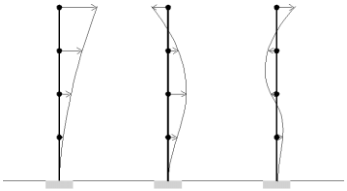
Procedura MRSA

Obciążenia sejsmiczne we wszystkich normach projektowych są generowane na podstawie postaci drgań własnych. Obciążenia uwzględniane w statycznej analizie liniowej są połączone z kilkoma modalnymi postaciami własnymi, aby uzyskać siły wewnętrzne i przemieszczenia konstrukcji do wymiarowania. Poniższe fragmenty opisują szczegóły procesu obliczeniowego. Najpierw przedstawiono ogólne procedury Eurokodu, a następnie poszczególne modyfikacje krajowe.
Na konstrukcji można zdefiniować wiele oddziaływań sejsmicznych. Oddziaływania sejsmiczne nie mogą być ze sobą kombinowane.

W jaki sposób uwzględniana jest redukcja sztywności?
Jeżeli postacie własne do wygenerowania obciążenia sejsmicznego zostały uzyskane w wyniku analizy modalnej (*6.3 Drgania własne*), z uwzględnieniem redukcji sztywności elementów określonej dla analizy spektrum odpowiedzi (*3.3.10 Redukcja sztywności*) to liniowa analiza statyczna zostanie przeprowadzona dwukrotnie: jedną bez oraz drugą z redukcją sztywności elementów. Dla sytuacji sejsmicznych (dla sejsmicznych przypadków obciążeń lub kombinacji je zawierających) wyświetlane będą wtedy wyniki

uwzględniające redukcję sztywności elementów. W pozostałych sytuacjach wykorzystane zostaną wyniki bez redukcji sztywności. Powyższe odnosie się również do obwiedni oraz kombinaci decydujących.
Jeżeli dostępnych jest kilka wyników z analizy modalnej dla różnych kombinacji z lub bez redukcji sztywności, a utworzonych zostało wiele obciążeń sejsmicznych na bazie postaci z lub bez redukcji sztywności, to w przypadkach obciążenia sejsmicznego lub w kombinacjach obejmujących oddziaływanie sejsmiczne, uwzględnione oddziaływanie sejsmiczne określi, które wyniki zostaną wyświetlone. W przeciwnym razie wyświetlone zostaną wyniki bez redukcji sztywności.Poniższe rozdziały zawierają szczegółowe informacje na temat procesu obliczania. Najpierw przedstawiono ogólną procedurę Eurokodu, a następnie podsumowanie zmian w poszczególnych krajach.

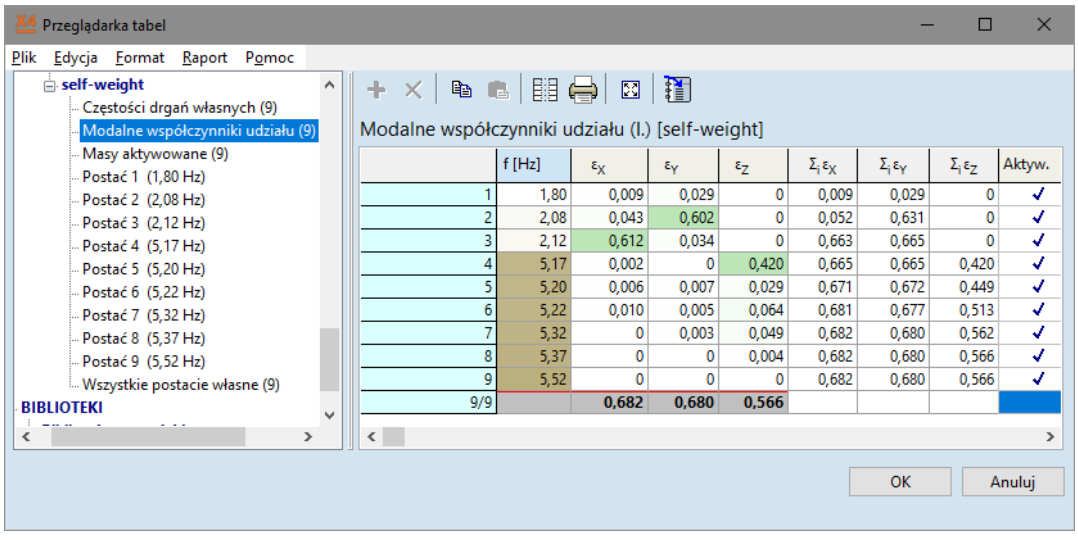
4.10.24.1 Obliczenia sejsmiczne wg Eurokodu 8



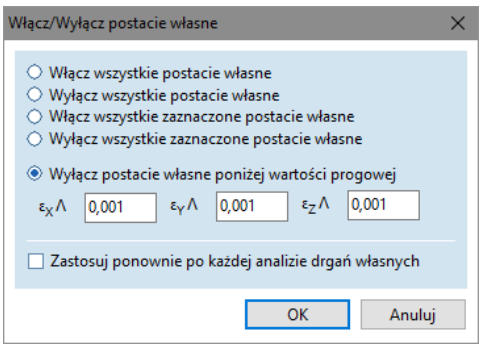
1. Wyznaczenie postaci drgań własnych
Generator obciążeń sejsmicznych potrzebuje informacji o nietłumionych częstościach drgań własnych i odpowiadających im postaciom. Tak więc, pierwszym krokiem do utworzenia sił sejsmicznych jest obliczenie wystarczającej liczby postaci własnych i odpowiadających im częstotliwości. Obliczenia te wykonuje się poprzez uruchomienie analizy modalnej na zakładce *Drgania własne* (**patrz...** *5.2 Analiza drgań własnych*).

Analiza drgań własnych wg teorii I-go rzędu jest zwykle wystarczająca do wygenerowania obciążeń sejsmicznych. Wyniki zależą od sztywności elementów konstrukcyjnych i rozkład mas konstrukcji. Masy te mogą zostać wyznaczone na podstawie wcześniej zdefiniowanej kombinacji obciążeń, która reprezentuje tzw. masę sejsmiczną konstrukcji. Alternatywnie masy skupione mogą zostać umieszczone na modelu konstrukcji przez użytkownika. Redukcja sztywności w elementach żelbetowych może być również uwzględniona automatycznie.

Należy użyć tabeli *Modalne współczynniki udziału*, aby sprawdzić czy liczba wyliczonych postaci własnych jest wystarczająco duża, aby spełnić wymagania odpowiedniej normy. Ogólna norma Eurokod 8 ma w tym zakresie dwa wymagania: (1) całkowita rozważana masa modalna w każdym kierunku powinna przekraczać 90% masy całkowitej; (2) uwzględnia się wszystkie postaci własne odpowiadające masie modalnej większej niż 5% masy całkowitej. Sumy współczynników mas modalnych pokazane są na dole tabeli.

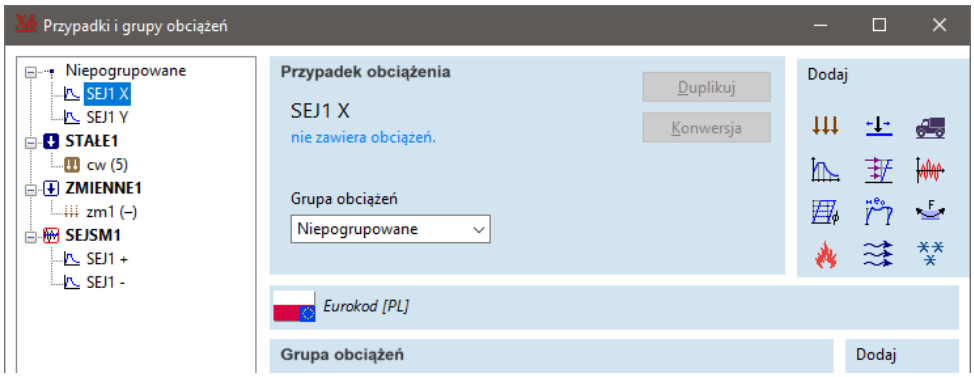


	f [Hz]	ε_X	ε_Y	ε_Z	$\Sigma_i \varepsilon_X$	$\Sigma_i \varepsilon_Y$	$\Sigma_i \varepsilon_Z$	Aktyw.
1	1,80	0,009	0,029	0	0,009	0,029	0	✓
2	2,08	0,043	0,602	0	0,052	0,631	0	✓
3	2,12	0,612	0,034	0	0,663	0,665	0	✓
4	5,17	0,002	0	0,420	0,665	0,665	0,420	✓
5	5,20	0,006	0,007	0,029	0,671	0,672	0,449	✓
6	5,22	0,010	0,005	0,064	0,681	0,677	0,513	✓
7	5,32	0	0,003	0,049	0,682	0,680	0,562	✓
8	5,37	0	0	0,004	0,682	0,680	0,566	✓
9	5,52	0	0	0	0,682	0,680	0,566	✓
9/9		0,682	0,680	0,566				



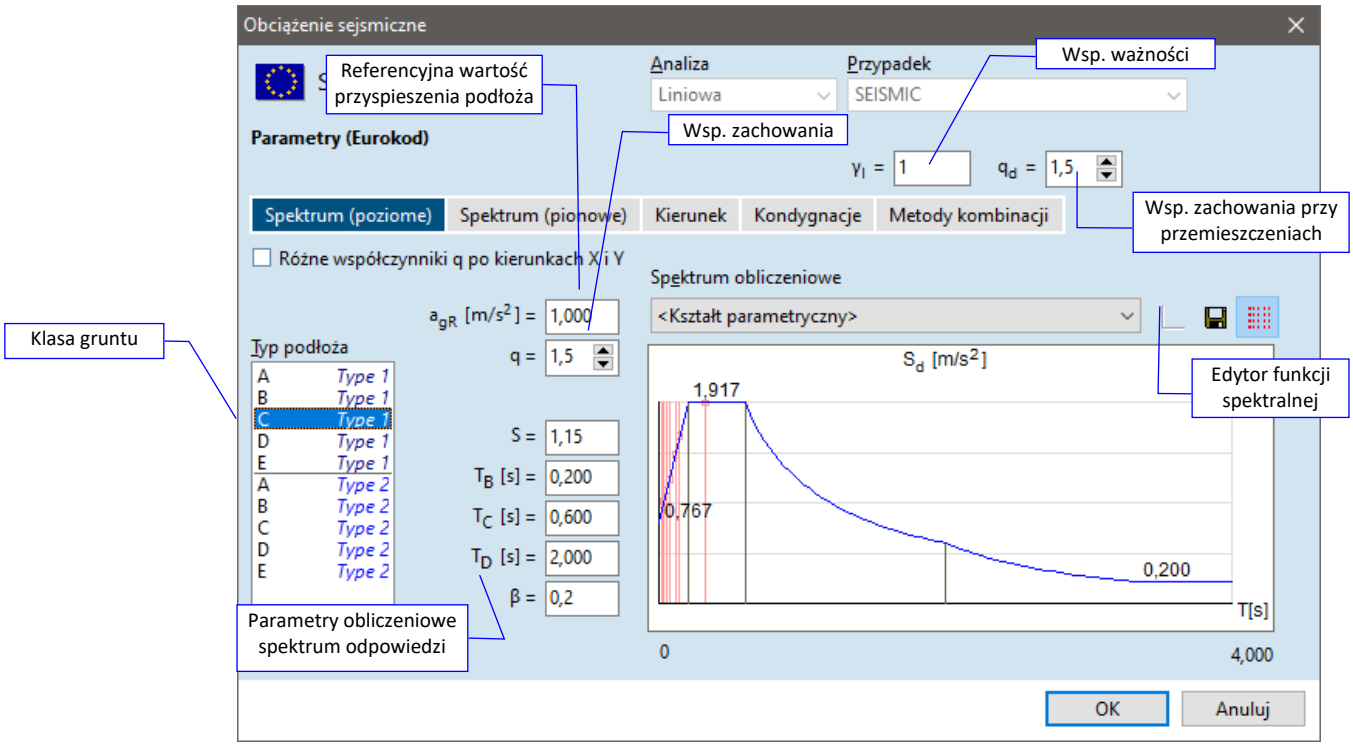
Użytkownik może wskazać, które postacie własne powinny zostać użyte do generowania obciążeń sejsmicznych, poprzez zaznaczenie ich w kolumnie *Aktywny*.
Kliknięcie prawym przyciskiem myszy w dowolną komórkę kolumny *Aktywny* spowoduje wyświetlenie okna dialogowego *Włącz/Wyłącz postacie własne*. Za pomocą parametrów w tym oknie można sterować wartościami progowymi do automatycznego filtrowania postaci własnych w każdym kierunku. Pole wyboru na dole okna pozwala użytkownikowi ustawić automatyczne filtrowanie po każdej analizie modalnej.
Odfiltrowanie postaci własnych może znacząco zredukować liczbę sejsmicznych przypadków obciążeń, a tym samym czas potrzebny na analizę statyczną.

2. Utworzenie nowego przypadku obciążenia sejsmicznego
Gdy uzyskano już postacie własne należy stworzyć sejsmiczny przypadek obciążenia w *Przypadki i grupy obciążeń* na zakładce *Obciążenia*.



Z obszaru *Dodaj* w oknie dialogowym należy wybrać ikonę obciążenia sejsmicznego. Program automatycznie utworzy kilka nowych przypadków obciążenia sejsmicznego, a po ustaleniu szczegółów obciążenia sejsmicznego zostaną one później jeszcze uzupełnione o kolejne przypadki obciążeń sejsmicznych. Konwencja nazewnictwa dla przypadków obciążenia jest wyjaśniona w części dotyczącej analizy statycznej tego rozdziału.

3. Ustawienia parametrów obciążenia sejsmicznego
Po wybraniu dowolnego przypadku obciążenia sejsmicznego i kliknięciu w ikonę *Obciążenie sejsmiczne* na zakładce *Obciążenia*, otworzy się poniższe okno dialogowe



Spektrum (poziome)

Pierwsza zakładka okna dialogowego pozwala ustawić parametry dla poziomego spektrum odpowiedzi. Spektrum poziome jest wykorzystywane do wyznaczenia ekwiwalentnych obciążeń statycznych dla każdej postaci własnej w dwóch ortogonalnych kierunkach poziomych. Spektrum może być automatycznie wygenerowane za pomocą funkcji podanych w EC8-1 4.2.4 i parametrów określonych przez użytkownika, jak również zdefiniowane przez użytkownika w *Edytorze funkcji spektralnej*.

Edytor funkcji spektralnej: służy do tworzenia niestandardowego spektrum

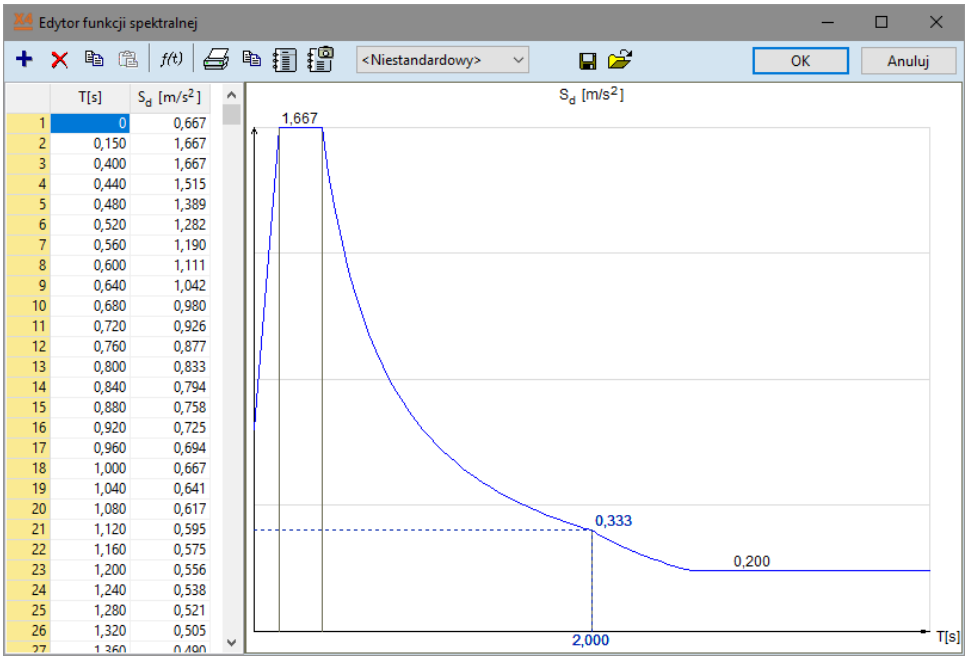
Zapisz spektrum jako...: zapisuje wprowadzone spektrum pod własną nazwą

Wyświetl okresy dla wyznaczonych postaci własnych: Włącza/wyłącza wyświetlanie okresów drgań wyznaczonych w analizie modalnej. Okresy oznaczone są przez różowe pionowe linie przy odpowiadającej wartości T.

Automatycznie wygenerowane spektrum wykorzystuje poniższe parametry:
a_{gR} – Referencyjna szczytowa wartość przyspieszenia podłoża [m/s^2]
q – Współczynnik zachowania do redukcji poziomych oddziaływań sejsmicznych wg EC8-1 3.2.2.5(3)P. Po zaznaczeniu opcji *Różne współczynniki q po kierunku X i Y*, można powyższe współczynniki zdefiniować niezależnie.
S, T_B, T_C, T_D – Parametry podłoża gruntowego, które określają kształt spektralny. Jeżeli typ gruntu został wybrany z listy *Typ podłoża*, to parametry te zostaną automatycznie wczytane wg Tabeli 3.2 oraz 3.3 EC8-1. Każda z tych wartości może zostać nadpisana przez użytkownika.
β – Dolna wartość graniczna dla poziomego spektrum obliczeniowego. Zalecaną wartością wg EC8-1 3.2.2.5 (4)P jest 0.2.
γ_I – Współczynnik ważności wg EC8-1 4.2.5
q_d – Współczynnik zachowania przy przemieszczeniu wg EC 8-1 4.3.4 (1)P

W przypadku, gdy na modelu zdefiniowano izolatory sejsmiczne przyjmowane jest zmodyfikowane spektrum. **Patrz...** *4.9.18 Izolator sejsmiczny*.

Spektrum niestandardowe definiowane jest w *Edytorze funkcji spektralnej* po przełączeniu *Spektrum obliczeniowego* na rozwijanej liście z <*Kształtu parametrycznego*> na <*Niestandardowy*>. Spektrum jest tworzone w edytorze poprzez aproksymację kształtu spektralnego za pomocą liniowych odcinków, których współrzędne tworzą pary punktów czas- przyspieszenie na liście z lewej strony. Współrzędne mogą być edytowane lub kopiowane i wklejane z innych programów.

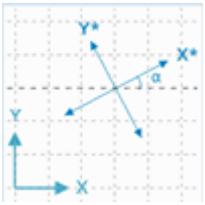


Spektrum (pionowe)

Druga zakładka okna dialogowego *Obciążenie sejsmiczne* odpowiada za parametry **pionowego spektrum odpowiedzi**. Należy zauważyć, że wpływ wzbudzenia sejsmicznego w kierunku pionowym (Z) jest uwzględniany tylko wtedy, gdy spektrum odpowiedzi pionowej zostało zdefiniowane. Obciążenia pionowe nie są domyślnie generowane. Parametry i układ tej zakładki są identyczne z pierwszą zakładką.

Kierunek

Trzecia zakładka to *Kierunek*, gdzie można ustawić kąt oddziaływania sejsmicznego. Jeżeli wartość kąta jest różna od zero, to obciążenia sejsmiczne nie będą generowane po kierunkach globalnych X oraz Y, ale po kierunkach X* oraz Y*, które zawierają kąt α dodany do osi globalnych.



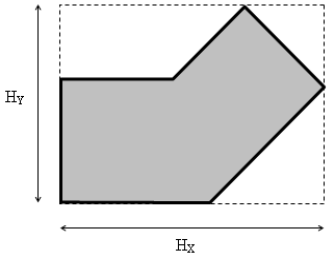
Czwarta zakładka to *Kondygnacje*. Umożliwia ona ustalenie, czy należy wziąć pod uwagę **efekty skręcania** spowodowany przypadkowym mimośrodem. Jeśli użytkownik chce uwzględnić taki efekt, program obliczy dodatkowe momenty skręcające wokół pionowej osi dla każdej kondygnacji i każdej postaci własnej. Wielkość momentów skręcających zależy od obciążenia poziomego i mimośrodu każdej kondygnacji.

Obciążenia poziome są pobierane z przypadków obciążeń odpowiadających każdej częstotliwości własnej i kierunku poziomemu.

Wielkość mimośrodu względem całkowitej wielkości każdej kondygnacji jest określony przez użytkownika. Współczynnik przypadkowego mimośrodu zalecany w EC8-1 4.3.2 (1) P wynosi 5%.

Momenty skręcające obliczane są według następujących wzorów:

$$T_{X,i,j} = F_{X,i,j} \cdot \left(\pm e H_{Y,i}\right)$$
$$T_{Y,i,j} = F_{Y,i,j} \cdot \left(\pm e H_{X,i}\right)$$

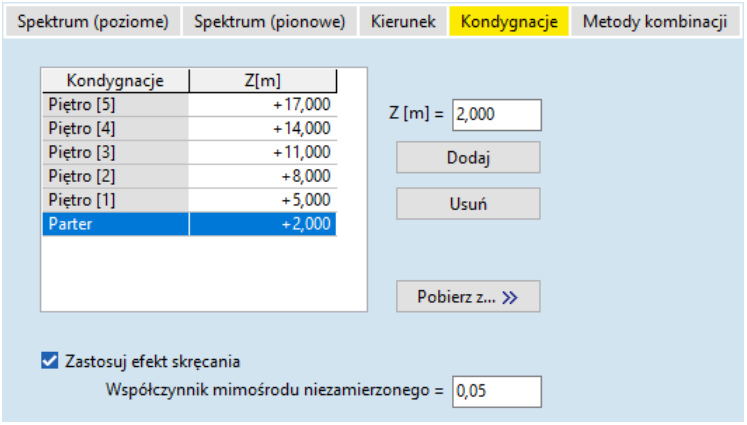


gdzie

F jest poziomą siłą postaci *j* na kondygnacji *i*,

H jest wielkością kondygnacji *i* w danym kierunku X lub Y.

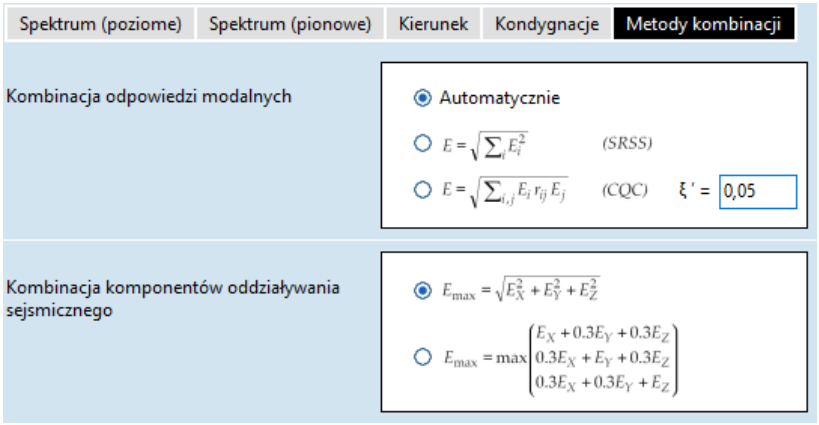
Momenty skręcające są rozważane ze znakiem + lub -, ale zawsze takim samym na wszystkich kondygnacjach.



Metody kombinacji

Ostatnia zakładka w oknie dialogowym *Obciążenie sejsmiczne* umożliwia kontrolowanie kombinacjami wyników dla poszczególnych postaci i poszczególnych kierunków. Wyniki z poszczególnych postaci można łączyć za pomocą pierwiastka kwadratowego sumy kwadratów (ang. Square Root of Sum of Squares - SRSS) lub całkowitej kombinacji kwadratowej (ang. Complete Quadratic Combination - CQC). Ten ostatni sposób uważany jest za bardziej odpowiedni, jeśli postacie drgań konstrukcji nie są wyraźnie oddzielone (tzn. wartości częstotliwości drgań są blisko siebie).
Wybór automatycznej opcji pozwala programowi zadecydować, czy zastosowanie metody CQC jest uzasadnione wynikami analizy modalnej. Program traktuje postacie *i* oraz *j* jako wyraźnie oddzielone, jeśli zachodzi następujący warunek: $T_j / T_i < 0{,}9$.
Wyniki w dwóch kierunkach poziomych i kierunku pionowym można łączyć ze sobą, używając jednej z dwóch powszechnie używanych metod kombinacji wyświetlanych w oknie dialogowym.
Oddziaływania sejsmiczne mogą być również łączone ręcznie poprzez tworzenie niestandardowych kombinacji obciążeń. SMX, SMY oraz SMZ wraz łączonymi przypadkami obciążeń są również dostępne w tabeli z kombinacjami (**patrz...** *4.10.2 Kombinacje obciążeń*).

☞ **Ostrzeżenie! Wielokrotne przypadki obciążeń sejsmicznych należących do tego samego kierunku działania lub przypadki SMX, SMY, SMZ oraz SM+/- nie mogą zostać wspólnie uwzględnione w tej samej kombinacji.**



Po ustawieniu parametrów obciążenia i zamknięciu okna dialogowego *Obciążenie sejsmiczne* przyciskiem OK, program wygeneruje przypadek obciążenia dla każdej postaci i kierunku, zgodnie z ustawieniami określonymi przez użytkownika. Do tych przypadków obciążenia stosuje się następującą konwencję nazewnictwa:
Obciążenia zakończone na **01X, 02X, ... nX, 01Y, 02Y, ... nY, 01Z, 02Z, ... nZ** są ekwiwalentnymi siłami w kierunku X, Y lub Z odpowiadającym poszczególnym postaciom własnym.
Obciążenia zakończone na **01tX, 02tX, ... ntX, 01tY, 02tY, ... ntY** są momentami skręcającymi spowodowanymi przypadkowym mimośrodem w kierunku X lub Y.

4. Przeprowadzenie liniowej analizy statycznej i ocena wyników

Analiza spektrum odpowiedzi modalnej wykorzystuje kombinację wyników z liniowej analizy statycznej w celu uzyskania obliczeniowego oddziaływania sejsmicznego dla rozważanej konstrukcji. Po utworzeniu przypadków obciążeń dla każdej postaci drgań w każdym kierunku, następnym etapem procedury MRSA jest przeprowadzenie liniowych analiz statycznych. Program automatycznie obliczy oddziaływania każdej postaci w każdym kierunku i połączy te oddziaływania zgodnie z ustawieniami wybranymi w oknie dialogowym *Obciążenie sejsmiczne*.

Po przeprowadzeniu liniowych analiz statycznych na liście z wynikami na zakładce *Statyka* znajdzie się kilka przypadków obciążenia sejsmicznego. Stosowana jest następującą konwencja nazewnictwa dla przypadków obciążenia sejsmicznego:

Oprócz przypadków obciążenia odpowiadających poszczególnym postaciom, istnieją dwa typy dodatkowych wyników. Nazwy przypadków obciążeń kończących się na **X, Y** lub **Z** zawierają łączną odpowiedź z wyników analizy modalnej w kierunku X, Y lub Z. Jeśli rozważany jest również mimośród przypadkowy, to w nazwach przypadków obciążeń odpowiadających kierunkom poziomym znajdzie się dodatkowa litera **a** lub **b**. Litera **a** lub **b** odpowiada efektom skręcania, odpowiednio z dodatnim lub ujemnym mimośrodem. Na przykład **Ya** jest połączeniem wyników z analizy modalnej w kierunku Y z uwzględnieniem wpływu dodatniej mimośrodowości mas sejsmicznych w kierunku X.

Połączenie przypadków obciążeń po kierunkach X, Y, Z jest wykonywane przez program automatycznie. Taka kombinacja daje pojedynczy, jednomyślny wynik, jeśli nie ma przypadkowego mimośrodu. Jeśli zadana jest mimośrodowość przypadkowa, to kombinacja efektów z kilku kierunków nie jest tak jednoznaczna. W programie uwzględniono cztery podstawowe przypadki, w zależności od kierunku mimośrodu w przypadkach obciążeń X oraz Y. Każda z następujących kombinacji jest tworzona i przechowywana w danym przypadku obciążenia o nazwie zakończonej określoną liczbą:

1 = Xa + Ya + Z
2 = Xa + Yb + Z
3 = Xb + Ya + Z
4 = Xb + Yb + Z

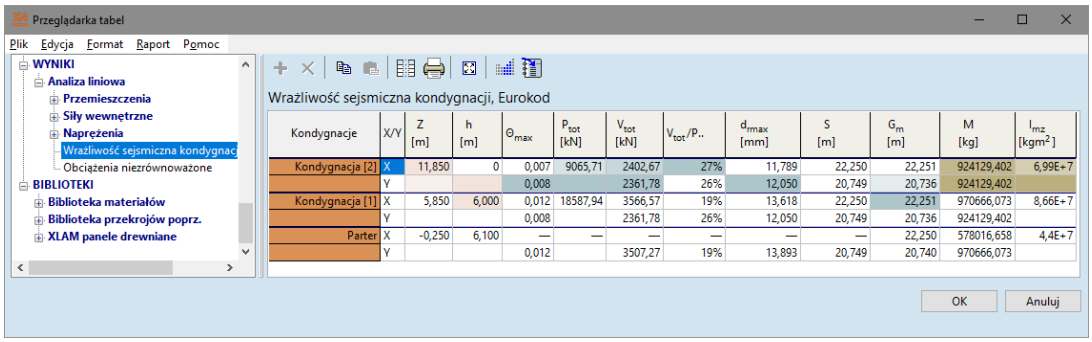
Wyniki analizy MRSA są z definicji wartościami bezwzględnymi. W związku z tym, powyższe przypadki obciążeń będą zawierać tylko wartości dodatnie. Najmniej korzystnym scenariuszem obciążenia jest kombinacja oddziaływań sejsmicznych i oddziaływań pochodzących z innych źródeł, takich jak obciążenie grawitacyjne. Utworzenie takiej kombinacji obciążeń w programie jest ułatwione, poprzez uwzględnienie dwóch przypadków obciążeń dla każdego obciążenia sejsmicznego: oddziaływania sejsmiczne z wartościami tylko dodatnimi i tylko ujemnymi (oznaczone odpowiednio ze znakiem + oraz – na końcu nazwy przypadku obciążenia). Warto zwrócić uwagę, że wartości bezwzględne odpowiadających odpowiedzi (siły wewnętrzne, przemieszczenia itd.) są identyczne zarówno w przypadku obciążenia + jak i -.

Wyniki przemieszczeń pokazywane na zakładce *Statyka* są automatycznie przeskalowywane przez współczynnik q_d, określony w oknie dialogowym *Obciążenie sejsmiczne*.

Efekty drugiego rzędu ze względu na nieliniowość geometryczną powinny być uwzględnione przy ocenie wyników MRSA. Program obsługuje takie obliczenia za pomocą danych w tabeli *Wrażliwość sejsmiczna kondygnacji* w Przeglądarce tabel. Niezależne wyniki dla każdego kierunku poziomego są dostępne w tej tabeli.

Następujące wartości są obliczane przez program:

- ***θmax*** – plastyczny wskaźnik stabilności, zwany też międzykondygnacyjnym współczynnikiem wrażliwości na przesunięcie wg EC8-1 4.4.2.2 (2)
- $\boldsymbol{P_{tot}}$ – całkowite obciążenie grawitacyjne powyżej danej kondygnacji
- $\boldsymbol{V_{tot}}$ – całkowita siła sejsmiczna ścinająca daną kondygnację
- $\boldsymbol{d_{max}}$ – obliczeniowe przemieszczenie międzykondygnacyjne, obliczone jako względne przemieszczenie środków ciężkości odpowiadających kondygnacji
- ***S*** – położenie środka ścinania
- $\boldsymbol{G_m}$ – położenie środka ciężkości
- ***M*** – masa kondygnacji
- $\boldsymbol{I_{mz}}$ – moment bezwładności środka ciężkości wokół osi Z



Kondygnacje	X/Y	Z [m]	h [m]	Θ_{max}	P_{tot} [kN]	V_{tot} [kN]	$V_{tot}/P..$	d_{rmax} [mm]	S [m]	G_m [m]	M [kg]	I_{mz} [kgm^2]
Kondygnacja [2]	X	11,850	0	0,007	9065,71	2402,67	27%	11,789	22,250	22,251	924129,402	6,99E+7
	Y			0,008		2361,78	26%	12,050	20,749	20,736	924129,402	
Kondygnacja [1]	X	5,850	6,000	0,012	18587,94	3566,57	19%	13,618	22,250	22,251	970666,073	8,66E+7
	Y			0,008		2361,78	26%	12,050	20,749	20,736	924129,402	
Parter	X	-0,250	6,100	—	—	—	—	—	—	22,250	578016,658	4,4E+7
	Y			0,012		3507,27	19%	13,893	20,749	20,740	970666,073	

AxisVM nie bierze automatycznie pod uwagę wpływu efektów drugiego rzędu przez amplifikację sił wewnętrznych. Użytkownik powinien sam ocenić wrażliwość konstrukcji na te efekty. Jeśli wpływ efektów drugiego rzędu ma zostać wzięty pod uwagę poprzez amplifikację sił, to użytkownik powinien określić odpowiednią wartość współczynnika amplifikacji zgodnie z EC8-1 4.4.2.2 (3). Współczynnik ten może zostać zdefiniowany w programie jako współczynnik f_{se} w następujących miejscach:

6.5.1.1 Wymiarowanie zbrojenia (moduł RC1)
6.5.1.4 Nośność na ścinanie dla płyt i powłok (moduł RC3)
6.5.3 Wymiarowanie słupa żelbetowego (moduł RC2)
6.5.5 Wymiarowanie słupa o profilu zespolonym (moduł RC2)
6.5.2.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste belek (zginanie jednokierunkowe)
6.5.1.5 Sprawdzenie przebicia (moduł RC3)
6.5.9 Wymiarowanie fundamentów (moduł RC4)
6.5.10
Wymiarowanie żelbetowych trzonów i ścian (moduł RC5)
6.5.11 Analiza naprężenie-odkształcenie konstrukcji żelbetowych (moduł RC6)

Wymiarowanie - Stal
6.7 Wymiarowanie – Drewno
6.7.4 Wymiarowanie obszarów XLAM – panele CLT (moduł XLM)
6.8 Wymiarowanie ścian murowych – moduł MD1

Współczynnik f_{se} skaluje tylko siły wewnętrzne pochodzące od obciążenia sejsmicznego.

4.10.24.2 Wyznaczanie obciążeń sejsmicznych wg szwajcarskiej normy SIA 261

Procedura wyznaczania, okna dialogowe, założenia i cechy analizy są identyczne do tych zaprezentowanych w ogólnej części Eurokodu 8. Poniżej wymieniono akapity, które są jedynymi modyfikacjami odróżniającymi normę SIA 261.

- **3. Ustawienia parametrów obciążenia sejsmicznego**
  Zastosowane modyfikacje w oknie dialogowym *Obciążenia sejsmiczne*:
  - Poziome i pionowe spektra odpowiedzi bazują na SIA261 16.2.4.
  - Parametry charakteryzujące podłoże gruntowe wg Tablicy 25 z SIA 261.

4.10.24.3 Wyznaczanie obciążeń sejsmicznych wg niemieckiej normy EC8-1 NA

Procedura wyznaczania, okna dialogowe, założenia i cechy analizy są identyczne do tych zaprezentowanych w ogólnej części Eurokodu 8. Poniżej wymieniono akapity, które są jedynymi modyfikacjami odróżniającymi normę DIN EN 1998-1/NA (EC8-1 NA).

3. Ustawienia parametrów obciążenia sejsmicznego
Zastosowane modyfikacje w oknie dialogowym *Obciążenia sejsmiczne*:
- Poziome i pionowe spektra odpowiedzi bazują na EC8-1 NA NDP 3.2.2.5(4)P.
- Parametry charakteryzujące podłoże gruntowe wg Tablicy NA.4 oraz NA.5 z EC8-1 NA.

4.10.24.4 Wyznaczanie obciążeń sejsmicznych wg włoskiej normy NTC 2018

Procedura wyznaczania, okna dialogowe, założenia i cechy analizy są identyczne do tych zaprezentowanych w ogólnej części Eurokodu 8. Poniżej wymieniono akapity, które są jedynymi modyfikacjami odróżniającymi najnowszą normę NTC.

3. Ustawienia parametrów obciążenia sejsmicznego

Zastosowane modyfikacje w oknie dialogowym *Obciążenia sejsmiczne*:

- Poziome i pionowe spektra odpowiedzi bazują na NTC 2018 3.2.3.2.
- Parametry charakteryzujące podłoże gruntowe wg Tablicy 3.2.V-VII z NTC 2018 3.2.3.2.
- Jeżeli model zawiera izolatory sejsmiczne, to wykorzystywane jest spektrum zmodyfikowane, zależne od stanu granicznego (SLO, SLD, SLV, SLC) ustawionego w oknie z parametrami analizy sejsmicznej wg NTC 2018 3.2.1. **Patrz...** *4.9.18 Izolator sejsmiczny*.
  Ponieważ dla tego samego modelu można zdefiniować wiele oddziaływań sejsmicznych, to możliwe jest porównanie wyników analizy sejsmicznej dla różnych stanów granicznych.
- Wyniki układu izolatorów sejsmicznych dostępne są w oddzielnych tabelach.

4.10.24.5 Wyznaczanie obciążeń sejsmicznych wg rumuńskiej normy P100-1

Procedura wyznaczania, okna dialogowe, założenia i cechy analizy są identyczne do tych zaprezentowanych w ogólnej części Eurokodu 8. Poniżej wymieniono akapity, które są jedynymi modyfikacjami odróżniającymi normę P100-1.

3. Ustawienia parametrów obciążenia sejsmicznego

Zastosowane modyfikacje w oknie dialogowym *Obciążenia sejsmiczne*:

- Poziome i pionowe spektra odpowiedzi bazują na P100-1 3.1(7), 3.1(13), z 3.2(1).

4.10.24.6 Wyznaczanie obciążeń sejsmicznych wg holenderskiej normy NPR 9998:2018

Procedura wyznaczania, okna dialogowe, założenia i cechy analizy są identyczne do tych zaprezentowanych w ogólnej części Eurokodu 8. Poniżej wymieniono akapity, które są jedynymi modyfikacjami odróżniającymi normę NPR 9998:2018.

3. Ustawienia parametrów obciążenia sejsmicznego

Zastosowane modyfikacje w oknie dialogowym *Obciążenia sejsmiczne*:

- Poziome i pionowe spektra odpowiedzi bazują na NPR 9998:2018 3.2.2.2.3.

Przyspieszenie $a_{g;d}$ oraz parametry p, T_B, T_C, T_D powinny zostać określone przez użytkownika zgodnie z normą projektową lub wytycznymi z aplikacji internetowej zgodnej z NPR 9998.

4.10.25 Obciążenie „pushover” (moduł SE2)

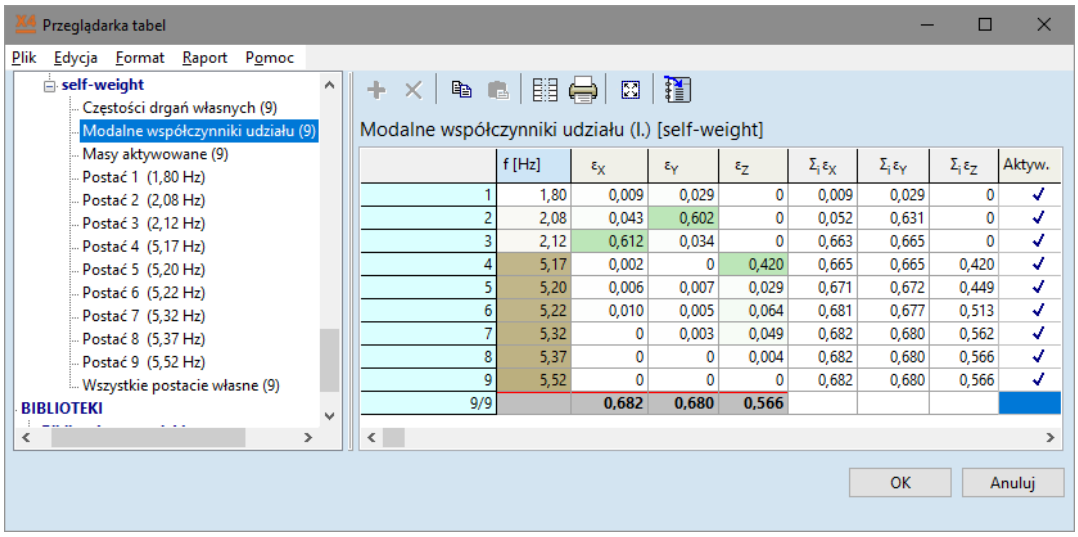
Obciążenia pushover domyślnie generowane są zgodnie z wytycznymi Eurokodu 8 (EN 1998-1:2004). Do generowania obciążeń wykorzystane zostają nietłumione częstości drgań własnych i odpowiadające im postaci własne modelu, dlatego obciążenia można generować dopiero po przeprowadzeniu analizy drgań własnych.

Etapy generowania obciążenia pushover

Poniżej przedstawiono etapy tworzenia przypadków obciążeń pushover i ustawiania ich właściwości przed przeprowadzeniem nieliniowej analizy statycznej.

1. Obliczenie postaci i częstości drgań własnych.

Przy uruchamianiu analizy modalnej należy koniecznie użyć opcji konwertowania obciążeń do mas z właściwym przypadkiem obciążenia, jeżeli istnieją zdefiniowane obciążenia, które trzeba traktować jako statyczne. W *Przeglądarce tabel* należy sprawdzić tabelę *modalnych współczynników udziału*. Wyniki dla drgań własnych zostaną wyświetlone tylko, jeżeli tabelę wyświetlono z poziomu zakładki *Drgania własne.*



	f [Hz]	ε_X	ε_Y	ε_Z	$\Sigma_i\varepsilon_X$	$\Sigma_i\varepsilon_Y$	$\Sigma_i\varepsilon_Z$	Aktyw.
1	1,80	0,009	0,029	0	0,009	0,029	0	✓
2	2,08	0,043	0,602	0	0,052	0,631	0	✓
3	2,12	0,612	0,034	0	0,663	0,665	0	✓
4	5,17	0,002	0	0,420	0,665	0,665	0,420	✓
5	5,20	0,006	0,007	0,029	0,671	0,672	0,449	✓
6	5,22	0,010	0,005	0,064	0,681	0,677	0,513	✓
7	5,32	0	0,003	0,049	0,682	0,680	0,562	✓
8	5,37	0	0	0,004	0,682	0,680	0,566	✓
9	5,52	0	0	0	0,682	0,680	0,566	✓
9/9		0,682	0,680	0,566				

Chociaż nie ma wymogu w Eurokodzie 8 dla minimalnej wartości modalnego współczynnika udziału, zaleca się jednak przeprowadzać standardową analizę pushover tylko na konstrukcjach, które posiadają wyraźnie dominujące postaci własne w każdym poziomym kierunku.
Współczynniki dla każdej postaci własnej wypisane są w tabeli *Modalne współczynniki udziału*. W przeciwieństwie do obciążeń sejsmicznych, generowanie standardowego obciążenia pushover wykorzystuje pojedynczą postać drgań własnych dla każdego przypadku obciążenia, dlatego suma modalnych współczynników udziału nie jest istotna. Dlatego też nie ma potrzeby obliczania dużej liczby postaci, jeżeli pośród kilku pierwszych z nich znajdują się postacie dominujące.

2. Utworzenie nowego przypadku obciążenia pushover.

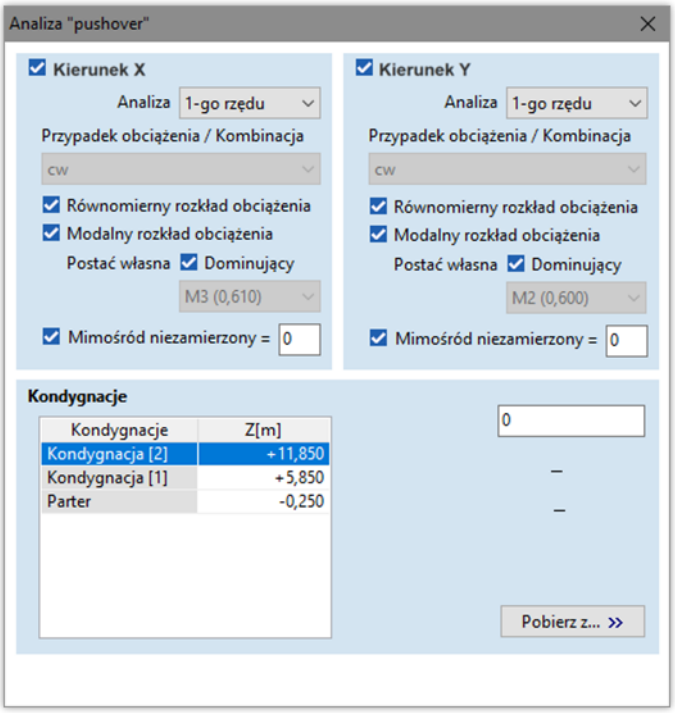
Przypadki obciążeń pushover można tworzyć, zmieniać ich nazwę oraz usuwać w oknie dialogowym *Przypadki i grupy obciążeń*. Poprzez kliknięcie w przycisk *Obciążenie pushover* utworzone zostaną początkowe cztery przypadki obciążeń.

3. Ustawienie parametrów obciążenia pushover.

Po utworzeniu przypadków obciążeń można ustawić ich parametry, klikając na przycisk *Analiza pushover* na pasku narzędziowym w zakładce *Obciążenia*.

Parametry do generowania obciążenia można ustawić u góry okna, natomiast poziomy kondygnacji dla obliczeń międzykondygnacyjnego przesunięcia wymienione są w dolnej części. (Dostępne są tu także wcześniej zdefiniowane kondygnacje).

Generowanie obciążenia dla określonego kierunku można dezaktywować za pomocą pól wyboru znajdujących się na samej górze. Ta opcja jest przydatna w przypadku modeli dwuwymiarowych. Dla każdego kierunku należy wybrać najpierw typ analizy modalnej oraz przypisany przypadek obciążenia. Pola wyboru poniżej włączają bądź wyłączają generowanie równomiernych i modalnych obciążeń. Opcja równomiernego rozkładu obciążenia generuje siły węzłowe proporcjonalnie do mas przypisanych do każdego węzła w modelu. Modalny rozkład obciążenia wykorzystuje postać własną ważoną przez masy w każdym węźle, aby wygenerować rozkład sił węzłowych.



W obu przypadkach suma sił wygenerowanych wynosi 1kN w tym samym poziomym kierunku.
Jeżeli generowane są obciążenia modalne, możliwe jest pominięcie dominujących postaci własnych używanych do generowania obciążenia. Należy podkreślić, że opcja ta przeznaczona jest wyłącznie dla zaawansowanych użytkowników, a Eurokod 8 wymaga użycia dominujących postaci własnych do analizy. Liczba w nawiasie przy każdej liczbie postaci własnej przedstawia odpowiadający modalny współczynnik udziału.
Możliwe jest również uwzględnienie efektów mimośrodów niezamierzonych i wypadkowych momentów skręcających. Program AxisVM oblicza równoważny układ sił do momentów skręcających dla każdej kondygnacji. Suma przypisanych obciążeń pushover wciąż będzie wynosić 1 kN, ale wypadkowa siła będzie na mimośrodzie powodując skręcanie.

Obciążenia pushover generowane są tylko po zamknięciu okna dialogowego. Wtedy też usuwane są niepotrzebne przypadki obciążeń.

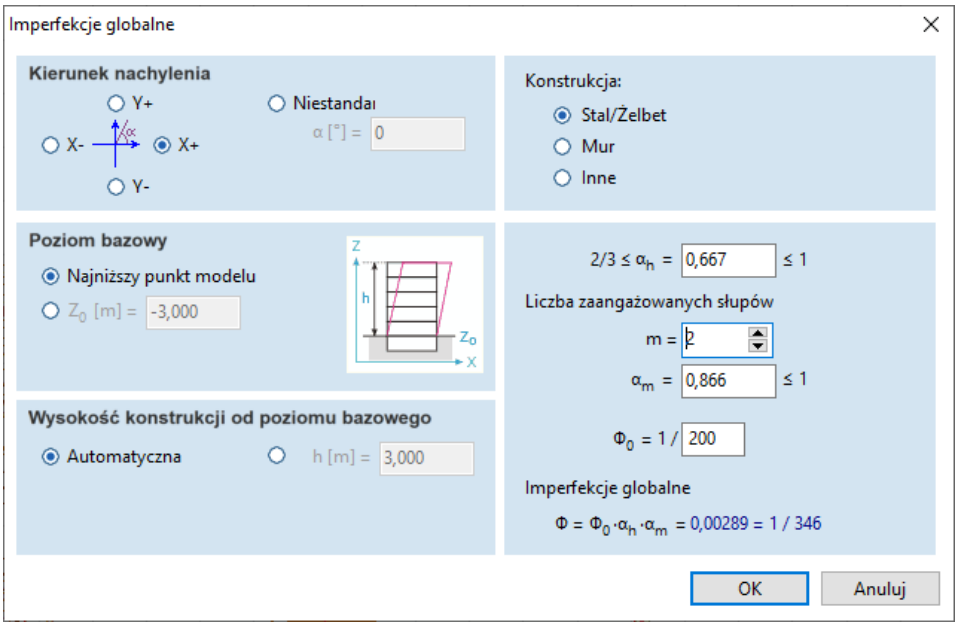
4. Uruchomienie nieliniowej analizy statycznej

Po zdefiniowaniu obciążeń dla przypadków obciążeń pushover, należy przeprowadzić analizę pushover korzystając z przycisku *Nieliniowa analiza statyczna* na zakładce Statyka w głównym oknie programu. Ustawienie sterowania rozwiązania na pushover umożliwi użytkownikowi wybranie parametrycznego i stałego przypadku obciążenia. Parametryczny przypadek obciążenia zwykle jest przypadkiem obciążenia pushover, jednak program AxisVM pozwala na zdefiniowanie również innych przypadków jako parametrycznych. Stały przypadek obciążenia w większości wypadków reprezentuje obciążenia grawitacyjne. Inne ustawienia tego okna dialogowego wyjaśnione zostały w rozdziałach *5.1 Analiza statyczna, 6.1 Statyka.*

Jako węzeł kontrolny należy wybrać jeden z węzłów w górnej części konstrukcji. Ważne jest, aby ustawić kierunek analizy zgodnie z kierunkiem parametrycznego przypadku obciążenia. Stabilność analizy można znacząco zwiększyć poprzez zwiększenie ilości przyrostów. W przypadku analiz pushover zaleca się także włączenie opcji śledzenia nieliniowości geometrycznej. Kliknięcie na przycisk OK rozpoczyna analizę.

Generowanie krzywych nośności i powiązanych wyników wyjaśniono w rozdziale *6.1.4 Krzywe nośności „pushover".*

4.10.26 Imperfekcje globalne



Po wybraniu przypadku obciążenia imperfekcja, aktywowana zostaje na pasku narzędziowym zakładki *Obciążenia* powyższa ikona. Po ustawieniu parametrów globalnej imperfekcji zostanie ona zastosowana do konstrukcji (jej amplituda wyświetlona jest w pewnym powiększeniu, aby była bardziej widoczna). Przypadki obciążeń imperfekcją można wykorzystać w kombinacjach obciążeń użytych do przeprowadzenia analiz z geometryczną nieliniowością. Węzły zostaną przesunięte z ich pierwotnej pozycji, a inne obciążenia z kombinacji zostaną przyłożone do tej zniekształconej konstrukcji.

Parametry

Imperfekcje globalne wymagają wprowadzenia następujących parametrów:

Kierunek nachylenia

Definiuje kierunek przesunięcia. Może działać
- w globalnym kierunku X lub Y
- w kierunku zdefiniowanym przez użytkownika o kącie α mierzonym od globalnej osi X

Poziom bazowy

To poziom Z_0, gdzie rozpoczyna się przechył. Dostępne są dwie opcje:
- ustawienie w najniższym punkcie modelu
- ustawienie w poziomie Z_0 zdefiniowanym przez użytkownika

Wysokość konstrukcji od poziomu bazowego

Wysokość konstrukcji mierzona jest od poziomu bazowego Z_0. Dostępne opcje:
- ustawienie w najwyższym punkcie modelu
- ustawienie na wysokości *h* zdefiniowanej przez użytkownika

Nachylenie

Nachylenie obliczane jest w zależności od wybranego typu konstrukcji w następujący sposób:

Stal/Żelbet

$\Phi = \Phi_0 \alpha_h \alpha_m$, gdzie

α_h to współczynnik zmniejszający: $\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{(h[m])}}$ z zakresu $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$

α_m to współczynnik zmniejszający: $\alpha_m = \sqrt{0.5\left(1+\frac{1}{m}\right)}$, gdzie *m* to ilość zaangażowanych słupów.

Mur

$$\nu = \frac{1}{100\sqrt{h}}$$

Inne

Dowolna wartość określona przez użytkownika.

4.10.27 Imperfekcje geometryczne na podstawie postaci wyboczenia

Jedynym parametrem tego przypadku obciążenia jest imperfekcja uzyskana z postaci wyboczeniowych. Jeżeli jakakolwiek kombinacja będzie zawierała ten przypadek obciążenia, to AxisVM w analizie uwzględni geometrię imperfekcyjną układu.
Chociaż przypadki obciążenia imperfekcją na bazie postaci wyboczenia mogą być standardowo tworzone, usuwane i edytowane z poziomu zakładki *Obciążenia*, to przypadki te są właściwie automatycznie tworzone i usuwane wg definicji i usuwania postaci imperfekcji z zakładki *Wyboczenie*.
Więcej o tworzeniu geometrii imperfekcyjnej w *6.2.1 Tworzenie geometrii z imperfekcją na podstawie postaci wyboczeniowych – moduł IMP*

4.10.28 Sprężenie (moduł PS1)

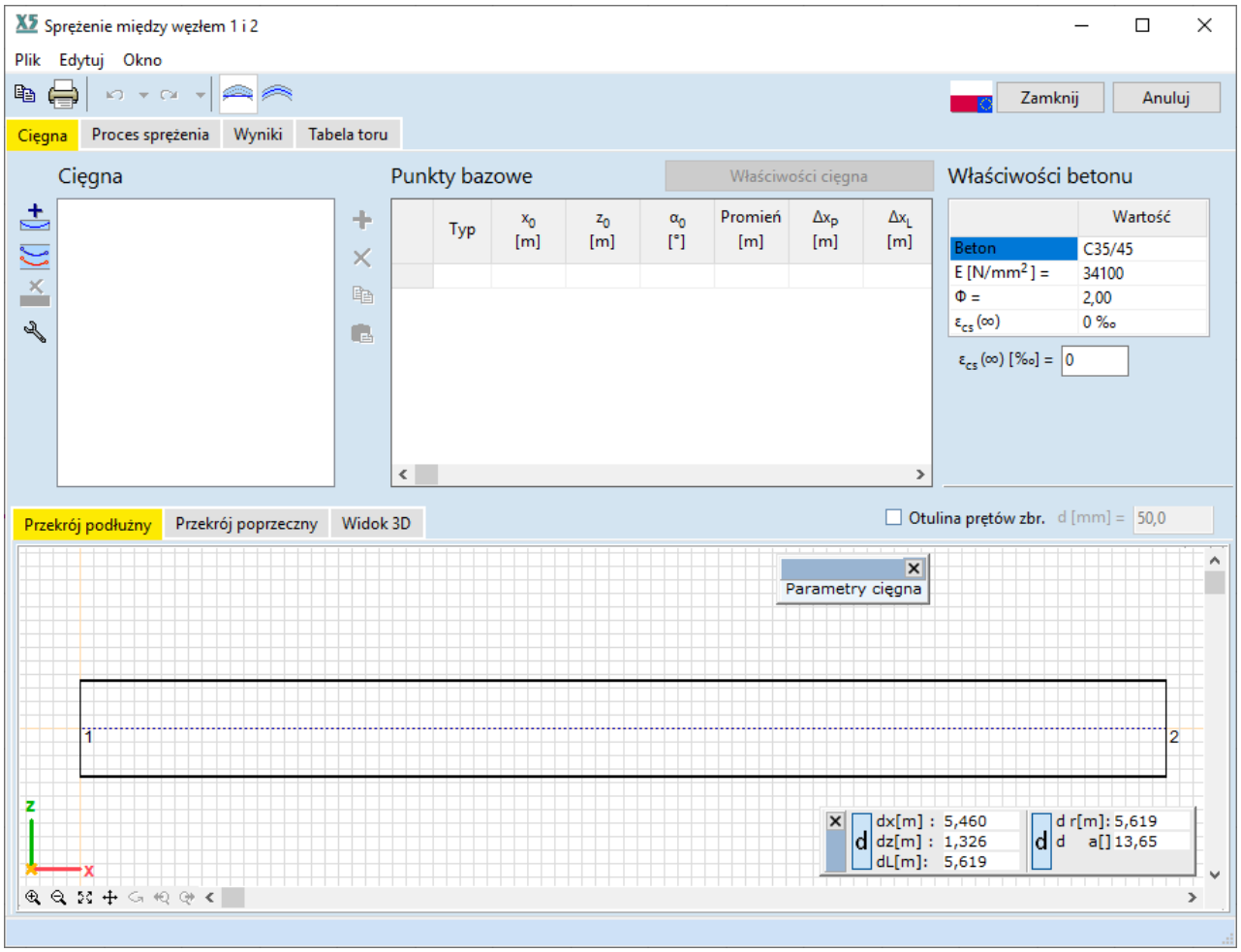
Cięgna można przypisywać do ciągłych elementów prętowych (pręt lub żebro) lub obszar. Po zdefiniowaniu właściwości cięgien i procesu sprężenia AxisVM wyznacza rozkład naprężeń w cięgnach natychmiast po ich zakotwieniu oraz ekwiwalentne obciążenia na zakończenie procesu sprężenia (przypadek obciążenia *nazwa-T0*).
Po zakończeniu analizy statycznej program określa straty wstępnego sprężenia w zależności od czasu i długotrwałe ekwiwalentne obciążenia z wyników kombinacji quasi-stałych (przypadek obciążenia *nazwa- TI*). Tabele toru cięgien można wygenerować w etapach określonych przez użytkownika.

4.10.28.1 Sprężanie kablobetonowych belek i żeber

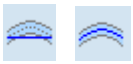
Kliknij tę ikonkę na zakładce *Obciążenia*, aby przypisać cięgna to wybranej belki lub żebra.

Cięgna

Pierwsza zakładka przeznaczona jest do definiowania parametrów cięgien i ich geometrii.



Układy współrzędnych



Geometria cięgna może zostać zdefiniowana stałym układzie współrzędnych (lewa ikona) lub w ruchomym (prawa ikona).

Stały układ współrzędnych dopasowany jest do linii prostej, która łączy pierwszy i ostatni węzeł w taki sposób, że oś -x- jest określona przez tę linię, a oś -y- układu określona jest przez oś -y- belki w jej punkcie początkowym. Oś -z- układu wyznaczana jest zgodnie z regułą prawej dłoni.

W przypadku belki, która jest zakrzywiona (zdefiniowana przez łuk lub wielokąt), można wybrać definicję geometrii cięgna przy pomocy **ruchomego układu współrzędnych**. Jeżeli belka na swojej długości opisana jest na łuku, to układ ten przesuwa się po tym łuku. Jeżeli natomiast belka zdefiniowana jest na podstawie wielu linii nie współliniowych, to geometria cięgna jest interpolowana za pomocą splajnu o sześciennej funkcji kształtu. Oś -x- układu współrzędnych dopasowuje się do stycznej kształtu belki na jej długości, a oś -z- w każdym punkcie dopasowana jest do lokalnej osi -z- belki. Oś -y- układu wynika z reguły prawej dłoni.

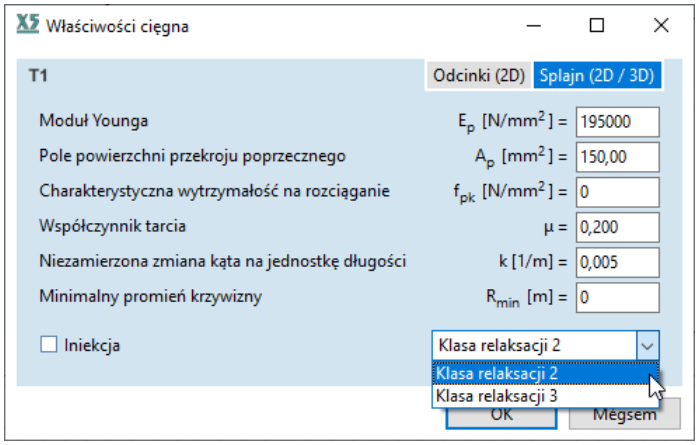
Geometria cięgna może zostać wyświetlona w jednym z następujących widoków:

Przekrój podłużny	W przekroju podłużnym położenie cięgna widoczne jest w płaszczyźnie pracy. Linia ciągła przedstawia przekrój płaszczyzny pracy i elementu. Linia przerywana pokazuje linię środkową belki i rzutowanie narożników belki na płaszczyznę pracy.
Przekrój poprzeczny	W tym widoku położenie cięgien (widocznych jako punkt) pokazywane jest w przekroju poprzecznym belki (*y-z*).
Widok 3D	Widok służy do przestrzennej prezentacji cięgien i elementu.

Pionowy pasek narzędzi obok listy cięgien zawiera następujące ikony:

Dodaj nowe cięgno

Geometria dla nowego cięgna może zostać zdefiniowana za pomocą paska narzędzi obok wykresu.



W pierwszej kolejności należy zdefiniować parametry cięgien.

Odcinki (2D)

Geometria cięgna jest definiowana jako seria złożona z odcinków prostych, paraboli i łuków.

Splajn (2D/3D)

Geometria cięgna jest definiowana jako krzywa splajn.

Użytkownik może zdefiniować geometrię cięgna jako serię złożoną z prostej, paraboli, łuku lub jako krzywą splajn.

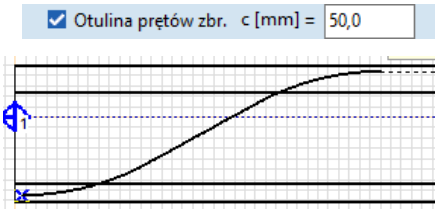
E_p	moduł sprężystości stali sprężającej
A_p	pole powierzchni przekroju poprzecznego cięgna
f_{pk}	charakterystyczna wytrzymałość stali cięgien na rozciąganie
μ	współczynnik tarcia pomiędzy cięgnem a jego kanałem
k	niezamierzone kątowe przemieszczenie dla cięgien wewnętrznych na jednostkę długości. Wskazuje na precyzję wykonania. Zazwyczaj 0,005 < k < 0,01.
R_{min}	minimalny promień krzywizny. W miejscach, gdzie promień krzywizny jest mniejszy od tego ograniczenia, cięgna wyświetlane są na czerwono.

Klasa relaksacji zależy od charakterystyki relaksacyjnej cięgna. Druty i sploty należą do 2-giej klasy relaksacji, a pręty należą do 3-ciej klasy.

Iniekcja Jeżeli zastosowana jest iniekcja w kanałach, należy zaznaczyć tę opcję.

Uwaga: Aby wyedytować powyższe właściwości, należy zaznaczyć cięgno jako aktywne i kliknąć w przycisk *Właściwości cięgna*.

Otulina betonowa



Jeżeli najedziemy kursorem na dolną lub górną krawędź przekroju, to wskazywany tak punkt zostanie do niej przyciągnięty. Jeżeli zaznaczono opcję *Otulina prętów zbr.* to wskazany punkt nie będzie leżał na krawędzi, ale zostanie odsunięty do środka o określoną wartość otuliny. Funkcja ta działa tak samo w przypadku rysowania za pomocą odcinków jak i splajnu.

Rysowanie cięgien z użyciem funkcji Splajn (2D/3D)

Aby narysować geometrię cięgna, należy skorzystać z ikon na pionowym pasku narzędzi obok rysunku i wprowadzić punkty bazowe. AxisVM określa tor przechodzący przez te punkty bazowe jako krzywą sklejaną (splajn) trzeciego stopnia, aby zminimalizować krzywiznę. Dla każdego punktu bazowego można określić kąt stycznej, ustawiając w tabeli wartości α (widok z góry) i β (widok z boku). Wprowadzane wartości muszą mieścić się w zakresie -180° do 180°. Początkowe wartości wynoszą 0°. Istniejące punkty bazowe można przeciągać na nowe pozycje za pomocą myszy.

Rysuj cięgno w 2D

Punkty bazowe mogą być utworzone poprzez kliknięcie na schemacie lub za pomocą okna współrzędnych. Aby zakończyć wprowadzanie splajnu i określić, że dany punkt bazowy jest ostatni, należy kliknąć w niego dwukrotnie lub użyć opcji *Zakończ* z menu podręcznego (prawy przycisk myszy). Położenie cięgien w obrębie przekroju poprzecznego należy określić tylko w pierwszym punkcie bazowym. Kolejne punkty bazowe utworzone będą w lokalnej płaszczyźnie *x-z* (przekroju podłużnym) zawierającej pierwszy punkt bazowy.

Etapy rysowania cięgna w 2D

1. Wskaż położenie przekroju poprzecznego na długości elementu (współrzędna *-x-*), w którym ma zostać zdefiniowany punkt bazowy cięgna.
2. W automatycznie otwartym widoku przekroju poprzecznego umieść cięgno.
3. Po ustawieniu położenia pierwszego punktu trasy kabla można umieścić pozostałe punkty w przekroju podłużnym.

Rysuj cięgno w 3D

Położenie cięgna w obrębie przekroju poprzecznego, należy określić w każdym punkcie bazowym. Definiowanie geometrii cięgna można zakończyć za pomocą opcji *Prawy przycisk myszy / Zakończ*.

Etapy rysowania cięgna w 3D

1. Wybierz położenie na długości elementu dla przekroju poprzecznego, gdzie ma zostać zdefiniowany punkt bazowy cięgna.
2. Umieść cięgno we właściwej pozycji w widoku przekroju poprzecznego.

Powtarzaj krok 1 i 2, aby zdefiniować wszystkie punkty bazowe.

Dodaj nowy punkt bazowy.

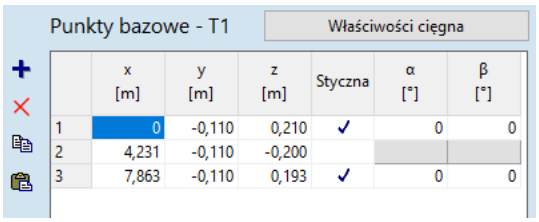
Kliknij na cięgno, aby dodać nowy punkt bazowy. W przypadku wstawionych kilku cięgien funkcja ta działa tylko na aktywnym cięgnie.

Usuń punkt bazowy.

Kliknięcie na istniejący punkt bazowy spowoduje jego usunięcie. Jeżeli cięgno składa się tylko z dwóch punktów bazowych, to usunięcie jednego z nich spowoduje usunięcie całego cięgna. W przypadku wstawionych kilku cięgien funkcja ta działa tylko na aktywnym cięgnie.

Tabela punktów bazowych

Punkty bazowe mogą być edytowane w tabeli. *x, y, z* to współrzędne punktów bazowych w układzie kartezjańskim. Jeżeli dla punktu została zaznaczona opcja w kolumnie *Styczna*, to można również określić wartości kątów α oraz β (kąt między kierunkiem *-x-* a styczną w płaszczyźnie *x-y* oraz *x-z*).



	x [m]	y [m]	z [m]	Styczna	α [°]	β [°]
1	0	-0,110	0,210	✓	0	0
2	4,231	-0,110	-0,200			
3	7,863	-0,110	0,193	✓	0	0

Wstaw nowy punkt bazowy

Skopiuj dane cięgna do schowka

Usuń wybrane wiersze

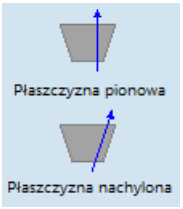
Wstaw dane cięgna ze schowka

Rysowanie cięgien z użyciem funkcji Odcinek (2D)

Za pomocą tej metody, kabel może zostać zdefiniowany za pomocą segmentów (odcinków). Każdy segment zbudowany z jednego, dwóch lub trzech podsegmentów.

Uwaga: Współrzędne *x*, *y* oraz *z* punktów odpowiadają przyjętemu układowi współrzędnych (stały lub ruchomy).

Ustawienie układu dla cięgna



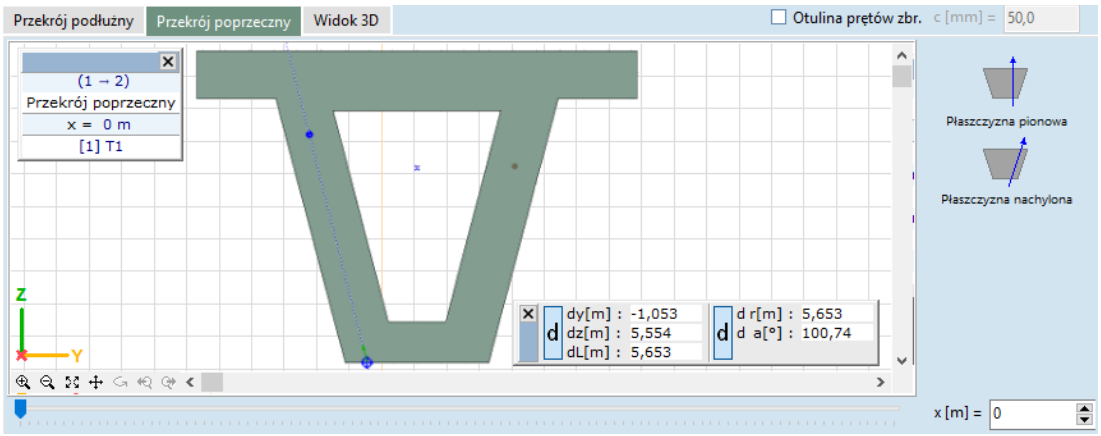
Segmenty kabla są krzywymi współpłaszczyznowymi w płaszczyźnie podłużnej elementu sprężanego. Położenie i nachylenie tej płaszczyzny może zostać ustawione w widoku *Przekrój poprzeczny*.

Aby ustawić płaszczyznę cięgna określ współrzędną *x* na długości elementu przesuwając suwak w dolnej części okna lub wprowadzając wartość tej współrzędnej w polu po prawej stronie suwaka. Następnie wybierz jedną z opcji po prawej stronie okna z aktualnym widokiem:

Płaszczyzna pionowa – gdy cięgno przebiega w płaszczyźnie pionowej (oś *-z-* jego układu współrzędnych jest równoległa do lokalnej osi *-z-* belki). Wskaż punkt na przekroju poprzecznym (*y, z*), aby określić początek układ (*x, y, z*) współrzędnych dla cięgna.

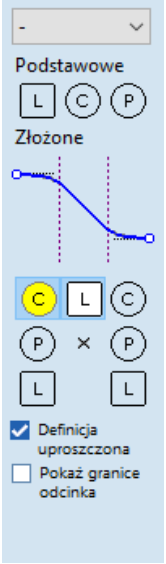
Płaszczyzna nachylona – gdy cięgno nie przebiega w płaszczyźnie pionowej. Wskaż punkt na przekroju poprzecznym (*y, z*), aby określić początek układu (*x, y, z*) współrzędnych dla cięgna, a następnie kliknij drugi punkt, który określi nachylenie płaszczyzny.

Geometria cięgna na zakładce *Przekrój podłużny* będzie wówczas definiowana i wyświetlana w określonej wcześniej płaszczyźnie.



Definicja segmentów

Każdy segment zbudowany jest z jednego, dwóch lub trzech podsegmentów. Geometria podsegmentu może zostać wybrana z paska narzędziowego obok trasy cięgna. Kliknięcie w ikony na pasku narzędziowym obok okna z trasą kabla pozwala wybrać geometrię podsegmentu.



Jednoliterowe skróty oznaczają:

C	Łuk kołowy o określonym promieniu,
P	Łuk paraboliczny
L	Linia prosta
x	Brak krzywizny pośredniej

Opcje:

Podstawowe Wybierz z rozwijanej listy odpowiedni symbol (L, C lub P) lub zaznacz go na pasku, aby zdefiniować linię prostą, łuk kołowy lub paraboliczny podsegmentu jako ciągłość w punkcie stycznej do istniejącej geometrii.

Złożone Wybierz dwa lub trzy symbole na pasku lub z rozwijanej listy, aby wstawić segment złożony z dwóch lub trzech podsegmentów.

Definicja uproszczona Jeżeli podczas tworzenia segmentu jako *Złożony* zaznaczona jest opcja *Definicja uproszczona*, to styczne punktów końcowych są zawsze poziome.

W przypadku uproszczonej definicji styczna początkowa i końcowa jest pozioma i jest wystarczająca do ustawienie pierwszego typu odcinka. Jeżeli ostatni podsegment pierwszego segmentu jest łukiem (np. LC w początkowym segmencie) to cały zestaw będzie CLC. Jeżeli jest on łukiem parabolicznym (np. LP w początkowym segmencie) to cały zestaw będzie PLP.

Pokaż granice odcinka Pokazuje granice odcinków prostych i krzywych.

Następnie można określać kolejne segmenty.

Tabela odcinków

Odcinki - T3

	Typ	x_0 [m]	z_0 [m]	α_0 [°]	Promień [m]	Δx_P [m]	Δx_L [m]	L [m]	x_1 [m]	z_1 [m]	α_1 [°]
1	CL	0	0,078	0	2,500	-	1,240	1,650	1,650	-0,162	-9,44
2	CLC	1,650	-0,162	-9,44	2,500	-	2,301	3,102	4,752	0	0
3	CLC	4,752	0	0	2,500	-	0,920	1,248	6,000	-0,071	0
4	CLC	6,000	-0,071	0	2,500	-	1,180	1,890	7,890	0,149	0
5	CLC	7,890	0,149	0	2,500	-	2,059	3,350	11,240	-0,571	0

x_0, z_0	współrzędne punktu początkowe odcinka cięgna
α_0	kąt stycznej cięgna w punkcie początkowym
Radius	wartość promienia w przypadku definicji łuku
Δx_P	długość po kierunku -x- pierwszej paraboli
Δx_L	długość po kierunku -x- prostej
L	długość segmentu rzutowanego na oś -x-
x_1, z_1	współrzędne punktu końcowego odcinka cięgna
α_1	kąt stycznej cięgna w punkcie końcowym

Uwaga: Nie wszystkie parametry geometryczna są dostępne dla wszystkich typów odcinków. Na przykład kąt stycznej w punkcie początkowym dla LC (linia prosta-łuk kołowy) nie może zostać zmodyfikowany, ponieważ wartość kąta stycznej jest już zdefiniowana poprzez współrzędne punktu początkowego i końcowego oraz promień łuku.

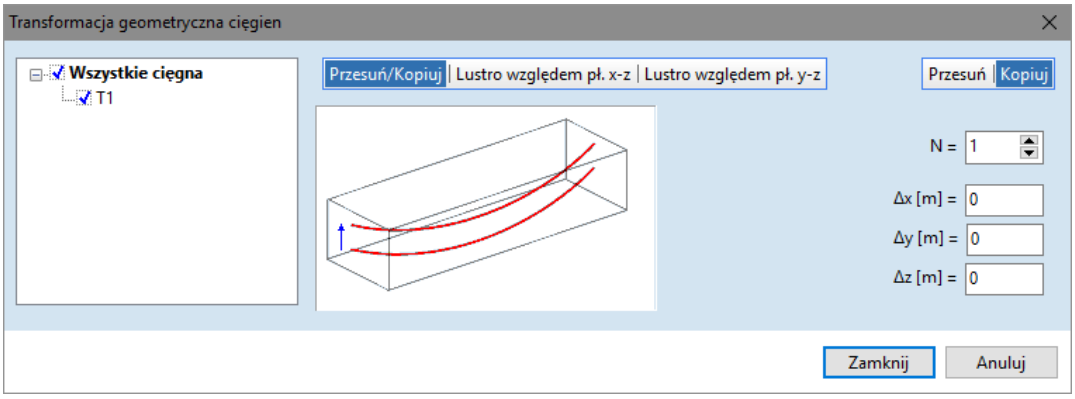
Dodaj nowy odcinek

Usuń odcinek

Skopiuj dane cięgna do schowka

Wstaw dane cięgna ze schowka

Transformacja geometryczna cięgien



Cięgna wybrane na liście można poddawać translacji lub odbiciu lustrzanemu. Cięgna mogą być kopiowane lub przesuwane. Skopiowane cięgna zachowują pierwotne parametry i przypisany do nich proces sprężenia.

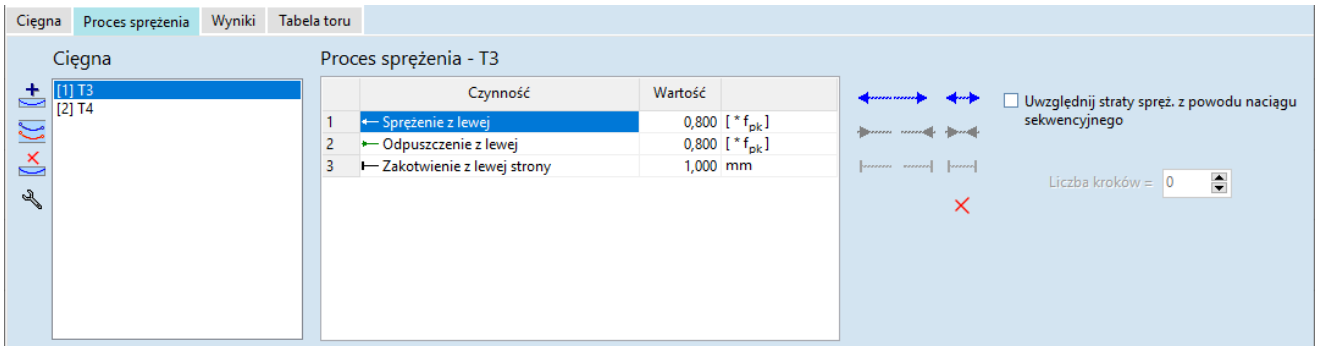
Usuń cięgno: Usuwa wybrane cięgno.

Opcje. Umożliwia edytowanie ustawień rastra i kursora odrębnie dla schematu podłużnego i poprzecznego. **Patrz...** *2.16.19.1 Raster i kursor*

Właściwości betonu We właściwościach betonu można zobaczyć jego parametry, a dodatkowo można zmodyfikować wartość długotrwałych odkształceń skurczowych $e_{cs}(\infty)$.

Proces sprężenia

Druga zakładka służy do definiowania procesu sprężenia dla cięgien poprzez określenie kolejności operacji tego procesu. Kliknij odpowiedni symbol, aby dodać nową operację do listy.



Możliwe operacje i parametry:

Sprężenie z lewej / prawej / obu stron Siła jako część charakterystycznej wartości wytrzymałości stali cięgien na rozciąganie (f_{pk}).

Odpuszczenie z lewej / prawej / obu stron

Zakotwienie po lewej / prawej / obu stronach Poślizg w urządzeniu kotwiącym

Usuwa ostatnią operację z listy.

Uwaga: lewa strona jest punktem początkowym kabla, a prawa strona oznacza jego koniec.

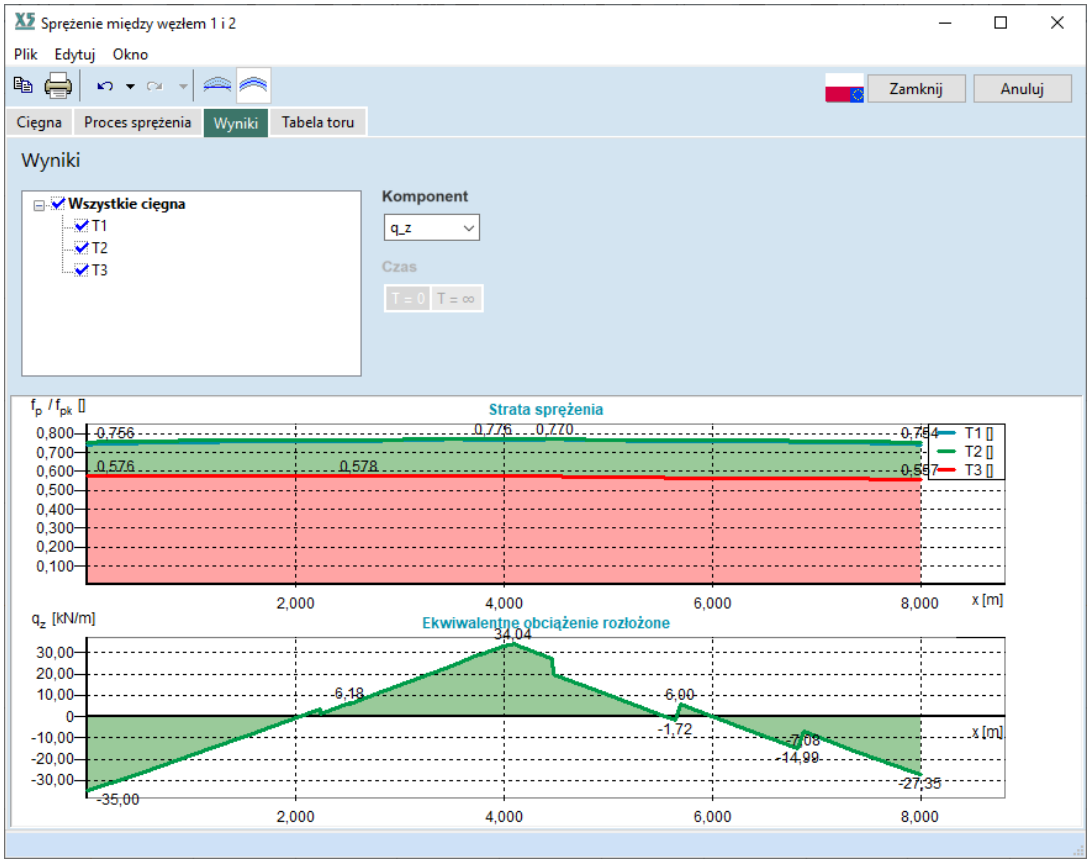
Uwzględnij straty sprężenia z powodu naciągu sekwencyjnego Jeżeli z elementem konstrukcyjnym powiązany jest więcej niż jeden kabel, to mogę one być naciągane w różnym czasie. Z tego powodu straty naprężeń powstają we wcześniej zakotwionych kablach. Dzięki tej opcji użytkownik może uwzględnić to zjawisko.

Liczba kroków Jeżeli uwzględniana jest strata z powodu sekwencyjnego naciągu, należy tutaj określić liczbę kroków sekwencji.

Wyniki

Jeżeli do każdego cięgna przypisano poprawne parametry materiałowe, geometrię i proces sprężenia, to w trzeciej zakładce zostaną wyświetlone wykresy z wynikami.

Górny wykres przedstawia stosunek rzeczywistej siły sprężającej do charakterystycznej wytrzymałości na rozciąganie dla zaznaczonych na liście cięgien. Dolny wykres przedstawia wybraną składową ekwiwalentnego obciążenia rozłożonego dla zaznaczonych na liście wybranych cięgien.



Komponent W tym miejscu można wybrać składnik ekwiwalentnego układu obciążenia. Do wyboru są 3 składowe sił i 3 składowe momentów.

Czas Naprężenia w cięgnie i ekwiwalentny składnik obciążenia mogą być przedstawione zaraz po sprężeniu (opcja *T=0*) oraz z opóźnionymi stratami sprężenia (opcja *T=∞*). Druga ze wspomnianych opcji może zostać wyświetlona tylko po wykonaniu analizy statycznej.

Doraźne straty sprężenia

1. Strata sprężenia z powodu tarcia pomiędzy cięgnami i ich kanałami w położeniu x mierzonym od punktu zakotwienia wzdłuż cięgna oblicza się jako

$$\sigma_\mu(x) = \sigma_{\max\left(1-e^{-\mu(\Theta+kx)}\right)},$$

gdzie

σ_{max} to maksymalne naprężenie w cięgnie

Θ to suma bezwzględnych kątowych przemieszczeń na odległości *x*

2. Straty ze względu na natychmiastową deformację betonu obliczane są jako

$$\Delta P_{el} = A_p E_{p\sum\left[\frac{j\Delta\sigma_c}{E_{cm}}\right]},$$

gdzie

$\Delta\sigma_c$ to zmienność naprężenia w środku ciężkości przekroju poprzecznego

j *= (n–1) / 2n,* gdzie *n* to liczba kroków naprężenia

E_{cm} to sieczny moduł sprężystości betonu

3. Straty w zakotwieniu ze względu na poślizg w urządzeniach kotwiących.

Długotrwałe (opóźnione) straty sprężenia

Długotrwałe straty siły z powodu skurczu i pełzania betonu oraz relaksacji cięgien obliczane są jako

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p \Delta\sigma_{c+s+r} = A_p \frac{\epsilon_{cs} E_p + 0.8\Delta\sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \varphi \sigma_{c,QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{A_c}{I_c} z_{cp}^2\right)[1 + 0.8\varphi]},$$

gdzie

$\Delta\sigma_{c+s+r}$ to strata sprężenia z powodu powyższych efektów

E_{cm} to sieczny moduł sprężystości betonu

$\Delta\sigma_{pr}$ to długotrwała bezwzględna strata sprężenia z powodu relaksacji cięgien w przypadku 2-giej klasy relaksacji: $\Delta\sigma_{pr} = \sigma_{max} \cdot 0.6\rho_{1000} e^{9.1\mu} \cdot 500^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5}$,w przypadku 3-ciej klasy relaksacji: $\Delta\sigma_{pr} = \sigma_{max} \cdot 1.98\rho_{1000} e^{8\mu} \cdot 500^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5}$,zie $\rho_{1000} = 2.5\%$ to strata relaksacji w średniej temperaturze 20°C w 1000 godzin po sprężeniu

φ to końcowa wartość współczynnika pełzania

$\sigma_{c,QP}$ to naprężenie w betonie przyległym do cięgien z powodu ciężaru własnego i początkowego wstępnego sprężenia i innych odnośnych quasi-stałych oddziaływań

A_p to całkowite pole powierzchni przekroju poprzecznego cięgien

A_c to pole powierzchni przekroju poprzecznego betonu

I_c to drugi moment pola przekroju betonu

z_{cp} to odległość pomiędzy środkiem ciężkości przekroju betonowego a cięgnami

Tabela toru

Ostatnia zakładka służy do tworzenia tabeli toru dla wybranych cięgien z żądanym przyrostem i opcjonalnym przesunięciem początku układu współrzędnych. Tabela toru składa się z lokalnych współrzędnych *y* i *z* wybranych cięgien w obliczonych pozycjach *x*.
Definiowane punkty bazowe są zawsze wyświetlane w Tabeli torów.

Główny pasek narzędzi

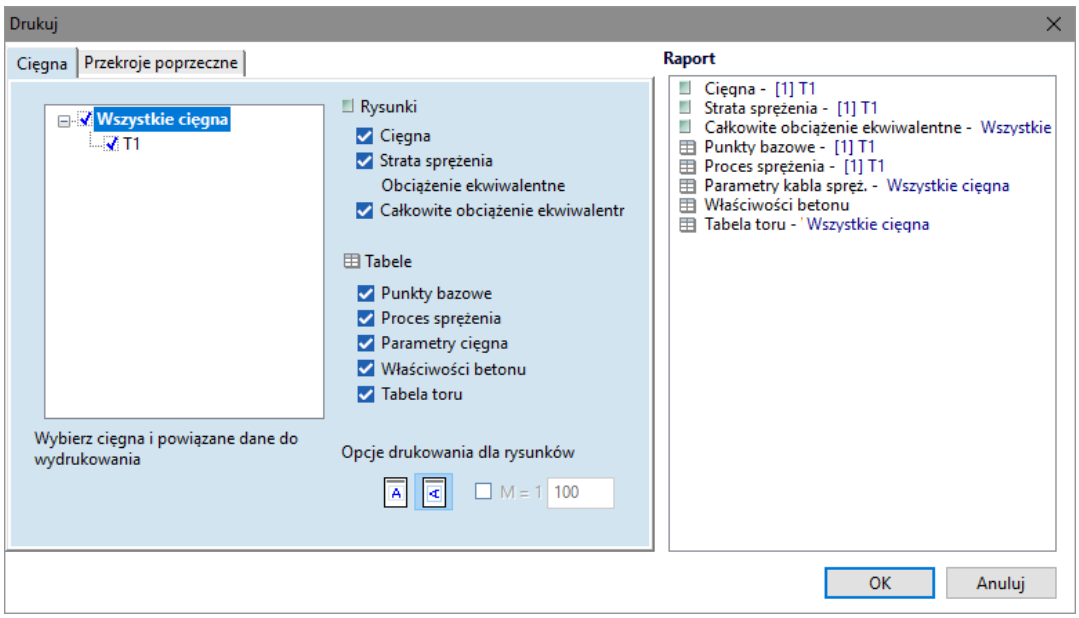
Główny pasek narzędzi ma dwa przyciski.

Kopiuj diagram
Ctrl+C

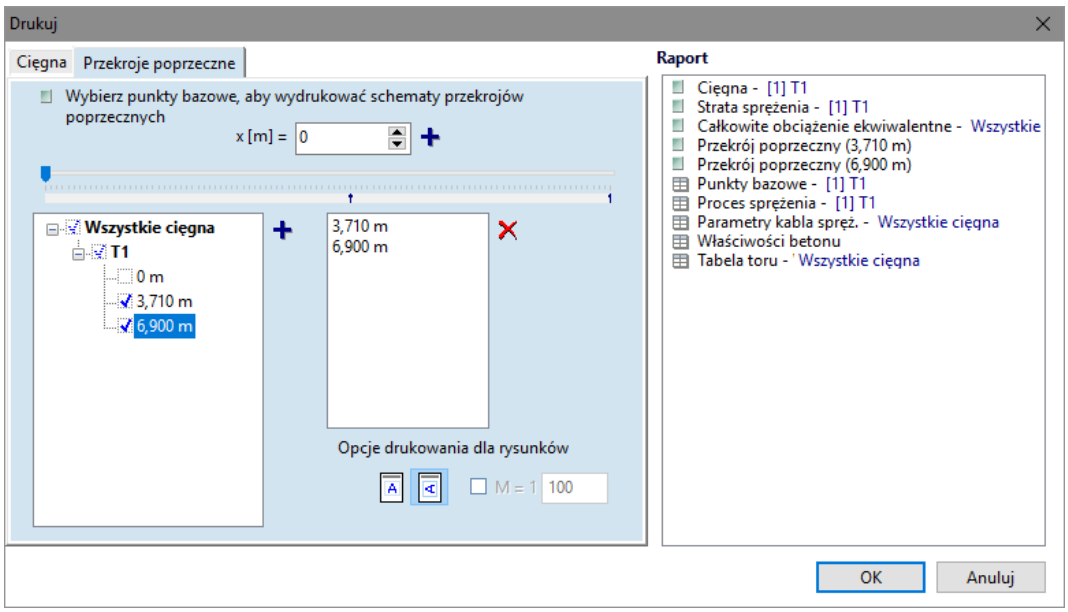
Kopiuje rysunek w aktywnej zakładce do schowka jako plik WMF. W ten sposób diagram można wkleić do innych aplikacji (np. do Worda).

Drukuj
Ctrl+P

Drukuje raport sprężenia wykorzystując rysunki i tabele. Można wybrać cięgna i elementy raportu. Użytkownik może również wybrać orientację rysunku (poziomą lub pionową) i ustawić jego skalę (*Opcje drukowania dla rysunków*).

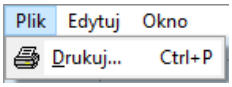


Możliwe jest wybranie przekrojów poprzecznych do wydruku ich schematów.



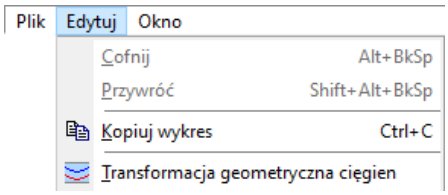
Menu Poprzez menu można dotrzeć do następujących funkcji:

Plik



Drukuj **Patrz...** *Główny pasek narzędzi / Drukuj*

Edytuj

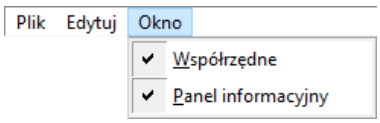


Cofnij/Przywróć Cofa efekt poprzedniego polecenia./Przywraca polecenie, które zostało cofnięte.

Kopiuj diagram **Patrz...** *Główny pasek narzędzi / Kopiuj diagram*

Transformacja geometryczna cięgien **Patrz...** *Cięgna / Transformacja geometryczna cięgien*

Okno



Współrzędne Okno współrzędnych ułatwia edytowanie schematów przekrojów poprzecznych oraz podłużnych. Wyświetlanie tego okna można włączyć i wyłączyć.

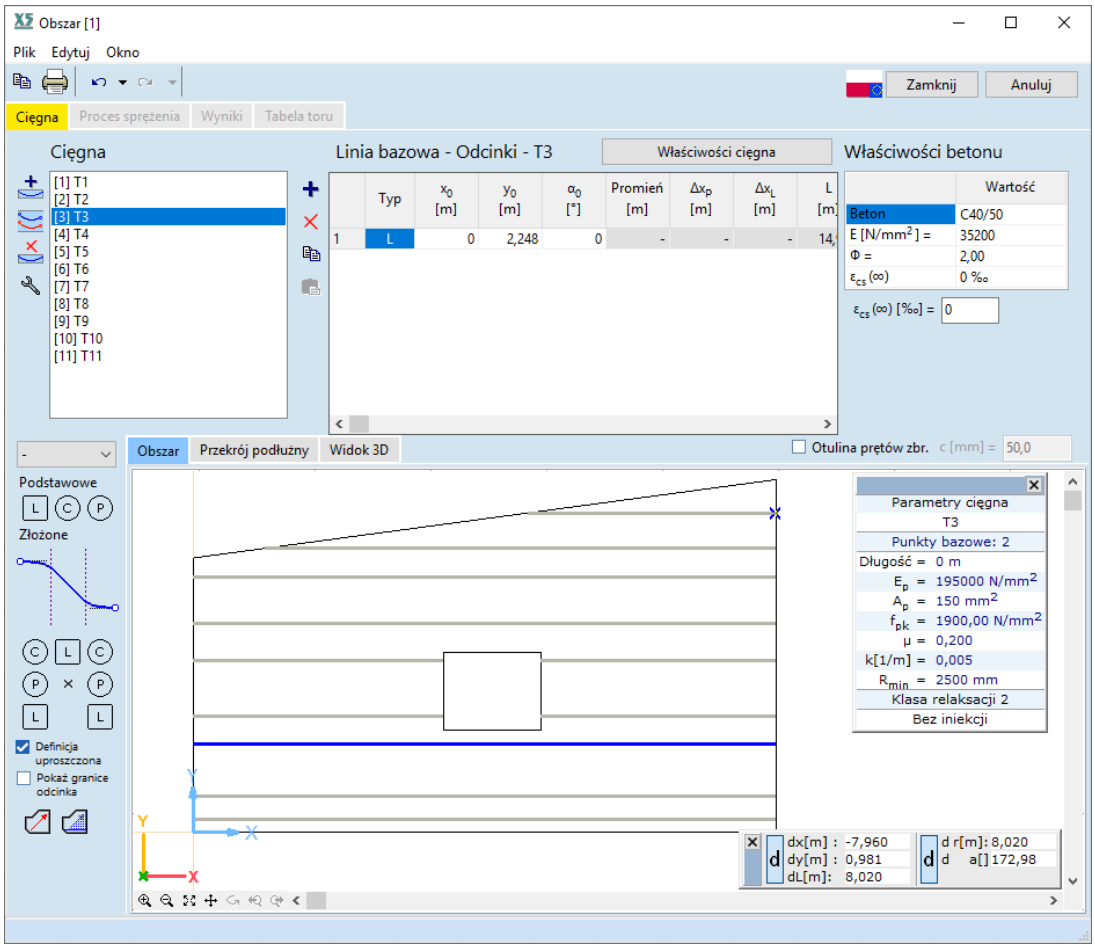
Panel informacyjny Na rysunkach wyświetlane jest okno panelu informacyjnego, zawierające informacje na temat rysunku. Wyświetlanie tego okna można włączać i wyłączać.

4.10.28.2 Sprężanie kablobetonowych obszarów

Aby wywołać komendę i przypisać cięgna do elementów, należy kliknąć tę ikonę na zakładce *Obciążenia* oraz wskazać obszary.

Cięgna

Pierwsza zakładka przeznaczona jest do definiowania parametrów cięgien i ich geometrii.



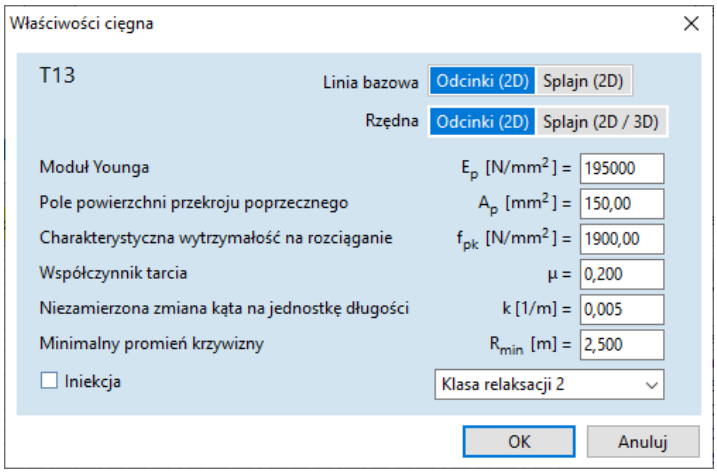
Geometria cięgna może być wyświetlona w trzech widokach.

Obszar	Cięgna wyświetlane są w widoku z góry, który przedstawia krzywizny w płaszczyźnie środkowej (linia bazowa)
Przekrój podłużny	Widok przedstawia rzędną cięgna prostopadłą do płaszczyzny środkowej obszaru jako funkcję *-x-* (przebieg na grubości obszaru wzdłuż linii bazowej).
Widok 3D	Widok 3D pokazuje przestrzennie cięgno i element.

Uwaga: Punkty bazowe geometrii i punkty przegięcia trasy cięgna pokazywane są zarówno na widoku podłużnym jak i widoku 3D.

Ikony na pionowym pasku narzędziowym obok listy cięgien:

Dodaj nowe cięgno
Właściwości cięgna są takie same jak te opisane w poprzednim rozdziale.
W tym oknie można również wybrać sposób definicji cięgna:

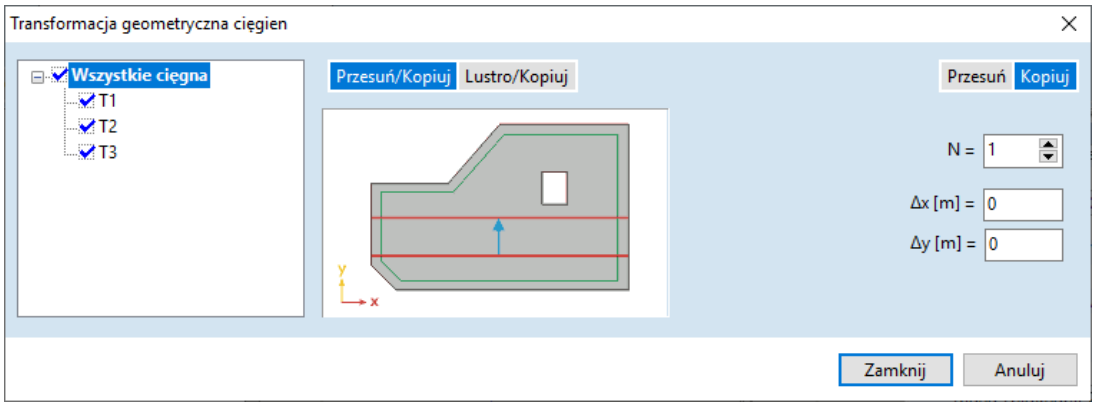


Linia bazowa to prostopadły rzut cięgna na płaszczyznę środkową obszaru.
Rzędna to prostopadłe odsunięcie cięgna od linii bazowej.

Jeżeli *Rzędna* jest definiowana jako splajn 3D, to rzeczywisty rzut prostopadły cięgna może również odchylić się od linii bazowej.

Aby zmodyfikować powyższe właściwości, wybierz cięgno z listy i kliknij przycisk *Właściwości cięgna*.

Transformacja geometryczna cięgien



Zaznaczone na liście cięgna mogą zostać poddane translacji lub odbiciu lustrzanemu. Cięgna podczas takiej operacji mogą zostać przesunięte lub skopiowane. Współrzędne *Δx, Δy* odnoszą się do układu współrzędnych cięgna (patrz poniżej). Skopiowane cięgna zachowują pierwotne parametry i przypisany do nich proces sprężenia.

Usuń cięgno: Usuwa wybrane cięgno.

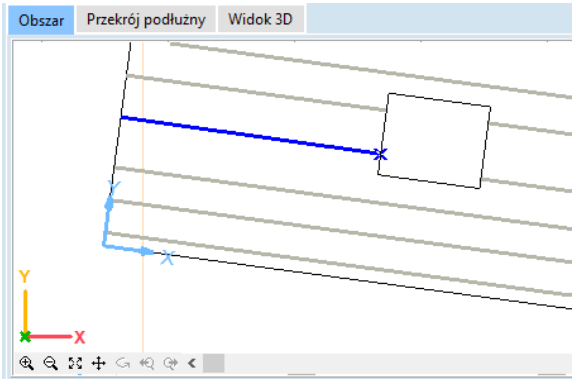
Opcje: Zawiera oddzielne ustawienia rastra i kursora dla rysunku podłużnego i poprzecznego cięgna.

Właściwości betonu We właściwościach betonu można zobaczyć jego parametry, a dodatkowo można zmodyfikować wartość długotrwałych odkształceń skurczowych $e_{cs}(\infty)$.

Geometria cięgna Pierwszym krokiem jest narysowanie linii bazowej w widoku z góry na zakładce *Obszar*. Linię te należy narysować za pomocą odcinków lub splajnów, w taki sam sposób jak w przypadku sprężanych belek. Ponieważ linia bazowa musi znajdować się w płaszczyźnie środkowej obszaru, to jej definicja jest ograniczona do płaszczyzny obszaru (2D). Każde cięgno ma swój własny układ współrzędnych (patrz poniżej).
Drugim krokiem jest określenie rzędnych krzywizny poprzez ich wskazanie na długości linii bazowej na zakładce *Przekrój podłużny*. Rysowanie to odbywa się tak jak dla odcinka lub splajnu, w zależności która metoda została wybrana we *Właściwościach cięgna* podczas jego definiowania.
Zaznaczenie *Otuliny prętów zbr.* i wprowadzenie wymaganej wartości pomaga zdefiniować cięgno w taki sam sposób jak w przypadku belek.

Układ współrzędnych cięgna

Wybranie tej ikony ustawia początek układu współrzędnych cięgna (pierwsze kliknięcie) oraz jego lokalną oś *-x-* (drugie kliknięcie).
Rysunek obszaru zostanie odpowiednio przesunięty i obrócony.
Rysowanie linii bazowej odbywa się w taki sam sposób jak w przypadku belek sprężonych.
Oś *-z-* układu współrzędnych cięgna jest prostopadła do płaszczyzny rysunku, a oś *-y-* skierowana jest zgodnie z regułą prawej dłoni.
Zmiana lokalnego układu cięgna spowoduje jego usunięcie i konieczność ponownego zdefiniowania.



Układ współrzędnych trajektorii toru cięgien

Kliknięcie w tę ikonę pozwala ustawić początek układu współrzędnych (pierwsze wskazanie punktu) oraz kierunku jego osi *-x-* (drugie wskazanie punktu) dla trajektorii toru cięgien (jeden układ dla wszystkich cięgien).

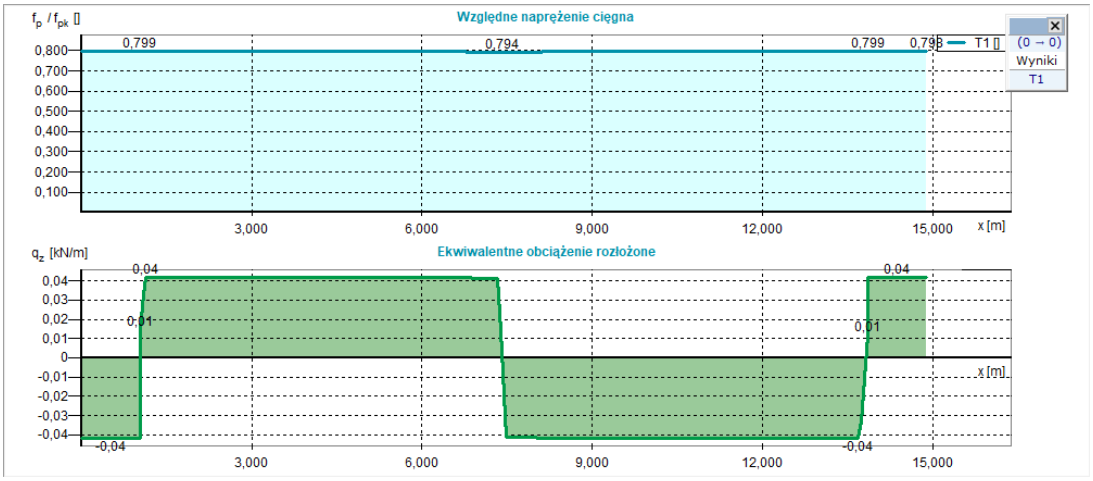
Proces sprężenia

Druga zakładka służy do definiowania procesu sprężenia dla cięgien poprzez określenie kolejności operacji tego procesu.

Uwaga: Podczas sprężania obszarów sprężyste straty spowodowane przez sekwencyjny naciąg jest pomijany.

Wyniki

Jeżeli do każdego cięgna przypisano poprawne parametry materiałowe, geometrię i proces sprężenia, to w zakładce *Wyniki* zostaną wyświetlone wykresy z wynikami.
Górny wykres przedstawia stosunek rzeczywistej siły sprężającej do charakterystycznej wytrzymałości na rozciąganie. Dolny wykres przedstawia wybraną składową ekwiwalentnego obciążenia rozłożonego.
W przeciwieństwie do wyników dla belki sprężonej, wyniki dla obszaru zawierają wykresy tylko dla jednego, aktualnie wybranego cięgna.



Komponent — W tym miejscu można wybrać składnik ekwiwalentnego układu obciążenia. Do wyboru są 3 składowe sił (*q_x, q_y, q_z*) oraz 3 składowe momentów (*m_x, m_y, m_z*).

Czas — Naprężenia w cięgnie i ekwiwalentny składnik obciążenia mogą być przedstawione zaraz po sprężeniu (opcja *T=0*) oraz z opóźnionymi stratami sprężenia (opcja *T=∞*). Druga ze wspomnianych opcji może zostać wyświetlona tylko po wykonaniu analizy statycznej.

Obliczenia strat w cięgnach wykonywane są w taki sam sposób jak opisano to w poprzednim rozdziale dla belek. Obliczenia strat doraźnych po sprężeniu pomijają sprężysty skurcz betonu.

Tabela toru

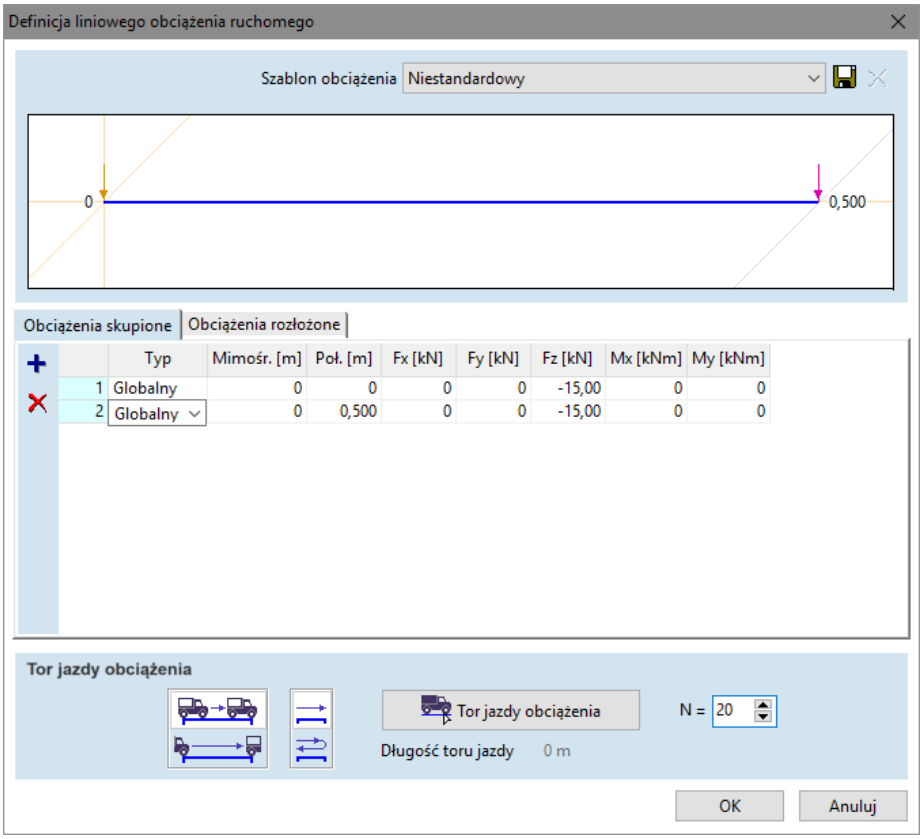
Na ostatniej zakładce znajduje się tabela z trajektorią toru, która została opisana w poprzednim rozdziale dla belek. Układ współrzędnych dla trajektorii może zostać zdefiniowany na zakładce *Cięgna*.

Opis menu głównego oraz funkcji raportu zawarty został w rozdziale *4.10.28.1 Sprężanie kablobetonowych belek i żeber*.

4.10.29 Obciążenie ruchome

Obciążenia ruchome umożliwiają zamodelowanie przesuwającego się obciążenia o stałej intensywności, jak np. pojazdu przejeżdżającego przez most lub suwnicy poruszającej się wzdłuż toru.
Aby zdefiniować obciążenie ruchome musi być stworzony przypadek obciążenia ruchomego. Można go utworzyć w zakładce Obciążenia, klikając na ikonę *Przypadki obciążeń i grupy obciążeń*. **Patrz...** *4.10.1 Przypadki obciążeń, grupy obciążeń.* Ikony dla obciążeń ruchomych będą aktywne tylko wtedy, gdy bieżącym przypadkiem obciążenia jest właśnie przypadek obciążenia ruchomego. Po zdefiniowaniu obciążenia, nowe przypadki obciążenia zostaną utworzone automatycznie zgodnie z określoną ilością kroków.
Automatycznie utworzone przypadki są także automatycznie obsługiwane i aktualizowane na późniejszych etapach pracy z modelem. Z tego powodu nie mogą być one pojedynczo usuwane ani przenoszone do innej grupy. Zwiększenie ilości kroków obciążenia ruchomego utworzy dodatkowe przypadki. Zmniejszenie tej ilości sprawi, że niektóre przypadki staną się bezużyteczne. Te nadmiarowe przypadki obciążeń są usuwane tylko przed zapisywaniem modelu.
Symbole obciążeń ruchomych wyświetlane są na dwa sposoby. Pierwsza opcja to przedstawienie tylko bieżącej fazy. Druga opcja polega na przedstawieniu pozostałych faz w kolorze szarym.
Aby zobaczyć obciążenie i tor jazdy obciążenia w formacie tabelarycznym, należy wejść do *Przeglądarki tabel*. Tabele te można wykorzystać również do tworzenia raportów.

4.10.29.1 Obciążenie ruchome na elementach liniowych



Obciążenie ruchome na elementach liniowych jest określonym schematem obciążenia, poruszającym się w N krokach po torze jazdy zdefiniowanym przez użytkownika. Schemat obciążenia może zawierać dowolną kombinację skupionych lub rozłożonych obciążeń.
Pojedyncze obciążenia w schemacie mogą być lokalne lub globalne, a ich położenie, mimośród i wartości składowe mogą zostać zdefiniowane. W ten sposób pionowe obciążenie od suwnicy i poziome siły mogą być razem przyłożone do toru jazdy. Mimośród obciążenia jest zawsze równoległy do lokalnej osi y. Jeżeli w trakcie poruszania się po torze jazdy znajduje się po lewej stronie, jego mimośród jest ujemny. Jeżeli znajduje się po prawej stronie, jego mimośród jest dodatni.
Obciążenia można dodawać do schematu klikając na ikonę plusa i wypełniając pola w wierszu tabeli. Wybrane wiersze można usuwać klikając na ikonę *Usuń* pod ikoną plusa.
Schematy obciążeń mogą być zapisywane pod określoną nazwą i ponownie wczytywane.
Po zdefiniowaniu schematu obciążenia należy wybrać tor jego jazdy. Musi składać się on z ciągłej sekwencji prętów lub żeber. Po wybraniu elementów składających się na tor jazdy obciążenia, należy wybrać punkt początkowy i końcowy. Punkty te muszą być węzłami położonymi wzdłuż toru jazdy. Obok przycisku *Tor jazdy obciążenia* można ustawić wartość *N*. Określa ona ilość kroków schematu obciążenia, które będą utworzone w równych odstępach wzdłuż toru.

Lokalny kierunek *z* schematu obciążenia zawsze będzie lokalnym kierunkiem *z* elementów liniowych, na których się znajduje.
Wydłużenie, skrócenie lub przerwanie elementu liniowego toru jazdy prowadzić będzie do automatycznego przeliczenia faz obciążenia.

Tryb suwnicy

W pierwszej fazie obciążenie o najniższej współrzędnej w schemacie zostanie umieszczone w punkcie początkowym. W ostatniej fazie obciążenie o najwyższej współrzędnej w schemacie zostanie umieszczone w punkcie końcowym.

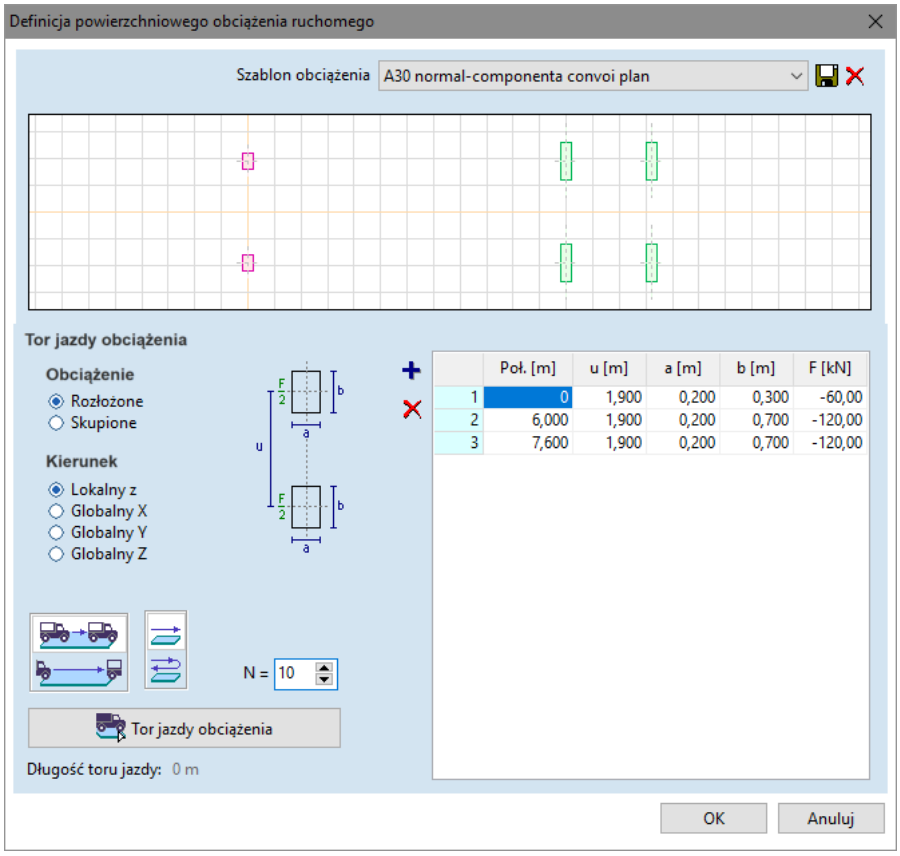
Tryb mostu

W pierwszej fazie obciążenie o najwyższej współrzędnej w schemacie zostanie umieszczone w punkcie początkowym. W ostatniej fazie obciążenie o najniższej współrzędnej w schemacie zostanie umieszczone w punkcie końcowym.

Jeden kierunek: Obciążenie porusza się od punktu początkowego do końcowego w *N* krokach.

Tam i z powrotem: Obciążenie porusza się od punktu początkowego do końcowego i z powrotem w *2N* krokach.

4.10.29.2 Obciążenia ruchome na obszarach lub panelach obciążeniowych



Ten typ obciążenia jest przydatny, gdy należy zdefiniować obciążenia od pojazdu. Schemat obciążenia składa się ze skupionych lub prostokątnych par obciążeń powierzchniowych reprezentujących koła na osi.

Wartość *u* to rozstaw kół pojazdu, *a* i *b* odnoszą się do wymiarów prostokątów. Obciążenie osi *F* jest rozkładane po równo na dwa koła. Schematy obciążenia mogą być zapisywane pod określoną nazwą i ponownie wczytywane.

Przełączniki typu i kierunku obciążenia, znajdujące się po lewej stronie, określają właściwości wszystkich obciążeń wprowadzonych do tabeli.

Obciążenia można dodawać do schematu, klikając na ikonę plusa i wypełniając pola w wierszu tabeli. Wybrane wiersze można usuwać klikając na ikonę *Usuń* pod ikoną plusa.

Po zdefiniowaniu schematu obciążenia należy wybrać tor jazdy obciążenia. Tor musi być ciągłą polilinią przechodzącą przez obszary lub panele obciążeniowe.

Tor jazdy obciążenia nie musi pozostawać w tej samej płaszczyźnie i może przechodzić przez otwory lub puste pola pomiędzy obszarami i panelami obciążeniowymi.

Punkt początkowy i końcowy toru to pierwszy i ostatni punkt polilinii.

Każda faza zawierać będzie tylko te obciążenia, które rzeczywiście znajdujące się na obszarze lub panelu obciążeniowym. Lokalny kierunek *-z-* schematu obciążenia będzie lokalnym kierunkiem *-z-* obszaru lub panelu obciążeniowego, na którym się znajduje. W przypadku toru przebiegającego wzdłuż krawędzi dwóch lub większej liczby obszarów w różnych płaszczyznach, uwzględnione zostaną tylko obszary we fragmentach aktywnych. Lokalny kierunek *z* wybrany zostanie poprzez znalezienie obszaru z najmniejszym kątem pomiędzy jego lokalnym kierunkiem *z* i globalnym kierunkiem *Z*.

Obok przycisku *Tor jazdy obciążenia* można ustawić wartość *N*. Określa ona ilość kroków schematu obciążenia, które będą utworzone w równych odstępach wzdłuż toru.

W pierwszej fazie obciążenie o najniższej współrzędnej w schemacie zostanie umieszczone w punkcie początkowym.

W ostatniej fazie obciążenie o najwyższej współrzędnej w schemacie zostanie umieszczone w punkcie końcowym.

Zmiana geometrii obszaru/panelu prowadzić będzie do automatycznego przeliczenia faz obciążenia.

Tryb suwnicy

W pierwszej fazie obciążenie o najniższej współrzędnej w schemacie zostanie umieszczone w punkcie początkowym.
W ostatniej fazie obciążenie o najwyższej współrzędnej w schemacie zostanie umieszczone w punkcie końcowym.

Tryb mostu

W pierwszej fazie obciążenie o najwyższej współrzędnej w schemacie zostanie umieszczone w punkcie początkowym.
W ostatniej fazie obciążenie o najniższej współrzędnej w schemacie zostanie umieszczone w punkcie końcowym.

Jeden kierunek: Obciążenie porusza się od punktu początkowego do końcowego w *N* krokach.

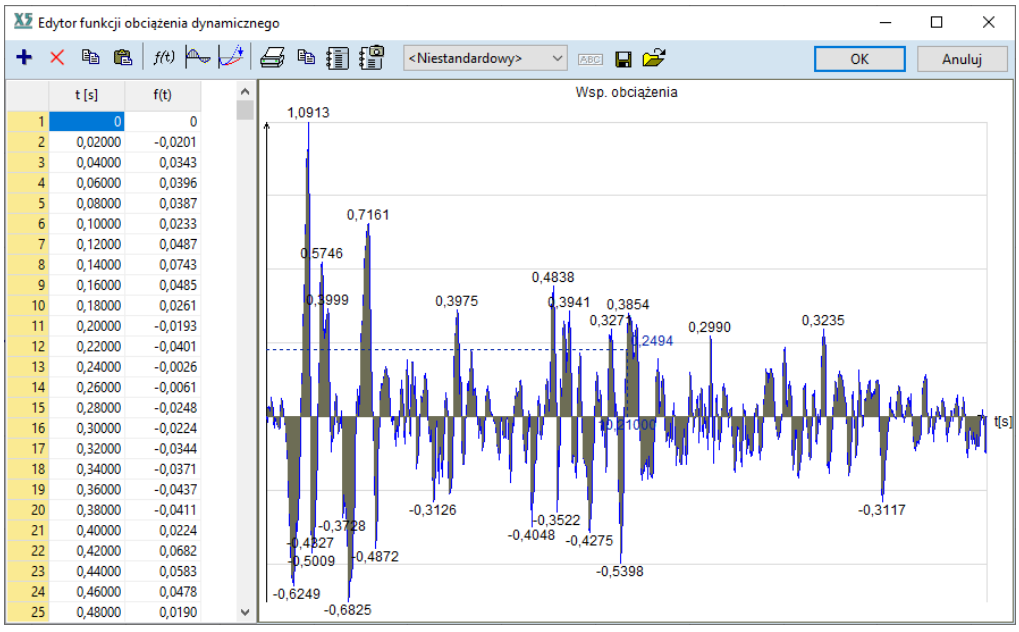
Tam i z powrotem: Obciążenie porusza się od punktu początkowego do końcowego i z powrotem w*2N* krokach.

4.10.30 Obciążenia dynamiczne (dla analizy zależnej od czasu) (moduł DYN)

Funkcje dynamicznych obciążeń węzłowych i przyspieszeń mogą być definiowane dla analizy zależnej od czasu.
Funkcje przyspieszeń można użyć również w analizie sejsmicznej. W tym przypadku zaleca się uzyskanie odpowiednich akcelerogramów i przypisanie tych funkcji do węzłów podporowych, aby przeanalizować efekty trzęsienia ziemi. Metoda ta prowadzi do dokładniejszych wyników niż w przypadku analizy spektrum odpowiedzi i można ją wykorzystać nawet, jeżeli w modelu zdefiniowane są nieliniowe elementy (nieliniowej podpory, pręty kratowe tylko rozciągane itd.). Jej wadą jest brak możliwości automatycznego kombinowania z innymi typami obciążeń.

☞ **Aby zdefiniować funkcje obciążeń węzłowych lub przyspieszeń, bieżący przypadek obciążenia musi być przypadkiem obciążenia dynamicznego. *Patrz...*** *4.10.1. Przypadki obciążeń, grupy obciążeń*

Definiowanie funkcji



Obciążenia dynamiczne oraz przyspieszenia definiowane są przez funkcje, które opisują czynnik w czasie. Edytor funkcji dostępny jest z okien dialogowych definicji obciążenia dynamicznego.
Funkcje należy wprowadzić do tabeli jako pary wartości. Ikona plusa dodaje nowy wiersz, a ikona *Usuń* usuwa wybrane wiersze. Funkcje wrysowywane są automatycznie i można je wydrukować. Można także wykorzystać je ponownie. W celu ich ponownego wykorzystania, należy zapisać je do Biblioteki funkcji. Zapisane funkcje można wczytać ponownie, edytować i zapisać pod nową nazwą. Funkcje zapisywane są w oddzielnych plikach **.dfn* w folderze *C:\ Użytkownicy \ [Nazwa użytkownika] \ AppData \ Roaming \ AxisVM \ [numer wersji AxisVM] \ DFN*

☞ **Jeżeli całkowity czas trwania dla analizy dynamicznej przekracza długość czasu określony w funkcji, to wartości parametrów poza zakresem opisanym funkcją przyjmowane są równe zero.**

Tabela edytora funkcji

Dodaje nowy wiersz do tabeli

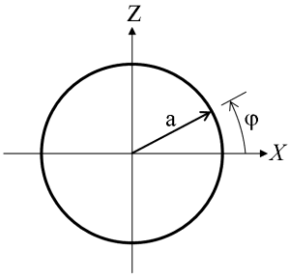
Usuwa wybrane wiersze z tabeli

Kopiuje wybrane komórki do schowka

Wstawia zawartość schowka do tabeli

Edytowanie wzoru

Funkcję obciążenia *f(t)* można wprowadzić jako wzór. Dostępne są następujące operatory i funkcje: *+, –, *, /, (,), sin, cos, tan, exp, ln, log10, log2, sinh, cosh, tanh, arcsin, arccos, arctan, arcsinh, arccosh, arctanh, int, round, frac, sqr, sqrt, abs, sgn, random.*
random(t) zwraca losową liczbę z zakresu od 0 do 1.
Urządzenie obracające się wokół osi Y posiada funkcję obciążenia dynamicznego z następującymi składowymi X i Z:
$f_X(t) = a \cdot \cos(\omega t + \varphi)$ oraz $f_Z(t) = a \cdot \sin(\omega t + \varphi)$
Ponieważ funkcje reprezentowane są jako szereg wartości, należy określić krok Δt oraz całkowity czas T_{max}.

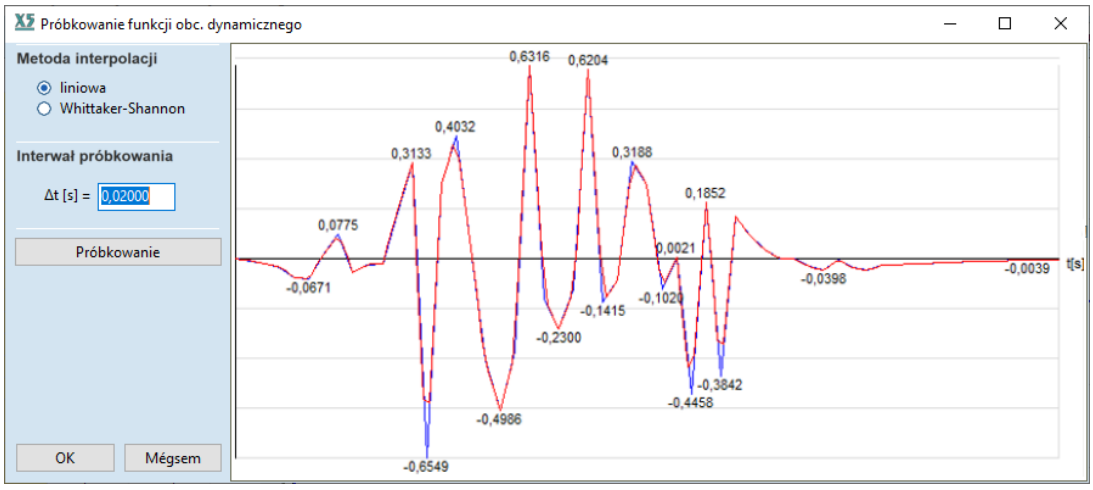


Przepróbkowanie funkcji obc. dynamicznego

Polecenie to polega na przepróbkowaniu pierwotnej funkcji (obc. dynamicznego) z równomiernym próbkowaniem.
Wartości nowej funkcji w miejscach próbkowania, które umieszczone są pomiędzy pierwotnymi punktami funkcji uzyskuje się na drodze interpolacji. Dostępne są dwie metody interpolacji:

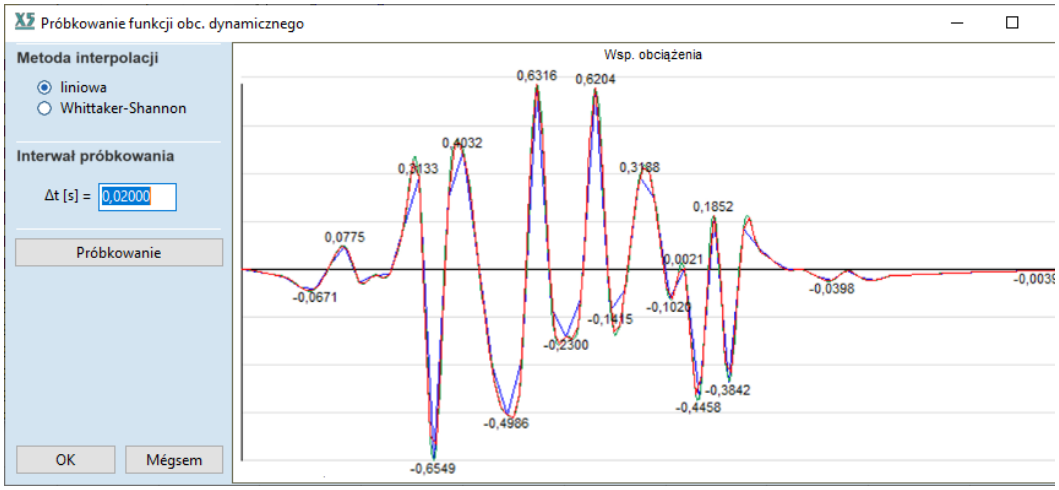
Liniowa

Pierwotna funkcja jest przyjmowana jako funkcja odcinkowo liniowa, a wartości nowej funkcji są uzyskiwane z odcinków liniowych. Na poniższym rysunku razem przedstawione są: pierwotna funkcja (niebieska linia) i nowa przepróbkowana funkcja (czerwona linia).



Metoda ta jest zalecana, gdy pierwotna funkcja jest rzeczywiście odcinkowo liniowa. Jeżeli pierwotna funkcja jest funkcją ciągła uzyskaną w wyniku pomiarów z badań lub wygenerowaną ze spektralnego złożenia Fouriera, to ta metoda nie nadaje się do przybliżenia pierwotnej krzywizny funkcji ciągłej pomiędzy punktami próbkowania.
Na rysunku powyżej można zauważyć, że kilka lokalnych ekstremów funkcji pierwotnej zostało utracone. Spowodowane jest to tym, że punkty nowej funkcji nie pokrywają się punktami pierwotnymi. . W takich przypadkach zalecana jest druga metoda interpolacji, tzw. *Whittaker-Shannon.*

Pierwotna funkcja jest przyjmowana jako funkcja ciągła z równomiernym próbkowaniem, a wartości nowej funkcji otrzymywane są z odtworzonej funkcji ciągłej.
Na kolejnym rysunku widoczne są: pierwotna funkcja (niebieska linia), odtworzona funkcja ciągła (zielona linia) i nowa funkcja (czerwona linia). Można również dostrzec, że pierwotnie niepróbkowane wartości ekstremalne funkcji ciągłej pojawiają się na funkcji odtworzonej.



Zastosowana metoda bazuje na wzorze interpolacyjnym Whittaker-Shannon [37]:

$$f_{new}(t) = \sum_{i=1}^{n} f(t_i) \cdot \mathrm{sinc}\left(\frac{t - t_i}{h}\right) = \sum_{i=1}^{n} f(t_i) \cdot \frac{\sin\left(\pi \frac{t - t_i}{h}\right)}{\pi \frac{t - t_i}{h}}$$

gdzie h jest przedziałem próbkowania pierwotnej funkcji, a $t_i = hi$ jest punktem próbkowania i-tego punktu pierwotnej funkcji.

Jeśli kryterium Nyquista [38] jest spełnione (funkcja ciągła była nieograniczona, a częstotliwość próbkowania oryginalnego zapisu była co najmniej dwa razy większa od limitu częstotliwości), to pierwotna funkcja ciągła może zostać idealnie odtworzona. I chociaż funkcja o skończonej długości nie może być nieograniczona, to kryterium Nyquista może być z powodzeniem używane w praktycznych zastosowaniach.
Ponieważ funkcja interpolacyjna Whittaker-Shannon ma nieskończoną długość, to wygasanie końca funkcji może stać się pofalowane. Aby uniknąć takiego zjawiska, stosuje się kolejny współczynnik kształtu cosinusowego w zaimplementowanej metodzie:

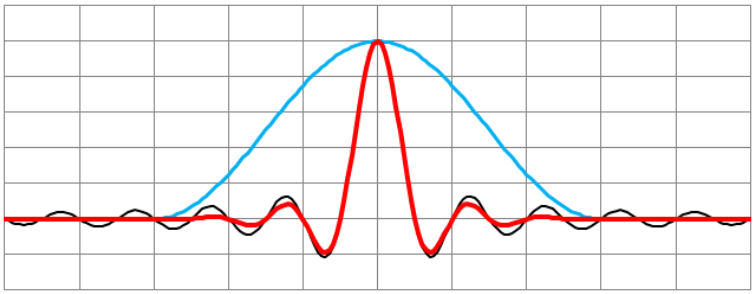
$$f_{new}(t) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{n} f(t_i) \cdot \frac{\sin\left(\pi \frac{t - t_i}{h}\right)}{\pi \frac{t - t_i}{h}} \cdot W_i(t) & if \quad |t - t_i| \le 0.5T_w \\ 0 & if \quad |t - t_i| > 0.5T_w \end{cases}$$

$$W_i(t) = \begin{cases} \frac{1 + \cos\left(\pi \frac{t - t_i}{0.5T_w}\right)}{2} & if \quad |t - t_i| \le 0.5T_w \\ 0 & if \quad |t - t_i| > 0.5T_w \end{cases}$$

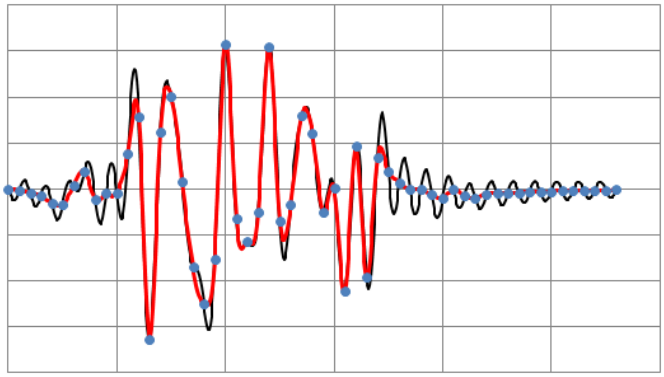
gdzie T_w jest długością pojedynczej fali funkcji cosinus. Ustawiona jest ona na 10% długości zakresu.

Whittaker-Shannon

Poniższy rysunek przedstawia pierwotną funkcję interpolacyjną Whittaker-Shannon (czarna linia), współczynnik kształtu cosinusowego (niebieska linia) oraz wynikowa, o skończonej długości funkcja interpolacyjna (czerwona linia).

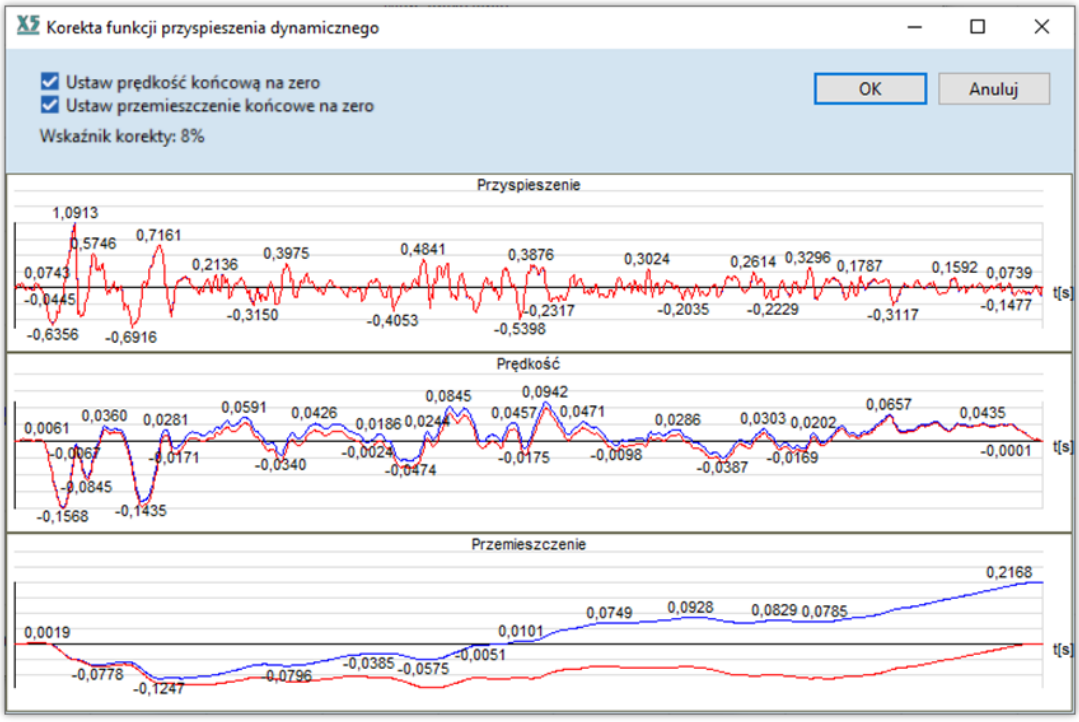


Na kolejnym rysunku przedstawione jest zakończenie fali funkcji uzyskanej za pomocą pierwotnej formuły interpolacyjnej Whittaker-Shannon (czarna linia) oraz wygładzony koniec za pomocą interpolacji pojedynczej fali (czerwona linia). Niebieskie kółeczka pokazują punkty próbkowania pierwotnej funkcji. Można zauważyć, że pośrodku rekordu na fragmencie z dużymi amplitudami prawie idealnie zbiegają się odtworzone funkcje ciągłe uzyskane z różnych funkcji interpolacyjnych, ale na końcach tylko czerwona krzywa jest wygładzona.



☞ **Metoda interpolacji Whittaker-Shannon dostępna jest tylko dla funkcji uzyskanych za pomocą równomiernego próbkowania.**

Korekta funkcji przyspieszenia, w celu uzyskania końcowej wartości prędkości i/lub przyspieszenia równej zero



Pomierzone wartości przyspieszenia trzęsienia ziemi z racji niedokładności pomiaru, zwykle nie dają na końcu pomiaru zerowych wartości prędkości i przyspieszenia. Niezerowa prędkość końcowa ma postać nieskończonego ruchu podpór ze stałą prędkością poza końcem pomiaru. Niezerowe przesunięcie końcowe powoduje, że podpory zatrzymują się poza ich pierwotną pozycją na końcu pomiaru. Każda z tych niedokładności może zostać wyeliminowana poprzez zastosowanie niewielkiej modyfikacji w zapisie przyspieszenia. Rodzaj korekty można wybrać za pomocą pól wyboru. Niebieski wykres pokazuje oryginalny zapis, a czerwony wykres pokazuje zapis poprawiony. Wskaźnik korekty jest zdefiniowany jako stosunek wartości RMS modyfikacji do pierwotnego zapisu.

$$Wskaźnik\ korekty = \frac{RMS\big(a_{corr}(t) - a(t)\big)}{RMS\big(a(t)\big)} = \frac{\frac{1}{T}\int_0^T \big(a_{corr}(t) - a(t)\big)^2 dt}{\frac{1}{T}\int_0^T a^2(t)dt}$$

gdzie $a(t)$ jest oryginalnym zapisem, a $a_{corr}(t)$ jest poprawionym zapisem.

Zastosowana metoda korekcji jest podobna do metody zaproponowanej przez Wilsona [39, załącznik J.4].
Prędkość i przemieszczenie na końcu rekordu wynoszą

$$V = \int_0^T a(t)dt \qquad \mathrm{U} = \int_0^T (T - t)a(t)dt$$

Skorygowany zakres obliczany jest w następujący sposób

$$a_{corr}(t) = \begin{cases} \big(1 + c_1^+ h_1(t) + c_2^+ h_2(t)\big)a(t) & jeżeli \quad a(t) \geq 0 \\ \big(1 + c_1^- h_1(t) + c_2^- h_2(t)\big)a(t) & jeżeli \quad a(t) < 0 \end{cases}$$

gdzie $h_1(t) = \frac{T-t}{T}$ oraz $h_2(t) = \frac{t}{T}$ są funkcjami ważonymi, a c_1^+, c_1^-, c_2^+, c_2^- to współczynniki korekcyjne.

Funkcja ważona $h_1(t)$ skupia korektę niezerowego przemieszczenia końcowego na początku zakresu, podczas gdy $h_2(t)$ skupia korektę ze względu na niezerową prędkość końcową na końcu zakresu. Cztery współczynniki korekcyjne wyznaczane są z poniższych kryteriów. W zależności od ustawień przełączników sterujących korektą końcowa wartość prędkości oraz przemieszczenia po zastosowaniu korekty powinna wynosić zero lub wartość pierwotną. Liczba zastosowanych korekt dla wartości dodatnich i ujemnych powinna być równa.

Chociaż przytoczone wzory opisują ciągłe funkcje w czasie, to obliczenia przeprowadzane dla zdyskretyzowanych przedziałów czasowych akcelerogramu.

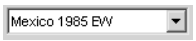
Opcje wykresów i raportów

Drukuje wykres i tabelę

Kopiuje wykres i tabelę do schowka

Otwiera Generator raportu

Zapisuje wykres w Galerii **Patrz...** *2.10.5 Galeria*

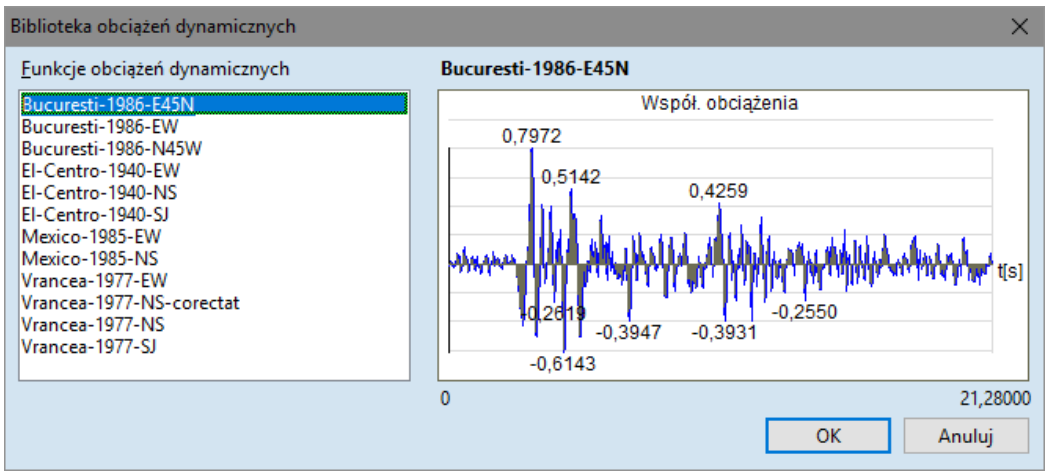


Funkcję zapisaną wcześniej w Bibliotece można wczytać ponownie wybierając jej nazwę z rozwijanej listy.

Zmienia nazwę bieżącej funkcji

Zapisuje bieżącą funkcję w Bibliotece

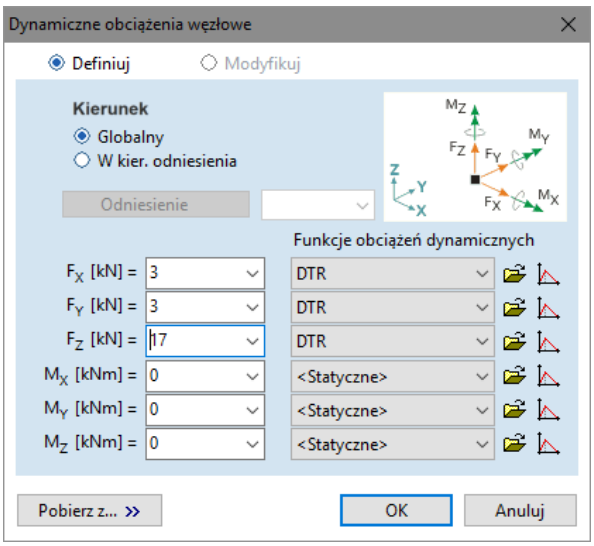
Wczytuje funkcje z Biblioteki



☞ **Pierwszy punkt funkcji musi znajdować się w t = 0. Tej pary wartości nie można zmieniać ani usuwać.**
Jeżeli obciążenie przyłożone jest tylko w czasie T > 0, wartość funkcji musi wynosić zero dla przedziału czasu między 0 a T.

4.10.30.1 Dynamiczne obciążenie węzłowe

Aby zdefiniować dynamiczne obciążenia węzłowe, należy wybrać węzły i ustawić parametry w oknie dialogowym.
Dla każdej składowej użytkownik może przypisać wartość intensywności i funkcję obciążenia dynamicznego, opisującą zależność od czasu współczynnika obciążenia.
Aby użyć istniejącą funkcję z Biblioteki, należy kliknąć na pierwszą ikonę obok rozwijanej listy. Aby edytować funkcję obciążenia, należy kliknąć na drugą ikonę.
Kierunki obciążenia mogą być kierunkami globalnymi X, Y i Z lub mogą być określone na podstawie wybranego odniesienia. W tym drugim przypadku istnieje tylko jeden komponent siły i momentu.



Możliwe jest zdefiniowanie stałego (niezależnego od czasu) obciążenia, wybierając <Statyczne> z rozwijanej listy *Funkcje obciążeń dynamicznych*.

☞ **Rzeczywista wartość składowej obciążenia w czasie t zostanie obliczona jako $F_i(t) = F_i \cdot f(t)$ tj. intensywność obciążenia zostanie pomnożona przez współczynnik obciążenia zależny od czasu.**

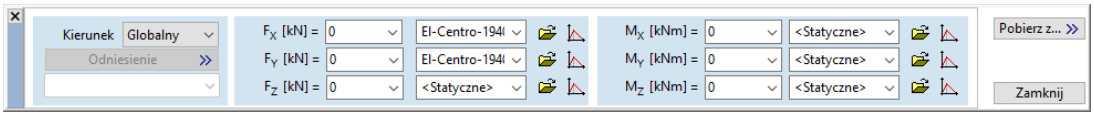
☞ **Jeżeli obciążenie dynamiczne zdefiniowane jest dla podpory z istniejącym obciążeniem dynamicznym, istniejące obciążenie zostanie zastąpione.**

Modyfikuj, usuń

Obciążenia dynamiczne można modyfikować i usuwać w takim sam sposób jak obciążenia statyczne.

Obciążenia dynamiczne wyświetlane są jako przerywane żółte strzałki.

4.10.30.2 Dynamiczna siła skupiona na obszarze lub panelu obciążeniowym

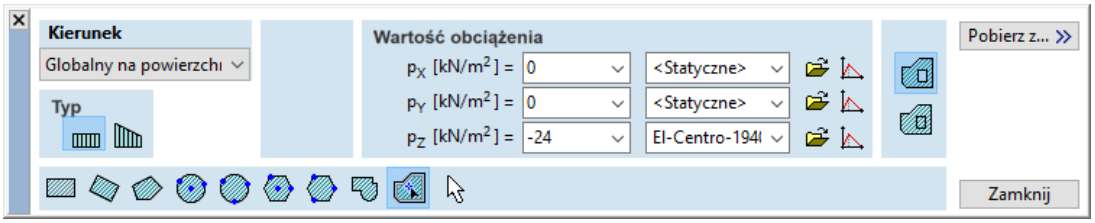


Położenie obciążenia oraz kierunek działania może zostać ustawiony w taki sam sposób jak to opisano w *4.10.5 Obciążenie skupione na obszarze lub panelu obciążeniowym*
Wartość obciążenia oraz funkcja zmienności w czasie może zostać określona dla każdej składowej siły. Funkcja może być utworzona lub wyedytowana w Edytorze funkcji lub wczytana z biblioteki funkcji.

☞ **Rzeczywistą wartością siły na modelu w danym punkcie czasu t będzie określona w oknie dialogowym wartość obciążenia F_i przemnożona przez funkcję zmienności w czasie wg wzoru $F_i(t) = F_i \cdot f_i(t)$**

Siła dynamiczna wyświetlana jest jako przerywana, żółta strzałka.

4.10.30.3 Dynamiczne obciążenie powierzchniowe niezależne od siatki na obszarach i panelach obciążeniowych



Wielokąt kształtu obciążenia oraz jego kierunek może zostać zdefiniowany zgodnie z opisem w *4.10.10 Obciążenie powierzchniowe obszaru / panelu obciążeniowego*
Wartość obciążenia oraz funkcja zmienności w czasie może zostać określona dla każdej składowej siły. Funkcja może być utworzona lub wyedytowana w Edytorze funkcji lub wczytana z biblioteki funkcji.

☞ **Rzeczywistą wartością siły na modelu w danym punkcie czasu t będzie określona w oknie dialogowym wartość obciążenia F_i przemnożona przez funkcję zmienności w czasie wg wzoru $F_i(t) = F_i \cdot f_i(t)$**

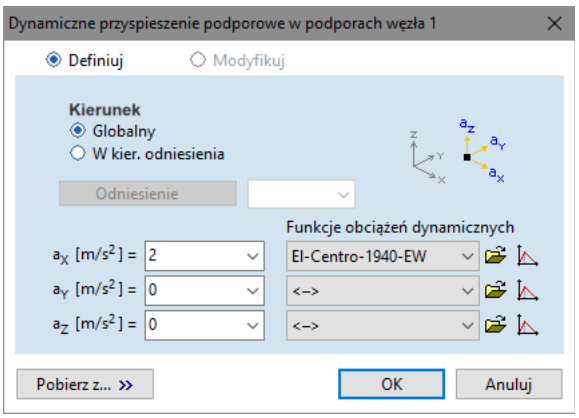
Siła dynamiczna wyświetlana jest jako zielona powierzchnia.

4.10.30.4 Dynamiczne przyspieszenie podporowe

Funkcję przyspieszenia można przypisać do dowolnej podpory węzłowej w modelu. Dla każdej składowej użytkownik może przypisać intensywność przyspieszenia i funkcję obciążenia dynamicznego, opisującą zależność od czasu współczynnika obciążenia. Rzeczywista wartość przyspieszenia w czasie t zostanie obliczona jako

$$a_i(t) = a_i \cdot f_i(t)$$

tj. przyspieszenie zostanie pomnożone przez współczynnik obciążenia zależny od czasu.



☞ **Przyspieszenie działa w dolnej części pasma podpór. Przyspieszenie podpartego węzła może się różnić w zależności od sztywności podpory.**

☞ **Jeżeli przyspieszenie zdefiniowane jest dla podpory z istniejącym obciążeniem od przyspieszenia, istniejące obciążenie zostanie zastąpione.**

☞ **Jeżeli kilka podpór węzłowych połączonych jest z tym samym węzłem, przyspieszenie działa we wszystkich podporach.**

Modyfikuj, Usuń

Dynamiczne przyspieszenie podporowe można modyfikować i usuwać w taki sam sposób jak obciążenie statyczne.

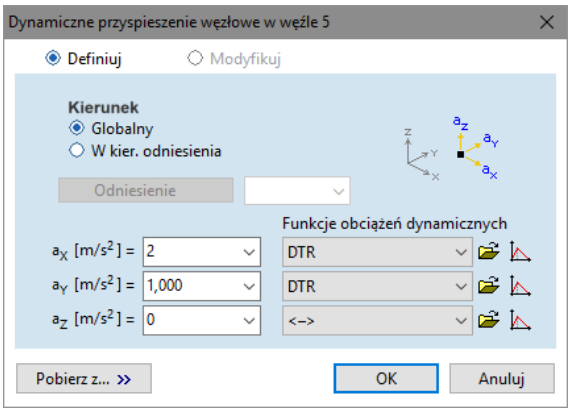
Dynamiczne przyspieszenie podporowe wyświetlane jest jako okrąg i żółta strzałka.

4.10.30.5 Dynamiczne przyspieszenie węzłowe

Przyspieszenie węzłowe można przypisać do dowolnego węzła w modelu. Dla każdej składowej użytkownik może przypisać intensywność przyspieszenia i funkcję obciążenia dynamicznego, opisującą zależność od czasu współczynnika obciążenia.
Rzeczywista wartość przyspieszenia w czasie t zostanie obliczona jako

$$a_i(t) = a_i \cdot f_i(t)$$

, tj. przyspieszenie zostanie pomnożone przez współczynnik obciążenia zależny od czasu.



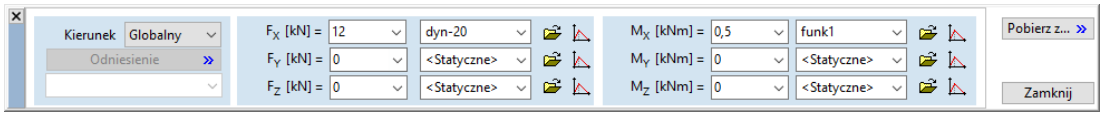
☞ **Jeżeli przyspieszenie definiowane jest dla podpory z istniejącym obciążeniem od przyspieszenia, istniejące obciążenie zostanie zastąpione.**

☞ **Aby określić przyspieszenie podłoża dla analizy sejsmicznej, muszą być zdefiniowane przyspieszenia podpór węzłowych.**

Modyfikuj, usuń Dynamiczne przyspieszenie węzłowe można modyfikować i usuwać w taki sam sposób jak obciążenie statyczne.

Dynamiczne przyspieszenie węzłowe wyświetlane jest jako okrąg i żółta strzałka.

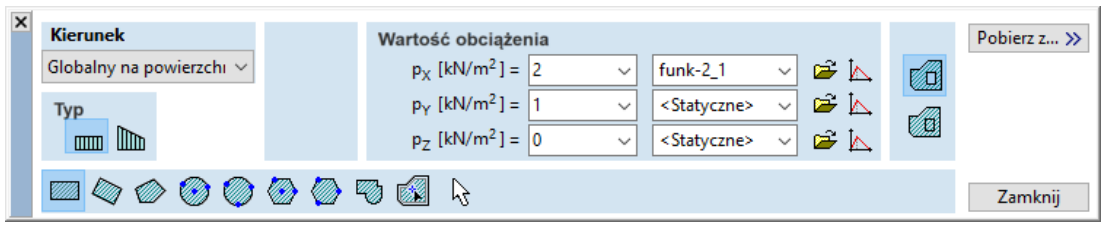
4.10.30.6 Dynamiczne obciążenie skupione na obszarze lub panelu obciążeniowym



Definiowanie Ustawienie położenia siły i jej kierunku odbywa się w taki sam sposób jak w przypadku obciążenia statycznego (**patrz...** *4.10.5 Obciążenie skupione na obszarze lub panelu obciążeniowym*).
Dla każdej składowej siły można przypisać do jej obciążenia funkcję opisującą współczynnik jej zmienności w zależności od czasu. Wartość składowej siły w chwili t jest wyznaczana jako $F_i(t) = F_i \cdot f_i(t)$ tzn. wartość siły jest mnożona przez współczynnik zależny od czasu.
Aby zdefiniować nową funkcję, kliknij ikonę wykresu.
Aby zastosować zdefiniowaną wcześniej funkcję wybierz ją z rozwijanej listy lub otwórz bibliotekę.

Obciążenia dynamiczne wyświetlane są jako żółte strzałki rysowane przerywanymi liniami.

4.10.30.7 Dynamiczne obciążenie rozłożone na obszarze lub panelu obciążeniowym



Definiowanie Ustawienie położenia siły i jej kierunku odbywa się w taki sam sposób, jak w przypadku obciążenia statycznego (**patrz...** *4.10.10 Obciążenie powierzchniowe obszaru / panelu obciążeniowego*).

Dla każdej składowej siły można przypisać do jej obciążenia funkcję opisującą współczynnik jej zmienności w zależności od czasu. Wartość składowej siły w chwili *t* jest wyznaczana jako $p_i(t) = p_i \cdot f_i(t)$ tzn. wartość siły jest mnożona przez współczynnik zależny od czasu.

Aby zdefiniować nową funkcję, kliknij ikonę wykresu.

Aby zastosować zdefiniowaną wcześniej funkcję wybierz ją z rozwijanej listy lub otwórz bibliotekę.

Obciążenia dynamiczne wyświetlane są jako powierzchnie oznaczone kolorem zielonym.

4.10.31 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy stalowe (moduł SD8)

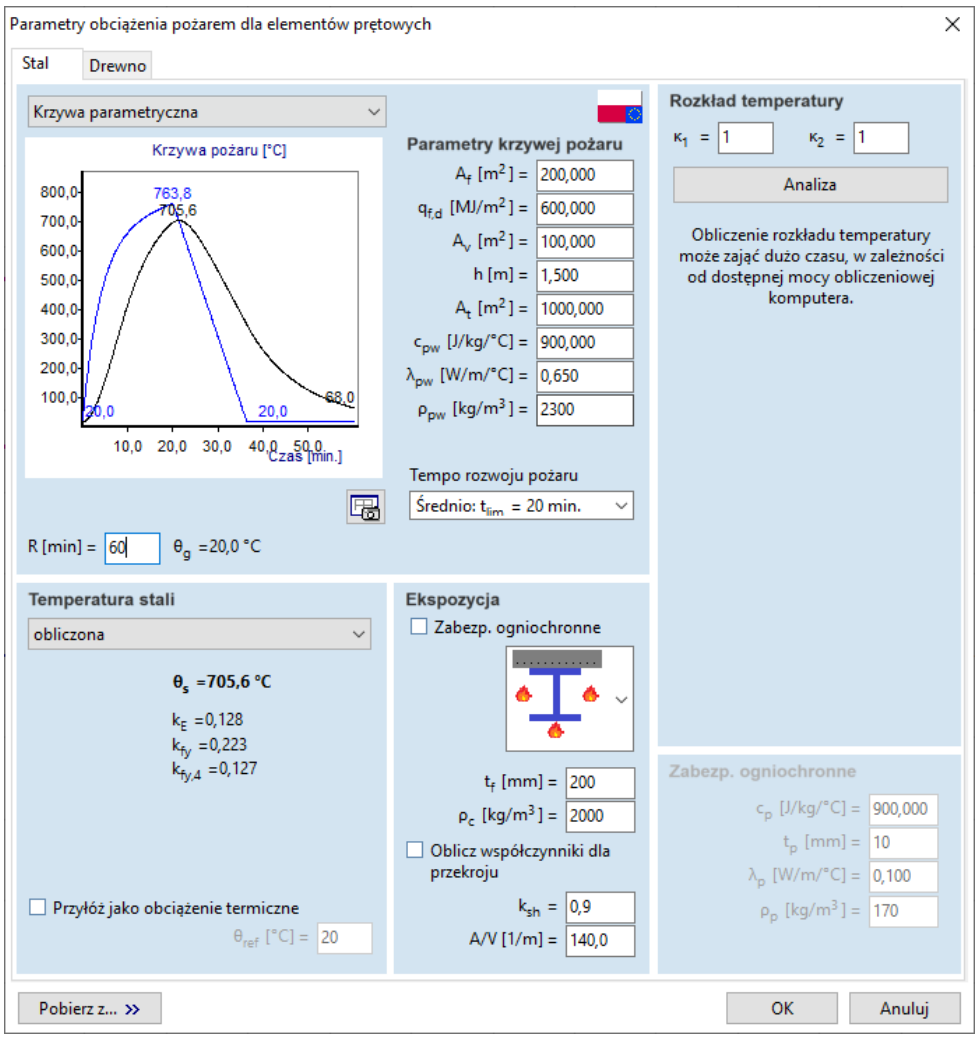
Normy projektowe

W programie AxisVM oddziaływanie od pożaru może zostać wygenerowane zgodnie z różnymi normami projektowymi. W przypadku Załączników Krajowych do Eurokodu, które nie zostały wymienione poniżej, stosuje się zasady ogólne EN 1991-1-2 oraz EN 1993-1-2.

Eurokod	*EN 1991-1-2* *Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje* *Część 1-2: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru* *EN 1993-1-2* *Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych* *Część 1-2: Reguły ogólne – Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe*
EC niemiecki	*DIN EN 1991-1-2:2010-12 NA* *DIN EN 1993-1-2:2010-12 NA*
EC węgierski	*MSZ EN 1991-1-2:2005 NA* *MSZ EN 1993-1-2:2013 NA*
EC rumuński	*SR EN 1991-1-2:2004/NA:2006* *SR EN 1993-1-2:2006/NB:2008*
EC słowacki	*STN EN 1991-1-2/NA:2006* *STN EN 1993-1-2/NA:2008*
EC polski	*PN EN 1991-1-2:2006 NA* *PN EN 1993-1-2 NA*
EC duński	*DS/EN 1991-1-2 DK NA:2011*
EC brytyjski	*BS EN 1991-1-2:2002 NA* *BS EN 1993-1-2:2005 NA*
EC fiński	*SFS-EN 1991-1-2:2002 NA* *SFS-EN 1993-1-2:2005 NA*
EC norweski	*NS-EN 1991-1-2:2002/NA:2008* *NS-EN 1993-1-2:2005/NA:2009*
EC holenderski	*NEN EN 1991-1-2:2002/NB:2011* *NEN EN 1993-1-2+C2:2011/NB:2015*
SIA szwajcarska	*SIA 261: 2020* *SIA 263: 2013*

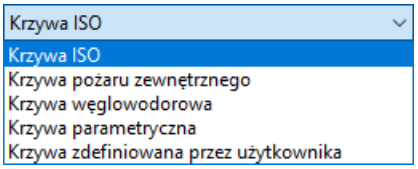
Definiowanie oddziaływania od pożaru

W celu zdefiniowania oddziaływania od pożaru na elementy prętowe, należy kliknąć ikonę *Oddziaływanie pożaru na elementy liniowe* na zakładce *Obciążenia* (po wcześniejszym utworzeniu przypadku obciążenia *Pożar*).



Wybór krzywej pożaru

Oddziaływanie pożaru jest reprezentowane przez krzywą pożarową, określającą w funkcji czasu temperaturę gazu w strefie pożaru.



Standardowa krzywa temperatura-czas (tzw. krzywa ISO) (EN 1991-1-2):

$$\theta_g = 20 + 345\log_{10}(8t + 1)$$

Krzywa pożaru zewnętrznego (EN 1991-1-2):

$$\theta_g = 660(1 - 0.687e^{-0.32t} - 0.313e^{-3.8t}) + 20$$

Krzywa węglowodorowa (EN 1991-1-2):

$$\theta_g = 1080(1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675e^{-2.5t}) + 20$$

Krzywa parametryczna:

$$\theta_g = 20 + 1325(1 - 0.324e\text{^}(-0.2t\text{^}*) - 0.204e\text{^}(-1.7t\text{^}*) - 0.472e\text{^}(-19t\text{^}*)) \quad t\text{^}* \leq t^*_{max}$$

Faza chłodzenia:

$$\theta_g = \theta_max - 625(t\text{^}* - t_max\ \text{^}*\cdot x) \quad t_max\ \text{^}* \leq 0.5$$

$$\theta_g = \theta_max - 250(3 - t_max\ \text{^}*)(t\text{^}* - t_max\ \text{^}*\cdot x) \quad [\![0.5 \leq t]\!]_max\ \text{^}* < 2$$

$$\theta_g = \theta_max - 250(t\text{^}* - t_max\ \text{^}*\cdot x) \quad t_max\ \text{^}* \geq 2$$

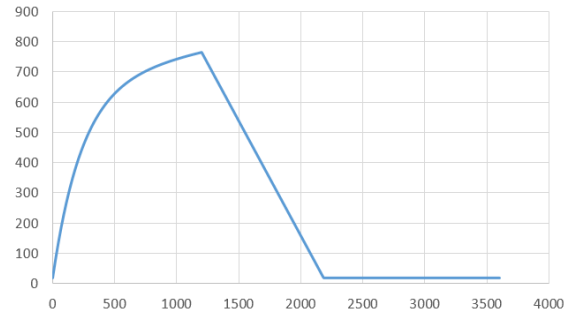
gdzie

θ_g [°C] temperatura gazu
t [min] czas
t^* [h] zmodyfikowany parametr czasu

Krzywa parametrycz-na

W przeciwieństwo do krzywej ISO, pożaru zewnętrznego i węglowodorowej, krzywa parametryczna ma fazę chłodzenia. Używając krzywej parametrycznej można uwzględnić w obliczeniach wielkość i wentylację strefy pożaru, ilość materiałów łatwopalnych itd. Parametry te w sposób znaczący wpływają na maksymalną wartość temperatury gazu i czas trwania pożaru.

Temperatura [°C]



Czas [s]

Zgodnie z EN 1991-1-2 parametryczne krzywe pożaru są ważne dla stref pożarowych o powierzchni podłogi do 500m^2, bez otworów w dachu i dla maksymalnej wysokości strefy 4m.

Do wyznaczenia tej krzywej niezbędne jest określenie poniższych parametrów:

A_f [m^2]	powierzchnia podłogi
$q_{f,d}$ [MJ/ m^2]	obliczeniowa wartość gęstości obciążenia ogniowego odniesiona do pola powierzchni podłogi A_f
A_v [m^2]	całkowita powierzchnia pionowych otworów we wszystkich ścianach
h [m]	średnia ważona wysokości okien we wszystkich ścianach
A_t [m^2]	całkowita powierzchnia elementów ograniczających (ściany, sufity i podłogi, łącznie z otworami)
c_{pw} [J/kg°C]	ciepło właściwe elementów ograniczających
ρ_{pw} [kg/m^3]	ciężar objętościowy elementów ograniczających
λ_{pw} [W/m°C]	przewodność cieplna elementów ograniczających

☞ **Jeżeli element ograniczający składa się z różnych warstw, to parametry c_{pw}, ρ_{pw} oraz λ_{pw} powinny dawać parametr wynikowy $b = \sqrt{c_{pw}\rho_{pw}\lambda_{pw}}$ gdzie wyznaczony jest on z równania**

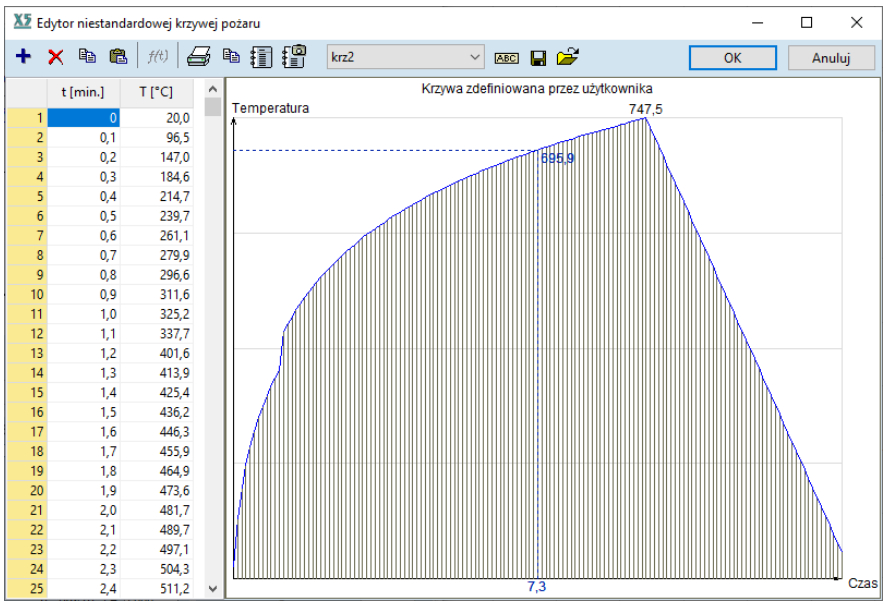
$$b = \sqrt{c_{pw,1}\rho_{pw,1}\lambda_{pw,1}}\frac{A_1}{\sum A} + \cdots + \sqrt{c_{pw,n}\rho_{pw,n}\lambda_{pw,n}}\frac{A_n}{\sum A}$$

☞ **Dla normy NEN EN nie można wybrać parametrycznej krzywej pożaru, ale dostępna jest inna obligatoryjna krzywa (RWS tunnel fire curve).**

Krzywa zdefiniowana przez użytkownika

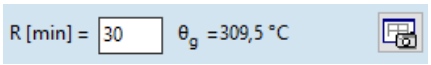
Do odwzorowania pożaru może zostać również wykorzystana krzywa zdefiniowana przez użytkownika, dzięki czemu program umożliwia wykonanie wymiarowania elementów w warunkach pożaru uwzględniając wyniki z zewnętrznych symulacji lub badań pożarowych.
Warto pamiętać, że obliczenia temperatury dla stali w oparciu o normowe krzywe pożaru wykorzystują założenie, że w całej strefie pożaru występuje identyczna temperatura gazu, a sam element stalowy narażony jest na jednakowe promieniowanie cieplne z każdego kierunku. W przypadku rzeczywistej sytuacji pożarowej temperatura gazów jest zazwyczaj niższa niż to wynika np. ze standardowej krzywej ISO.
W związku z tym, jeśli obliczenia temperatury stali będą przeprowadzone za pomocą wzoru normowego wg EN 1993-1-2 na podstawie temperatury gazu zarejestrowanej w prawdziwym pożarze, ale jakby to była temperatura gazu z krzywej pożarowej ISO, to możemy niedoszacować temperatury stali, ponieważ obliczenia takie zaniżają proporcje promieniowania cieplnego.
Rozwiązaniem może być zastosowanie tzw. adiabatycznej temperatury powierzchniowej [U. Wickström, D. Duthinh, K. McGrattan; 2007: Adiabatic surface temperature for calculating heat transfer to fire exposed structures]. Adiabatyczna temperatura powierzchniowa może być o 15 - 20% wyższa niż temperatura gazu wg opracowania [M. Malendowski, A. Glema, W. Szymkuc; 2015: Performance based coupled CFD-FEM analysis of 3-bay high industrial hall under natural fire in ASFE 2015 proceedings]).

Podobnie jak w przypadku niestandardowego spektrum sejsmicznego, punkty krzywej definiowanej przez użytkownika mogą zostać określone za pomocą edytora funkcji. Maksymalna liczba punktów to 360.



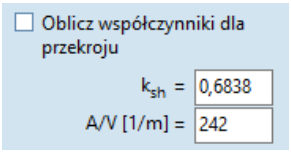
Temperatura stali

Temperatura stali wyznaczana jest automatycznie zgodnie z wybraną krzywą pożarową i czasem trwania pożaru / wymaganej odporności ogniowej (R15, R30, R60 itd. – gdzie liczba oznacza czas w minutach). Obliczeniowa temperatura stali wykorzystywana jest potem przy wymiarowaniu stali ze względu na warunki pożarowe (**patrz...** *6.6.2 Wymiarowanie konstrukcji stalowych w warunkach pożaru zgodnie z Eurokod 3 (moduł SD8)).* Maksymalny czas trwania pożaru to 180 minut (R180)



Jednostki dla kluczowych parametrów, czasu trwania pożaru i temperatury mogą zostać ustawione przez użytkownika (**patrz...** *3.3.8 Jednostki i formaty)*
Wykres może zostać zapisany w Bibliotece rysunków (**patrz...** *3.6.10 Biblioteka Rysunków*) poprzez kliknięcie w ikonę znajdującą się pod wykresem po prawej stronie. Zapisane wykresy można dodać później do raportu.

Temperatura nieosłoniętych elementów stalowych (EN 1993-1-2; Δt = 5s):

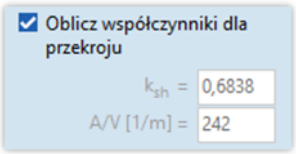


$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh}\frac{\frac{A}{V}}{c_a\rho_a}\dot{h}_{net,d}\Delta t$$

gdzie:

k_{sh} [-]	współczynnik poprawkowy uwzględniający efekt zacienienia (dla normy SIA k_{sh} = 1.0)
$\frac{A}{V}$ [1/m]	wskaźnik ekspozycji przekroju elementu nieosłoniętego
c_a [J/kgK]	ciepło właściwe stali (wg EN 1993-1-2)
ρ_a [kg/m^3]	gęstość masy stali
$\dot{h}_{net,d}$ [W/m^2]	wartość obliczeniowa przyjętego strumienia ciepła określona na jednostkę powierzchni

☞ **Współczynnik poprawkowy uwzględniający efekt zacienienia oraz wskaźnik ekspozycji przekroju może zostać obliczony automatycznie dla obsługiwanych typów przekroi poprzecznych (dwuteownik, rura prostokątna, rura okrągła, kątownik).**



Temperatura osłoniętych elementów stalowych (EN 1993-1-2; Δt = 5s):

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\frac{\lambda_p A_p}{V}}{d_p c_a \rho_a}\frac{(\theta_{g,t}-\theta_{a,t})}{1+\frac{\phi}{3}}\Delta t - \left(e^{\frac{\phi}{10}}-1\right)\Delta\theta_{g,t}$$

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} \frac{\lambda_p A_p}{V}$$

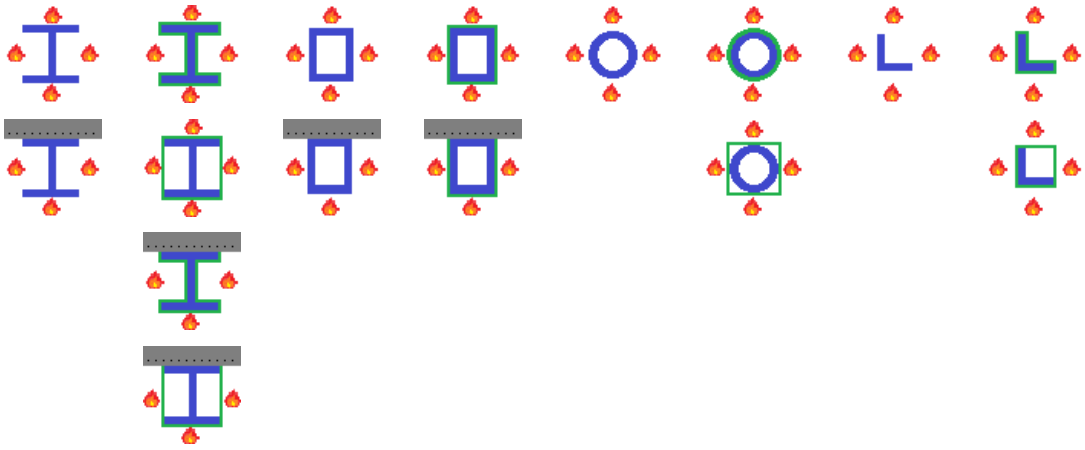
gdzie:

λ_p [W/mK]	przewodność cieplna zabezpieczenia ogniochronnego
$\frac{A_p}{V}$ [1/m]	pole powierzchni materiału izolacji ogniochronnej na jednostkę długości elementu
c_p [J/kgK]	niezależne od temperatury ciepło właściwe materiału izolacji ognioochronnej
ρ_p [kg/m^3]	gęstość masy materiału izolacji ogniochronnej
d_p [m]	grubość warstwy materiału izolacji ogniochronnej

☞ **Obliczona temperatura stali w odniesieniu do wybranej krzywej pożarowej i czasu trwania pożaru (w przypadku krzywej parametrycznej maksymalna temperatura obliczona w danym interwale) jest widoczna w panelu** Temperatura stali **poniżej rozwijanej listy. Jeszcze niżej wyszczególnione są współczynniki redukcyjne dla modułu Younga i granicy plastyczności, wyznaczone zgodnie z EN 1993-1-2.**

Ekspozycja

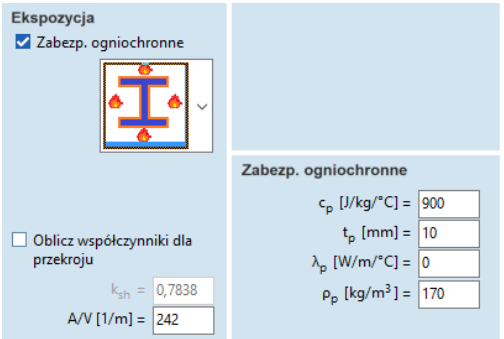
W panelu *Ekspozycja* możliwe jest ustawienie sposobu ekspozycji przekroju na warunki pożarowe. Typ ekspozycji znacząco wpływa na wartość współczynnika poprawkowego uwzględniającego efekt zacienienia i wskaźnik przekroju. Dla obsługiwanych przekrojów możliwe są następujące typy ekspozycji dla elementów nieosłoniętych i osłoniętych:



Dla przekrojów nieobsługiwanych typ ekspozycji będzie reprezentowany przez samodzielnie określone przez użytkownika współczynniki k_{sh} z A/V.

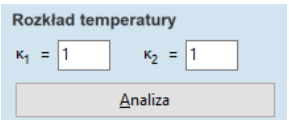
Zabezp. ogniochronne

Zastosowanie zabezpieczenia ogniochronnego dla konstrukcji stalowej jest często wymagane, ze względu na smukłość elementów stalowych oraz fakt, że stal ma wysoką przewodność cieplną. Aby uwzględnić w AxisVM zabezpieczenie ogniochronne elementu, należy zaznaczyć kontrolkę *Zabezp. ogniochronne* w panelu *Ekspozycja*. Zaznaczenie tej opcji aktywuje jej parametry w panelu *Zabezp. ogniochronne*, który znajduje się w prawej dolnej części okna dialogowego. Parametry te zostały już opisane powyżej.
Włączona lub wyłączona kontrolka *Zabezp. ogniochronne* wpływa także na liczbę typów ekspozycji dostępnych na rozwijanej liście.

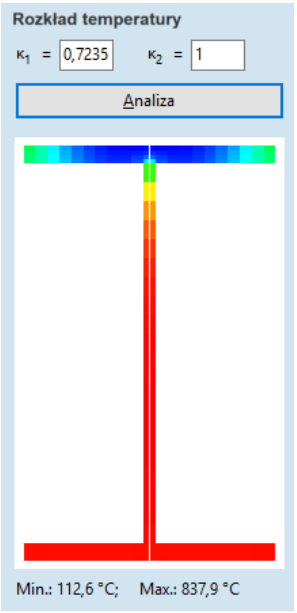


Współczynniki κ1 oraz κ2

Współczynniki przystosowania κ_1 oraz κ_2 odnoszą się do nierównomiernego rozkładu temperatury odpowiednio w przekroju oraz na długości elementu, zgodnie z EN 1993-1-2. Współczynniki te mogą zostać ustawione w panelu *Rozkład temperatury*.



Obliczenie rozkładu temperatury



Dla przekroju dwuteowego oraz rury prostokątnej możliwe jest wyznaczenie rozkładu temperatury w sposób bardziej dokładny. Odbywa się to przez kliknięcie przycisku *Analiza* w panelu *Rozkład temperatury*. Temperatury w poszczególnych częściach przekroju obliczane są za pomocą metody różnic skończonych. W tym przypadku rozwiązywany jest problem dwuwymiarowego przewodnictwa cieplnego.

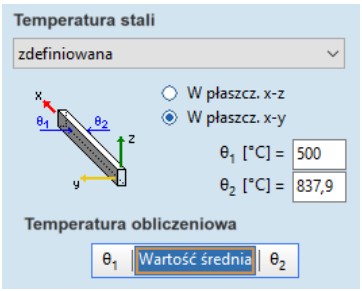
W zależności od dostępnej mocy obliczeniowej i symetrii problemu, obliczenia mogą zająć kilka sekund lub kilka minut. Analiza uwzględnia przewodnictwo cieplne stali w zależności od temperatury zgodnie z EN 1993-1-2. Po zakończeniu analizy wyświetlony zostanie schemat przekroju z maksymalną, średnią i minimalną temperaturą jako funkcją czasu.

W przypadku nierównomiernego rozkładu temperatury, zgodnie z wytycznymi EN 1993-1-2, do weryfikacji nośności trzeba wziąć maksymalną temperaturę w przekroju poprzecznym. Tak więc jeżeli wyniki powyższej analizy są dostępne, program będzie wykorzystywał w dalszych obliczeniach wyznaczoną tutaj temperaturę maksymalną.

Współczynnik przystosowania κ_1 odnoszący się do nierównomiernego rozkładu temperatury w przekroju poprzecznym obliczany jest automatycznie, ale możliwe jest nadpisanie jego obliczonej wartości w okienku nad przyciskiem *Analiza*.

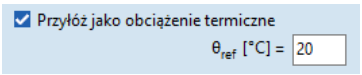
Jeżeli przekrój poprzeczny styka się po jednej stronie z płytą żelbetową, to do analizy rozkładu temperatury konieczne jest także podanie grubości tej płyty i gęstości masy betonu w panelu *Ekspozycja*.

Temperatura zdefiniowana



Jeżeli wybrano *zdefiniowaną* temperaturę stali w panelu *Temperatura stali*, to można określić jej rozkład jako stały lub liniowo zmienny. Temperatura obliczeniowa może zostać wybrana jako wartość θ_1, θ_2 lub ich wartość średnia. Temperatura ta będzie wykorzystana w późniejszym etapie wymiarowania elementu stalowego (**patrz...** *6.6.2 Wymiarowanie konstrukcji stalowych w warunkach pożaru zgodnie z Eurokod 3 (moduł SD8)*).

Przyłóż jako obciążenie termiczne



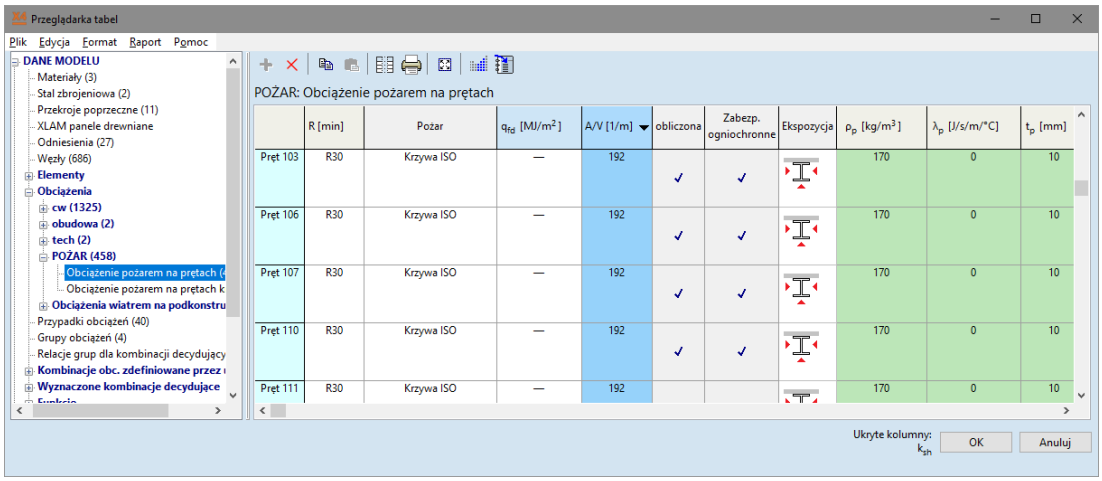
Zarówno temperatura obliczona jak i zdefiniowana przez użytkownika może zostać przyłożona na elemencie jako obciążenie termiczne (**patrz...** *4.10.20 Obciążenie termiczne na elementach liniowych*), w celu wyznaczenia przez liniową analizę statyczną sił wewnętrznych spowodowanych nieswobodnymi deformacjami cieplnymi.

Temperatura odniesienia dla tej operacji musi zostać podana (w obliczeniach pożarowych może to być np. temperatura panująca w pomieszczeniu).

Korzystanie z wyidealizowanego modelu i liniowej analizy statycznej może powodować znaczne siły wewnętrzne wynikające z rozszerzalności cieplnej, ponieważ ewentualne utraty lokalnej stabilności nie są uwzględniane. Te znaczące siły mogą zostać rozproszone przez utratę lokalnej stabilności i deformację elementów bez wydatnego ryzyka dla stabilności globalnej. Zgodnie z wytycznymi Eurokodu siły termiczne w pewnych przypadkach mogą zostać pominięte.

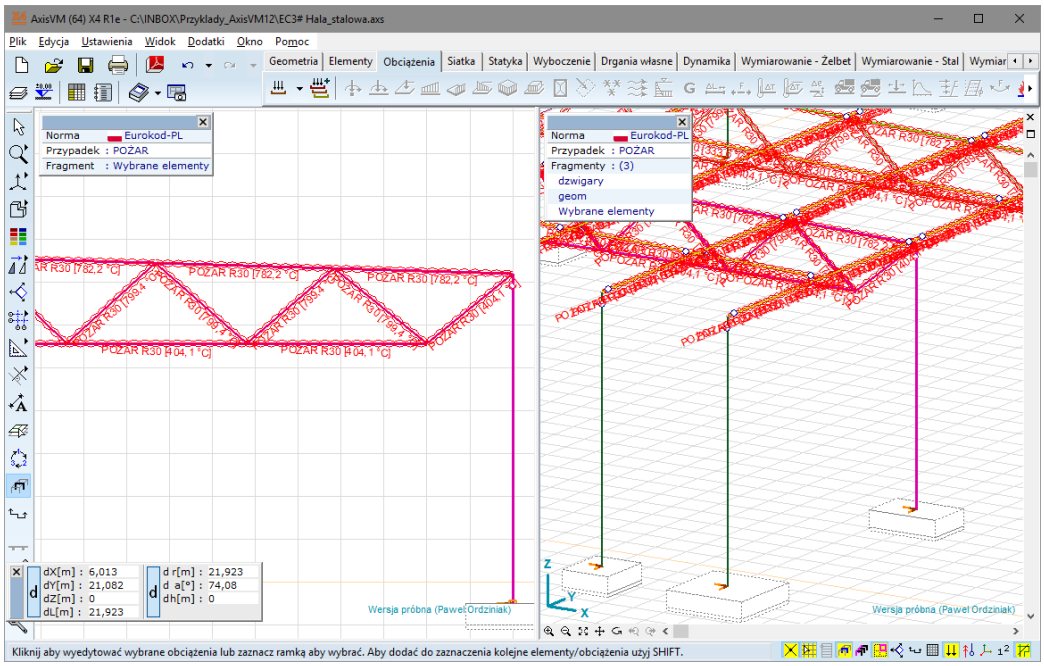
Tabela

Parametry obciążenia od oddziaływania pożaru mogą zostać sprawdzone w *Przeglądarce tabel*. Dostępne parametry: wymagany czas nośności, rodzaj krzywej pożarowej, gęstość obciążenia ogniowego, wskaźnik przekroju, współczynnik zacienienia, typ ekspozycji przekroju, typ zabezpieczenia ogniochronnego, obliczeniowa temperatura stali. Tabela z tymi parametrami, tak jak inne tabele, może zostać dodana do raportu.



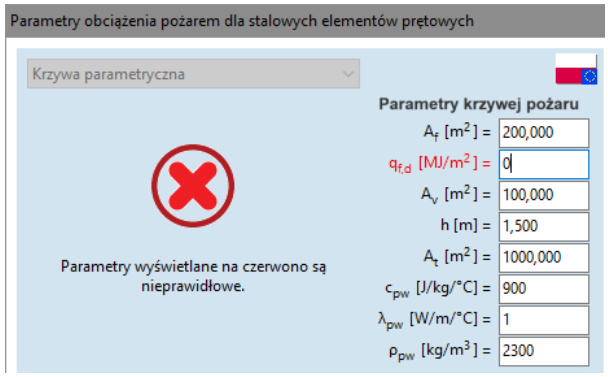
Symbole graficzne w oknie głównym

Oddziaływanie pożaru na poszczególne elementy konstrukcji przedstawione jest w oknie głównym za pomocą linii zygzakowej. Właściwości oznaczenia (grubość, kolor) mogą zostać ustawione w *Ustawienia / Preferencje / Symbole graficzne*.



Błędy

Jeżeli temperatura gazu lub stali nie może zostać obliczona z powodu niewłaściwych parametrów wejściowych, wyświetlony zostanie komunikat o błędzie.
EN 1991-1-2 narzuca kilka ograniczeń dla parametrów początkowych krzywej parametrycznej (wskaźnik otworów, $b = \sqrt{c_{pw}\rho_{pw}\lambda_{pw}}$, powierzchnia pomieszczenia, wysokość, itd.).



4.10.32 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy drewniane (moduł TD8)

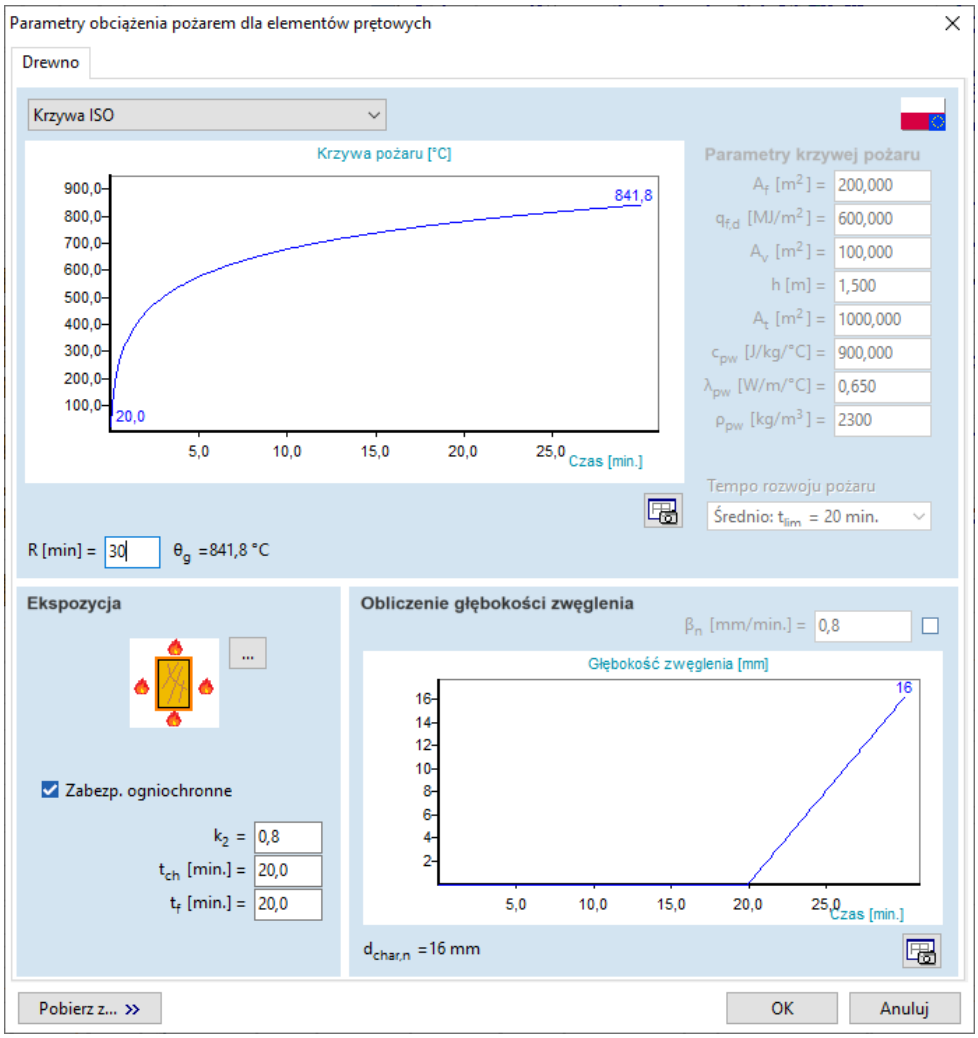
Normy projektowe

W programie AxisVM oddziaływanie od pożaru może zostać wygenerowane zgodnie z różnymi normami projektowymi. W przypadku Załączników Krajowych do Eurokodu, które nie zostały wymienione poniżej, stosuje się zasady ogólne EN 1991-1-2 oraz EN 1995-1-2.

Eurokod	*EN 1991-1-2* *Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje* *Część 1-2: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru* *EN 1995-1-2* *Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych* *Część 1-2: Reguły ogólne – Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe*
EC niemiecki	*DIN EN 1991-1-2:2010-12 NA* *DIN EN 1995-1-2:2010-12 NA*
EC węgierski	*MSZ EN 1991-1-2:2005 NA* *MSZ EN 1995-1-2:2013 NA*
EC czeski	*CSN EN 1995-1-2/NA 2011*
EC słowacki	*STN EN 1991-1-2/NA:2006* *STN EN 1995-1-2/NA:2011*
EC brytyjski	*BS EN 1991-1-2:2002 NA* *BS EN 1995-1-2:2004 NA*
EC fiński	*SFS-EN 1991-1-2:2002 NA* *SFS-EN 1995-1-2:2004 NA*
EC norweski	*NS-EN 1991-1-2:2002/NA:2008* *NS-EN 1995-1-2:2004/NA:2010*
EC holenderski	*NEN EN 1991-1-2:2002/NB:2011* *NEN EN 1995-1-2 NB*
SIA szwajcarska	*SIA 261: 2020* *SIA 265: 2003*

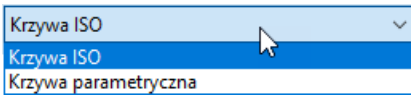
Definiowanie oddziaływania od pożaru

W celu zdefiniowania oddziaływania od pożaru na elementy prętowe, należy kliknąć ikonę *Oddziaływanie pożaru na elementy liniowe* na zakładce *Obciążenia* (po wcześniejszym utworzeniu przypadku obciążenia *Pożar*).



Krzywe pożaru

Oddziaływanie pożaru jest reprezentowane przez krzywą pożaru określającą temperaturę gazu w strefie pożaru jako funkcję zależną od czasu. W przypadku elementów drewnianych można wybrać *Krzywą ISO* i *Krzywą parametryczną*. Krzywe te są przedstawione i omówione w poprzednim rozdziale (**patrz...** *4.10.31 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy stalowe (moduł SD8)*).



☞ **W przypadku normy NEN EN nie można wybrać krzywej parametrycznej.**

Obliczanie głębokości zwęglenia

Głębokość zwęglenia wyznaczana jest automatycznie na podstawie krzywej pożaru i czasu trwania pożaru / wymaganego czasu ognioodporności (R15, R30, R60 itd. – gdzie podana liczba określa czas w minutach). Wartość głębokości zwęglenia jest następnie wykorzystywana podczas wymiarowania elementów na warunki pożarowe (**patrz...** *6.7.2 Wymiarowanie konstrukcji drewnianych w warunkach pożaru (moduł TD8)*). Maksymalny czas trwania pożaru wynosi 180 minut (R180).
Program obsługuje profile prostokątne, prostokątne sfazowane oraz okrągłe.
Wykres może zostać zapisany w Bibliotece rysunków (**patrz...** *3.6.11 Zapisz w Bibliotece rysunków*) poprzez kliknięcie w ikonkę umieszczoną pod wykresem po prawej stronie. Tak zapisany wykres może być później dodany do raportu.

Hipotetyczna głębokość zwęglenia ($d_{char,n}$) elementu drewnianego obliczana jest w następujący sposób:

- krzywa ISO (wg EN 1995-1-2 3.4.2.) – dla drewna niezabezpieczonego ogniochronnie:

$$d_{char,n} = \beta_n t$$

β_n [mm/min] hipotetyczna prędkość obliczeniowa zwęglania w warunkach pożaru nominalnego
t [min] czas

- krzywa parametryczna pożaru (wg załącznika A do EN 1995-1-2) – dla drewna niezabezpieczonego ogniochronnie:

$$d_{char,n} = \begin{cases} \beta_{par} t & t \le t_0 \\ \beta_{par}\left(1.5t - \frac{t^2}{4t_0} - \frac{t_0}{4}\right) & t_0 < t \le 3t_0 \\ 2\beta_{par} t_0 & 3t_0 < t \le 5t_0 \end{cases}$$

gdzie

$t_0 = 0.009\frac{q_{f,d}}{O}$ $\beta_{par} = 1.5\beta_n \frac{0.2\sqrt{\Gamma} - 0.04}{0.16\sqrt{\Gamma} + 0.08}$ $\Gamma = \frac{\left(\frac{O}{b}\right)^2}{\left(\frac{0.04}{1160}\right)^2}$ $O = \frac{A_v}{A_t}\sqrt{h}$ $b = \sqrt{\rho_{pw} c_{pw} \lambda_{pw}}$

$q_{f,d}$ [MJ/ m^2]	gęstość obliczeniowa obciążenia ogniowego dla całej powierzchni A_f podłogi
A_v [m^2]	całkowita powierzchnia otworów w przegrodach pionowych
h [m]	średnia ważona wysokości wszystkich otworów okiennych w ścianach
A_t [m^2]	całkowita powierzchnia otaczająca strefę pożarową (stropy, ściany itd.)
c_{pw} [J/kg°C]	ciepło właściwe elementów ograniczających strefę
ρ_{pw} [kg/m^3]	ciężar objętościowy elementów ograniczających strefę
λ_{pw} [W/m°C]	przewodność cieplna elementów ograniczających strefę

☞ **Jeżeli element ograniczający składa się z różnych warstw, to parametry c_{pw}, ρ_{pw} oraz λ_{pw} powinny dawać parametr wynikowy $b = \sqrt{c_{pw}\rho_{pw}\lambda_{pw}}$ gdzie wyznaczony jest on z równania**

$$b = \sqrt{c_{pw,1}\rho_{pw,1}\lambda_{pw,1}}\frac{A_1}{\sum A} + \cdots + \sqrt{c_{pw,n}\rho_{pw,n}\lambda_{pw,n}}\frac{A_n}{\sum A}$$

Hipotetyczna głębokość zwęglania elementów drewnianych zabezpieczonych ogniochronnie może być obliczona tylko dla standardowej krzywej ISO, zgodnie z rozdziałem 3.4.3 normy EN 1995-1-2.
Wymagane są następujące parametry:

k_2 [-]	współczynnik izolacyjności
t_{ch} [min]	czas rozpoczęcia zwęglania elementów zabezpieczonych ogniochronnie (opóźnienie rozpoczęcia zwęglania zależne od zabezpieczenia)
t_f [min]	czas zniszczenia zabezpieczenia ogniochronnego

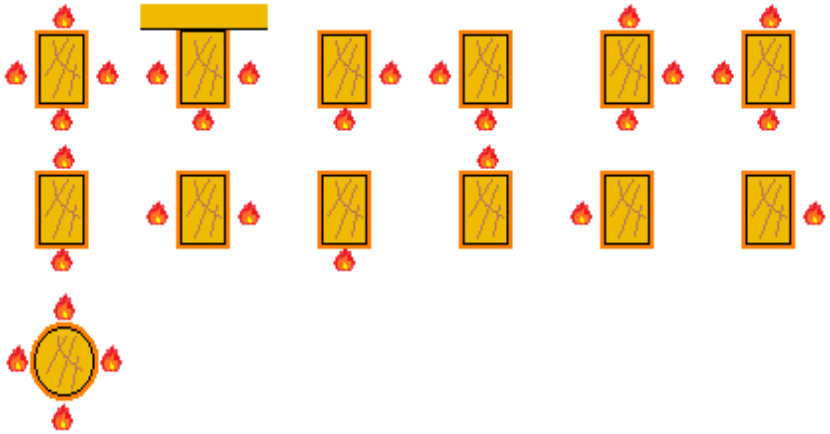
Parametry te muszą zostać określone w oparciu o wytyczne normy oraz grubości i rodzaju zabezpieczenia ogniochronnego.

Prędkość zwęglania

Program określa hipotetyczną prędkość zwęglania na podstawie parametrów opisujących materiał wybranego elementu, ale wartość ta może zostać wyedytowana przez użytkownika.

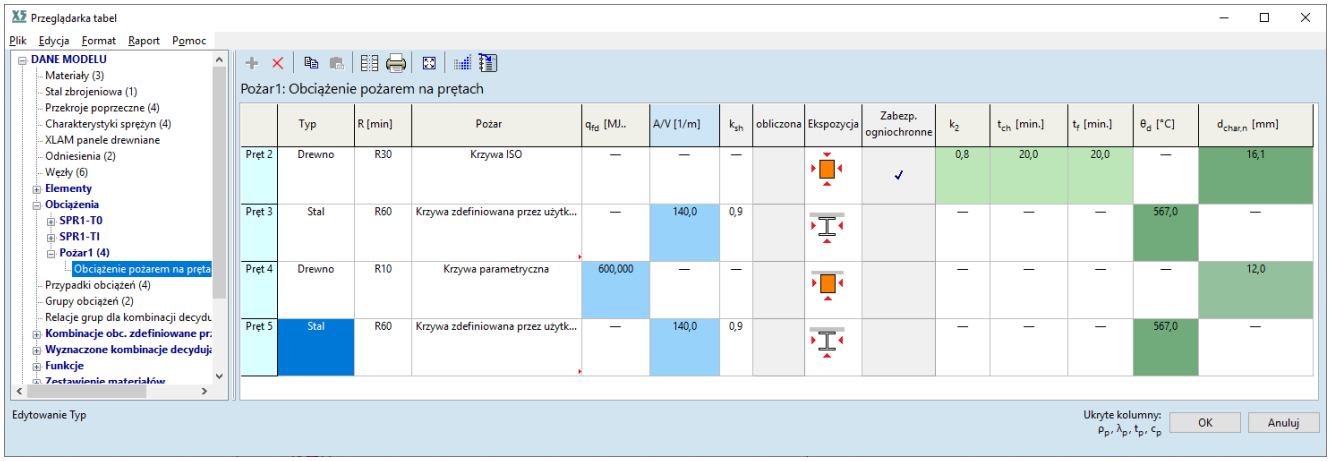
Ekspozycja

W części *Ekspozycja* możliwe jest ustawienie w jaki sposób element wystawiony jest na działanie pożaru. Typ ekspozycji wpływa tylko na obliczenia zredukowanego przekroju poprzecznego do wymiarowania w warunkach pożaru (**patrz...** *6.7.2 Wymiarowanie konstrukcji drewnianych w warunkach pożaru (moduł TD8)*). Dla obsługiwanych profili możliwe są następujące typy ekspozycji elementów zabezpieczonych/niezabezpieczonych ogniochronnie:



Przeglądarka tabel

Parametry oddziaływania od pożaru w każdym przypadku obciążenia pożarem może zostać zrewidowany w Przeglądarce tabel. Znajdujące się tam parametry to: wymagany czas nośności ogniowej, rodzaj krzywej pożaru, gęstość obciążenia ogniowego, typ ekspozycji, właściwości zabezpieczenia ogniochronnego oraz obliczona hipotetyczna głębokość zwęglania.
Tabela ta może zostać dodana do raportu.



Symbole graficzne w oknie głównym

Oddziaływania od pożaru pokazane są w głównym oknie na modelu linią zygzakową (podobnie jak w przypadku elementów stalowych – **patrz...** *4.10.31 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy stalowe (moduł SD8)*). Właściwości tego symbolu (grubość, kolor) mogą być ustawione w oknie *Preferencje -> Symbole graficzne*.

Błędy

Komunikat błędu pojawi się, jeżeli temperatura gazu lub hipotetyczna głębokość zwęglania nie mogła zostać obliczona z powodu niewłaściwych wartości parametrów. Norma EN 1991-1-2 nakłada pewne ograniczenia na niektóre parametry początkowe parametrycznej krzywej pożaru (np. współczynnik otworów, $b = \sqrt{c_{pw}\rho_{pw}\lambda_{pw}}$, powierzchnia podłogi, wysokość itd.)

4.10.33 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy żelbetowe (moduł RC8-B)

Normy projektowe

W programie AxisVM oddziaływanie od pożaru może zostać wygenerowane zgodnie z różnymi normami projektowymi. W przypadku Załączników Krajowych do Eurokodu, które nie zostały wymienione poniżej, stosuje się zasady ogólne *EN 1991-1-2* oraz *EN 1992-1-2*.

	Eurokod	*EN 1991-1-2* *Eurocode 1 Action on Structures* *Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire* *EN 1992-1-2* *Eurocode 2: Design of concrete structures* *Part 1-2: General rules - Structural fire design*

EC niemiecki	*DIN EN 1991-1-2:2010-12 NA* *DIN EN 1992-1-2:2010-12 NA*
EC węgierski	*MSZ EN 1991-1-2:2005 NA* *MSZ EN 1992-1-2:2013 NA*
EC czeski	*CSN EN 1992-1-2/NA 2007*
EC polski	*PN EN 1991-1-2:2006 NA* *PN EN 1995-1-2 NA*
EC brytyjski	*BS EN 1991-1-2:2002 NA* *BS EN 1992-1-2:2004 NA*
EC fiński	*SFS-EN 1991-1-2:2002 NA* *SFS-EN 1992-1-2:2004 NA*
EC norweski	*NS-EN 1991-1-2:2002/NA:2008* *NS-EN 1992-1-2:2004/NA:2010*
EC holenderski	*NEN EN 1991-1-2:2002/NB:2011* *NEN EN 1992-1-2 NB:2016*
EC łotewski	*LVS EN 1992-1-2:2005/NA:2014*
EC szwecki	*BFS 2011:10 (EKS 8)*
SIA szwajcarska	SIA 261:2020 SIA 265:2013

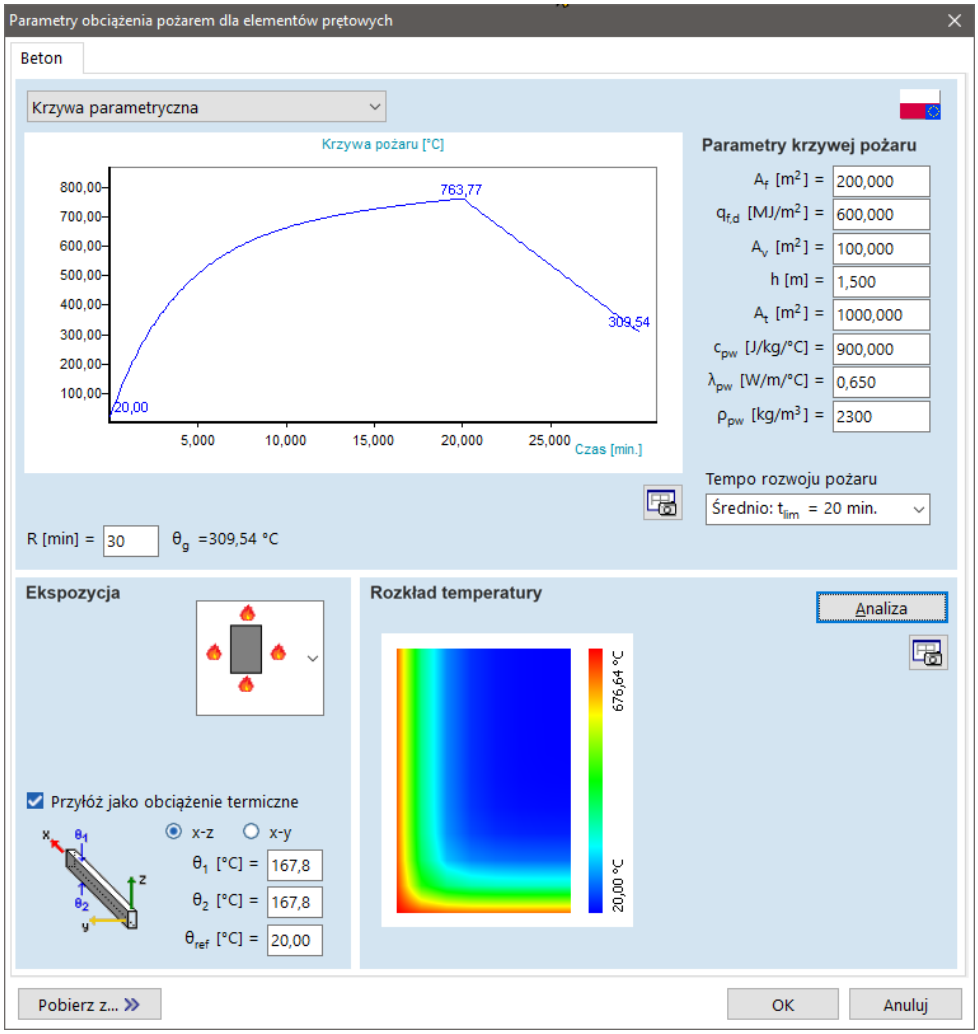
Obsługiwane typy przekrojów poprzecznych

Prostokątne

Okrągłe

Definiowanie oddziaływania od pożaru

W celu zdefiniowania oddziaływania od pożaru na elementy prętowe, należy kliknąć ikonę *Oddziaływanie pożaru na elementy liniowe* na zakładce *Obciążenia* (po wcześniejszym utworzeniu przypadku obciążenia *Pożar*).



Krzywe pożaru

Oddziaływanie pożaru jest reprezentowane przez krzywą określającą temperaturę gazu w strefie pożaru jako funkcję zależną od czasu. W przypadku elementów z betonu można wybrać *Krzywą ISO* oraz krzywe parametryczne. Krzywe te są przedstawione i omówione w rozdziale **patrz...** *4.10.31 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy stalowe (moduł SD8)*).

Maksymalny czas trwania pożaru to 300 minut (R300). Krzywa pożaru i temperatura gazów jest rysowana i obliczana tylko dla zdefiniowanego wcześniej okresu czasu.

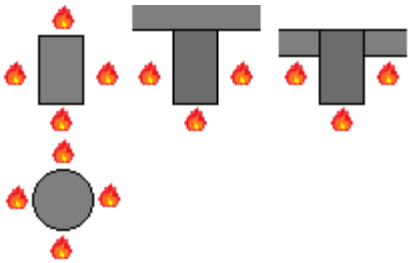
Jednostki dla parametrów, czasu trwania pożaru i temperatur mogą zostać dostosowane (**patrz** *3.3.8 Jednostki i formaty*).

Krzywa pożaru może zostać zapisana w Bibliotece rysunków (**patrz** *3.6.11 Zapisz w Bibliotece rysunków*) poprzez kliknięcie w ikonę znajdująca się poniżej wykresu, w prawej części okna dialogowego.

Ekspozycja

Panel *Eskpozycja* pozwala określić w jaki sposób przekrój narażony jest na ogień. Informacja ta wykorzystywana jest bezpośrednio w analizie rozkładu temperatury. Na ilustracji po prawej stronie przedstawiono obsługiwane przypadki.

W przypadku przekroju teowego uwzględniany jest wpływ płyty. Jedyną różnicą pomiędzy tymi dwoma opcjami jest interpretacja mimośrodu żebra.



Przyłóż jako obciążenie termiczne

Zarówno obliczone jak i zadane temperatury mogą zostać przyłożone do elementu konstrukcyjnego jako obciążenie termiczne (**patrz...** *4.10.20 Obciążenie termiczne na elementach liniowych*), by wyznaczyć w liniowej analizie statycznej siły wewnętrzne od skrępowanych odkształceń termicznych.

Domyślna wartość tych temperatur w programie nie odpowiada maksymalnej temperaturze betonu. Oblicza się je bowiem z uwzględnieniem różnicy między liniowym a nieliniowym rozkładem odkształceń termicznych tak, aby uzyskać takie samo oddziaływanie w przekroju poprzecznym.

Analiza temperatury

Weryfikacja konstrukcji żelbetowej narażonej na działanie ognia musi uwzględniać utratę sztywności i wytrzymałości betonu i stali, oraz odspojenie się zewnętrznej, uszkodzonej warstwy betonu. Efekty te można określić ilościowo zgodnie z wytycznymi normy projektowej, jeśli znany jest rozkład temperatury w elemencie konstrukcyjnym.
Program rozwiązuje dwuwymiarowy (2D) problem wymiany ciepła za pomocą metody różnic skończonych. Parametry zależne od temperatury obliczane są wg normy EN 1992-1-2. Obliczenia mogą trwać od kilku sekund do kilku minut, w zależności od dostępnych zasobów sprzętowych oraz symetryczności zagadnienia.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa\left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + \frac{Q}{\rho c_p}$$

Przekroje poprzeczne (za wyjątkiem przekroju okrągłego) dyskretyzowane są przy pomocy siatki prostokątnej o wielkości ok. 2cm. Dyskretyzacja bazuje na 30s odstępach czasu. Analiza temperatury weryfikowana jest z wykorzystaniem profilu temperatury z EN 1992-1-2.
Uzyskane wyniki z analizy temperatury przedstawione są w oknie dialogowym. Należy zauważyć, że uzyskany rozkład temperatury w przekroju odwzorowuje największą temperaturę w czasie, co nie musi być tożsame z końcowym momentem analizowanego czasu pożaru (w przypadku pożaru parametrycznego może występować na końcu faza schłodzenia).

Analiza temperatury nie jest wykonywana automatycznie. Aby ją uruchomić, należy kliknąć w przycisk *Analiza*. Wyniki z tej analizy oraz jej parametry są zapisywane w modelu. Jeżeli ponownie zostanie wybrany element konstrukcyjny z zapisanymi parametrami, to wyniki dla niego zostaną wczytane i rozkład temperatury będzie natychmiast dostępny.
Jeżeli okno dialogowe zostanie zamknięte bez przeprowadzenia analizy temperatury, to program wykona ją automatycznie w razie wystąpienia takiej potrzeby. Może to jednak spowolnić sam proces późniejszego wymiarowania czy generowania raportu.

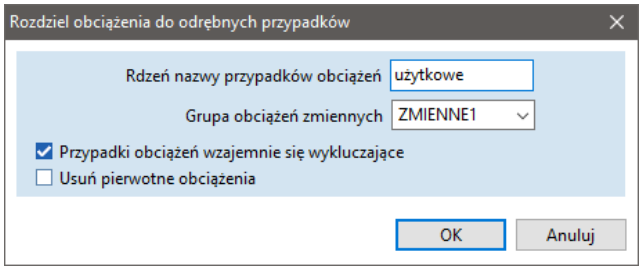
Skala kolorów na grafice z przekrojem pomaga zorientować się w rozkładzie temperatury. Po najechaniu kursorem na dane miejsce przekroju, pojawi się przy nim małe okienko podpowiedzi z wartością temperatury we wskazywanym miejscu. Dwukrotne kliknięcie w grafikę rozkładu temeratury wyświetli ją w większym oknie. Grafikę tę można zapisać w Bibliotece rysunków (**patrz** *3.6.11 Zapisz w Bibliotece rysunków*), poprzez kliknięcie w ikonę znajdującą się pod przyciskiem *Analiza*.

Dla elementów konstrukcyjnych o zmiennym przekroju poprzecznym generowane są dwie grafiki. Rozkład temperatury w początkowym przekroju poprzecznym znajduje się po lewej stronie, a końcowym po prawej. Rozkład temperatury przekrojów pośrednich jest interpolowany liniowo pomiędzy przekrojami końcowymi.

4.10.34 Rozdziel obciążenia do odrębnych przypadków

wg elementów

Polecenie to kopiuje lub przenosi wybrane obciążenia z danego przypadku do oddzielnych przypadków. Przypadki te tworzone są automatycznie w ramach określonej grupy obciążeń. W wyniku działania tego polecenia. każde obciążenie otrzymuje indywidualny przypadek obciążenia.



Rdzeń nazwy przypadków obciążeń pozwala określić prefiks nadawany poszczególnym przypadkom (*Nazwa1*, *Nazwa2*, *Nazwa3,* itd.).
W polu *Grupa obciążeń zmiennych* można wybrać istniejącą grupę obciążeń dla generowanych przypadków lub wprowadzić nową nazwę dla nowej grupy.

☞ **Jeżeli do elementu przyłożonych jest kilka obciążeń, to zostaną one przeniesione/skopiowane do jednego przypadku obciążeń.**

Zaznaczenie opcji *Usuń pierwotne obciążenia* skutkuje przeniesieniem obciążeń do nowych przypadków obciążeń. W przeciwnym razie obciążenia zostaną skopiowane tam skopiowane.

wg obciążeń

Funkcja ta działa podobnie jak poprzednia, ale kopiuje lub przesuwa wybrane obciążenia do odrębnych przypadków, niezależnie od elementu, do którego obciążenia zostały przyłożone.

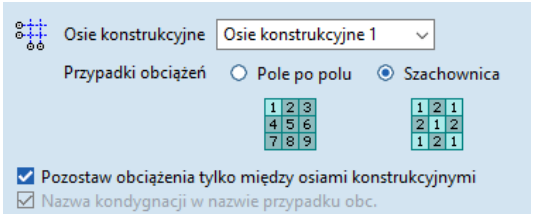
☞ **Jeżeli do elementu przyłożonych jest kilka obciążeń, to każde z nich zostanie przeniesione/skopiowane do odrębnego przypadku obciążenia.**

wg kondygnacji

Istniejące obciążenia umieszczane są w odrębnych przypadkach obciążeń wg kondygnacji, do których są przypisane.
Funkcja ta ma dwie dodatkowe opcje w oknie dialogowym:
Dotnij obciążenia do konturu kondygnacji – opcja to spowoduje, że obciążenia przechodzące przez kilka kondygnacji (np. przyłożone do ściany) zostaną podzielone na obciążenia elementów dochodzących od góry i od dołu do płyty danej kondygnacji i umieszczone w jednym przypadku. Po odznaczeniu tej opcji, dany przypadek będzie tworzony z obciążeń leżących tylko na wysokości danej kondygnacji.
Nazwa kondygnacji w nazwie przypadku obc. – po zaznaczeniu tej opcji nazwy tworzonych przez polecenie przypadków obciążeń będą zawierały nazwę kondygnacji, do której przynależą.

wg siatki osi konstrukcyjnych

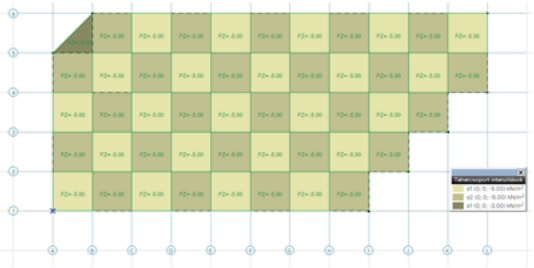
Polecenie to rozdziela istniejące obciążenie na pola pomiędzy osiami konstrukcyjnymi (**patrz...** *2.16.8 Osie konstrukcyjne*) i umieszcza utworzone w ten sposób obciążenia w oddzielnych przypadkach.



Dostępne są dwa tryby rozdziału:
Pole po polu – każde wydzielone osiami pole obciążenia otrzyma swój oddzielny przypadek obciążenia.
Szachownica – Obciążenie pól zostanie rozdzielone do dwóch uzupełniających się wzajemnie przypadków o schemacie szachownicy.

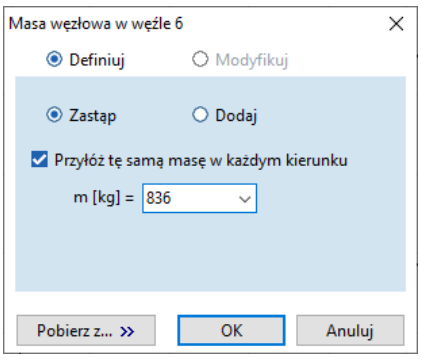
Pozostaw obciążenia tylko między osiami konstrukcyjnymi – jeżeli opcja ta pozostanie nieaktywna, to obciążenia leżące na zewnątrz siatki osi konstrukcyjnych zostaną również uwzględnione przy rozdziale.
Nazwa kondygnacji w nazwie przypadku obc. – po zaznaczeniu tej opcji nazwy tworzonych przez polecenie przypadków obciążeń będą zawierały nazwę kondygnacji, do której przynależą.

Aby wyświetlić wszystkie obciążenia obszaru rozdzielone do odrębnych przypadków, należy wybrać *Intensywność grup obciążeń* w *Schemacie kolorów*. W ten sposób zostaną wyświetlone obciążenia ze wszystkich przypadków znajdujących się w bieżącej grupie obc. **Patrz...** *2.16.5 Schematy kolorów*.



4.10.35 Masa węzłowa

W analizie modalnej uwzględniane są masy skupione w węzłach. Masy te można zdefiniować i uwzględnić poprzez ich globalne składowe m_X, m_Y, m_Z.
W analizie modalnej II-go rzędu do modelu przyłożone są obciążenia wynikające z mas węzłowych jak również masy wynikające ze względu na przyłożone obciążenia.
Jeżeli masa jest taka sama w każdym kierunku, po zaznaczeniu opcji *Przyłóż tę samą masę w każdym kierunku* wystarczy określić jedną wartość.



W analizie dynamicznej masy i przyspieszenia węzłowe prowadzą do obciążeń dynamicznych powodujących w modelu przemieszczenia i siły.

Masa węzłowa wyświetlana jest na ekranie jako dwa ciemnoczerwone koncentryczne okręgi.

4.10.36 Modyfikacja obciążeń

Modyfikuj Aby zmodyfikować obciążenia:

1. Naciśnij klawisz **[Shift]** i wybierz obciążenia (lub obciążone elementy), które mają zostać zmodyfikowane
   Można również wybrać je za pomocą ramki wyboru lub korzystając z paska narzędzi Wyboru.
2. Kliknij na ikonę typu obciążenia na pasku narzędzi.
3. Zaznacz pola wyboru obok wartości, które mają zostać zmienione.
4. Wprowadź nowe wartości.
5. Zamknij okno dialogowe przyciskiem **OK**.

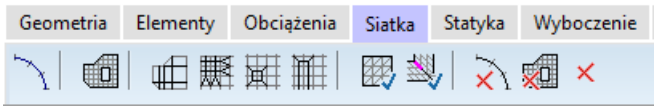
Tryb pośredni Jeżeli zakładka Obciążenia jest aktywna, wystarczy kliknąć na element skończony, aby zmodyfikować jego obciążenia. Jeżeli element posiada więcej niż jedno obciążenie, pojawi się tylko jedno z nich. Jeżeli na jednym pręcie rozmieszczono różne obciążenia skupione lub rozłożone, kliknięcie na pręt sprawi, że pojawi się obciążenie znajdujące się najbliżej miejsca kliknięcia.
Jeżeli wybrano kilka elementów skończonych, ich obciążenia można bezpośrednio zmodyfikować klikając na jedno z nich. Klikając na niezaznaczony element, wybór zniknie, umożliwiając modyfikację obciążenia elementu, który został kliknięty.

☞ **Proces modyfikacji obciążeń podobny jest do procesu definicji, ale nie przypisuje obciążeń do nieobciążonych elementów i zezwala na dostęp do określonej właściwości obciążenia, nie wpływając na inne. Można również przełączyć na przycisk Definiuj, aby umieścić obciążenia na wszystkich wybranych elementach, liniach lub powierzchniach. Jeżeli zaznaczone zostaną elementy z obciążeniami, które nie pasują do wybranego typu obciążenia, obciążenia te pozostaną niezmienione.**

4.10.37 Usuwanie obciążeń

[Del] **Patrz...** *3.2.9 Usuń*

4.11 Siatka



Kliknięcie na zakładkę Siatka udostępni pasek narzędzi do generowania siatki dla elementów liniowych i obszarów, funkcjami zagęszczania siatki oraz weryfikacją kształtów elementów skończonych.

4.11.1 Generowanie siatki

Automatyczne wykrywanie nachodzących linii lub brakujących punktów przecięcia podczas generowania siatki redukuje błędy w geometrii modelu.
Wsparcie dla procesorów wielordzeniowych przyspiesza czas generowania siatki.

4.11.1.1 Generowanie siatki dla elementów liniowych

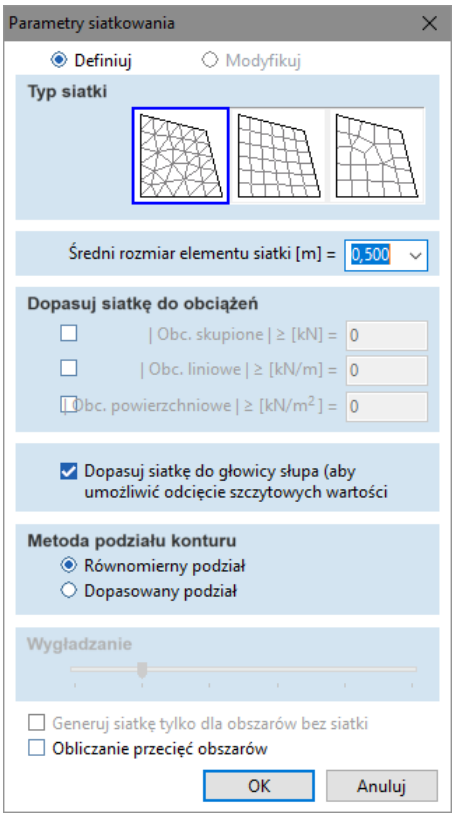
Analiza elementów skończonych wykorzystuje elementy liniowe o stałych przekrojach poprzecznych, dlatego łukowe elementy liniowe i o zmiennych (zwężających się) przekrojach poprzecznych muszą być podzielone na fragmenty. Proces ten nazywa się generowaniem siatki dla elementów liniowych. Dokładność takiego rozwiązania zależy od gęstości siatki.
Siatkę tę można usunąć lub zmodyfikować tak jak siatkę obszaru. Usunięcie siatki nie skutkuje usunięciem obciążeń i właściwości przypisanych do elementu liniowego.
Siatka może być definiowana także dla elementów o stałym przekroju poprzecznym. Jest to przydatne w przypadku analizy nieliniowej lub modalnej, kiedy wymagany jest podział elementów liniowych, aby uzyskać większą dokładność.

Parametry siatki dla elementów liniowych
Generowanie siatki można przeprowadzić według różnych kryteriów:

Maksymalne zniekształcenie łuku
Wysokość cięciwy nie może przekroczyć określonej wartości.
Maksymalny rozmiar elementu
Długości linii siatki nie mogą przekroczyć określonej wartości.
Podział na N segmentów
Elementy zostają podzielone na N fragmentów.
Po łuku
Kąt środkowy łukowych segmentów siatki nie może przekroczyć określonej wartości.

4.11.1.2 Generowanie siatki obszaru

Siatka trójkątnych elementów powierzchniowych może być wygenerowana na wybranych obszarach przez określenie średniej długości boku elementu powierzchniowego w siatce. Podczas generowania siatki uwzględnione zostaną wszystkie otwory, linie wewnętrzne i punkty obszaru. Siatki opcjonalnie mogą być dopasowane do obciążeń powyżej określonej ich wartości lub dopasowane do głowic słupa, aby umożliwić odcięcie szczytowych wartości momentów.



Typ siatki
Dostępne są następujące typy siatek: siatka trójkątna, siatka czworokątna oraz siatka mieszana, w której większość elementów jest czworokątnych, a reszta trójkątnych.
Jeżeli linie konturu obszaru wliczając otwory i linie wewnętrzne mogą zostać podzielone na czworokąty i wybrano siatkę czworokątów, to wygenerowana zostanie parametryczna siatka o lepszej jakości.

Rozmiar siatki
Możliwe jest ustawienie średniego rozmiaru elementu siatki. Rzeczywista siatka może zawierać również mniejsze i większe elementy.

Dopasuj siatkę do obciążeń
Siatki zostaną dopasowane do wybranych typów obciążeń, jeżeli obciążenie przekroczy określoną wartość. Obciążenia skupione utworzą węzły siatki, a obciążenia liniowe utworzą linie siatki.

Dopasuj siatkę do głowicy słupa
Siatka musi być odpowiednio dopasowana do głowic słupów, aby umożliwić odcięcie szczytowych, teoretycznych wartości momentów. Włączenie tej opcji automatycznie dopasuje siatkę według geometrii przekroju poprzecznego dochodzących słupów. Wszystkie pręty łączące się z płytą pod kątem większym niż 45° rozpoznawane są jako słupy. Ta opcja musi zostać ustawiona, żeby włączyć opcję *Utnij wierzchołki momentów nad słupami* w oknie dialogowym *Parametry wyświetlania*. **Patrz...** *6.1.12 Siły wewn. elementu powierzchniowego*

Metoda podziału konturu
Równomierny podział
Krawędzie obszarów oraz linie wewnętrzne zostaną podzielone zgodnie z rozmiarem siatki, aby zapewnić określony rozmiar elementów.
Dopasowany podział
Opcja dopasowanego rozmiaru dostosowuje się do geometrii obszaru i zagęszcza siatkę redukując rozmiar elementów tam, gdzie jest to wymagane.

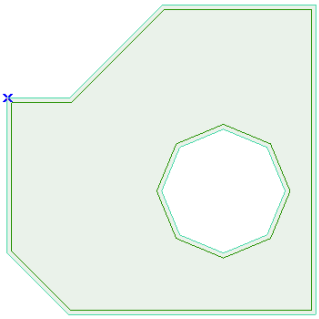
Wygładzanie
Za pomocą suwaka można kontrolować wyrównywanie siatki. Wyrównywanie spowalnia nieco proces generowania siatki. Przesunięcie suwaka w stronę lewego końca ustawi minimalne wyrównanie i szybkie przetwarzanie, podczas gdy przesunięcie go w stronę prawego końca ustawi maksymalne wyrównywanie z wolniejszym przetwarzaniem. Wynik wyrównania zależy od geometrii obszaru i innych parametrów siatki, więc ustawienie wyższego wyrównywania niekoniecznie skutkować będzie lepszą jakością siatki.

Jeżeli zaznaczono opcję *Generuj siatkę tylko dla obszarów bez siatki* to nie zostaną utworzone siatki dla obszarów już posiatkowanych.

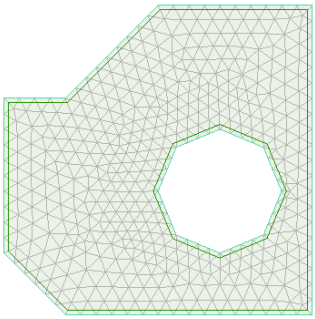
Jeżeli zaznaczono opcję *Obliczanie przecięć obszarów* to przed wygenerowaniem siatki automatycznie obliczone zostaną przecięcia obszarów.

Postęp procesu generowania siatki można monitorować w oknie. Proces ten można anulować w dowolnym momencie za pomocą przycisku **Przerwij**.

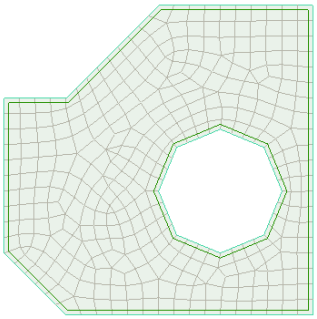
Generator siatki wykorzystuje tylko punkty końcowe elementów typu pręt, które znajdują się w płaszczyźnie obszaru i ignoruje odnośne segmenty liniowe. Żebra są zintegrowane z ich segmentami liniowymi, ponieważ mogą być również zdefiniowane na krawędziach powierzchni.
Jeżeli w obrębie obszaru istnieją siatki czworokątów lub trójkątów, generator siatki nie zmieni tych siatek i zintegruje je z nową siatką.



Przed utworzeniem siatki



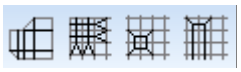
Po utworzeniu siatki trójkątnej



Siatka czworokątna z trójkątami

☞ **Jeżeli siatka zostanie wygenerowane na istniejącej siatce obszaru (o innej średniej długości boku elementu), nowa siatka zastąpi istniejącą.**

4.11.2 Zagęszczenie siatki



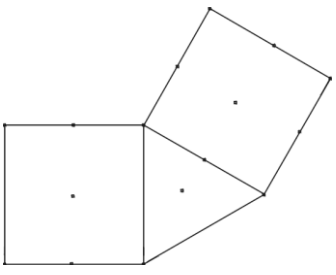
Umożliwia zagęszczenie siatki elementów skończonych na powierzchniach. Elementy w siatce zagęszczonej mają te same właściwości (materiał, przekrój poprzeczny / grubość, odniesienia itd.) jak elementy w siatce zgrubnej.

☞ **Należy ręcznie ustawić węzłowe stopnie swobody dla wygenerowanych elementów siatek, ponieważ nie są one ustawiane automatycznie podczas siatkowania.**

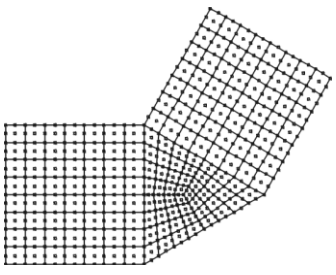
Dostępne są następujące opcje:

Równomierne

Umożliwia zagęszczenie całej wybranej siatki. Użytkownik musi określić maksymalną długość boku elementu powierzchniowego w zagęszczonej siatce.



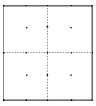
Przed zagęszczeniem siatki



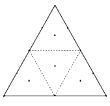
Po zagęszczeniu siatki

Przepołowienie

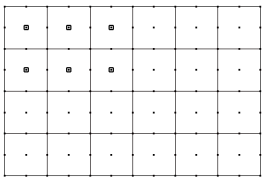
Umożliwia zagęszczenie wybranej siatki poprzez przepołowienie elementów, jak pokazano na rysunku poniżej.



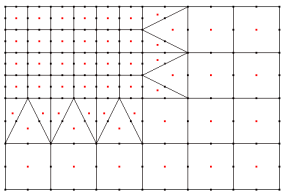
Element czworokątny



Element trójkątny



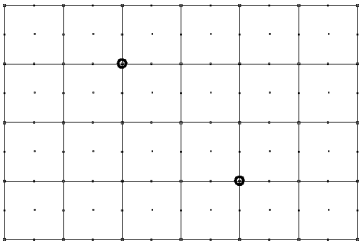
Przed zagęszczeniem siatki



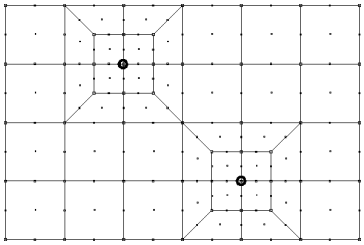
Po zagęszczeniem siatki

Wokół węzła

Umożliwia zagęszczenie siatki wokół wybranych węzłów (lokalnie wokół słupów, podpór węzłowych). Użytkownik musi określić stosunek podziału (0.2-0.8). To polecenie zagęszcza siatkę dzieląc elementy połączone z poszczególnymi węzłami w określonym stosunku.



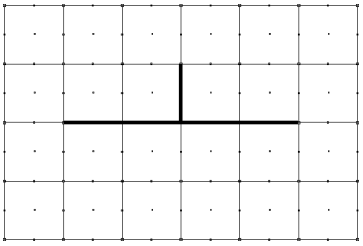
Przed zagęszczeniem siatki



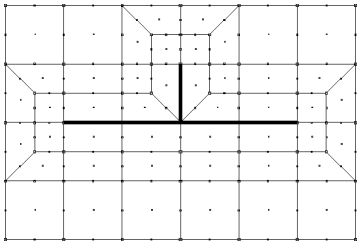
Po zagęszczeniem siatki

Wzdłuż krawędzi

Umożliwia zagęszczenie siatki wzdłuż wybranych krawędzi (lokalnie wzdłuż podpór krawędziowych / obciążeń). Użytkownik musi określić stosunek podziału (0.2-0.8). To polecenie zagęszcza siatkę dzieląc elementy połączone z poszczególnymi krawędziami w określonym stosunku.



Przed zagęszczeniem siatki



Po zagęszczeniem siatki

4.11.3 Weryfikacja elementów skończonych

Program weryfikuje minimalny kąt elementów skończonych (α).

Trójkątny element skończony jest zniekształcony, jeżeli $\alpha \leq 15^{o}$.
Czworokątny element skończony jest zniekształcony, jeżeli $\alpha \leq 30^{o}$.

4.11.4 Zaznacz swobodne krawędzie

Polecenie to zaznacza wszystkie krawędzie połączone tylko z jednym elementem powierzchniowym. Pozwala ono znaleźć krawędzie, gdzie siatka z dwóch obszarów nie została z jakiegoś powodu połączona.

4.11.5 Usuń wszystkie siatki

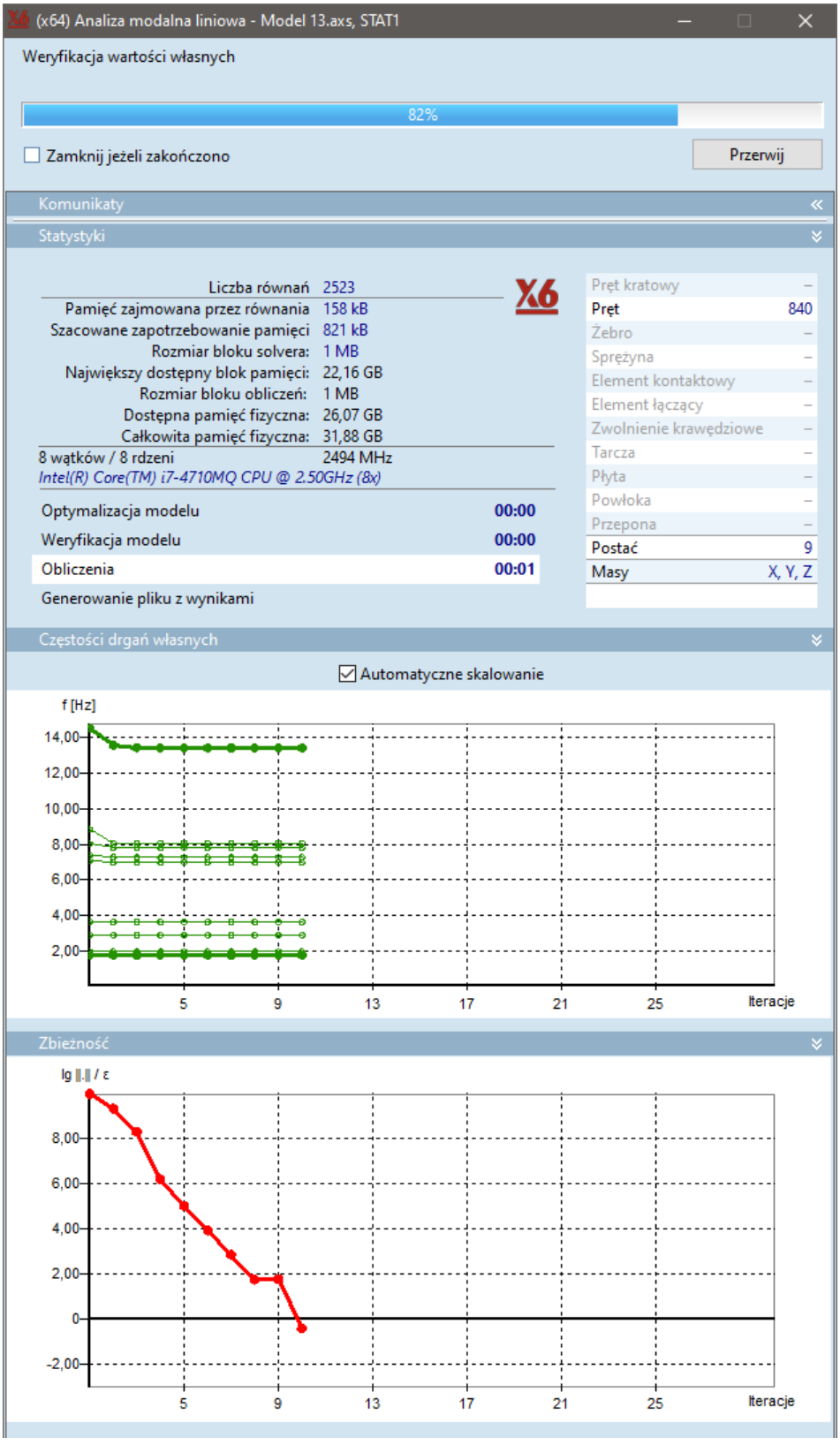
Usuwa wszystkie siatki z elementów liniowych

Usuwa wszystkie siatki z elementów powierzchniowych

Usuwa wszystkie typy siatek z całego modelu

5 Analizy

Program AxisVM umożliwia przeprowadzenie statycznej analizy liniowej i nieliniowej, dynamicznej analizy liniowej i nieliniowej, analizy modalnej i wyboczeniowej. Stosuje przy tym model zorientowany obiektowo dla metody elementów skończonych.
Instrukcje zawarte w tym Podręczniku użytkownika zakładają podstawową znajomość metody elementów skończonych i doświadczenie w modelowaniu. Należy mieć na uwadze, że analiza elementów skończonych to tylko narzędzie, które nie może zastąpić oceny projektanta.



Każda analiza składa się z trzech kroków:

1) Optymalizacja modelu
2) Weryfikacja modelu
3) Przeprowadzenie analizy
4) Generowanie pliku z wynikami

Szczegóły analizy mogą zostać wyświetlone przez rozwinięcie jednego lub więcej paneli kategorii. Panel Komunikaty wyświetla dziennik wiadomości dla analizy. Panel Statystyki wyświetla wymogi pamięciowe, informacje o sprzęcie, szczegóły dotyczące modelu oraz czasy obliczeń.
Kategorie specjalne:
Analiza nieliniowa: Śledzenie wyświetla postęp przyrostu obciążenia. Zbieżność pokazuje zbieżność procesu iteracji.
Analiza modalna: Częstości przedstawiają, w jaki sposób zbiegają się częstości. Zbieżność przedstawia proces zbieżności.
Analiza wyboczenia: Wartości własne przedstawiają, w jaki sposób zbiegają się wartości własne, a Zbieżność przedstawia proces zbieżności.
Analiza dynamiczna: Odstępy czasowe wyświetlają postęp, Zbieżność przedstawia proces zbieżności.

Parametry ostatniej analizy zapisywane są do pliku modelu i można je zobaczyć w oknie dialogowym Informacje o modelu. **Patrz...** *2.16.20 Informacje o modelu*.

Optymalizacja modelu

Aby zredukować czas analizy i zajmowaną pamięć, program AxisVM optymalizuje kolejność węzłów. Jeżeli całkowita liczba stopni swobody wynosi ponad 1000, tworzy wewnętrzny trójwymiarowy wykres na podstawie geometrii modelu i rozpoczyna podział układu równań metodą podstruktur. Układ przechowywany jest jako macierz rzadka. Parametry zoptymalizowanego układu równań pojawiają się tylko pod koniec tego procesu. Proces ten charakteryzuje się najmniejszą ilością zajmowanej pamięci i najkrótszym czasem obliczeń, ale przyjmuje, że największy blok zmieści się w dostępnej pamięci. Jeżeli się nie zmieści, AxisVM przechowuje układ jako macierz pasmową i rozpoczyna redukowanie szerokości pasma układu poprzez iteracyjne przenumerowanie węzłów. Jeżeli dwa najdłuższe wiersze mieszczą się w dostępnej pamięci, układ może zostać rozwiązany. Zmiany w wymogach pamięci dla macierzy pasmowej wyświetlane są w czasie rzeczywistym. Czas trwania procesu optymalizacji i ostateczna ilość zajętej pamięci zależy od wielkości układu i dostępnej pamięci.

☞ Układ równań rozwiązywany jest najefektywniej, jeżeli mieści się on cały w pamięci fizycznej. Jeżeli tak nie jest, ale za to do pamięci fizycznej mieści się jego największy blok, czas trwania będzie umiarkowany. Jeżeli największy blok nie mieści się w pamięci fizycznej, konieczne operacje na dysku mogą znacząco spowolnić rozwiązywanie.

Weryfikacja modelu

W pierwszym etapie weryfikowane są dane wejściowe. Jeżeli zostanie znaleziony błąd, wyświetlone zostanie ostrzeżenie i użytkownik może zdecydować, czy chce kontynuować czy anulować analizę.

Przeprowadzenie analizy

Program AxisVM wyświetla rozwój procesu rozwiązywania na dwóch paskach postępu. Górny pasek przedstawia bieżący krok, a drugi ogólny postęp procesu analizy.

Równania równowagi po kierunku zablokowanych stopni swobody nie są uwzględniane w układzie równań. Dlatego też, aby otrzymać reakcje podpór użytkownik musi wymodelować warunki podparć za pomocą elementów podporowych.

Metoda Cholesky'ego zastosowana jest do rozwiązywania liniowych równań równowagi.
Problemy wartości własnych rozwiązywane są za pomocą metody iteracji podprzestrzennej.

Błąd rozwiązania

Błąd rozwiązania obliczany jest na podstawie rozwiązania przypadku obciążenia o znanym wyniku. Daje to dobre oszacowanie rzędu błędów w wynikach przemieszczeń dla innych przypadków obciążeń.
Panel informacyjny wyświetla ten błąd jako E(Eq).
Jeżeli wartość E (Eq) jest większa niż 1E-06, wiarygodność obliczonych wyników jest wątpliwa. Przewiduje się, że błąd przemieszczeń jest tego samego rzędu.

Generowanie pliku z wynikami

Podczas przetwarzania wyników program sortuje wyniki zgodnie z pierwotną kolejnością węzłów i przygotowuje je do graficznego wyświetlenia.

W kolejnych rozdziałach przedstawione zostanie ustawianie parametrów dla każdej z metod obliczeniowych.

5.1 Analiza statyczna

Określenie *statyczny* oznacza, że obciążenie nie zmienia się lub jego zmienność w czasie może być pominięta.

Liniowa analiza statyczna

Przeprowadza liniową analizę statyczną. Określenie *liniowa* oznacza, że obliczona odpowiedź (przemieszczenie, siła wewnętrzna) powiązana jest liniowo z przyłożonym obciążeniem.
W analizie tej rozwiązane zostają wszystkie przypadki obciążeń. Przez liniowość geometryczną przyjmuje się, że przemieszczenia pozostają w granicach teorii małych przemieszczeń. Przez liniowość materiału przyjmuje się, że wszystkie materiały i charakterystyki sztywności są liniowo-sprężyste. Materiały przypisane do elementów powierzchniowych mogą być ortotropowe.

☞ **Zobacz opis elementów pręt kratowy, element kontaktowy, podpora, izolator sejsmiczny i sprężyna w rozdziale 4, opisującym jak wykorzystać te elementy w analizie liniowej.**

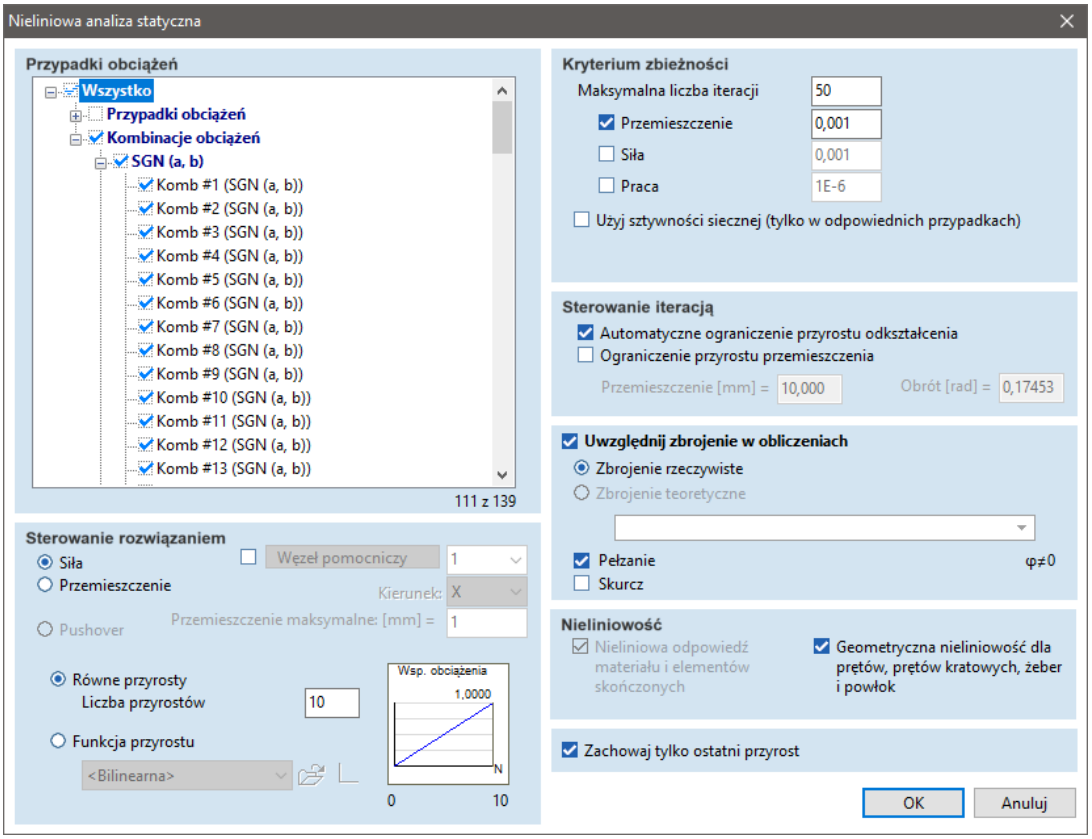
Błędy względne pod koniec procesu iteracji wyświetlane są w oknie panelu informacyjnego.

E(U): względny błąd zbieżności przemieszczenia
E(P): względny błąd zbieżności siły
E(W): względny błąd zbieżności pracy

Wartości wskazujące na niestabilność wyświetlane są na czerwono.

Nieliniowa analiza statyczna

Przeprowadza nieliniowo-sprężystą analizę statyczną. Określenie *nieliniowa* oznacza, że wyznaczana odpowiedź (przemieszczenie, siła wewnętrzna) powiązana jest nieliniowo z przyłożonym obciążeniem. Może to być wynikiem wykorzystania elementu kontaktowego, łączącego lub nieliniowej podpory, elementu typu pręt kratowy lub sprężyna z nieliniową odpowiedzią, elementów z nieliniowym materiałem, lub uwzględnienia nieliniowości geometrycznej elementów typu pręt kratowy, pręt, żebro lub powłoki.
Na liście okna dialogowego należy wybrać przypadki lub kombinacje obciążeń, dla których analiza ma zostać przeprowadzona.



AxisVM przeprowadzi nieliniową analizę dla wybranych przypadków lub kombinacji obciążeń, podczas której wyświetlone zostanie okno dialogowe postępu obliczeń.

Sterowanie rozwiązaniem

Siła

Jeżeli wybrano sterowanie za pomocą Siły, to kolejne przyrosty przykładane są jako części obciążeń (jako obciążenie jednoparametryczne). Możliwe jest śledzenie przemieszczenia dowolnego węzła w danym kierunku. Podczas analizy rysowany będzie wykres tego przemieszczenia od kolejnych przyrostów.

Przemieszczenie

Jeżeli wybrano sterowanie za pomocą Przemieszczenia, to kolejne przyrosty przykładane są jako części składowej przemieszczenia określonego węzła.

Pushover

Sterowanie Pushover to specjalny typ sterowania za pomocą przemieszczenia, które pozwala na użycie niezmiennego przypadku obciążenia, podczas gdy inny parametryczny przypadek obciążenia jest zwiększany przyrostowo. Jest to konieczne do analiz typu pushover, aby móc właściwie modelować efekty P-Δ.

Po wybraniu sterowania pushover, górna część okna dialogowego zmienia się, aby dopasować rozwijane pola dla parametrycznych i niezmiennych przypadków obciążeń. Aby uzyskać więcej informacji na temat definiowania obciążeń i zalecanych ustawień analizy **Patrz....** *4.10.25 Obciążenie „pushover" (moduł SE2).*

Węzeł pomocniczy, Kierunek, Przemieszczenie maksymalne

W przypadku sterowania rozwiązaniem za pomocą opcji *Przemieszczenie* lub *Pushover*, należy wybrać węzeł kontrolny i węzłowe stopnie swobody. Przemieszczenie maksymalne to maksymalnie dopuszczalne przemieszczenie w zadanym kierunku węzła kontrolnego.

Liczba przyrostów

Istnieją dwie metody definiowania liczby przyrostów:

1. *Równe przyrosty.* Użytkownik określa ilość przyrostów. Wartość domyślna wynosi 10. Podczas analizowania wysoce nieliniowej odpowiedzi, można określić większą wartość, aby osiągnąć zbieżność.
2. *Funkcja przyrostu.* Obciążenia nie przyrastają w sposób liniowy, ale zgodnie ze zdefiniowaną funkcją. Za pomocą funkcji przyrostu można zredukować liczbę przyrostów tam, gdzie odpowiedź konstrukcji jest liniowa oraz zwiększyć tam, gdzie odpowiedź jest nieliniowa. Funkcję przyrostu można zapisać pod własną nazwą, aby potem ją ponownie wczytać lub wyedytować. Funkcje zapisywane są przez program w oddzielnych plikach **.inc*, które przechowywane są w *C:\ Użytkownicy \ [Nazwa użytkownika] \ AppData \ Roaming \ AxisVM \ [numer wersji AxisVM] \ INC*.

☞ **Funkcja przyrostu nie musi być monotonicznie rosnąca (obciążenia mogą maleć).**

Kryterium zbieżności

Na podstawie tolerancji zbieżności określonych przez użytkownika, AxisVM będzie określać, czy nieliniowe rozwiązanie osiągnęło wymaganą dokładność (zbieżność). Dlatego ważne jest, aby tolerancje zbieżności były ustawione prawidłowo. Podczas procesu iteracji, normatyw niezrównoważonego obciążenia i/lub wektor iteracyjnych przyrostów przemieszczeń musi zaniknąć (dążyć do zera).

Maksymalna ilość iteracji

Użytkownik ustawia maksymalną ilość iteracji na podstawie specyfiki modelu i parametrów rozwiązania przyrostowego. Domyślna wartość ustawiona jest na 20. Jeżeli zbieżność nie zostanie osiągnięta w maksymalnej ilości iteracji, nie zostaną wyświetlone żadne wyniki.

Kryterium zbieżności Przemieszczenie / Siła / Praca

W przypadku obliczeń nieliniowych użytkownik może określić wielorakie kryteria dotyczące obciążenia, przemieszczenia oraz pracy dla monitorowania zbieżności rozwiązania nieliniowego. Przynajmniej jedno kryterium musi zostać wybrane. Kryteria wyrażone w związku z pracą mogą być właściwe w przypadku większości problemów. Jednak może się okazać, że z małą wartością błędu obciążenia niezrównoważonego powstał duży błąd dla przemieszczeń lub na odwrót.

Kryteria współczynników zbieżności mają następujące wartości domyślne: 0.001 dla przemieszczeń, 0.001 dla siły i 0.000001 dla pracy.

Błędy względne pod koniec procesu iteracji wyświetlane są w oknie panelu informacyjnego.

E(U): względny błąd zbieżności przemieszczenia
E(P): względny błąd zbieżności siły
E(W): względny błąd zbieżności pracy

Użyj sztywności siecznej (tylko w odpowiednich przypadkach)

Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, to zwolnienia węzłowe prętów będą reprezentowane przez ich sztywności sieczne, zamiast sztywności stycznych. Poprawia to zbieżność zadania, ale znacząco spowalnia obliczenia. Włączenie tej opcji zalecane jest tylko, gdy zbieżność nie może zostać osiągnięta przez zwiększenie liczby przyrostów i iteracji.

Sterowanie iteracją

Problem z uzyskaniem zbieżności podczas obliczeń nieliniowego zadania spowodowany jest często przez nieliniową charakterystykę elementów, w których następuje nagła zmiana sztywności wynikająca z ich charakterystyki naprężenie-odkształcenie. Przykładem takim są elementy kontaktowe, pręty kratowe przenoszące siły tylko jednego znaku, podpory z siłą graniczną oraz elementy betonowe ze zbrojeniem. Jeżeli sztywność kilku elementów ulegnie zmianie w tym samym przyroście, to kolejne iteracje mogą zacząć działać w niekończącej się pętli, co w konsekwencji doprowadzi do braku zbieżności.

W takich przypadkach można skorzystać z opcji *Sterowania iteracją*. Zaimplementowane metody sterowania ograniczają wielkość przyrostów przemieszczeń w krytycznych iteracjach, zamiast zmniejszać wielkość przyrostu obciążenia. Dzięki takiemu podejściu można osiągnąć zbieżność nieliniowego zadania, ale w krytycznym przyroście konieczne może być wykonanie wielu iteracji z powodu ograniczonych przyrostów przemieszczeń.

Program wykonuje w każdym przyroście następujące kroki obliczeniowe:

1. Obliczenie przyrostu przemieszczenia dla każdego węzłowego stopnia swobody (ang. DOF) spowodowanego przez niezrównoważone obciążenia.
2. Sprawdzenie przyrostu przemieszczeń DOF, jeżeli jakieś opcje sterowania iteracją zostały włączone.
3. Obliczenia dalszych rezultatów...

Sterowanie iteracją zawiera następujące opcje

Automatyczne ograniczenie przyrostu odkształcenia

Na bazie przyrostów odkształceń węzłowych stopni swobody program oblicza elementarne przyrosty naprężeń. Jeżeli w jakimkolwiek elemencie pojawi się nadmierny przyrost odkształcenia lub naprężeń lub nadmierna zmiana w naprężeniach, program wyznaczy dozwolony przyrost odkształcenia, który nie spowoduje żadnego wspomnianego problemu. Po sprawdzeniu wszystkich elementów program skaluje (zmniejsza) przyrost przemieszczenia tak, aby nadmierne jego zmiany nie pojawiły się w żadnym elemencie.

Ograniczenie przyrostu przemieszczenia

Za pomocą tej opcji można zdefiniować niestandardowe wartości graniczne dla przemieszczeń (przesuw praz obrót). Program skaluje (zmniejsza, gdy zajdzie taka potrzeba) przyrosty przemieszczeń węzłowych stopni swobody w taki sposób, aby ich maksymalne wartości były równe określonym wartościom granicznym.

Uwzględnij zbrojenie w obliczeniach

Podczas analizowania płyt/powłok żelbetowych możliwe jest uwzględnienie zbrojenia rzeczywistego (zastosowanego) lub zbrojenia teoretycznego (obliczonego). Zbrojenie teoretyczne może zostać przyjęte na podstawie wskazanego pojedynczego przypadku obciążenia, kombinacji, obwiedni lub kombinacji decydujących.

Przemieszczenia i siły wewnętrzne płyt żelbetowych obliczane są według wykresu moment-krzywizna zazbrojonego przekroju poprzecznego płyty. Wyniki te przedstawiają rzeczywiste ugięcie płyty i jej siły wewnętrzne. (**patrz...***6.5.6 Nieliniowa analiza dla żelbetowych płyt i powłok*)

W przypadku analiz modelu zawierającego żelbetowe słupy i belki możliwe jest również uwzględnienie ich zbrojenia w odpowiedzi układu. Siły wewnętrzne zgodne z odkształceniami obliczane są przez scałkowanie naprężeń we „włóknach" przekroju w punktach całkowania Gaussa na podstawie odkształceń normalnych ε, krzywizny κ_y oraz κ_z z uwzględnieniem betonu, zbrojenia rzeczywistego oraz nieliniowej odpowiedzi materiału. (**patrz...** *6.5.7 Nieliniowa analiza żelbetowych belek i słupów*).

Obliczenia mogą być także przeprowadzone z uwzględnieniem skurczu i pełzania. Dalsze informacje z tym związane można znaleźć w rozdziałach, do których prowadzą powyższe odnośniki.

Nieliniowość

Nieliniowe właściwości materiałów i elementów skończonych

Ta opcja jest aktywowana, jeżeli model zawiera elementy o nieliniowej odpowiedzi (np. pręty kratowe tylko rozciągane lub podpory tylko ściskane) lub elementy z nieliniową charakterystyką materiału (pręty kratowe, pręty, żebra, tarcze, płyty, powłoki). Jeżeli opcja ta nie zostanie zaznaczona, wszystkie elementy odpowiedzą w sposób liniowy.

Geometryczna nieliniowość dla prętów, prętów kratowych, żeber i powłok

Równowaga sił ustalana jest w odniesieniu do zdeformowanych elementów liniowych. W zależności od wielkości przemieszczenia przeprowadzana jest analiza drugiego lub trzeciego rzędu. Obciążenia zachowują się w konserwatywny sposób tzn. wraz z rosnącą deformacją elementu ciągle utrzymują swój początkowy kierunek działania.

Nieliniowość geometryczna może być uwzględniona tylko dla prętów kratowych, prętów, żeber lub powłok. Jeżeli w modelu nie ma elementów ze zdefiniowaną charakterystyką nieliniową, ta opcja zaznaczana jest domyślnie. Jeżeli model zawiera elementy z charakterystyką nieliniową, ta opcja nie jest domyślnie zaznaczana, ale można ją aktywować.

☞ **Jeżeli nieliniowość geometryczna jest uwzględniana, elementy prętowe muszą być podzielone (posiatkowane) przynajmniej na cztery części.**

Komunikaty ostrzegające o niestabilności

Przy obliczeniach uwzględniających geometryczną nieliniowość mogą pojawić się problemy ze stabilnością konstrukcji w niektórych przyrostach jej obciążenia. Może to być niestabilność lokalna lub globalna lub tzw. zjawisko przeskoku (ang. snap-through phenomenon). W dowolnej belce może zostać również przekroczona siła krytyczna Eulera.

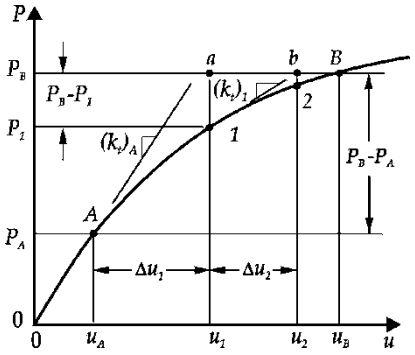
W takich przypadkach zaleca się następującą procedurę badawczą:

- Weryfikacja postaci odkształconej konstrukcji
- Przeprowadzenie globalnej analizy wyboczeniowej, aby porównać parametr obciążenia krytycznego do współczynnika obciążenia w problematycznym przyroście.

Zachowaj tylko ostatni przyrost

Umożliwia zredukowanie wielkość pliku wyników w przypadku przeprowadzania przyrostowej analizy nieliniowej z wieloma przyrostami (obciążeń lub przemieszczeń), gdy użytkownika interesują tylko wyniki ostatniego przyrostu. To pole wybory można zaznaczyć, gdy wyniki wcześniejszych przyrostów nie są potrzebne.

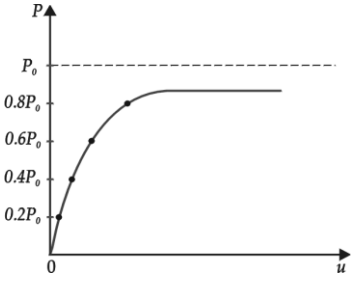
☞ **To pole wyboru należy odznaczyć, aby móc śledzić obciążenie-przemieszczenie lub inną (nieliniową) odpowiedź konstrukcji.**



AxisVM stosuje metodę iteracji Newtona-Raphsona do iteracyjnego rozwiązania każdego przyrostu. Technika ta znana jest w różnych wariantach w zależności od aktualizacji macierzy (sztywności) układu.
W AxisVM *n = 1* (domyślnie), dlatego macierz sztywności układu aktualizowana jest w każdej iteracji. Ta metoda znana jest jako klasyczna metoda Newtona-Raphsona.

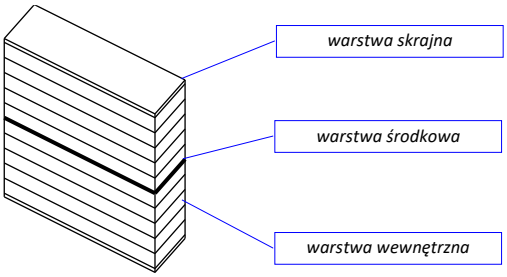
Sterowanie rozwiązaniem za pomocą przemieszczenia

Tak zwane zjawisko *przeskoku* nie może być analizowane z przyrostami sterowanymi przez obciążenie. Należy zastosować *sterowanie przemieszczeniem*, aby przejść przez punkty szczytowe.
Ten rysunek przedstawia sterowanie za pomocą *Siły*, zastosowane do układu nieliniowego. Rozwiązanie przyrostowe nie jest zbieżne w 5-tym przyroście.
Aby znaleźć wartość szczytową obciążenie-przemieszczenie charakterystyczną dla danego układu, należy zastosować metodę sterowania rozwiązaniem za pomocą przemieszczenia.

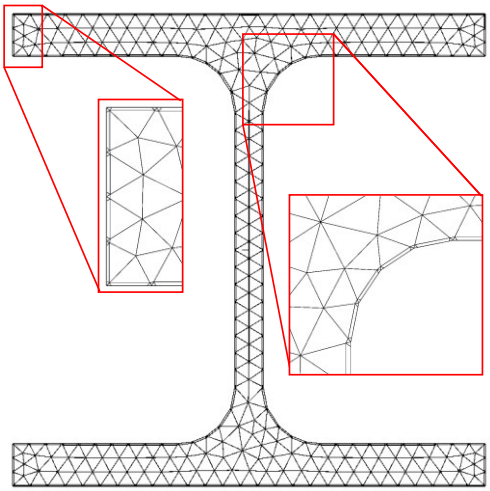


Elementy skończone z materiałem nieliniowym

Pręty, żebra i elementy powierzchniowe z przypisanym materiałem nieliniowym (sprężystym lub plastycznym) modelowane są za pomocą przekroju o modelu zdyskretyzowanym. Płyty i powłoki reprezentowane są przez warstwy, a przekroje poprzeczne prętów i żeber są siatkowane. Rozkład naprężeń określany jest przy użyciu hipotezy Navier'a (płaskie przekroje pozostają płaskie), a model materiału nieliniowego stosowany jest do każdego podelementu.



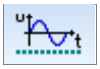
Komponenty naprężeń są takie same jak w przypadku modelu materiału liniowego. Dla elementów powierzchniowych wyniki otrzymywane są dla płaszczyzny górnej, środkowej i dolnej, a dla przekroi poprzecznych prętów i żeber w ich punktach naprężeń i wzdłuż konturu.
W celu uzyskania dokładnych wyników grubość tych warstw jest zróżnicowana w skrajnych włóknach. W przypadku płyt i powłok wykorzystywane są dwie cienkie skrajne warstewki, których grubość wynosi 1/10 grubości warstwy wewnętrznej. Warstw wewnętrznych jest dziesięć. Siatka w przekrojach poprzecznych prętów i żeber również zawiera cienkie warstwy skrajne, których grubość wynosi 1/10 długości krawędzi elementów wewnętrznych. Wartości naprężeń wzdłuż konturu uzyskiwane są bezpośrednio z wartości naprężeń w elementach skrajnych.



Izolatory sejsmiczne

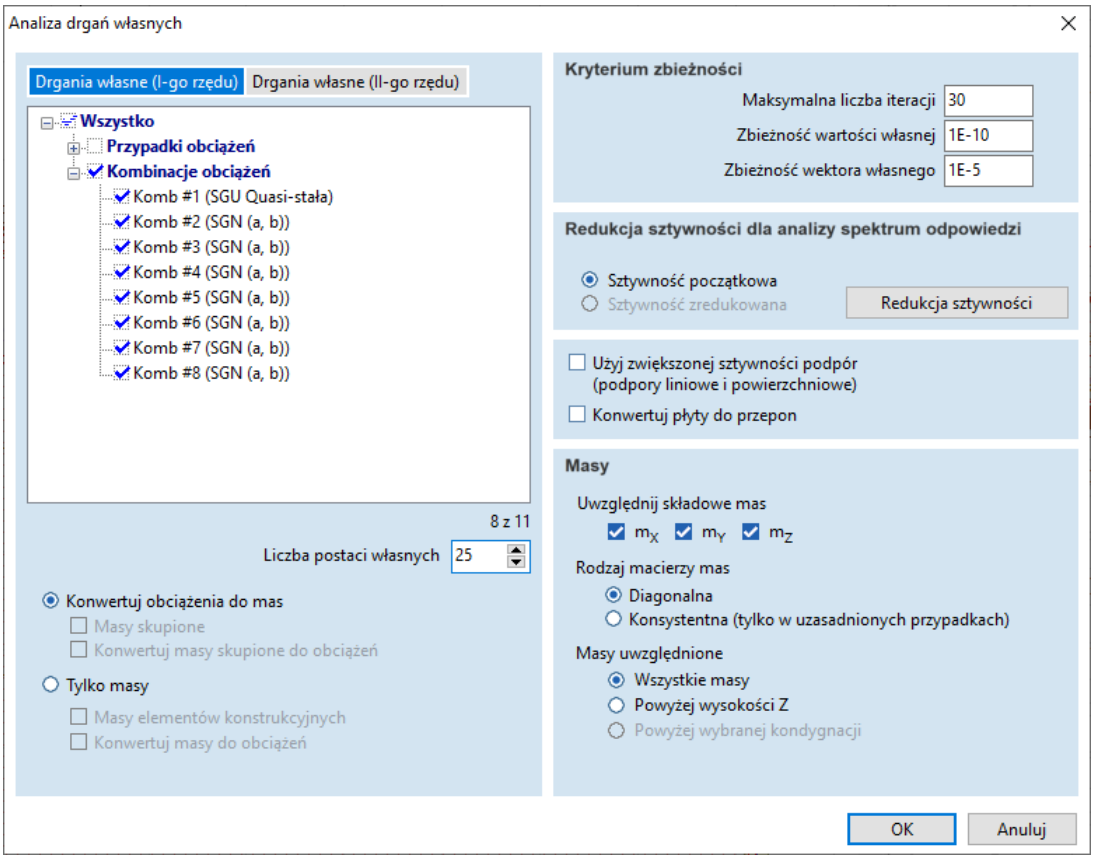
Patrz *3.1.17.2 Izolator sejsmiczny*.

5.2 Analiza drgań własnych



Umożliwia określenie najniższych naturalnych częstości i postaci własnych odpowiadających swobodnym drganiom własnym nietłumionej liniowej konstrukcji w przypadku, gdy nie są obliczane żadne obciążenia zewnętrzne. AxisVM weryfikuje, czy wymagana ilość najniższych wartości własnych została określona.
Macierz mas układu ma konstrukcję diagonalną i zawiera tylko przesuwne składowe mas.
Przypadki i kombinacje obciążeń należy wybrać z listy. Program AxisVM przeprowadzi analizę modalną dla wybranych przypadków obciążeń i wyświetli okno dialogowe postępu.

☞ **Technika rozwiązywania zastosowana do powiązanego uogólnionego problemu wartości własnych służy znalezieniu najniższych rzeczywistych i dodatnich wartości własnych. Nie jest przeznaczona do znajdywania wartości własnych, które wynoszą lub są bliskie zeru.**



Drgania własne (I-go rzędu)

Rozwiązanie nie uwzględnia efektu sił normalnych elementów typu pręt kratowy / pręt na sztywność układu.

Drgania własne (II-go rzędu)

Rozwiązanie uwzględnia efekt sił normalnych elementów typu pręt kratowy / pręt na sztywność układu.

Siły rozciągające mają oddziaływanie usztywniające, podczas gdy siły ściskające wpływają na zmniejszenie sztywności. Oddziaływania te wpływają na drgania własne konstrukcji.

Przypadek

Umożliwia wybranie przypadku. Obciążenia konwertowane są do mas. Jeżeli wybrano analizę II-ego rzędu, wyniki liniowej analizy statycznej (I-ego rzędu), która poprzedza analizę modalną, także zostaną uwzględnione.

Liczba postaci własnych

Umożliwia określenie liczby postaci drgań własnych, które mają zostać obliczone. Domyślna liczba to 9, ale maksymalna jej wartość nie jest ograniczona. Wartość ta nie może być większa niż liczba stopni swobody układu mas.

Konwertuj obciążenia do mas

Umożliwia konwersję do mas składowych obciążenia działających równolegle do kierunku grawitacji, a następnie uwzględnienie tych mas w obliczeniach drgań własnych. Wygenerowane masy węzłowe można sprawdzić w Przeglądarce tabel (*Wyniki / Drgania własne / [Nazwa przypadku lub kombinacji] / Masy węzłowe*).

Masy skupione: Jeżeli masy węzłowe zostały zdefiniowane na modelu (**patrz...** *4.10.35 Masa węzłowa* to mogę one być lub nie być uwzględnione w analizie modalnej.

Konwertuj masy skupione do obciążeń: Jeżeli masy węzłowe zostały zdefiniowane na modelu, to mogą zostać przekonwertowane do obciążeń w analizie drgań.

Tylko masy

Umożliwia analizowanie modelu tylko z masami, tj. bez żadnych obciążeń.

Masy elementów konstrukcyjnych: Dodatkowo może zostać uwzględniona masa elementów konstrukcji, wynikająca z zastosowanych materiałów i przekrojów.

Konwertuj masy do obciążeń: Jeżeli masy węzłowe zostały zdefiniowane na modelu, to mogą zostać dodatkowo przekonwertowane do obciążeń dla modalnej analizy II-go rzędu.

Kryterium zbieżności

Na podstawie tolerancji zbieżności określonych przez użytkownika, AxisVM określi, czy obliczone wartości i wektory własne posiadają wymaganą dokładność. Dlatego ważne jest, aby tolerancje zbieżności były ustawione prawidłowo.

Maksymalna liczba iteracji

Możliwe jest ustawienie maksymalnej ilości iteracji bazując na specyfikacji modelu i wymaganej liczby wartości własnych (więcej iteracji dla większej ilości wartości własnych). Domyślnie wartość ta wynosi 20. Jeżeli zbieżność nie zostanie osiągnięta przy maksymalnej ilości iteracji, nie zostaną wyświetlone żadne wyniki.

Zbieżność wartości własnej

Umożliwia określenie tolerancji zbieżności dla wartości własnych.
Wartość domyślna wynosi 1.0E-10.

Zbieżność wektora własnego

Umożliwia określenie tolerancji zbieżności dla wektorów własnych.
Wartość domyślna wynosi 1.0E-5.

Redukcja sztywności dla analizy spektrum odpowiedzi

Więcej informacji znajduje się w rozdziale *3.3.10 Redukcja sztywności*

Użyj zwiększonej sztywności podpór

Podczas drgań podpory oddziałują w inny sposób. Zwiększenie sztywności podpór (10^7 kN/m dla podpór liniowych, 10^4 kN/m^2 dla podpór powierzchniowych) może pomóc w uzyskaniu bardziej realnych wyników dla analizy drgań własnych.
Dla podpór węzłowych stosowane są składniki sztywności zdefiniowanej tam sprężyny. **Patrz...** *4.9.10 Podpora węzłowa*.

Konwertuj płyty do przepon

Podczas uruchamiania analizy modalnej z włączoną opcją *Konwertuj płyty do przepon* wszystkie płyty (poziome elementy powierzchniowe) zostaną tymczasowo zastąpione przeponami.
Czas obliczeń zostanie zredukowany, jeżeli model zawiera tylko słupy i płyty. Jeżeli model zawiera także ściany konstrukcyjne, liczba równań zostanie zredukowana, ale szerokość pasma zostanie zwiększona. Wypadkowy czas obliczeń będzie dłuższy niż bez przepon.

Masy

Uwzględnij składowe mas

Tylko zaznaczone składowe mas zostaną wykorzystane w analizie. Ta opcja jest przydatna podczas obliczenia postaci własnych tylko w określonym kierunku.

Rodzaj macierzy mas

Diagonalna: mniejsza macierz mas, ale bez momentów odśrodkowych (dewiacyjnych)

Konsystentna (tylko w uzasadnionych przypadkach): całkowita macierz mas z momentami odśrodkowymi (dewiacyjnymi)

Masy uwzględnione

W tym miejscu można wybrać, które masy mają zostać uwzględnione w analizie modalnej. Oprócz opcji Wszystkie masy pozostałe pozwalają na zredukowanie mas do tych powyżej zadanej wartości Z lub kondygnacji (jeżeli model zawiera zdefiniowane kondygnacje). Opcje te mogą posłużyć na przykład do wykluczenia z analizy modalnej kondygnacji piwnicznej, znajdującej się poniżej poziomu terenu.

Więcej informacji o odpowiedzi izolatorów sejsmicznych znajduje się w rozdziale *3.1.17.2 Izolator sejsmiczny*.

☞ **Program domyślnie korzysta z diagonalnej macierzy mas. Ze względu na technikę modelowania masy skupionej, aby osiągnąć wymaganą dokładność, elementy muszą zostać podzielone na więcej części (poprzez zagęszczenie siatki). Zazwyczaj przynajmniej cztery elementy skończone muszą odpowiadać każdej półfali.**
Dobrą zasadą jest dzielenie prętów na przynajmniej osiem elementów.

Postaci własne normalizowane są w odniesieniu do mas: $\{U\}^T \cdot [M] \cdot \{U\} = 1$

5.2.1 Współczynnik odpowiedzi drgań (moduł FFA)

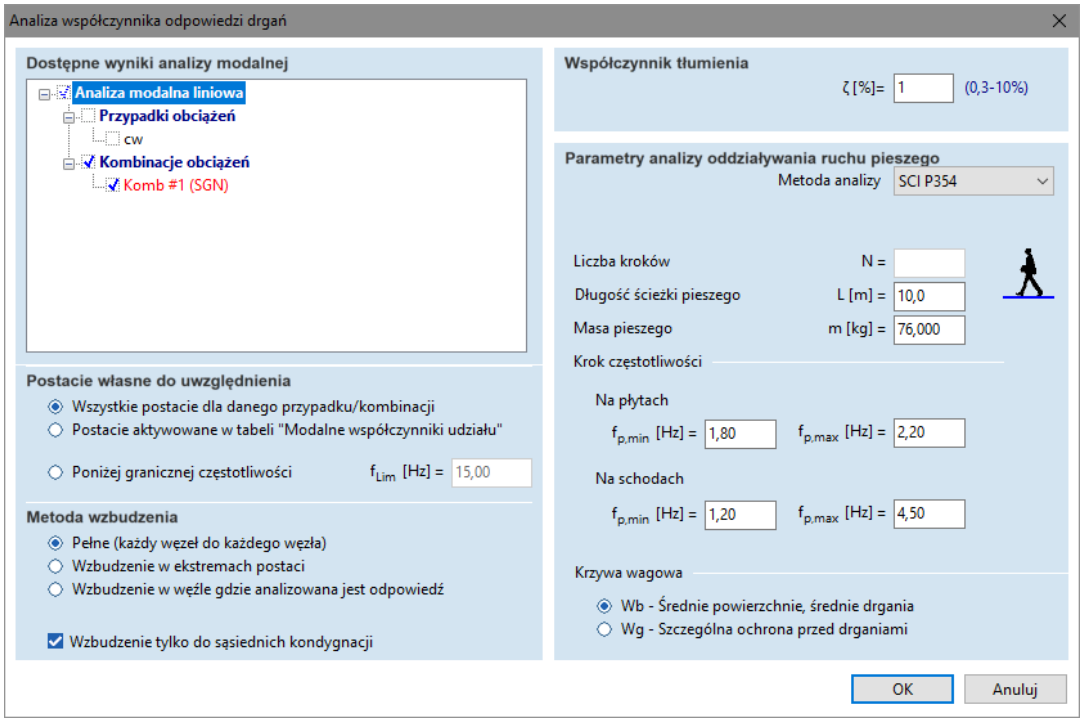
Dzięki bardziej wydajnemu projektowaniu, które wykorzystuje mocniejsze materiały prowadzące do lżejszych konstrukcji, narasta problem drgań wzbudzanych przez człowieka na stropy. Ruch pieszy może powodować drgania dokuczliwe lub nieakceptowalne dla osób przebywających w budynku lub wręcz uniemożliwić przeprowadzanie delikatnych czynności (np. w bloku operacyjnym szpitala lub laboratorium precyzyjnym). Analiza drgań od ruchu pieszego (ang. Footfall analysis - FFA) uwzględnia ruch pieszy jako zewnętrzną siłę wzbudzającą i określa współczynnik odpowiedzi drgań, który jest proporcjonalny do maksymalnego przyspieszenia w rozważanym węźle. Analiza drgań od ruchu pieszego jest dostępna tylko, gdy konfiguracja programu zawiera moduł FFA.

W celu wyznaczenia odpowiedzi konstrukcji na drgania wywołane przez człowieka, muszą być spełnione dwa warunki. Model musi zawierać przynajmniej jeden obszar, a kąt między jego normalną a kierunkiem działania grawitacji musi być mniejszy niż 70°. Obszar uważany jest za płytę stropową, jeżeli wspomniany kąt jest mniejszy niż 10°. Dla kąta z zakresu 10° do 70° przypisywana jest mu funkcja schodów. Obszary o kącie większym niż 70° traktowane są jako ściany. AxisVM nie wzbudza i nie analizuje węzłów ścian, ponieważ ich drgania nie powodują takiego dyskomfortu.

Dostępne wyniki analizy modalnej

Drugim koniecznym warunkiem jest dostępność wyników dla analizy modalnej (I-go i/lub II-go rzędu). Należy wybrać przeanalizowany modalnie przypadek lub kombinację obciążeń, która ma zostać uwzględniona w analizie FFA (przypadki lub kombinacje obciążeń bez odpowiedniej liczby postaci własnych oznaczane są na czerwono).

Przed uruchomieniem analizy należy określić metodę wzbudzenia, współczynnik tłumienia i pozostałe parametry dla obciążenia dynamicznego. Wynikiem analizy dla wybranej metody wzbudzenia na płytach i schodach jest ich współczynnik odpowiedzi drgań (R). Współczynnik R musi zostać następnie porównany z zalecaną wartością (więcej szczegółów na ten temat można znaleźć w *Pomoc / Przewodnik FFA*).



Ważny jest również fakt, że warunki brzegowe muszą być tak ustawione, aby odzwierciedlić większą sztywność w odpowiedź konstrukcji dla obciążeń dynamicznych (**patrz...** *5.2 Analiza drgań własnych* / *Użyj zwiększonej sztywności podpór*). Ponadto, do wyznaczenia modalnych postaci własnych sugerowane jest uwzględnienie obciążeń zmiennych jak dla kombinacji quasi-stałej (ψ_2), co wpływa korzystnie na wyniki z powodu znacznego wzrostu mas modalnych konstrukcji.

Postacie własne do uwzględnienia

Wszystkie postacie dla danego przypadku/kombinacji: Wszystkie postacie wyznaczone dla przypadku lub kombinacji obciążeń zostaną wzięte pod uwagę.
Postacie aktywowane w tabeli "Modalne współczynniki udziału": Poszczególne postacie mogą zostać włączone lub wyłączone w tabeli modalnych współczynników udziału (**patrz...** *4.10.24.1 Obliczenia sejsmiczne wg Eurokodu 8*).
Poniżej granicznej częstotliwości: Opcja ta pozwala użytkownikowi ustawić granicę dla częstości drgań własnych, które mają być uwzględnione w obliczeniach. Tylko postacie o mniejszej częstotliwości niż tutaj określona, będą brane pod uwagę.

Metoda wzbudzenia

Dostępne są trzy metody wzbudzenia. Każda z nich prowadzi do innego wyniku współczynnika R.
Pełne: Wszystkie węzły płyty lub schodów mogą wzbudzać dowolne inne węzły. Jest to najpełniejsza metoda tej analizy. Współczynnik *R pełne*.
Wzbudzenie w ekstremach postaci: Wzbudzenie ma miejsce tylko w dwóch globalnych wartościach ekstremalnych postaci własnej. Współczynnik *R ekstr.*
Wzbudzenie w węźle, gdzie analizowana jest odpowiedź: Analizowany jest tylko jeden węzeł, który jest wzbudzony przez samego siebie. Współczynnik *R samowzb.*
Wzbudzenie tylko do sąsiednich kondygnacji: Opcja ta jest dostępna, gdy model zawiera przynajmniej trzy kondygnacje. Jeżeli ta opcja została zaznaczona, to analizowany węzeł może być wzbudzony tylko przez węzły na tej samej bądź sąsiedniej kondygnacji.

Współczynnik tłumienia

W tym miejscu można ustawić krytyczny współczynnik tłumienia dla analizowanej konstrukcji. Sugerowane wartości można znaleźć w [33] oraz [34].

Parametry analizy oddziaływania ruchu pieszego

Metoda analizy

Dostępne są dwa podejścia: *CCIP-016* [33] oraz *SCI P354* [34]. Algorytmy te zostały opisane w Przewodniku FFA (patrz *Pomoc / Przewodnik FFA*). Zmiana metody powoduje usunięcie poprzednich wyników.

Liczba kroków (CCIP-016)

Metoda *CCIP-016* pozwala zredukować przyspieszenie rezonansowe z uwagi na to, że zjawisko rezonansu potrzebuje odpowiedniego czasu, aby się rozwinąć. Dlatego liczba kroków (czas trwania wzbudzenia) ma wpływ na wyniki.

Długość ścieżki pieszego (SCI P354)

Metoda SCI P354 bierze pod uwagę ten sam wpływ, ale stosowanym parametrem jest długość ścieżki pieszego. W tym podejściu obliczeniowym powinna zostać podana najniekorzystniejsza długość.

Masa pieszego

Obie metody dopuszczają odstępstwo od predefiniowanej masy pieszego.

Krok częstotliwości

AxisVM analizuje wpływ kroków pieszego w kilku różnych częstotliwościach jego chodu. Zakres tej częstotliwości można określić w tym miejscu, poprzez podanie dolnej i górnej wartości zarówno dla płyt jak i schodów.

Krzywa wagowa

Metoda *SCI P354* pozwala wykorzystać rożne krzywe wagowe. Krzywe te biorą pod uwagę fakt, ludzki odbiór drgań zmienia się wraz z ich częstotliwością.

W_b – *Średnie powierzchnie, średnie drgania:* opcja ta powinna zostać użyta, jeżeli w budynku mają być zapewnione ogólne warunki komfortu.

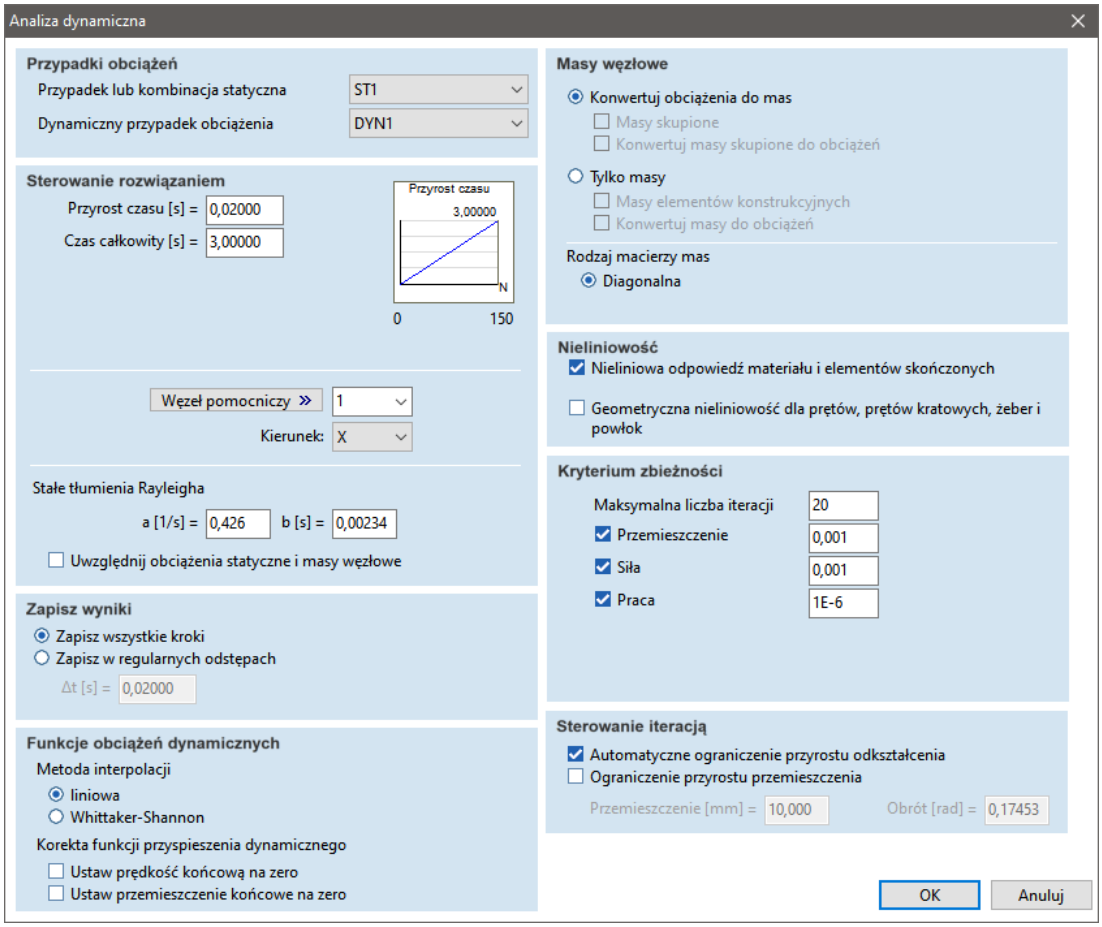
W_g – *Szczególna ochrona przed drganiami:* opcja ta powinna zostać wybrana, gdy mają zostać spełnione szczególne warunki odnośnie do drgań (precyzyjne ruchy rąk, stabilność obrazu, itd.)

W metodzie *CCIP-016* stosuje się tylko jedną krzywą wagową.

Więcej szczegółów znajduje się w *Pomoc / Przewodnik FFA*.

5.3 Analiza dynamiczna

Analiza dynamiczna określa przemieszczenia i siły w zależności od czasu spowodowane obciążeniami dynamicznymi lub przyspieszeniami węzłowymi.
Analiza dynamiczna może być przeprowadzona na modelach liniowych lub nieliniowych.



Przypadki obciążenia

Statyczny przypadek lub kombinacja obciążenia

Wybierz statyczny przypadek lub kombinację obciążeń, która ma zostać zastosowana podczas analizy. Wybierz opcję 'Brak', aby zastosować tylko obciążenia dynamiczne.

Dynamiczny przypadek obciążenia

Wybierz dynamiczny przypadek obciążenia.

Sterowanie rozwiązaniem

Analizę można przeprowadzić w równych przyrostach lub zgodnie z funkcją przyrostu w czasie określoną przez użytkownika. Można wczytać predefiniowane funkcje lub utworzyć nowe za pomocą edytora funkcji.
Jeżeli wybrano opcję *Równe przyrosty*, wymagane są dwa parametry: *Przyrost czasu* i *Czas całkowity*. Analiza wykorzystuje wartość *Przyrostu czasu* jako przyrost pomiędzy kolejnymi okresami czasu, a *Czas całkowity* definiuje całkowity czas analizy.

Węzeł pomocniczy:

Przemieszczenie wybranego węzła w danym kierunku będzie przedstawione podczas analizy.

Stałe tłumienia Rayleigha (a, b)

Macierz tłumienia określona jest na podstawie stałych tłumienia zgodnie z następującymi wzorami:

$$\mathbf{M}\underline{\ddot{u}} + \mathbf{C}\underline{\dot{u}} + \mathbf{K}\underline{u} = P(t)$$
$$\mathbf{C} = a\mathbf{M} + b\mathbf{K}$$

Jeżeli zaznaczono opcję *Weź pod uwagę obciążenia statyczne i masy węzłowe* to do $\underline{M}$ dodana zostanie kolejna macierz reprezentująca obciążenia i masy węzłowe.

Zapisz wyniki

Ze względu na spory rozmiar pliku wyników, wprowadzono opcje zapisu: Opcja *Zapisz wszystkie kroki* oznacza, że zapisane zostaną wszystkie wyniki. Opcja *Zapisz w regularnych odstępach* zapisuje wyniki tylko w określonych punktach czasu, co redukuje wielkość pliku.

Funkcje obciążeń dynamicznych

Metoda interpolacji

Program musi przeanalizować funkcje obciążenia dynamicznego w każdym kroku czasowym obliczeń. Jeżeli akurat w danym kroku czasowym brakuje punktów próbki tej funkcji, konieczne jest zastosowanie interpolacji. Tylko w takim przypadku dostępna jest powyższa opcja.
Wybrana metoda interpolacji wykorzystywana jest dla wszystkich funkcji obciążeń dynamicznych wykorzystanych w wybranym przypadku obciążenia. Zinterpolowane funkcje nie są zapisywane w modelu i dostępne są tylko dla silnika obliczeniowego programu.
Dostępne są następujące metody interpolacji:

Liniowa
Proste próbkowanie liniowe (**patrz...** *4.10.30 Obciążenia dynamiczne (dla analizy zależnej od czasu) (moduł DYN)*). Metoda ta jest zalecana w przypadku, gdy funkcje obciążenia dynamicznego wybranych przypadków obciążeń są przedziałami liniowe.

Whittaker-Shannon
Metoda bazuje na wzorze interpolacyjnym Whittaker-Shannon (**patrz...** *4.10.30 Obciążenia dynamiczne (dla analizy zależnej od czasu) (moduł DYN)*). Metoda zalecana jest, gdy funkcje obciążenia dynamicznego wybranych przypadków obciążeń są próbkowane funkcjami ciągłymi (np. uzyskaną w wyniku pomiarów z badań lub wygenerowaną ze spektralnego złożenia Fouriera).

☞ **Metoda interpolacji Whittaker-Shannon dostępna jest tylko dla funkcji uzyskanych za pomocą równomiernego próbkowania.**

Korekta funkcji przyspieszenia dynamicznego
Wybrane korekty wykonywane są dla wszystkich funkcji dynamicznego przyspieszenia zastosowanych w wybranych przypadkach obciążeń. Opcje te są dostępne, jeżeli w wybranych przypadkach obciążeń zostały zdefiniowane przyspieszenia dynamiczne.
Skorygowane funkcje nie są zapisywane w modelu i dostępne są tylko dla silnika obliczeniowego programu. Metoda korekcji opisana jest w rozdziale *4.10.30 Obciążenia dynamiczne (dla analizy zależnej od czasu) (moduł DYN)*.

Masy węzłowe
Rodzaj macierzy mas

Masy węzłowe zostaną uwzględnione tak jak w przypadku analizy modalnej.
Dynamiczna analiza wykorzystuje *Diagonalny* typu macierzy.

Nieliniowość

Nieliniowa odpowiedź materiału i elementów skończonych
Jeżeli zdefiniowano elementy nieliniowe (np. pręty kratowe poddane tylko rozciąganiu), użytkownik może tutaj aktywować lub dezaktywować ich nieliniową odpowiedź.

Geometryczna nieliniowość dla prętów, prętów kratowych, żeber i powłok
Jeżeli ta opcja jest aktywowana, obciążenia zostaną przykładane w każdym kroku do odkształconej konstrukcji.

Kryterium zbieżności

Jeżeli jakakolwiek opcja uwzględnienia nieliniowości została zaznaczona w oknie, to należy również ustawić kryterium zbieżności, które zostanie uwzględnione tak jak w przypadku nieliniowej analizy statycznej. Jeżeli żadna z opcji *Sterowania iteracją* nie zostanie zaznaczona, to rzeczywiste wartości E(U), E(P) i E(W) (ich ostateczne wartości wyświetlane są w oknie panelu informacyjnego) porównywane są z ustawionym w tym miejscu wartościami odniesienia.

Sterowanie iteracją

Opcje te zostały opisane w rozdziale *5.1 Analiza statyczna*.

Metoda rozwiązania

Liniowe lub nieliniowe równania równowagi rozwiązywane są za pomocą metody Newmarka (beta). Jeżeli Δt to przyrost czasu, to w $t+\Delta t$ otrzymuje się:

$$\mathbf{M}\ddot{\underline{u}}_{t+\Delta t} + \mathbf{C}\dot{\underline{u}}_{t+\Delta t} + \mathbf{K}\underline{u}_{t+\Delta t} = P(t),$$

gdzie **C** to macierz tłumienia, **M** to macierz mas, **K** to macierz sztywności.

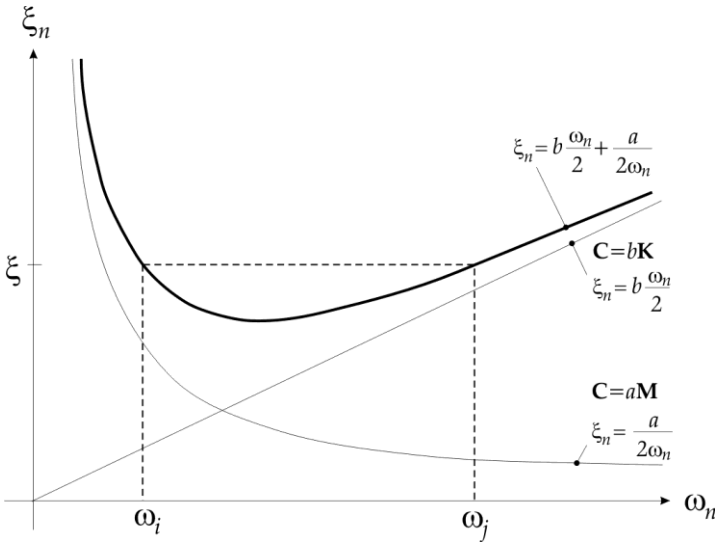
$$\underline{U}_{t+\Delta t} = \underline{U}_t + \Delta t \cdot \dot{\underline{U}}_t + \frac{\Delta t^2}{2}\left[(1-2\beta)\ddot{\underline{U}}_t + 2\beta\ddot{\underline{U}}_{t+\Delta t}\right]$$
$$\dot{\underline{U}}_{t+\Delta t} = \dot{\underline{U}}_t + \Delta t\left[(1-\gamma)\ddot{\underline{U}}_t + \gamma\ddot{\underline{U}}_{t+\Delta t}\right]$$

AxisVM stosuje $\beta = \frac{1}{4}, \gamma = \frac{1}{2}$.
Równanie różniczkowe ruchu rozwiązywane jest za pomocą metody stałego średniego przyspieszenia. Całkowanie krok po kroku jest bezwarunkowo stabilna, a jej dokładność jest satysfakcjonująca.

Program AxisVM zakłada, że nie zastosowano żadnego oddziaływania dynamicznego przy *t=0*. Ograniczone w czasie obciążenia pojawiają się przy *t>0*. **C** obliczane jest na podstawie stałych tłumienia Rayleigha:

$$\mathbf{C} = a\mathbf{M} + b\mathbf{K}$$

gdzie *a* i *b* powinny być obliczone na podstawie zakresu tłumionych częstotliwości (pomiędzy f_i oraz f_j), a stosunek tłumienia według następującego rysunku:



$$a = \xi \frac{2\omega_i\omega_j}{\omega_i + \omega_j}$$
$$b = \xi \frac{2}{\omega_i + \omega_j}$$

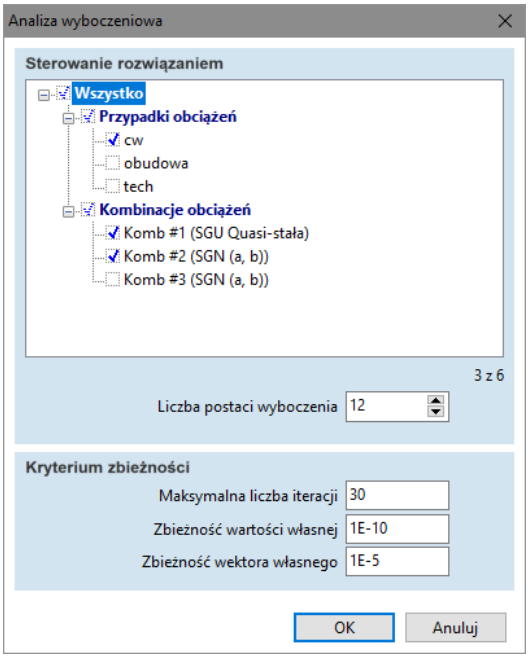
gdzie ω_i oraz ω_j to częstości kątowe odnoszące się do f_i oraz f_j::
$\omega_i = 2\pi f_i$
$\omega_j = 2\pi f_j$

Izolatory sejsmiczne

Więcej informacji o odpowiedzi izolatorów sejsmicznych znajduje się w rozdziale *3.1.17.2 Izolator sejsmiczny.*

5.4 Wyboczenie

Umożliwia określenie najniższych (początkowych) mnożników obciążeń, przy którym zachodzi wyboczenie i odpowiadających im postaci tego wyboczenia.
AxisVM weryfikuje, czy została wyznaczona wymagana liczba najniższych wartości własnych.
Mnożnik obciążenia $n_{cr} = \lambda_{cr}$ jest obliczany przez rozwiązanie problemu własnego. λ_{cr} to najmniejsza wartość własna, a odpowiadający wektor własny to postać wyboczenia.
Metoda ciągów Sturma zastosowana jest, aby zweryfikować czy obliczone wartości własne są najniższe. $\lambda_{cr} < 0$ oznacza, że wyboczenie pojawia się, ale dla przeciwnego kierunku obciążenia i $\lambda_{cr}^{effective} \leq |\lambda_{cr}|$.



☞ **Technika rozwiązywania zastosowana do powiązanego uogólnionego problemu własnego, służy znalezieniu najniższych rzeczywistych i dodatnich wartości własnych. Nie jest odpowiednia do znajdywania wartości własnych wynoszących zero lub będących blisko zeru.**

Sterowanie rozwiązaniem

Wybierz przypadki lub kombinacje obciążeń na liście. Przed analizą wyboczeniową wybranych przypadków obciążeń, AxisVM przeprowadzi liniową analizę statyczną.

Sterowanie umożliwia określenie parametrów procesu rozwiązania przyrostowego:

Przypadek

Umożliwia wybranie przypadku, który zostanie uwzględniony. Przeprowadzona zostanie liniowa analiza statyczna (I-ego rzędu), która poprzedza analizę wyboczeniową.

Liczba postaci wyboczenia

Umożliwia określenie liczby postaci własnych, które mają zostać określone. Maksymalnie można wybrać 99 przypadków. Wartość domyślna wynosi 6. Główne znaczenie do dalszej analizy ma najniższa dodatnia wartość własna.

Kryterium zbieżności

Patrz... *5.2 Analiza* /Kryterium zbieżności

Powłoki

Wyboczenie elementów typu powłoka jest w pełni uwzględniania w analizie.

Pręty / żebra

Wyboczenie prętów / żeber traktowane jest jako wyboczenie w płaszczyźnie (wyboczenie giętne), co oznacza, że zdeformowany kształt elementu pozostaje w płaszczyźnie, a przekrój poprzeczny nie zostaje spaczony.
Dla analizy wyboczeniowej przekrój poprzeczny pręta musi zostać zdefiniowany poprzez określenie jego głównych momentów bezwładności.

☞ **Elementy prętowe muszą zostać podzielone przynajmniej na cztery części.**

Pręty kratowe

Wyboczenie giętne prętów kratowych nie jest uwzględniane przez program. Obciążenie wyboczeniowe dla każdego pręta kratowego należy obliczyć ręcznie lub modelując pręty kratowe jako zwykłe elementy prętowe (posiatkowane przynajmniej na 4 podelementy) z odpowiednimi zwolnieniami węzłowymi.

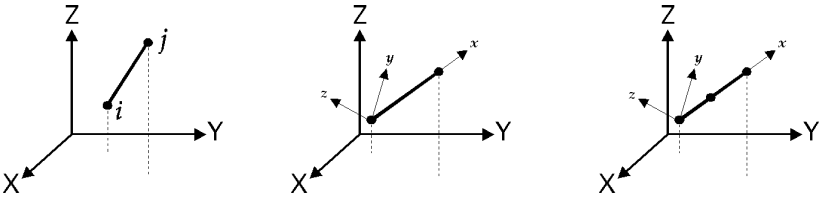
☞ **Jeżeli model zawiera pręty kratowe, zostanie obliczony tylko parametr obciążenia krytycznego globalnego wyboczenia konstrukcji. Wyboczenie pojedynczych prętów kratowych nie jest analizowane.**

Izolatory sejsmiczne

Więcej informacji o odpowiedzi izolatorów sejsmicznych znajduje się w rozdziale *3.1.17.2 Izolator sejsmiczny.*

5.5 Elementy skończone

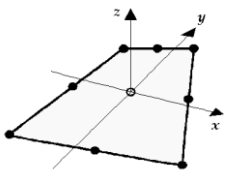
Wszystkie elementy skończone mogą zostać użyte w analizie statycznej liniowej, statycznej nieliniowej, modalnej, wyboczeniowej oraz dynamicznej. Należy zauważyć, że ***nie*** wszystkie elementy posiadają sztywność geometryczną.



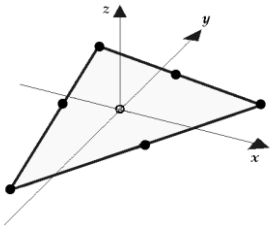
Pręt kratowy

Pręt

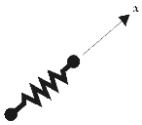
Żebro



Czworokątna tarcza, płyta lub powłoka

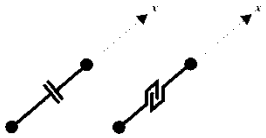


Trójkątna tarcza, płyta lub powłoka



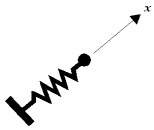
Sprężyna

(wyświetlona został tylko jedna składowa)



Element kontaktowy

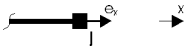
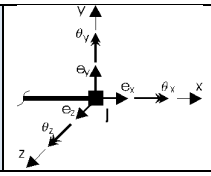
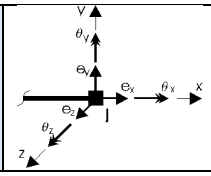
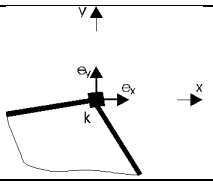
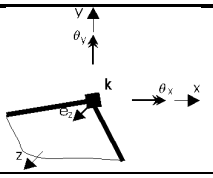
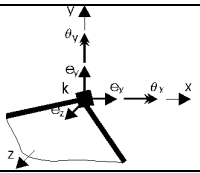
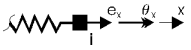
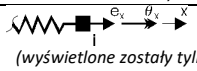
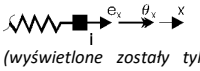
(aktywny odpowiednio w ściskaniu i rozciąganiu)



Podpora

(wyświetlona została tylko jedna składowa)

Poniżej podsumowanie prezentujące kierunki w lokalnym układzie współrzędnych, w których element posiada sztywność i odpowiadające składowe lokalnego przemieszczenia:

Element skończony	*ex* *u*	*ey* *v*	*ez* *w*	*θx*	*θy*	*θz*	
Pręt kratowy	*						
	element dwuwęzłowy, liniowy, izoparametryczny						
Pręt	*	*	*	*	*	*	
	element typu Euler-Navier-Bernoulli, dwuwęzłowy, sześcienny hermitowski						
Żebro	*	*	*	*	*	*	
	element typu Timoshenko, trzywęzłowy, kwadratowy, izoparametryczny						
Tarcza	*	*					
	element typu Serendipity, ośmiowęzłowy, kwadratowy, izoparametryczny						
Element skończony	*ex* *u*	*Ey* *v*	*ez* *w*	*θx*	*θy*	*θz*	
Płyta			*	*	*		
	element płytowy typu Hughesa, dziewięciowęzłowy, heterozyjny izoparametryczny						
Powłoka	*	*	*	*	*		
	płaska powłoka składająca się z nałożonej tarczy i elementu płytowego						
Podpora	*	*	*	*	*	*	 *(wyświetlone zostały tylko dwie składowe)*
Sprężyna	*	*	*	*	*	*	 *(wyświetlone zostały tylko dwie składowe)*
Element kontaktowy	*						
Element sztywny	*	*	*	*	*	*	
Element łączący	*	*	*	*	*	*	 *(wyświetlone zostały tylko dwie składowe dla elementu łączącego węzeł-węzeł)*

gdzie:
u, v, w oznaczają ugięcia w lokalnych kierunkach ***x***, ***y***, ***z***.
θx, θy, θz oznaczają obroty w lokalnych kierunkach ***x***, ***y***, ***z***.
***** element posiada sztywność w odpowiadającym kierunku.

Siły wewnętrzne Obliczane siły wewnętrzne w lokalnym układzie współrzędnych to:

Element skończony	*Siły wewnętrzne*							
Pręt kratowy	*Nx*							
Pręt	*Nx*	*Vy*	*Vz*	*Tx*	*My*	*Mz*		
Żebro	*Nx*	*Vy*	*Vz*	*Tx*	*My*	*Mz*		
Tarcza	*nx*	*ny*	*nxy*					
Płyta				*mx*	*my*	*mxy*	*vxz*	*vyz*
Powłoka	*nx*	*ny*	*nxy*	*mx*	*my*	*mxy*	*vxz*	*vyz*
Sprężyna	*Nx*	*Ny*	*Nz*	*Mx*	*My*	*Mz*		
Element kontaktowy	*Nx*							
Podpora	*Nx*	*Ny*	*Nz*	*Mx*	*My*	*Mz*		
Element sztywny								
Element łączący W-W	*Nx*	*Ny*	*Nz*	*Mx*	*My*	*Mz*		
Element łączący L-L	*nx*	*ny*	*nz*	*mx*	*my*	*mz*		

5.6 Główne etapy analizy

1. Zdefiniuj geometrię konstrukcji, właściwości materiałów i przekroi poprzecznych elementów, warunki podparć oraz obciążenia.
2. Określ miejsca przekazywania obciążeń.
3. Określ lokalne nieciągłości jak np. usztywnienia, blachy węzłowe, otwory.
4. Określ typ elementów skończonych, który najlepiej oddają zachowanie konstrukcji. W tym etapie właściwości elementów konstrukcyjnych zostaną skupione w ich osi obojętnej (punkt, oś lub płaszczyzna).
5. Określ typ i wielkość siatki dla modelu. Wielkość siatki musi korespondować z żądaną dokładnością wyników oraz dostępnym sprzętem komputerowym.
6. Utwórz model:
   a.) Odpowiednia geometria
   b.) Odpowiednie właściwości
   c.) Topologia elementów
   d.) Odpowiednie warunki podpór
   e.) Odpowiednie obciążenie (statyczne) lub masy (drgania własne, spektrum odpowiedzi)
7. Sprawdź dane wejściowe (dokładność, zgodność)
8. Przeprowadź analizę
9. Wybierz ważne wyniki
10. Oceń i zweryfikuj wyniki
    a.) Dokładność i zbieżność rozwiązania
    b.) Zgodność biorąc pod uwagę punkt 6.d.
    c.) Nietypowe konstrukcje powinny być analizowane także za pomocą innych metod i/lub oprogramowania.
11. Uruchom ponownie analizę z odpowiednio zaktualizowanym modelem, jeżeli kryteria z etapu 10 nie zostały spełnione.
12. Oceń wyniki za pomocą izolinii/izopowierzchni, animacji, tabel itd. Wyciągnij wnioski na temat zachowania się konstrukcji.

Modelowanie

Aby utworzyć model konstrukcji, należy przyjąć wiele założeń, więc w trakcie oceny wyników, należy wciąż pamiętać o efektach tych założeń.

Metoda elementów skończonych zapewnia przybliżone rozwiązanie dla modeli powierzchniowych. Aby model odpowiadał jak najlepiej rzeczywistości, należy użyć siatki elementów skończonych o odpowiednim zagęszczeniu. Tworząc siatki elementów skończonych należy uwzględnić oczekiwany rozkład naprężeń, geometrię modelu oraz użyte materiały, podparcia i obciążenia.

Pozycja węzłów i linii siatki (zwana *topologią* siatki elementów skończonych) zależy od geometrycznych nieciągłości (nieregularne kontury, podpory liniowe) oraz nieciągłości obciążeń (obciążenia skupione, szeregowo ustawione wartości dla obciążeń liniowych).

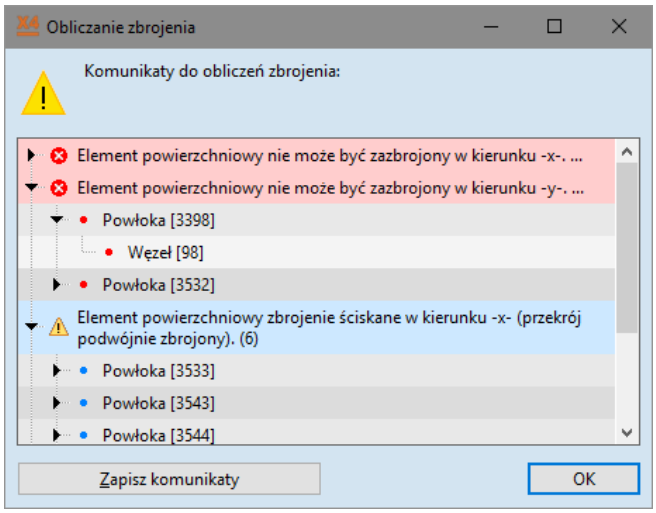
W punktach koncentracji naprężeń (ostre narożniki) należy zagęścić siatkę. Aby uniknąć osobliwości spowodowane przez skupione oddziaływania, można rozłożyć je na małej powierzchni wokół punktu oddziaływania.

Kontury łuku można przybliżać jako wielokąty. Użycie małej tolerancji w tym przybliżeniu prowadzi do utworzenia wielokątów o ekstremalnie małych bokach. Bardzo gęsta siatka utworzona na takim konturze może przekroczyć możliwości danego komputera.

Należy przyjąć jako zasadę ogólną, że zagęszczenie siatki prowadzi do bardziej dokładnych wyników.

5.7 Komunikaty błędów

Wiadomości o błędach i ostrzeżenia są ułożone w strukturę drzewa.



Poniżej wymieniono możliwe komunikaty dotyczące błędów w modelowaniu:

Macierz sztywności niezdefiniowana dodatnio

Wyznacznik macierzy sztywności wynosi zero lub jest ujemny ze względu na błąd w modelowaniu.

Osobliwa macierz Jacobiego

Wyznacznik macierzy Jacobiego wynosi zero ze względu na zniekształconą geometrię elementu.

Nadmierne odkształcenie elementu podczas deformacji

Element został nadmiernie odkształcony w bieżącym przyroście.

Zbyt duży przyrost obrotu

Przyrost obrotu elementu przekracza $\pi/4$ radian (90°). Należy zwiększyć ilość przyrostów obciążenia.

Nieprawidłowe węzłowe stopnie swobody do kontroli przemieszczenia

Kontrolę przemieszczenia zastosowano wokół zablokowanego stopnia swobody.

Brak zbieżności

Ilość iteracji jest zbyt mała.

Zbyt dużo wymaganych wartości własnych

Rząd macierzy mas jest mniejszy niż liczba wymaganych wartości własnych (częstości lub postaci wyboczeniowych).

Nie znaleziono wartości własnej
Brak zbieżnej wartości własnej.

Nieokreślone wartości własne (xx)
Istnieje xx mniejszych wartości własnych niż najniższa określona wartość własna.

Element zbyt zniekształcony
Geometria elementu skończonego jest zniekształcona. Aby zachować dokładność wyników, należy zmodyfikować siatkę elementów skończonych, aby zapobiec zbytniemu odkształceniu geometrii elementów.

Nadmierne zniekształcenie podczas deformacji elementu
Podczas analizy nieliniowej, element przeszedł nadmierną deformację w obrębie przyrostu (obciążenia lub przemieszczenia). Należy zwiększyć ilość przyrostów.

Brak zbieżności przy maksymalnej ilości iteracji
Nie ma zbieżności w obrębie maksymalnej ilości iteracji (**Patrz...** *5.1 Analiza statyczna* /Nieliniowa analiza statyczna /Parametry sterowania rozwiązaniem). Można zwiększyć ilość iteracji. Model może nie osiągnąć zbieżności w poszczególnym poziomie obciążenia, więc należy zmienić odpowiednio parametry Sterowania rozwiązaniem.

Bieżąca iteracja jest rozbieżna.
W procesie iteracji wykryto rozbieżność. Przyrosty są zbyt duże lub kryteria zbieżności są zbyt swobodne.

Węzeł ... nie posiada sztywności w kierunku ...
W macierzy sztywności istnieje osobliwość odnosząca się do tego stopnia swobody. Należy zweryfikować w modelu ustawienia podpór i węzłowych stopni swobody.

Inne komunikaty błędów (systemowe)

W pewnych sytuacjach mogą pojawić się również inne komunikaty błędów. Na podstawie kodu błędu można uzyskać więcej informacji, które znajdują się pod poniższym linkiem:

http://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/Tokyo/en/Input-Output_Errors

Ta strona jest celowo pozostawiona pusta.

6 Przetwarzanie końcowe (postprocesor)

Statyka Umożliwia wyświetlenie wyników analizy statycznej. (*6.1 Statyka*)

Wyboczenie Umożliwia wyświetlenie wyników analizy wyboczeniowej. (*6.2 Wyboczenie*)

Drgania własne Umożliwia wyświetlenie wyników analizy modalnej. (*6.3 Drgania własne*)

Dynamika Umożliwia wyświetlanie wyników analizy dynamicznej. (*6.4 Dynamika*)

Wymiarowanie - żelbet Umożliwia wyświetlenie wyników analizy wymiarowania żelbetu. (*6.5 Wymiarowanie - Żelbet*)

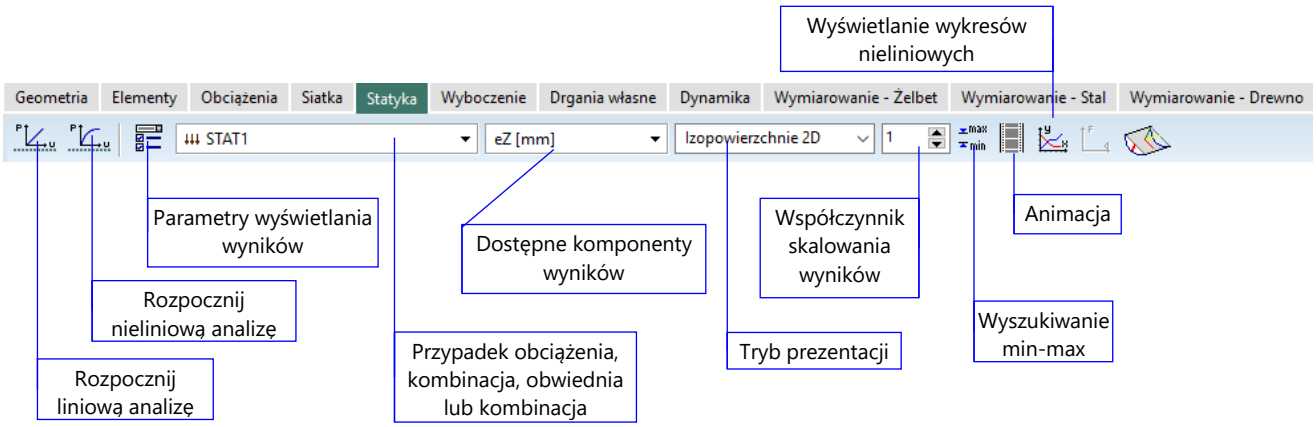
Wymiarowanie - stal *Umożliwia wyświetlenie wyników analizy wymiarowania stali. (Wymiarowanie - Stal)*

Wymiarowanie - drewno Umożliwia wyświetlenie wyników analizy wymiarowania drewna. (*6.7 Wymiarowanie – Drewno*)

Wymiarowanie – Mur Umożliwia wyświetlenie wyników analizy wymiarowania murów. (*6.8 Wymiarowanie ścian murowych – moduł MD1*)

6.1 Statyka

Zakładka *Statyka* umożliwia wyświetlenie narzędzi do wyświetlania i interpretowania wyników analizy statycznej.



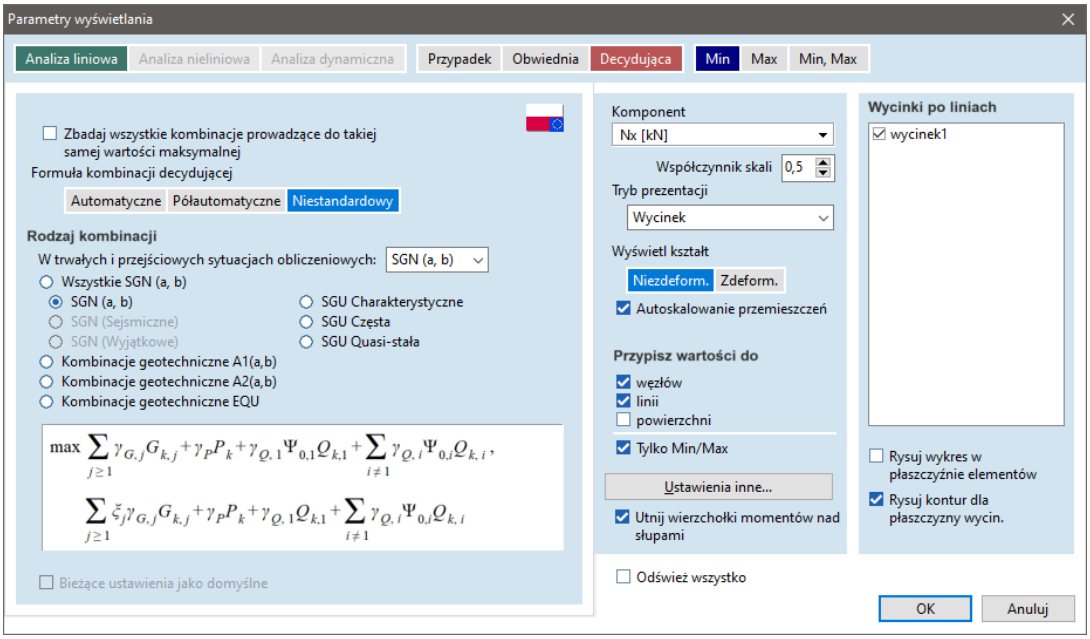
Szerokość okienek list rozwijanych i współczynnika skalowania może zostać dopasowana do wymagań użytkownika. Ustawienia szerokości na każdej zakładce postprocesora pozostają niezależne.
Aby zmienić szerokość list rozwijanych należy umieścić kursor myszki pomiędzy okienkami list na wybranej zakładce. Gdy kursor zmieni swój kształt na ⇔ można ustawić szerokość list.
Aby przywrócić domyślne szerokości, należy kliknąć *Ustawienia / Paski narzędziowe w domyślnym ustawieniu*. **Patrz...** *3.3.15 Paski narzędzi w położeniu domyślnym*.

Rozpocznij liniową analizę statyczną **Patrz...** *5.1 Analiza statyczna*

Rozpocznij nieliniową analizę statyczną **Patrz...** *5.1 Analiza statyczna*

Parametry wyświetlania wyników Umożliwia ustawienie opcji graficznego wyświetlania wyników.
Można z nich wybrać wyniki dla przypadku/kombinacji obciążeń lub kombinacji decydującej.

Okno dialogowe *Parametry wyświetlania* ma następujące opcje.



Typ analizy

W zależności od wykonanej analizy, można wybrać wyniki liniowej lub nieliniowej analizy statycznej. Każdy typ analizy można zdefiniować w sposób szczegółowy:

Przypadek

Umożliwia wyświetlenie wyników dowolnego przypadku/kombinacji obciążeń.

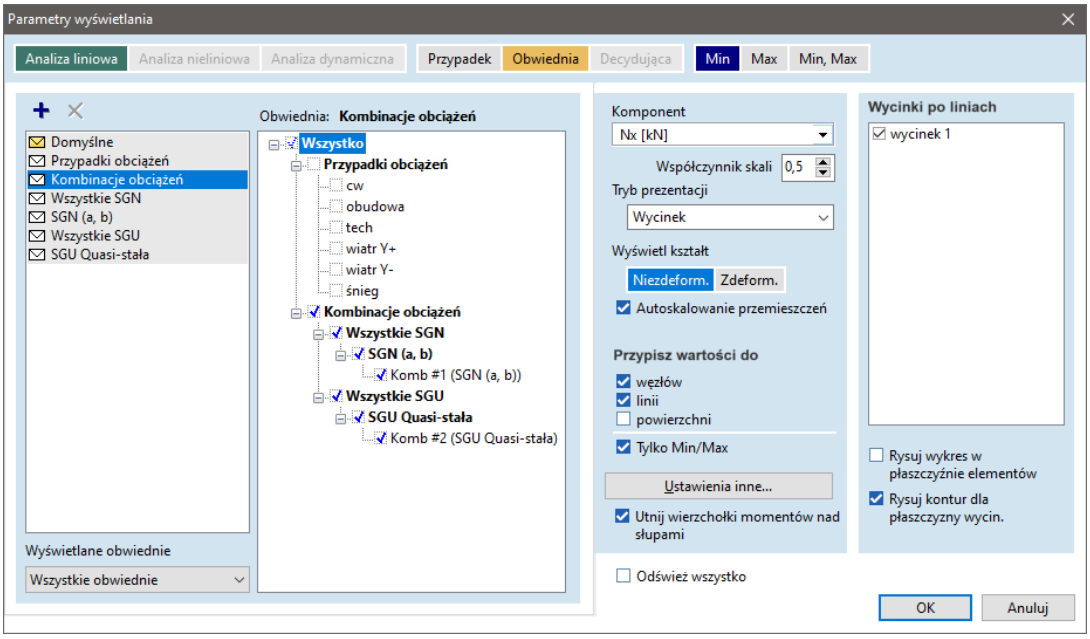
Obwiednia

Umożliwia wyświetlenie obwiedni wyników z wybranych przypadków obciążeń i/lub kombinacji. Program wyszukuje wartości minimalne i/lub maksymalne w każdym miejscu dla wybranego komponentu wyników.

Decydująca

Umożliwia wygenerowanie kombinacji obciążeń decydujących zgodnie z definicjami grup obciążeń, w każdym miejscu dla wybranego komponentu wyników.

Obwiednia



Program AxisVM umożliwia zdefiniowanie i użytkowanie różnych obwiedni o nadanych nazwach.
AxisVM umożliwia zdefiniowanie różnych obwiedni z nazwami. Po lewej stronie znajduje się lista dostępnych obwiedni. Niektóre podstawowe obwiednie tworzone są automatycznie (obwiednia wszystkich przypadków obciążeń, wszystkie kombinacje obciążeń lub określone typy kombinacji (np. SGN, SGU quasi-stałe). Zestaw składników wybranej obwiedni wyświetlany jest na liście przypadków i kombinacji obciążeń. Zmiana zestawu składników obwiedni skutkuje utworzeniem nowej obwiedni użytkownika. Wybranie obwiedni użytkownika i kliknięcie na jej nazwę umożliwi edytowanie nazwy.
Jeżeli główne okno programu AxisVM podzielone jest na podokna, dla każdego z nich można wybrać inną obwiednię. Nazwa wybranej obwiedni zostaje wyświetlona w oknie statusu. Rysunki i tabele raportów także zawierają i wyświetlają informacje z obwiedni.

Utwórz nową obwiednię użytkownika

Usuń obwiednię użytkownika (tylko obwiednie użytkownika mogą zostać usunięte)

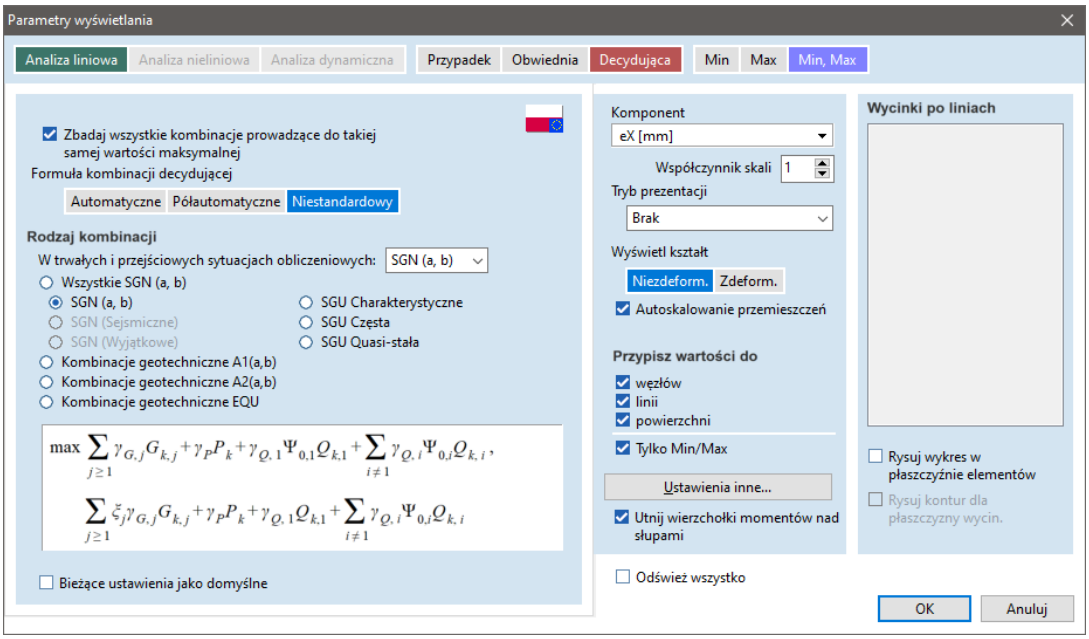
☞ **Na liście przypadków i kombinacji obciążeń aktywny jest wielokrotny wybór. Aby zaznaczyć lub odznaczyć ciągły zakres przypadków obciążeń, należy kliknąć na pierwszy przypadek obciążeń z zakresu (zostanie wybrany), a następnie przycisnąć klawisz Shift i kliknąć na ostatni przypadek z zakresu.**

Wyświetlone obwiednie

Wybiera obwiednie do wyświetlenia z rozwijanej listy, znajdującej się pod listą obwiedni. W ten sposób można kontrolować, które obwiednie są dostępne do oceny wyników w rozwijanej liście przypadków i kombinacji obciążeń.

Tylko wybrana obwiednia	Dostępna będzie tylko jedna, aktualnie wybrana obwiednia.
Tylko obwiednie użytkownika	Wszystkie obwiednie użytkownika zostaną umieszczone na liście.
Wszystkie obwiednie	Wszystkie obwiednie (podstawowe i użytkownika) zostaną umieszczone na liście.

Decydująca

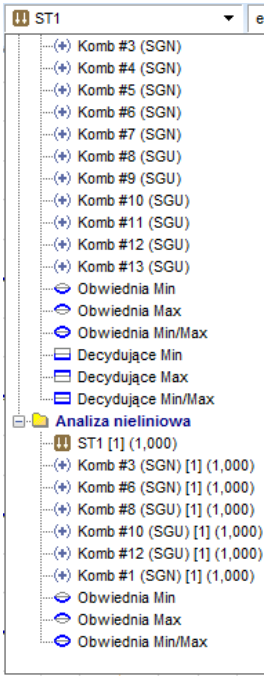


Zbadaj wszystkie kombinacje prowadzące do takiej samej wartości maksymalnej

Domyślnie ta opcja jest wyłączona. AxisVM bierze pod uwagę kombinacje wynikające z wartości ekstremalnych dla dowolnego komponentu wyników.
Jednak w przypadku niektórych metod wymiarowania kombinacja, która nie daje wartości ekstremalnych może być bardziej niekorzystna. W takim przypadku należy włączyć tę opcję. AxisVM w obliczeniach utworzy wtedy wszystkie możliwe kombinacje i sprawdzi je zgodnie z wymogami normy projektowej. Ponieważ liczba kombinacji może być bardzo duża, dlatego włączenie tej opcji zaleca się tylko, jeżeli wielkość modelu i liczba przypadków obciążeń jest mała.

Rodzaj kombinacji

Jeżeli opcja *Formuła kombinacji decydującej* ustawiona jest na tryb *Automatyczne*, AxisVM na podstawie komponentu wyników określi czy wymagane są kombinacje SGN (stan graniczny nośności) czy SGU (stan graniczny użytkowalności).
Jeżeli *Formuła kombinacji decydującej* ustawiona jest na tryb *Użytkownika* to wyniki *Min / Max / Min,Max* dla wszystkich rodzajów kombinacji będą dostępne na liście przypadków obciążeń, niezależnie od bieżącego komponentu wyników.
W przypadku Eurokodu, DIN 1045-1, SIA 262 i innych norm projektowych opartych na Eurokodach, można wybrać wzór tworzący kombinacje SGU. Jeżeli wybrano opcje *Automatyczne*, wszystkie obliczenia wymiarujące wybiorą właściwy wzór decydujący (np. SGU Częste do obliczeń szerokości rys zgodnie z EC-HU, SGU Charakterystyczne do przemieszczeń konstrukcji drewnianych, SGN do sił i naprężeń).



W trybie *Półautomatyczne* AxisVM wykorzystuje odpowiednie kombinacje SGN albo SGU w zależności od przeprowadzanych obliczeń, ale typ kombinacji SGU może zostać wybrany przez użytkownika.

Wyświetl wartości

Jeżeli wybrano *Obwiednia* lub *Decydująca*, można wybrać jedną z następujących opcji:

Min/Max
Wyświetla wartości minimalne i maksymalne bieżącego komponentu wyników.

Min
Wyświetla wartości minimalne (zależne od znaku) bieżącego komponentu wyników.

Max
Wyświetla wartości maksymalne (zależne od znaku) bieżącego komponentu wyników.

Wyświetl kształt

Niezdeform.
Wyświetla niezdeformowany kształt modelu (oryginalna konfiguracja).

Zdeform.
Wyświetla zdeformowany kształt modelu.

Autoskalowanie przemieszczeń
Skaluje rzeczywiste przemieszczenia przez automatycznie dobrany współczynnik tak, aby maksymalne przemieszczenie było przedstawione o wielkości 50 pikseli. Tak przeskalowana deformacja jest podstawą do dalszego skalowania, które może wykonać użytkownik za pomocą współczynnika skalowania wyników (dostępne w oknie głównym dla zakładek analiz i wymiarowania).
W przypadku, gdy opcja autoskalowania jest odznaczona, to podstawą do skalowania za pomocą współczynnika skalowania jest rzeczywista deformacja elementów.

Tryb prezentacji

Wykres
Umożliwia wyświetlenie bieżącego komponentu wyników w formie kolorowego wykresu. Wartości liczbowe są wyświetlane, jeżeli opcja *Przypisz wartości* jest włączona.

Wykres wypełniony
Działa podobnie do trybu *Wykres*, ale pozwala na dostosowane wypełnienie wykresów (patrz *Symbole graficzne* w *3.3.11 Preferencje*).

Wykres + średnie wartości
Ten tryb prezentacji jest dostępny tylko, jeżeli wyświetlane są siły podpór liniowych. Jeżeli ten tryb zostanie wybrany, to wykresy sił podpór liniowych zostaną wzbogacone o wyświetlanie z etykietami wartości średnich. Uśrednienie robione jest nad ciągłymi podporami. Podpory uznawane są za ciągłe, jeżeli posiadają taką samą sztywność i ich kąt jest mniejszy od najmniejszej wartości granicznej.

Wycinek

Umożliwia wyświetlenie bieżącego komponentu wyników w aktywnych wycinkach i/lub płaszczyznach wycinających w formie wykresu. Wartości liczbowe są wyświetlane, jeżeli opcja *Przypisz wartości* jest włączona.

Wycinek z wypełnionym wykresem

Działa podobnie do trybu *Wycinek*, ale pozwala na dostosowane wypełnienie wykresów (patrz *Symbole graficzne* w *3.3.11 Preferencje*).

Izolinia (linia konturowa)

Umożliwia wyświetlenie bieżącego komponentu wyników w formie kolorowej linii konturu. Wartości reprezentowane przez izolinie określone są w oknie Legendy kolorów. Parametry okna Legendy kolorów można ustawić tak, jak opisano w paragrafie Okna informacyjne. Wartości liczbowe są wyświetlane, jeżeli opcja *Przypisz wartości* jest włączona.

Izopowierzchnia 2D lub 3D

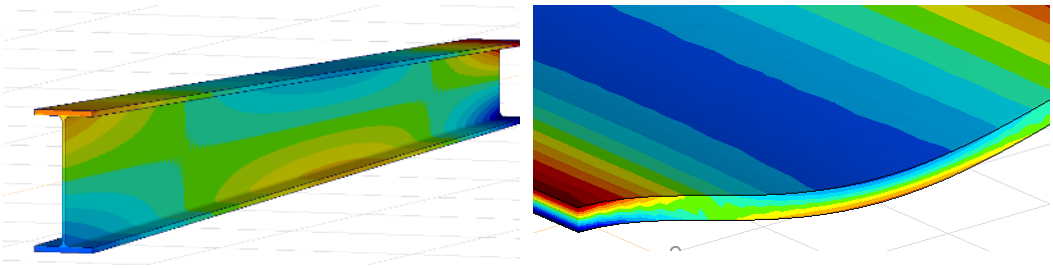
Umożliwia wyświetlenie bieżącego komponentu wyników w formie kolorowej wypełnionej linii konturu. Zakresy reprezentowane przez izopowierzchnie określone są w oknie Legendy kolorów. Parametry okna Legendy kolorów można ustawić tak, jak opisano w paragrafie Okna informacyjne. Wartości liczbowe są wyświetlane, jeżeli opcja *Przypisz wartości* jest włączona.

Patrz... *2.19.4 Okno legendy kolorów*

Model bryłowy

Tryb ten wyświetla wyniki na widoku zrenderowanym modelu. Jest on szczególnie przydatny do wyświetlania rozkładu naprężeń normalnych w belkach na ich wysokości i długości lub równoczesnego wyświetlania górnych i dolnych wartości naprężeń w elementach powierzchniowych, zbrojenia lub zarysowania.

Ustawienia tego trybu opisane są w *3.3.11.10 Wyświetl.*



Brak

Bieżący komponent wyników nie jest wyświetlany.

Wycinki Umożliwia ustawienie aktywnych wycinków po liniach, płaszczyzn wycinających i odcinków wycinających. Jeżeli tryb prezentacji ustawiony jest na Wycinki po liniach, wykresy wyników będą rysowane tylko na aktywnych (zaznaczonych) wycinkach. Symbol płaszczyzn wycinających można wyświetlić zaznaczając pole wyboru *Rysuj kontur dla płaszczyzny wycin*. Włączenie opcji *Rysuj wykres w płaszczyźnie elementów* zmienia prezentacje wszystkich wykresów wycinków. Ten parametr można zmienić osobno w oknie dialogowym Wycinki.

Patrz... *2.16.15 Wycinki*

Komponent Umożliwia wybranie komponentu wyników, który ma zostać wyświetlony.

Współczynnik skali Umożliwia ustawienie skali rysowania wykresu. Wartością domyślą jest 1, gdzie maksymalna rzędna reprezentowana jest przez 50 pikseli.

Przypisz wartości do...

Węzłów

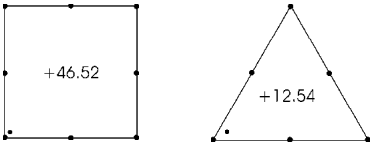
Przypisuje wartości bieżącego komponentu wyników do węzłów.

Linii

Przypisuje wartości (pośrednie, jeżeli takie istnieją) bieżącego komponentu wyników do elementów liniowych.

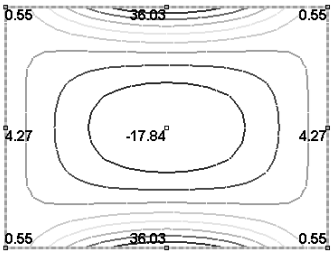
Powierzchni

Przypisuje wartości bieżącego komponentu wyników do elementów powierzchniowych. Wyświetlona zostaje bezwzględna maksymalna wartość obliczona z dziewięciu węzłów każdej powierzchni, a poszczególny węzeł zostanie oznaczony za pomocą małego czarnego okręgu.

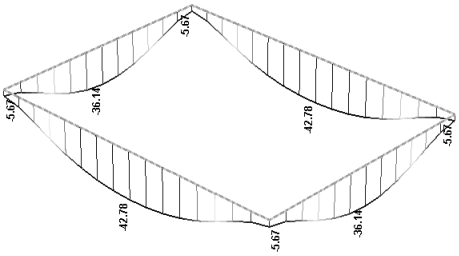


Tylko min/max

Przypisuje wyłącznie lokalne wartości min/max bieżącego komponentu wyników do węzłów, linii i powierzchni.



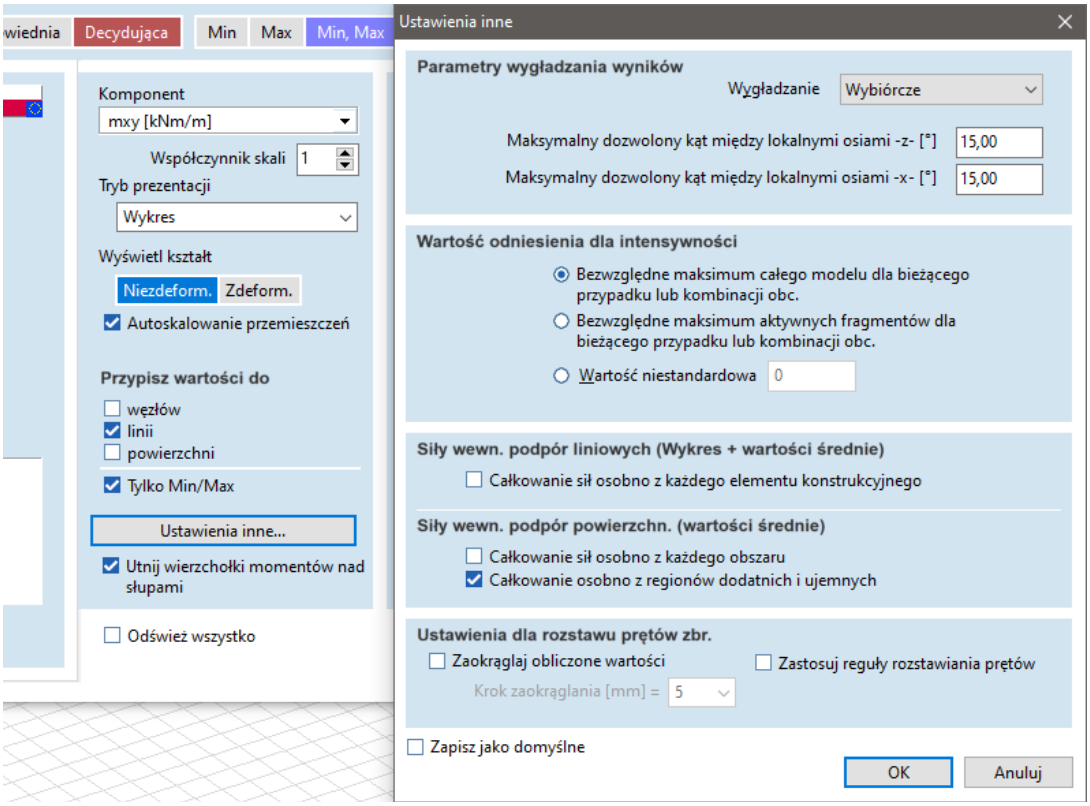
my składowa momentu



Rz składowa siły w podporze

Jeżeli etykiety nachodzą na siebie, ich wyświetlanie można poprawić za pomocą opcji Zapobiegaj nakładaniu się etykiet (*2.16.18 Opcje wyświetlania*).

Kliknięcie na przycisk *Ustawienia inne*... udostępnia następujące opcje:



Parametry wygładzania wyników

Żadne

Wartości sił wewnętrznych elementów powierzchniowych obliczone w węzłach nie zostają uśrednione.

Wybiórcze

Wartości sił wewnętrznych elementów powierzchniowych obliczone w węzłach zostają uśrednione w sposób wybiórczy, w zależności od lokalnych układów współrzędnych, warunków podpór i obciążeń elementów, które są przyłożone do węzła.

Program rozpoznaje typowe przypadki, w których spodziewany jest skok wartości sił wewnętrznych ze względu na zmianę obciążenia czy warunków podparcia (np. uskok wewnętrznych sił tnących na wewnętrznej podporze liniowej). W tych węzłach program nie przeprowadza wygładzania wyników. Jeżeli lokalne układy współrzędnych połączonych obszarów są różne, to wygładzanie wyników jest przeprowadzane tylko w węzłach połączonych krawędzi, gdy kąt między lokalnymi osiami -x- oraz -z- nie przekraczają wartości określonych w tych ustawieniach.

Wszystkie

Wartości wszystkich sił wewnętrznych elementów powierzchniowych obliczone w węzłach zostają uśrednione.

Siły wewnętrzne podpór liniowych

Patrz... *6.1.13 Siły wewn. podpór*

Siły wewnętrzne podpór powierzchniowych

Patrz... *6.1.13 Siły wewn. podpór*

Ustawienia dla rozstawu prętów

Aby uzyskać bardziej realistyczne wartości wyznaczonego rozstawu prętów zbrojeniowych, należy zaznaczyć opcję *Zaokrąglaj obliczone wartości* i podać wartości *Kroku zaokrąglenia*.
Zastosuj reguły rozstawiania prętów jest opcjonalne.

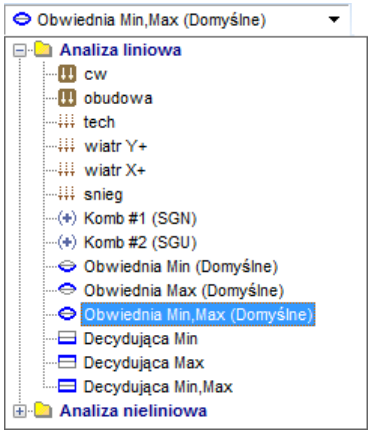
Wartość odniesienia dla intensywności

Zmiana intensywności aktualnego komponentu powierzchniowych sił wewnętrznych wyświetla zmianę jako procent wartości odniesienia ustawiony w tym miejscu.
Patrz... *6.1.12 Siły wewn. elementu powierzchniowego*

Utnij wierzchołki momentów nad słupami

Jeżeli siatka dla obszaru utworzona została z opcją *Dopasuj siatkę do głowicy słupa*, wierzchołki momentów można wyrównać i uciąć nad głowicami słupów poprzez włączenie tej opcji.
Patrz... *6.1.12 Siły wewn. elementu powierzchniowego*

Wybór przypadku do wyświetlenia

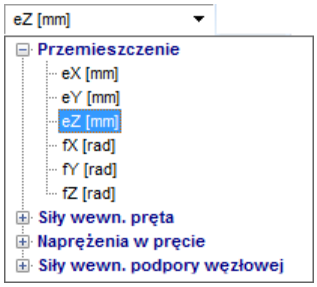


Z rozwijanej listy można wybrać przypadek do wyświetlenia:

Przypadek obciążenia, kombinacja obciążeń
Przyrost n-ty analizy nieliniowej
Wyświetlenie obwiedni
Kombinacje decydujące

Dostępne komponenty wyników

Z rozwijanej listy można wybrać komponent wyników do wyświetlania (dostępność danego komponentu zależy od zastosowania odpowiadającego elementu na modelu):



Przemieszczenie (*eX, eY, eZ, fX, fY, fZ, eR, fR*)
Siły wewnętrzne prętów/żeber (*Nx, Vy, Vz, Tx, My, Mz, MyD**)
Naprężenia w pręcie /żebrze (*Smin, Smax, Tymean, Tzmean*)
Względne przemieszczenia zwolnień węzłowych prętów (ex, ey, ez, fx, fy, fz, eR, fR)
Siły wewnętrzne elementu powierzchniowego (*nx, ny, mx, my, mxy, vxz, vyz, vSz, n1, n2, an, m1, m2, αm, nxD, nyD, mxD, myD*)
Zmienność intensywności (dnx, dny, dnxy, dmx, dmy, dmxy, dqx, dqy)
Naprężenia w elemencie powierzchniowym (*Sxx, Syy, Sxy, Sxz, Syz, Svm, S1, S2*)
Przemieszczenia pręta wirtualnego
Siły wewnętrzne wirtualnych prętów
Siły wewn. podpory węzłowej (*Rx, Ry, Rz, Rxx, Ryy, Rzz*)
Siły wewn. podpory liniowej (*Rx, Ry, Rz, Rxx, Ryy, Rzz*)
Siły wewn. podpory powierzchniowej (*Rx, Ry, Rz*)
Siły wewn. sprężyn (*Rx, Ry, Rz, Rxx, Ryy, Rzz*)
Siły wewn. elementu kontaktowego (*Nx*)
Siły wewn. elementu łączącego typu węzeł-węzeł (Rx, Ry, Rz, Rxx, Ryy, Rzz)
Siły wewn. elementu łączącego typu linia-linia / zwolnienie krawędziowe (nx, ny, nz, mx, my, mz)

** MyD ten składnik jest obliczany tylko w niektórych sytuacjach, patrz rozdział 6.1.10 Siły wewn. żeber.*

Tryb prezentacji

Z rozwijanej listy można wybrać jeden z następujących trybów prezentacji:

Wykres
Wykres wypełniony
Wycinek
Wycinek z wypełnionym wykresem
Izolinie

Izopowierzchnie 2D
Izopowierzchnie 3D
Model bryłowy
Brak

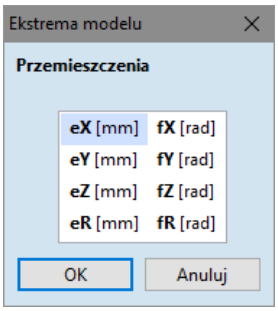
☞ ***Jeżeli wybrano Obwiednie Min,Max lub obwiednie Decydujące, to nie będzie możliwe wyświetlenie wyników dla nich za pomocą trybu izolinii oraz izopowierzchni 2D.***

Współczynnik skali

Umożliwia przeskalowanie wyświetlanych wykresów.

6.1.1 Wartości minimalne i maksymalne

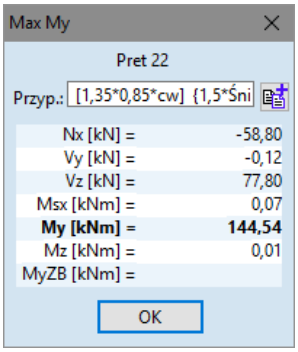
Umożliwia wyszukanie wartości minimalnych i maksymalnych bieżącego komponentu wyników. Podczas pracy z fragmentami, wyszukiwanie zostanie ograniczone do aktywnych fragmentów. AxisVM zaznaczy każde wystąpienie wartości minimalnej / maksymalnej.



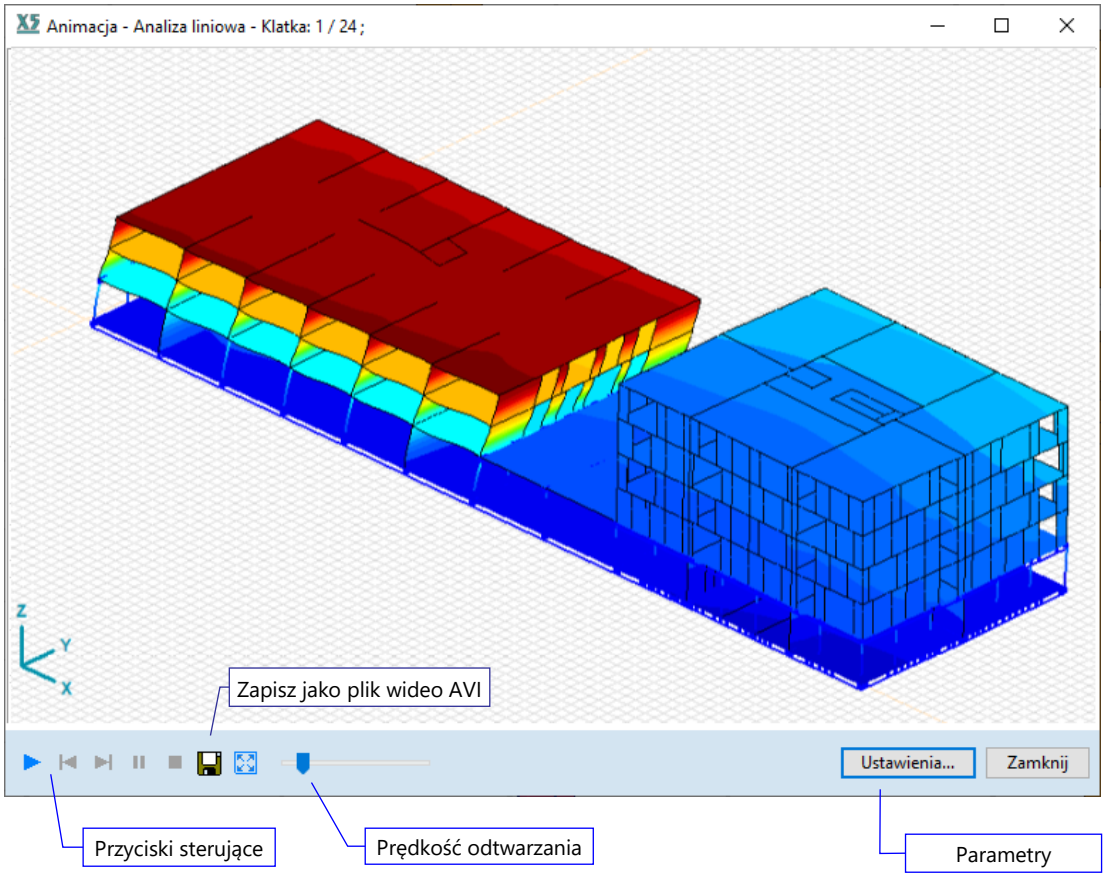
☞ **Jeżeli wyświetlone są fragmenty, to ekstrema zostaną określone tylko dla wyświetlonych fragmentów.**

Dodaj kombinację do listy schowka

Podczas wyświetlania wyników obwiedni kombinacji *Decydujących* istnieje możliwość dodania do schowka kolejnych znalezionych kombinacji prowadzących do wartości ekstremalnych. Kombinacje do schowka dodawane są bez duplikatów oraz w sposób kumulacyjny, czyli bez nadpisywania zapisanej w poprzednim kroku kombinacji.
Kombinacje z tej listy można wstawić to tabeli kombinacji obciążeń.
Patrz... *4.10.2 Kombinacje obciążeń.*



6.1.2 Animacja



Umożliwia wyświetlenie przemieszczeń, sił wewnętrznych i postaci własnych w formie animacji (klatka po klatce).
Animacja dla wyników z analizy liniowej składa się z sekwencji klatek generowanych przez liniową interpolację pomiędzy początkowymi wartościami (klatka 0) i aktualnymi wartościami bieżącego komponentu wyników (klatka *n*), zależnie od liczby klatek (*n*).
Animacja dla wyników z analizy nieliniowej lub dynamicznej generowana jest z klatek odpowiadających pojedynczym przyrostom.
Aby zobaczyć deformacje elementów modelu, należy najpierw włączyć opcję *Zdeformowany* w części *Wyświetl kształt* w *Parametrach wyświetlania*.
Proces tworzenia animacji może zostać przerwany poprzez wciśnięcie **Esc**.

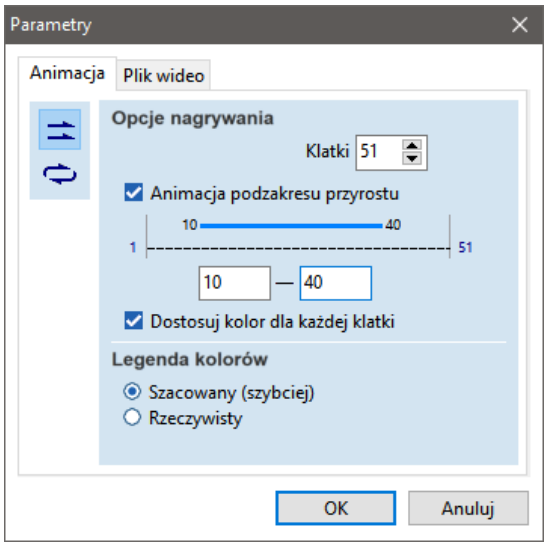
Przyciski sterujące

Zapisz jako plik wideo (AVI / GIF)

Dopasuj do okna

Aktualny widok może być przesuwany w oknie animacji za pomocą lewego przycisku myszy oraz powiększany/pomniejszany za pomocą kółka myszy.

Animacja



Odtwarzanie jednokierunkowe
Odtwarza klatki zaczynając od klatki 0 i kończąc na klatce *n*.

Odtwarzanie w obu kierunkach
Odtwarza klatki zaczynając od klatki 0 i kończąc na klatce *n*, a później odwraca kolejność odtwarzania.

Opcje nagrywania

Klatki
Umożliwia ustawienie liczby klatek animacji. Należy określić wartość z przedziału od 3 do 99. Większa liczba klatek oznacza płynniejszą, ale wolniejszą animację.

Animacja podzakresu przyrostu
Dla wyników z analizy nieliniowej lub dynamicznej można przygotować animację ograniczoną do określonego zakresu przyrostów.

Dostosuj kolor dla każdej klatki
Jeżeli poszczególne klatki przedstawiają izolinie/izopowierzchnie i ta opcja jest zaznaczona, to zakres kolorów jest wyznaczany dla każdej klatki niezależnie.

Legenda kolorów
Dostępne tylko dla animacji na podstawie wyników analizy dynamicznej.
Dokładne odwzorowanie kolorów dla zakresu prezentowanego komponentu wyników może wymagać dodatkowych obliczeń. Dla analizy dynamicznej z dużą liczbą przyrostów proces ten może zająć dużo czasu. Wybranie pierwszej dostępnej opcji pozwala oszacować kolory dla maksimum i minimum z przyrostów przyjętych do generowania klatek animacji, co przyspiesza proces przetwarzania animacji.

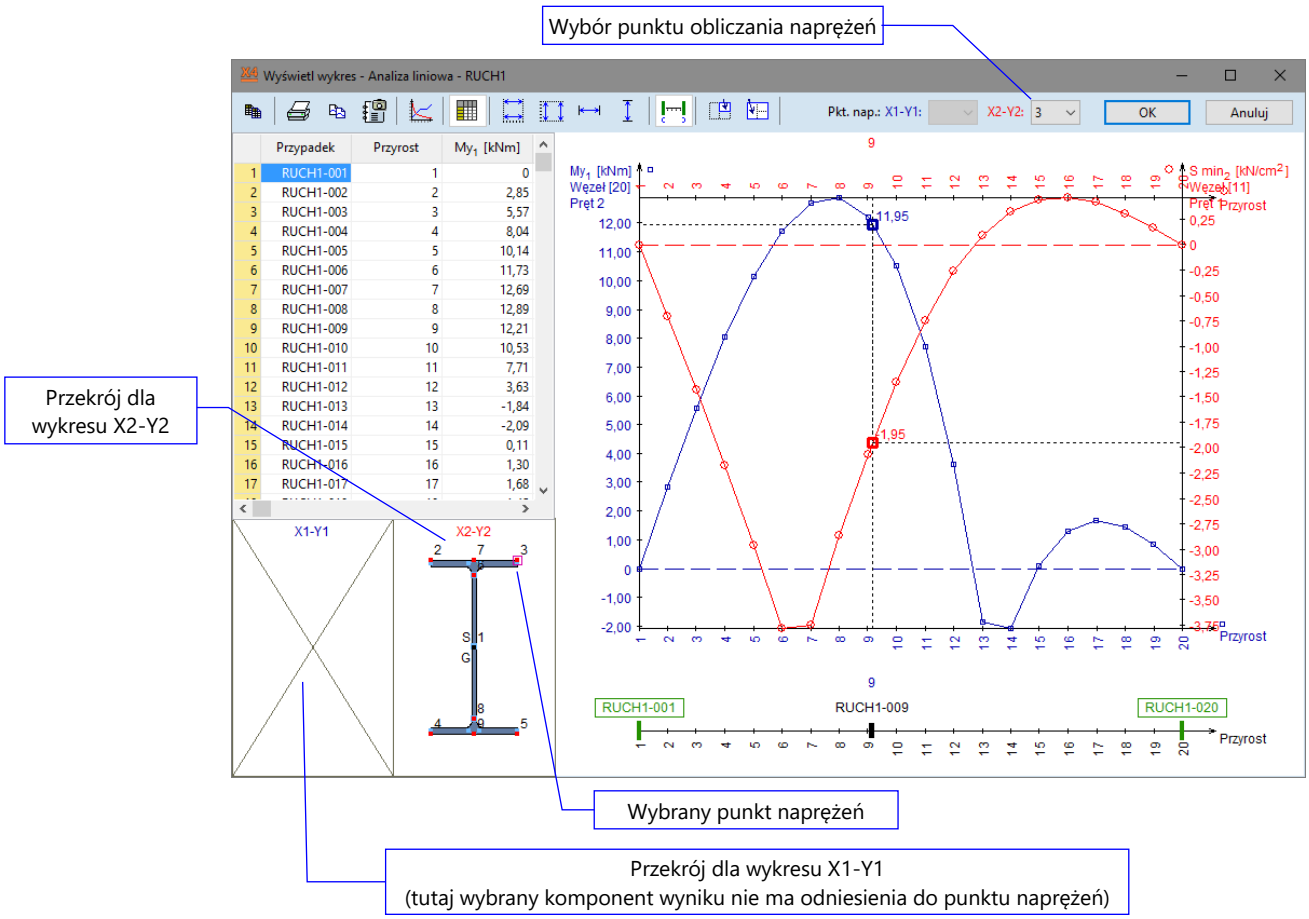
Plik wideo
Umożliwia utworzenie pliku wideo *nazwa.avi*.
Aby zapisać parametry pliku wideo, należy kliknąć przycisk Zapisz.

Można ustawić czas wyświetlania klatki. Krótszy czas wyświetlania przełoży się na większą liczbę klatek. Zwykle jest 30 klatek/sekundę, dlatego nie zaleca się ustawiać czasu wyświetlania klatki na mniej niż 30ms.

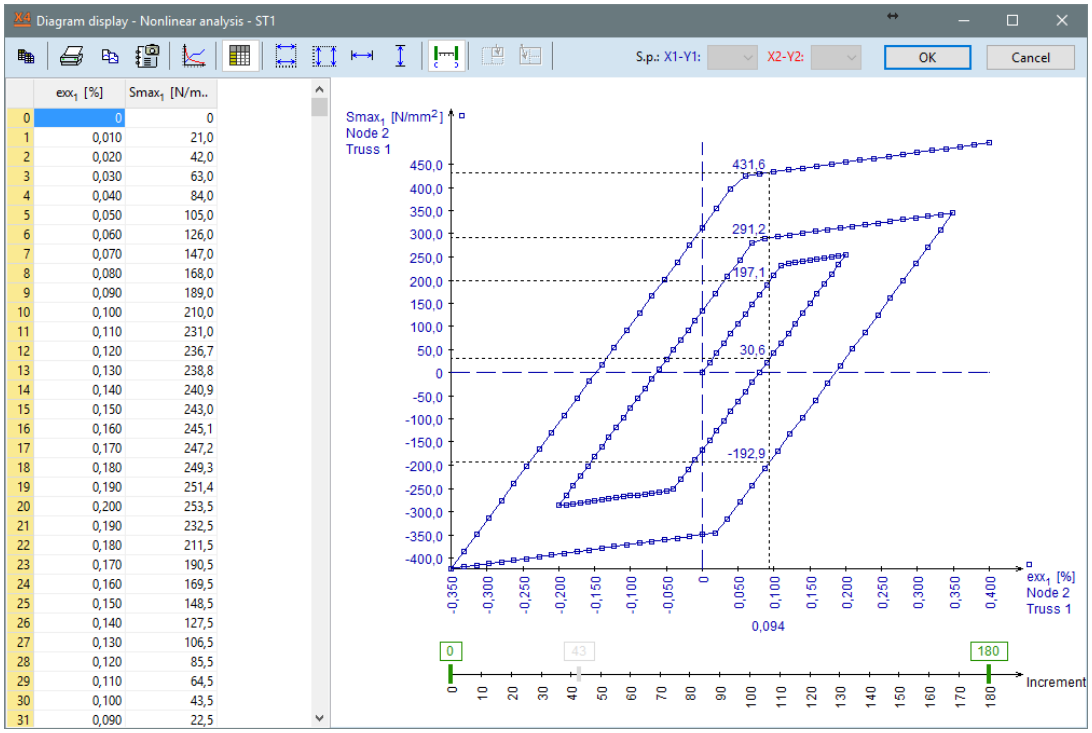
6.1.3 Wyświetlanie wykresu

To polecenie wyświetla wyniki w formie wykresów dla statycznej analizy liniowej i nieliniowej oraz analizy dynamicznej. W jednym oknie można wyświetlić jednocześnie dwa wykresy. Każdy wykres posiada komponent wyników na swojej osi X i Y. Punkty reprezentujące pary kolejnych wartości są połączone. Dokładną wartość na wykresie można odczytać poprzez przesunięcie pionowej linii przerywanej lub czarnego znacznika na osi odciętej. Punkty wykresu mogą być wyświetlone w formie tabeli i eksportowane przez schowek do Excela.

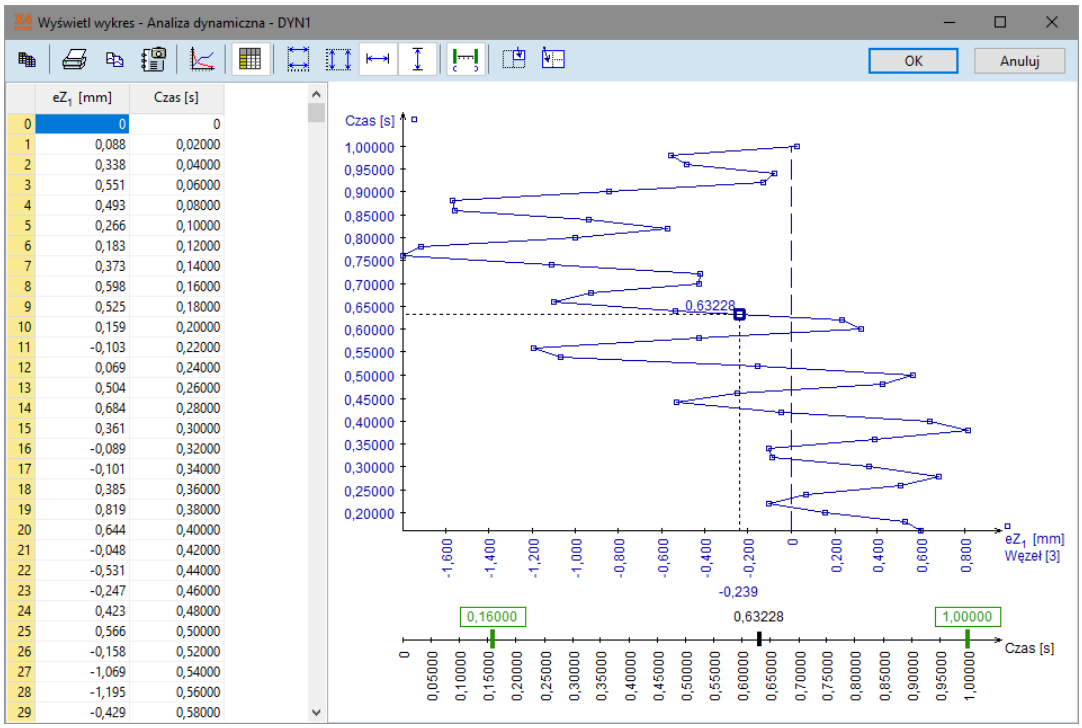
Dla liniowej analizy statycznej, w zależności czy wybrany został w oknie głównym programu przypadek obciążenia, kombinacja, obwiednia czy obciążenie ruchome, to na wykresie (na poziomej osi poniżej) pojawią się wszystkie składniki wspomnianego typu (np. wszystkie kombinacje wchodzące w skład obwiedni aktualnie wybranej w oknie głównym programu).


Wybór punktu obliczania naprężeń
Przekrój dla wykresu X2-Y2
Wybrany punkt naprężeń
Przekrój dla wykresu X1-Y1
(tutaj wybrany komponent wyniku nie ma odniesienia do punktu naprężeń)
Wyświetl wykres - Analiza liniowa - RUCH1
Pkt. nap.: X1-Y1:
X2-Y2:
OK
Anuluj
Przypadek
Przyrost
My1 [kNm]
RUCH1-001
RUCH1-009
RUCH1-020
Przyrost
X1-Y1
X2-Y2

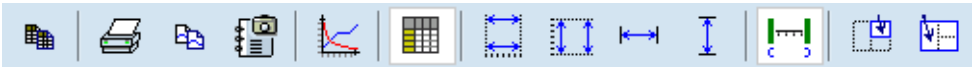
Dla nieliniowej analizy statycznej wszystkie jej przyrosty lub składniki obwiedni mogą zostać wyświetlone.



Dla analizy dynamicznej dolny suwak wyświetla czas, a nie kolejne przyrosty obciążenia.



Pasek narzędzi



Kopiuje zaznaczone komórki tabeli do schowka
Jeżeli tabela jest widoczna to jej zaznaczone komórki zostaną skopiowane do schowka.

Drukuj rysunek
Drukuje wykres (i tabelę, jeżeli jest wyświetlona)

Kopiuj do schowka
Kopiuje wykres do schowka.

Dodaj rysunek do Biblioteki Rysunków
Zapisuje rysunek w Bibliotece Rysunków, aby był dostępny podczas tworzenia raportów.

Parametry wyświetlania wykresów
Komponenty, które mają zostać wyświetlone, mogą zostać wybrane z rozwijanych list.
Jeżeli komponent wyników jest wybrany, kliknięcie na przycisk *Węzeł* umożliwi wybranie węzła, z którego odczytywany jest wynik.

Wykres *x1-y1* rysowany jest na niebiesko z oznaczeniami i etykietami na lewej i dolnej osi.

Wykres *x2-y2* rysowany jest na czerwono z oznaczeniami i etykietami na prawej i górnej osi.

Po włączeniu opcji *Pokaż oznaczenia*, punkty danych oznaczone zostaną za pomocą małych prostokątów.

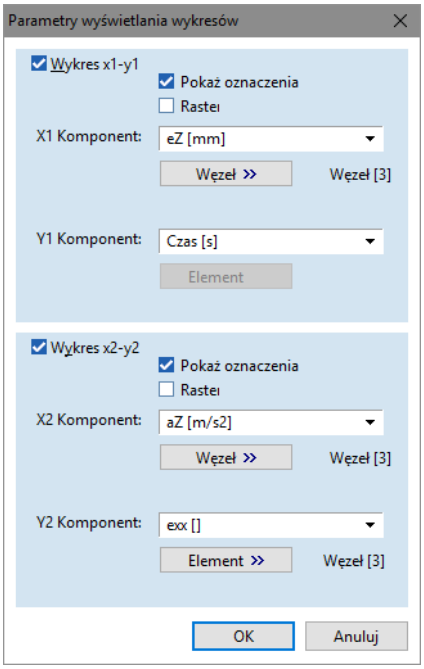


Tabela
Włącza/wyłącza tabelę z wartościami liczbowymi.

Ten sam zakres na obu osiach X
Jeżeli wybrano ten sam komponent X dla dwóch poziomych osi, to ich zakresy można ustawić tak samo.

Ten sam zakres na obu osiach y
Jeżeli wybrano ten sam komponent Y dla dwóch pionowych osi, to ich zakresy można ustawić tak samo.

Automatycznie skaluj w kierunku X
Ustawia poziomy zakres pomiędzy minimalnymi i maksymalnymi wartościami X.

Automatycznie skaluj w kierunku Y
Ustawia pionowy zakres pomiędzy minimalnymi i maksymalnymi wartościami Y.

Kontrola odstępu
Włącza/wyłącza zielone prostokąty kontroli odstępu na dolnym suwaku. Przeciągnięcie ich zmienia wyświetlany zakres przyrostów lub czasu.

Wybierz bieżący przyrost w aktywnym widoku
Wczytuje aktualnie wybrany na wykresie przypadek, kombinację, przyrost lub krok czasu do okna aktywnego (dostępne tylko w trybie wielu okien).

Wybierz bieżący przyrost we wszystkich widokach
Wczytuje aktualnie wybrany na wykresie przypadek, kombinację, przyrost lub krok czasu do wszystkich okien.

6.1.4 Krzywe nośności „pushover”

To okno jest aktywne tylko, jeżeli dostępne są wyniki analizy „pushover”. Ułatwia ono użytkownikowi określenie krzywej nośności i docelowego przemieszczenia w zależności od charakterystyki ruchów podłoża.

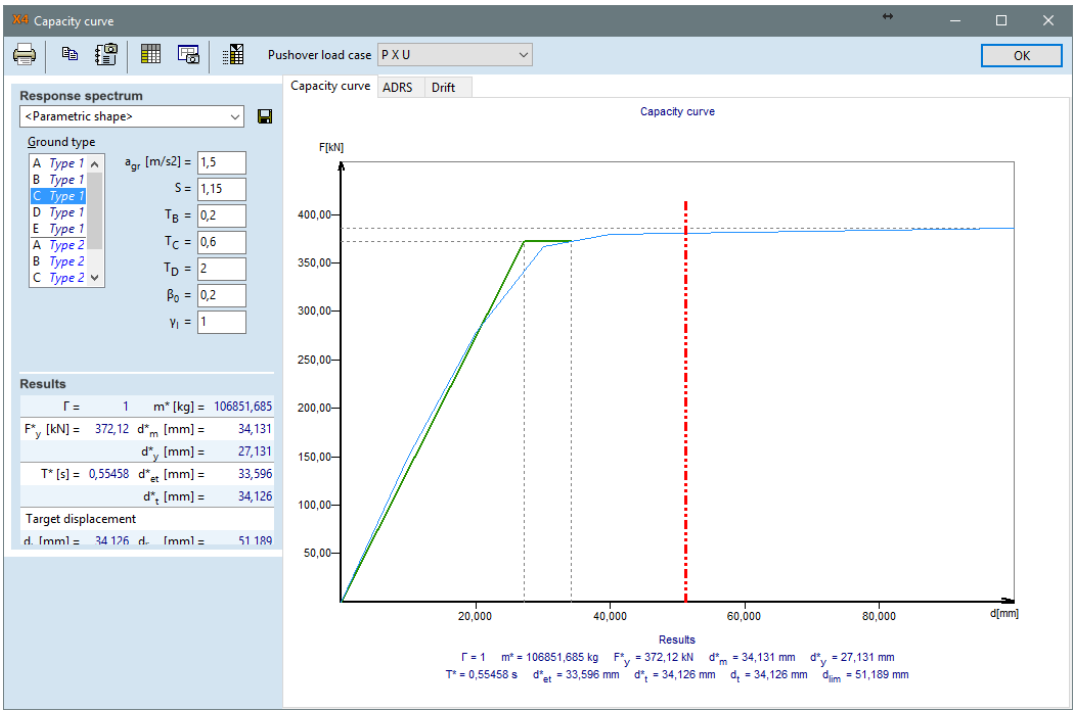
Rozwijana lista u góry okna umożliwia użytkownikowi wybranie przypadku obciążenia pushover do analizy. Wyniki oparte są na spektrum odpowiedzi przyspieszenie-przemieszczenie o właściwościach określonych po lewej stronie okna dialogowego. Są one identyczne z właściwościami spektrum odpowiedzi użytymi w przypadku obciążeń sejsmicznych (**Patrz...** *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*). Główne wyniki obliczeń są wyświetlane zarówno u dołu po lewej stronie okna dialogowego oraz pod wykresami.

Domyślnie okno wyświetla krzywą nośności dla Układu Wielu Stopni Swobody (MDOF – ang. Multi Degree of Freedom System) oraz ekwiwalentnego Układu Pojedynczego Stopnia Swobody (SDOF – ang. Single Degree of Freedom System).

Jasnoniebieska krzywa to krzywa nośności ekwiwalentnego układu z pojedynczym stopniem swobody (SDOF). Posiada ten sam kształt co ciemniejsza niebieska krzywa dla układu z wieloma stopniami swobody (MDOF). Jej punkty powstają w wyniku podziału wartości odpowiadającej siły i przemieszczenia krzywej MDOF przez Γ.

Zazwyczaj punktem końcowym obu krzywych nośności jest punkt odpowiadający maksymalnemu przemieszczeniu (podzielony przez Γ dla krzywej SDOF) ustawionemu przez użytkownika na początku nieliniowej analizy statycznej

Powstała krzywa na rysunku poniżej pokazuje, że konstrukcja jest zdolna nawet do większego przemieszczenia, gdyż bazowa siła tnąca (pionowa oś) wzrasta wraz ze wzrostem przemieszczeń. Maksymalna wartość siły tnącej może być wyznaczona tylko, gdy przemieszczenie docelowe zostało określone jako wystarczająco duże podczas nieliniowej analizy pushover.



Pasek narzędzi

Drukuj rysunek
Drukuje bieżący wykres

Kopiuj do schowka
Kopiuje bieżący wykres do schowka.

Dodaj rysunek do Galerii
Zapisuje bieżący wykres w Galerii, aby udostępnić go do tworzenia raportów.

Tabela
Włącza/wyłącza tabele z wartościami liczbowymi.

Dodaj do Biblioteki Rysunków
Zapisuje bieżący wykres w Bibliotece Rysunków, aby udostępnić go do tworzenia raportów.

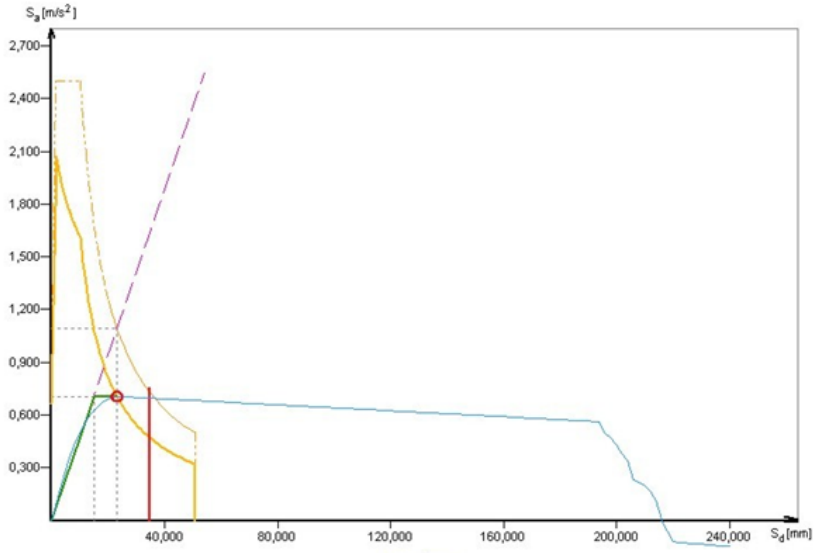
Parametry sejsmiczne
Wyświetla tabelę z bezwzględnymi i względnymi przemieszczeniami kondygnacji oraz inne parametry.

6.1.4.1 Krzywe nośności wg Eurokodu 8

Wszystkie wyniki bazują na metodzie N2 (**Patrz 11.32)** zalecanej w Załączniku B Eurokodu 8. Dwuliniowa zależność siła-przemieszczenie dla układu SDOF (zielona krzywa) obliczana jest przez wzięcie siły w przemieszczeniu docelowym (d_t*) jako siły, która odpowiada plastyczności (F_y*) i definiuje przemieszczenie plastyczne (d_y*) za pomocą ekwiwalentnego prawa energii deformacji.
Pionowa czerwona linia znakuje 150% docelowego przemieszczenia (d_t) zgodnie z Eurokodem 8 (4.3.3.4.2.3). Zazwyczaj, jeżeli zdolność deformacji konstrukcji znajduje się nad tym poziomem (linia punktowo-kreskowa), to spełnia ona wymogi zdolności deformacji. W przeciwnym wypadku (linie ciągłe) nie spełnia tych wymogów.

6.1.4.2 Spektrum odpowiedzi przyspieszenie-przemieszczenie (ADRS)

Spektrum odpowiedzi przyspieszenie-przemieszczenie (ADRS) zostaje wyświetlone przez przełączenie się na zakładkę ADRS w oknie dialogowym. Wyświetlane są tutaj spektra ADRS sprężyste (przerywana żółta linia) i niesprężyste (żółta linia) oraz krzywe nośności SDOF (niebieska linia) i ekwiwalentne dwuliniowe krzywe nośności (zielona linia).
Oddzielna linia zakreśla okres drgań własnych odpowiadający sprężystemu zachowaniu konstrukcji. Przecięcie nośności i wymogu odnoszącego się do przemieszczenia docelowego zaznaczone jest za pomocą czerwonego okręgu.



Wyniki

Zmienne oznaczone gwiazdką (*) reprezentują zachowanie układu SDOF, podczas gdy pozostałe odnoszą się do układu MDOF.

Γ	Współczynnik transformacji do obliczeń charakterystyk układu SDOF
m^*	Masa ekwiwalentnego układu SDOF
F_y^*	Bazowa siła tnąca przy przemieszczeniu d_m^* ekwiwalentnego układu SDOF oraz siła plastyczności sprężysto-idealnie plastycznej relacji siła-przemieszczenie

d_m* Ostateczne przemieszczenie wyidealizowanej dwuliniowej zależności siła-przemieszczenie (niekoniecznie ostateczne przemieszczenie układu SDOF ze względu na procedurę iteracyjną metody N2)

d_y* Przemieszczenie plastyczne wyidealizowanej dwuliniowej zależności siła-przemieszczenie

T* Okres drgań własnych ekwiwalentnego układu SDOF

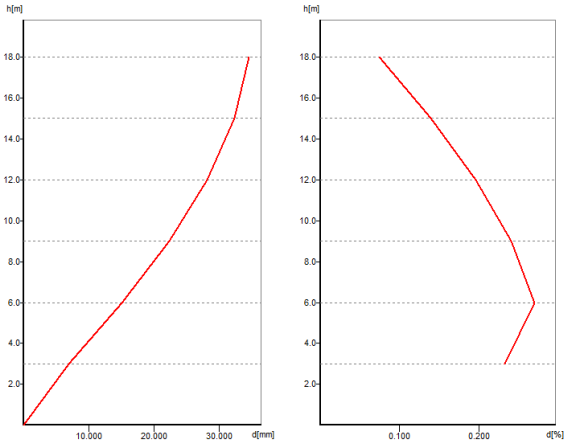
d_{et}* Docelowe przemieszczenie ekwiwalentnego układu SDOF z okresem T* i nieograniczonym zachowaniem sprężystym

d_t* Docelowe przemieszczenie ekwiwalentnego układu SDOF uwzględniając niesprężyste zachowanie
Reprezentuje koniec zielonej dwuliniowej krzywej nośności

d_t Docelowe przemieszczenie układu MDOF uwzględniając niesprężyste zachowanie

6.1.4.3 Przesunięcie

Na zakładce *Przesunięcie* wyświetlane są wykresy przesunięć bezwzględnych oraz stopień względnych przemieszczeń kondygnacji (międzykondygnacyjne przesunięcie). Wykres bezwzględnego przesunięcia przedstawia poziome przemieszczenie środka ciężkości kondygnacji względem podłoża. Wykres stopnia międzykondygnacyjnego przesunięcia przedstawia przesunięcie międzykondygnacyjne wyrażony jako procent wysokości kondygnacji. Drugi wykres ułatwia sprawdzenie, czy konstrukcja spełnia wymogi Eurokodu 8 dotyczące ograniczenia przesunięcia.
Kliknięcie na przycisk *Parametry sejsmiczne* na pasku narzędzi umożliwia wyświetlenie wartości liczbowych w tabeli razem z parametrami sejsmicznymi kondygnacji.

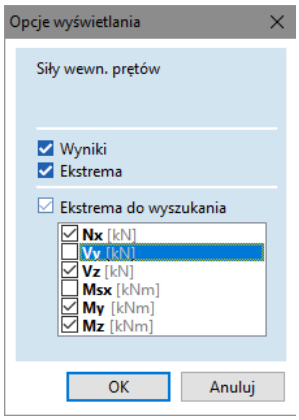


6.1.5 Tabele wyników

Przeglądarka tabel umożliwia wyświetlenie wartości liczbowych wyników w tabeli w dostosowywalnej formie. Jeżeli wybrane zostały fragmenty, tabela wyświetli wartości odpowiadające aktywnym fragmentom. Jeżeli wybrane zostały elementy, tabela domyślnie wyświetli tylko wybrane elementy.
Zakres elementów na liście można zmienić, klikając na przycisk *Filtrowanie właściwości* na pasku narzędzi Przeglądarki tabel.
Dane można przenieść do innych aplikacji poprzez schowek. **Patrz...** *2.9 Przeglądarka tabel*

Ustawienie *Opcje wyświetlania / Etykiety / Użyj numeracji elementów skończonych* steruje nie tylko etykietami, ale również sposobem w jaki przedstawiane są wyniki.
Jeżeli ta opcja na przykład jest włączona, to siły wewnętrzne dla pręta można znaleźć w Przeglądarce tabel w *WYNIKI / Analiza liniowa / Siły wewnętrzne / Elementy skończone / Siły wewn. prętów*.
Wyniki są wylistowane wg elementów skończonych.
Jeżeli ta opcja jest wyłączona, to ścieżka do wyników sił wewnętrznych jest następująca *WYNIKI / Analiza liniowa / Siły wewnętrzne / Siły wewn. prętów* a wyniki są przedstawione wg elementów konstrukcyjnych.

Wyświetlanie wyników
[Ctrl]+[R]



Po wywołaniu *Przeglądarki tabel* można wybrać szczegółową tabelę i/lub ekstrema oraz wybrać komponenty, dla których wartości ekstremalne mają zostać wyświetlone. To okno dialogowe można później wywołać poprzez *Format / Opcje wyświetlania wyników.*

Wyniki Odznaczenie tej opcji usuwa szczegółowe wyniki pozostawiając ekstremalne wartości jako jedyną zawartość tabeli.

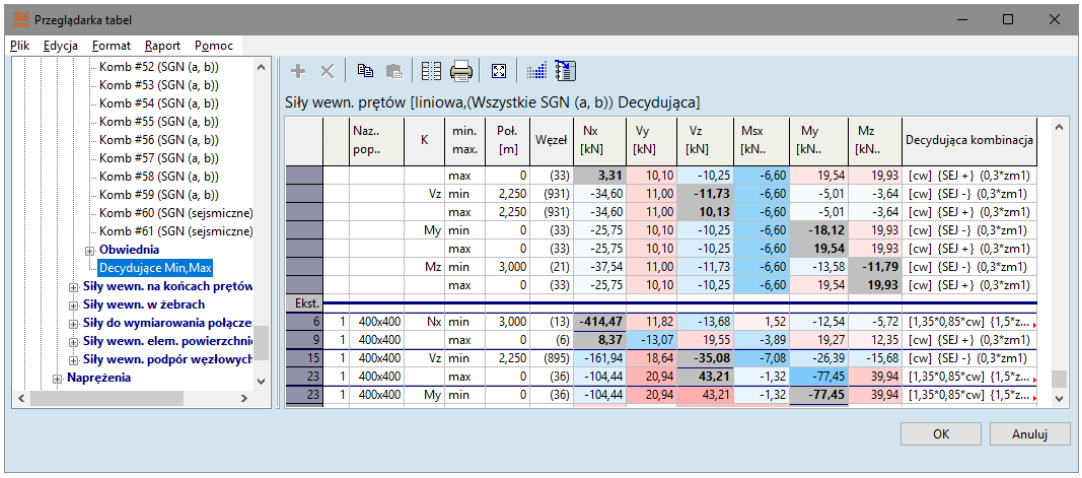
Ekstrema Odznaczenie tej opcji usuwa podsumowanie ekstremalnych wartości z końca tabeli.

Ekstrema do wyszukania

Początkowy zestaw komponentów do wyszukania, określony jest na podstawie widocznych kolumn w tabeli z wynikami. Użytkownik może sam ustawić, które kolumny (komponenty wyników) powinny być widoczne w tabeli z wynikami. Tylko widoczne komponenty wyników będą automatycznie zaznaczone do wyszukania w oknie dialogowym.
Umożliwia ustawienie komponentów, dla których mają zostać znalezione *wartości ekstremalne (maksimum i minimum)*. Pośród wartości minimalnych i maksymalnych wyświetlane są także towarzyszące wartości innych komponentów wyników, jeżeli wartości minimalne/maksymalne występują w pojedynczym położeniu lub inaczej. Jeżeli istnieje wiele położeń, pojawi się symbol *****, a w kolumnie Poł. (Położenie) wyświetlone zostanie pierwsze wystąpienie wartości ekstremalnej.

Podczas wyświetlania *Wyników kombinacji decydujących*, dodatkowo oprócz wartości minimalnych i maksymalnych, zawarte zostaną przypadki obciążeń, które prowadzą do wartości decydujących wraz z następującymi adnotacjami:

[...] reprezentuje wyniki stałego przypadku obciążenia.
{ ... } reprezentuje wyniki zmiennego przypadku obciążenia.
(...) reprezentuje wyniki wyjątkowego przypadku obciążenia.



Filtrowanie właściwości

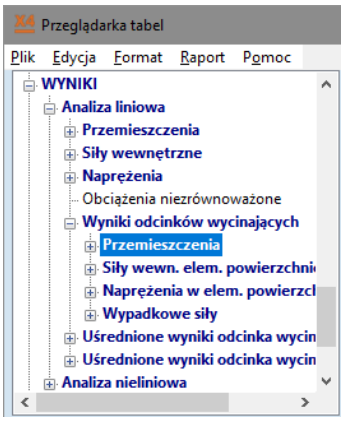
Aby uzyskać szczegółowe informacje, patrz... *2.9 Przeglądarka tabel*

Drukuj
[Ctrl]+[P]

Kliknięcie na przycisk *Drukuj* lub wybranie z menu *Plik / Drukuj* wyświetli okno dialogowe drukowania. **Patrz...** *3.1.12 Drukuj.*

6.1.5.1 Tabele z wynikami odcinków wycinających

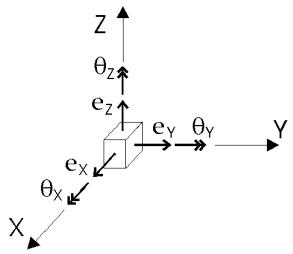
Jeżeli w modelu zdefiniowane są odcinki wycinające, to tabele wyników dla odcinków wycinających pojawią się w węźle listy opisanym jako WYNIKI.
Te tabele zawierają listę wartości komponentów wyników wzdłuż aktywnego (wyświetlonego) odcinka wycinającego. Wewnętrzne punkty z wynikami odcinków zostaną utworzone w miejscu, gdzie płaszczyzna wycinająca przecięła krawędzie elementów skończonych.



6.1.6 Przemieszczenia

Węzeł

W każdym węźle otrzymuje się sześć składowych przemieszczeń węzłowych (trzy przesunięcia i trzy obroty) w globalnym układzie współrzędnych.
Określone zostają także wynikowe wartości przesunięć (eR) i obrotów (θR).



Wyświetlania przemieszczeń wspornika (model tarczowy):

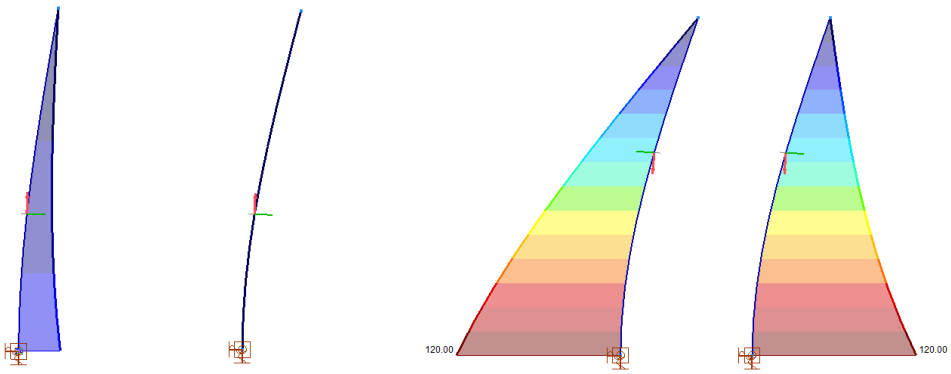
☞ **W niektórych przypadkach może wydawać się, że przemieszczenia i odpowiadające im siły wewnętrzne dla tych samych kombinacji decydujących lub obwiedni są nieodpowiednie.**

Możliwe są dwie przyczyny takiego zjawiska:

- wyniki dla przemieszczeń i sił wewnętrznych wyznaczone zostały dla różnych zestawów sił zewnętrznych (np. SGN oraz SGU), dlatego wyniki te nie mogą być interpretowane łącznie.
- wyniki przemieszczeń na modelu globalnym wyświetlane są w układzie globalnym, a siły wewnętrzne zawsze odpowiadają lokalnemu układowi współrzędnych elementu (pręta, obszaru, pręta wirtualnego itd.). W tym przypadku konieczne jest porównanie wyników we właściwym układzie współrzędnych.

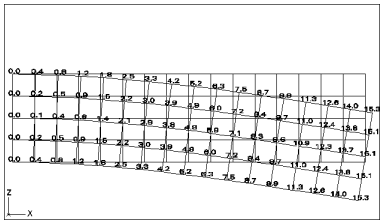
Poniżej przedstawiono wspomniane zjawiska na prostych przykładach. Siły wewnętrzne pokazane zostały na zdeformowanym kształcie elementu prętowego.

1. 2. 3.

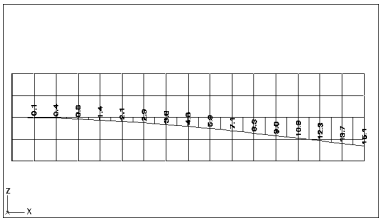


1. Dla decydujących kombinacji lub obwiedni z kombinacji strona rozciągana pręta wydaje się być nieprawidłowa patrząc na siły wewnętrzne i przemieszczenia. W tym przypadku wyniki przemieszczeń i sił wewnętrznych są niespójne, bo pochodzą z różnych typów kombinacji (SGN dla sił wewnętrznych i SGU dla przemieszczeń).
2. Ten przypadek również pokazuje wpływ różnych kombinacji obciążeń na siły wewnętrzne i przemieszczenia. Siła wewnętrzna wynosi zero, ale postać zdeformowana elementu jest wyraźna.
3. Ostatni przypadek pokazuje konsekwencje przyjęcia różnych układów współrzędnych i ich wpływ na wyniki z obwiedni kombinacji. Przyłożona siła i uzyskane przemieszczenie jest takie samo w obu prętach. Taka sama jest również siła wewnętrzna, choć w jednym przypadku wykres narysowany został po drugiej stronie pręta, co spowodowane zostało przez odwrotnie zdefiniowaną oś -z- układu lokalnego pręta. Tak narysowany wykres siły wewnętrznej może wydawać się sprzeczny z odkształceniem pręta i rozciąganą stroną jego przekroju. Sytuacja taka może pojawić się również dla kombinacji sejsmicznych.

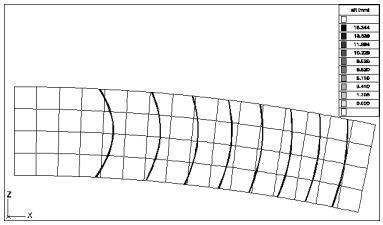
Wykres z wartościami węzłowymi



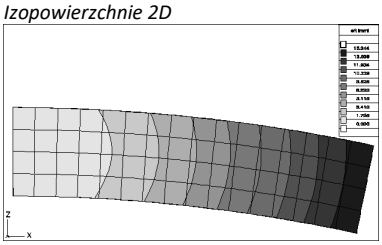
Wycinek z wartościami węzłowymi



Izolinie



Izopowierzchnie 2D

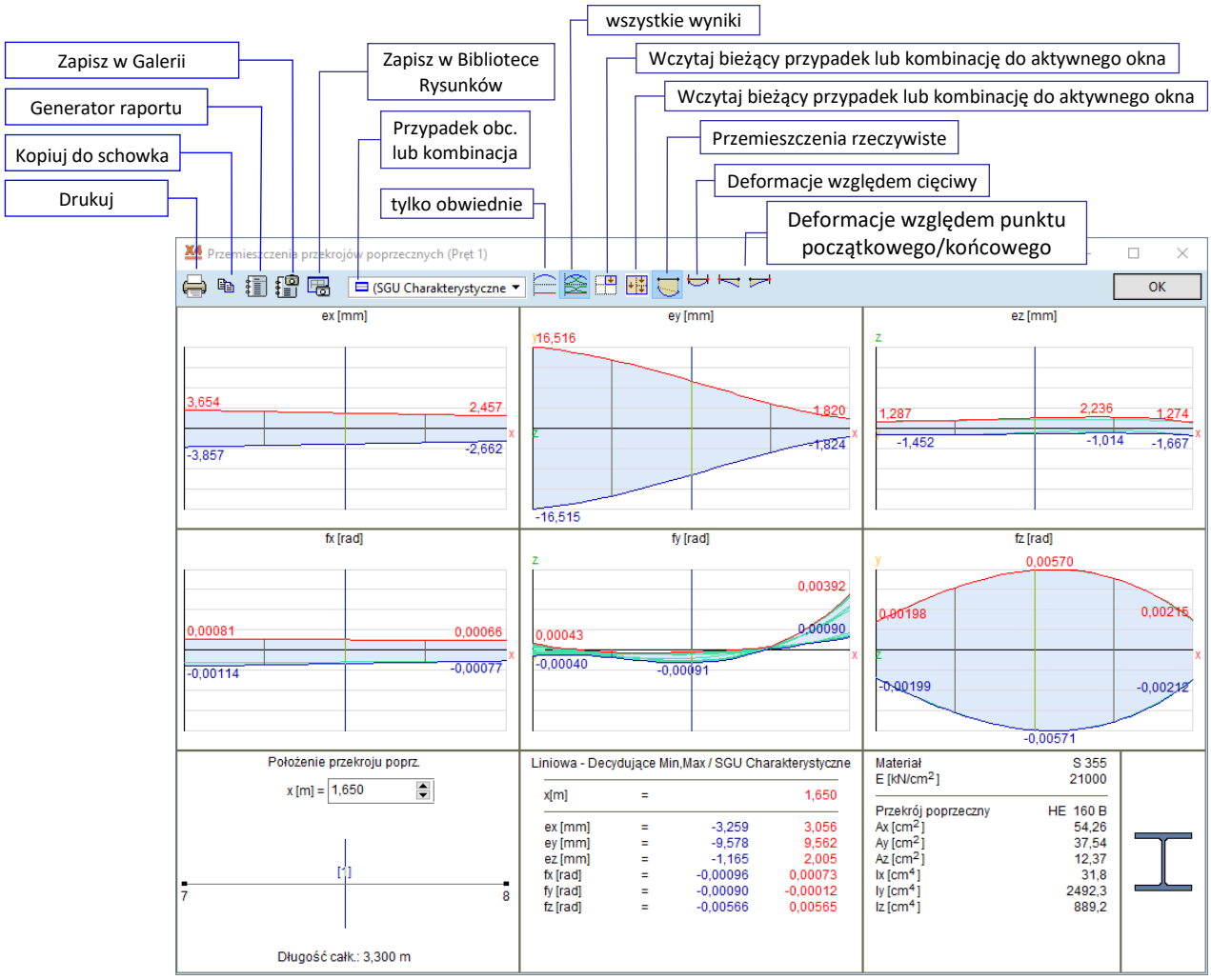


Pręt

Dla każdego elementu prętowego otrzymuje się pośrednie przemieszczenia w lokalnych i globalnych układach współrzędnych. Podczas wyświetlania przemieszczeń konstrukcji, przemieszczenia prętów odnoszą się do **globalnego** układu współrzędnych. Klikając kursorem na elemencie prętowym wyświetlone zostaną w formie wykresu sześć składowych przemieszczeń prętowych, odnoszących się do **lokalnego** układu współrzędnych elementu.
Jeżeli model zawiera pręt 7DOF (*4.9.8.3 Pręt z siedmioma stopniami swobody (moduł 7DOF)* pojawi się dodatkowy wykres w = dfx/dx, czyli specjalny rodzaj obrotu interpretowany w układzie lokalnym elementu.

Możliwe jest wyświetlenie przemieszczeń więcej niż jednego elementu prętowego, jeżeli:

a) Lokalne układy współrzędnych elementów są prawie lub całkowicie identyczne.
Patrz... *2.16.19.3 Rysunek* / Kąt dla wyświetlania linii konturu
b) Kierunek x-lokalny jest taki sam.
c) Elementy są z tego samego materiału



Wyświetla tylko obwiednię

Wyświetla wyniki wszystkich przypadków / kombinacji obciążeń oraz obwiednię

Wczytuje bieżący przypadek lub kombinację obciążenia do aktywnego widoku w sytuacji, gdy utworzonych jest kilka widoków

Wczytuje bieżący przypadek lub kombinację obciążenia do wszystkich utworzonych widoków

Przemieszczenia rzeczywiste

Przemieszczenia względem punktów końcowych

Przemieszczenia względem lewego końca

Przemieszczenia względem prawego końca

Możliwe jest wyświetlenie wykresów odnoszących się do dowolnego przypadku lub kombinacji obciążeń, jak również obwiedni. Można również włączyć lub wyłączyć funkcję wyświetlania obwiedni i ustawić pozycję na długości elementu, gdzie mają zostać wyświetlone wyniki.

Zapisz wykresy w Bibliotece Rysunków

Wykresy skojarzone można zapisać w Bibliotece Rysunków. Rysunki z tej Biblioteki można wstawiać do raportów. Wprowadzenie zmian i przeprowadzenie ponownych obliczeń w modelu spowoduje zaktualizowanie wykresów w Bibliotece i raportach.

Tabele wyników

Patrz... *6.1.5 Tabele wyników*

6.1.6.1 Nieliniowe obliczenia ugięcia całkowitego (w_tot) dla płyt żelbetowych

Obsługiwane normy projektowe:
EN 1990:2002 A1.4.3, NEN-EN 1990 A1.4.3

W celu określenia ugięcia całkowitego (suma ugięć od obciążenia stałego, długotrwałego i od zmiennych) dla żelbetowej płyty, należy uzyskać różne typy ugięć poprzez przeprowadzenie szeregu nieliniowych analiz dla ustalonych kombinacji z uwzględnieniem oraz bez uwzględnienia pełzania.

NIE NALEŻY MYLIĆ TEGO ZAGADNIENIA Z OGÓLNĄ ANALIZĄ W STANIE ZARYSOWANYM, KTÓRA JEST POWSZECHNIE WYKORZYSTYWANA PRZY PROJEKTOWANIU USTROJÓW PŁYTOWYCH I KTÓRA DOSTĘPNA JEST W PROGRAMIE ZARÓWNO DLA PŁYT JAK I POWŁOK.

☞ **Obliczenia ugięcia całkowitego są dostępne tylko dla elementów skończonych typu płyta (nie powłoka) i tylko dla załącznika holenderskiego i belgijskiego do Eurokodów.**

Opcja *Uwzględnij zbrojenie w obliczeniach* w parametrach analizy nieliniowej musi być zawsze włączona.

Do wyznaczenia ugięcia całkowitego potrzebne są następujące wartości:

w1 *Początkowa część ugięcia od obciążenia stałego*
Uruchom nieliniową analizę
albo dla 1) stałego przypadku obciążenia
albo dla 2) kombinacji SGU charakterystycznej, częstej lub quasi-stałej (bez obciążeń zmiennych)
bez uwzględniania pełzania (φ = 0).

w2 *Długotrwała część ugięcia od obciążenia stałego*
Te same kombinacje SGU należy obliczyć zarówno z uwzględnieniem jak i bez uwzględnienia pełzania.
Składnik *w2* powstaje jako różnica z powyższych wyników.
Stała część kombinacji SGU musi zawierać te same przypadki obciążeń jak kombinacja użyta do wyznaczenia *w1*.

w3 *Dodatkowa część ugięcia od obciążeń zmiennych dla odpowiadających kombinacji*
Ta część musi być obliczona dla tych samych kombinacji SGU jakie wykorzystano do wyznaczenia *w1*, ale kombinacje muszą zawierać zmienne przypadki obciążeń. Obliczenia te należy wykonać również bez uwzględnienia pełzania.
Składnik *w3* powstaje jako różnica pomiędzy tymi dwoma wynikami.

wbij *wbij =w2+w3*

wtot *Ugięcie całkowite*
wtot = w1+w2+w3

Kroki obliczeń

1. Wygeneruj wszystkie kombinacje SGU jakie chcesz wziąć pod uwagę. Kombinacje *SGU quasi-stałe* muszą być uwzględnione zawsze.
Patrz... *4.10.2 Kombinacje obciążeń*

2. Uruchom nieliniową analizę statyczną dla tych wszystkich kombinacji **bez uwzględnienia** pełzania.

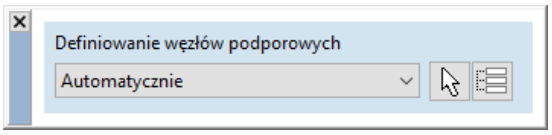
3. Uruchom nieliniową analizę statyczną dla kombinacji **SGU quasi-stałych z uwzględnieniem** pełzania.
Pamiętaj, że opcja *Uwzględnij zbrojenie w obliczeniach* musi być zawsze włączona. **Patrz...** *5.1 Analiza statyczna*

3. Wybierz predefiniowaną obwiednię *SGU Quasi-stała* lub zdefiniuj obwiednię z własnych kombinacji
Patrz... *6.1 Statyka*

4. Jeżeli obwiednia zawiera wszystkie niezbędne kombinacje, to program samodzielnie znajdzie zestawy kombinacji, które zawierają te same przypadki obciążeń stałych i wyznaczy wartości *w1*, *w2*, *w3*, *wbij* oraz wtot dla każdego zestawu. Dla poszczególnych wartości ugięć pojawią się odpowiednie wyniki *w1*, *w2*, *w3*, *wbij* oraz *wtot* na liście komponentów wyników.

6.1.6.2 Przemieszczenia względne

Jeżeli w modelu znajdują się obwiednie i zostało przeprowadzona analiz statyczna, to na zakładce *Statyka* pojawi się ikona *Przemieszczenie względne*. Polecenie to wyświetla przemieszczenia obszaru względem jego podpór.
Po kliknięciu w ikonę pojawia się następujące okienko dialogowe:



Wybór obszarów i węzłów podporowych

Dostępne są trzy metody służące do definiowania węzłów podporowych:

1. *Automatycznie*: węzły wybranych obszarów, do których przypisano podpory węzłowe, liniowe lub powierzchniowe będą traktowane jako węzły referencyjne do pomiaru przemieszczenia względnego, jeżeli mają niezerową sztywność w kierunku lokalnym –z- obszaru.
   Poniżesz węzły będą również uwzględniane jako węzły referencyjne:
   a. węzły wybranego obszaru lub obszarów z dochodzącymi słupami, jeżeli kąt między słupem a lokalną osią –z- obszaru jest mniejszy niż 45°,
   b. węzły wybranego obszaru lub obszarów z dochodzącymi ścianami, jeżeli kąt między lokalnym układem –z- ściany i obszaru jest większy niż 45°.
2. *Automatycznie (tylko płyty)*: Działa podobnie jak poprzednia metoda, ale ograniczona jest tyko do konstrukcji płyt (za płytę uważa się obszar poziomy, czyli taki, którego lokalna oś –z- jest równoległa do globalnej osi –Z-).
3. *Wybór*: użytkownik może wybrać zarówno obszary jak i węzły podporowe. Za węzły podporowe zostaną uznane tylko te, które leżą w płaszczyźnie obszaru.

Uwaga: Jeden region może mieć tylko jedną płaszczyznę referencyjną.

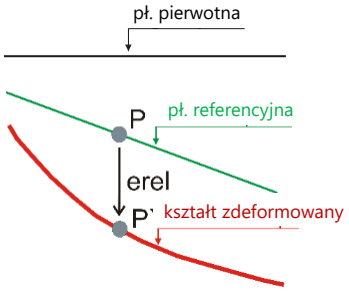
Wybierz obszary / węzły podporowe: Kliknij w tę ikonę, aby wybrać obszary. W trybie *Wybór* należy także w odpowiednim kroku wskazać węzły.

Obliczenia

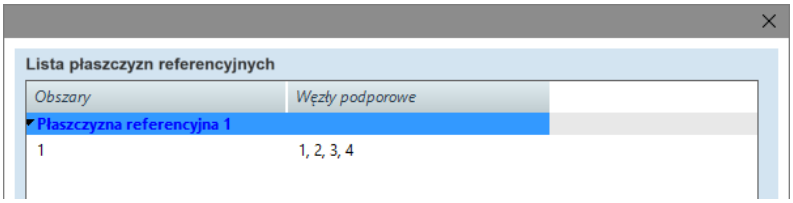
Płaszczyzna odniesienia jest wyznaczana na podstawie przemieszczonych węzłów podporowych. Sposób w jaki jest ona obliczana zależy od liczby węzłów podporowych.

1. *Brak węzła podporowego*: w takim przypadku płaszczyzna referencyjna nie może zostać przypisana do obszaru i wyniki nie będą dostępne.
2. *Jeden węzeł podporowy*: płaszczyzna referencyjna przechodzi przez przemieszczony węzeł, a jej normalna jest taka sama jak normalna obszaru.
3. *Dwa węzły podporowe*: płaszczyzna referencyjna przechodzi przez dwa przemieszczone węzły. Wektor w płaszczyźnie, prostopadły do linii biegnącej przez te węzły jest równoległy do analogicznego wektora w płaszczyźnie obszaru nieprzemieszczonego.
4. *Trzy lub więcej węzłów:* w takim przypadku płaszczyzna referencyjna przechodzi przez wszystkie trzy przemieszczone węzły.

Komponent wyników *e rel*, oznaczający przemieszczenie względne obszaru jest określony na obrazku obok jako odległość między punktem *P* a *P'*. Punkt *P* powstaje w wyniku przecięcia płaszczyzny referencyjnej przez prostą prostopadłą do pierwotnej płaszczyzny (nieprzemieszczonej) obszaru, która to prosta zostaje wyprowadzona z punktu *P'*.
Komponent *e rel* może być wyświetlony dla dowolnego przypadku obciążenia, kombinacji, obwiedni czy kombinacji decydujących.



Lista płaszczyzn referencyjnych: Wyświetla listę płaszczyzn referencyjnych dla których wartości *e rel* zostały obliczone, a także podaje przynależne do danej płaszczyzny obszary i węzły podporowe. Zaznaczone płaszczyzny referencyjne można usunąć poprzez kliknięcie przycisku *Usuń* w dolnej części okna dialogowego lub przez naciśnięcie klawisza **[Delete]**.



Tabele z wynikami

Patrz... *6.1.5 Tabele wyników*

Zapisz wykresy do Biblioteki rysunków

Wyniki przedstawione w formie graficznej mogą zostać zapisane w standardowy sposób w Bibliotece rysunków.

6.1.7 Prędkości węzłowe

Analiza dynamiczna dostarcza sześć składowych prędkości węzłowych w globalnym układzie współrzędnych (trzy przesuwy i trzy obroty) dla każdego węzła. Wyznaczane są również wartości wypadkowe dla przesuwu (vR) oraz obrotu (vRR).

6.1.8 Przyspieszenia węzłowe

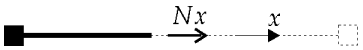
Analiza dynamiczna dostarcza sześć składowych przyspieszeń węzłowych w globalnym układzie współrzędnych (trzy przesuwy i trzy obroty) dla każdego węzła. Wyznaczane są również wartości wypadkowe dla przesuwu (aR) oraz obrotu (aRR).

6.1.9 Siły wewn. prętów / prętów kratowych

Pręt kratowy

Wewnętrzne siły osiowe (N_x) obliczane są dla każdego pręta kratowego.

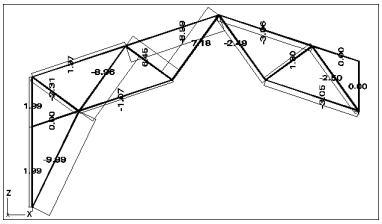
Dodatnia siła normalna odpowiada rozciąganiu, a ujemna siła normalna odpowiada ściskaniu.



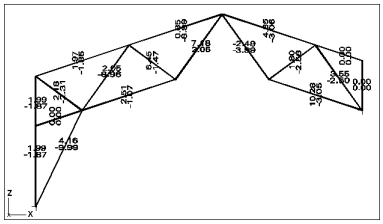
Wyświetlając wyniki *Obwiedni* i *Kombinacji decydującej* można równocześnie wyświetlić wartości minimalne i maksymalne.

Wyświetlanie sił wewnętrznych dźwigara kratowego:

Wykres Nx

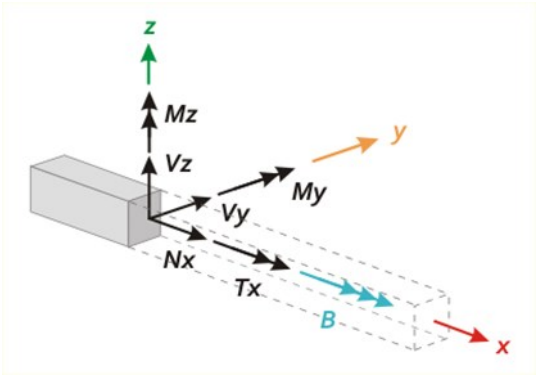


Obwiednia Nx min/max



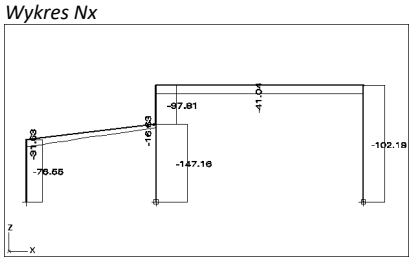
Pręt

W pośrednich przekrojach poprzecznych każdego elementu obliczane są trzy ortogonalne siły wewnętrzne: jedna siła normalna i dwie siły tnące (Nx, Vy, Vz) oraz trzy momenty wewnętrzne: jeden skręcający i dwa zginające (Tx, My, Mz). Dla pręta 7 DOF obliczany jest również dodatkowo bimoment (B).
Siły wewnętrzne powiązane są z lokalnym układem współrzędnych elementu, a konwencje znaków dodatnich stosuje się tak jak na powyższym rysunku. Wykresy momentów rysowane są po stronie rozciąganej elementów prętowych.

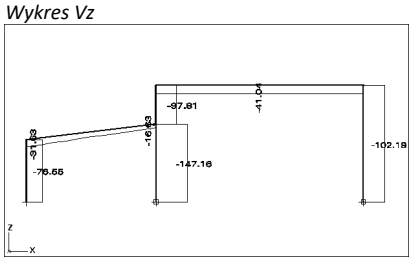


Wyświetlanie sił wewnętrznych ramy:

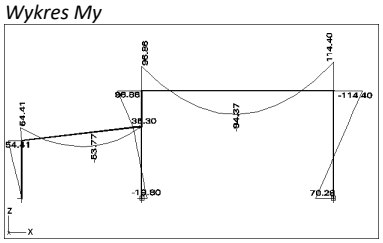
Wykres Nx



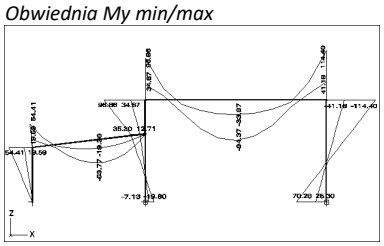
Wykres Vz



Wykres My

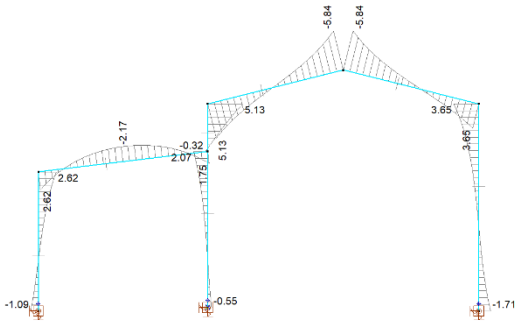


Obwiednia My min/max

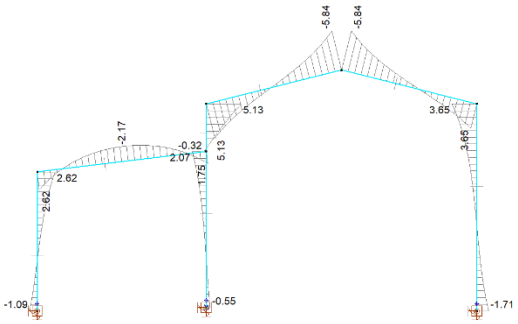


Dla prętów 7DOF

Wykres B



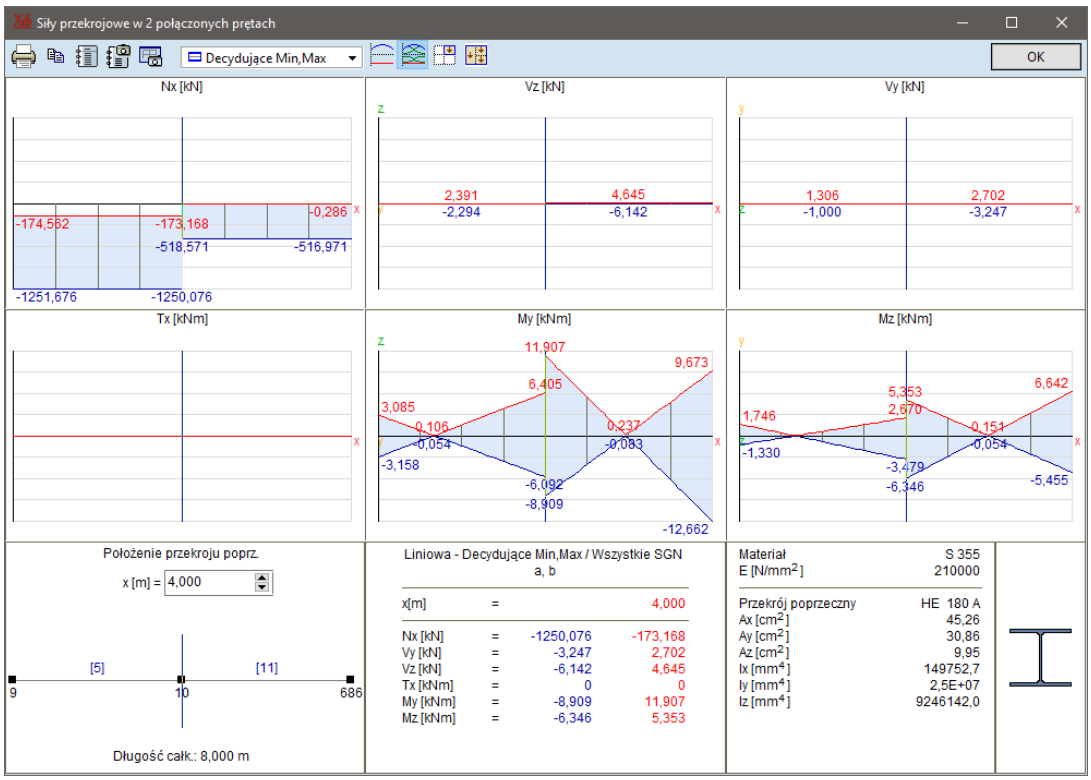
Wykres B min/max



Wyświetlanie sił wewnętrznych

Możliwe jest jednoczesne wyświetlenie sił wewnętrznych dla więcej niż jednego elementu prętowego, jeżeli:

a) odchylenie kątowe ich lokalnych osi -x- oraz -z- nie przekracza wartości maksymalnych określonych w oknie dialogowym **Parametry wyświetlania** / Ustawienia inne...
b) elementy wykonane są z tego samego materiału

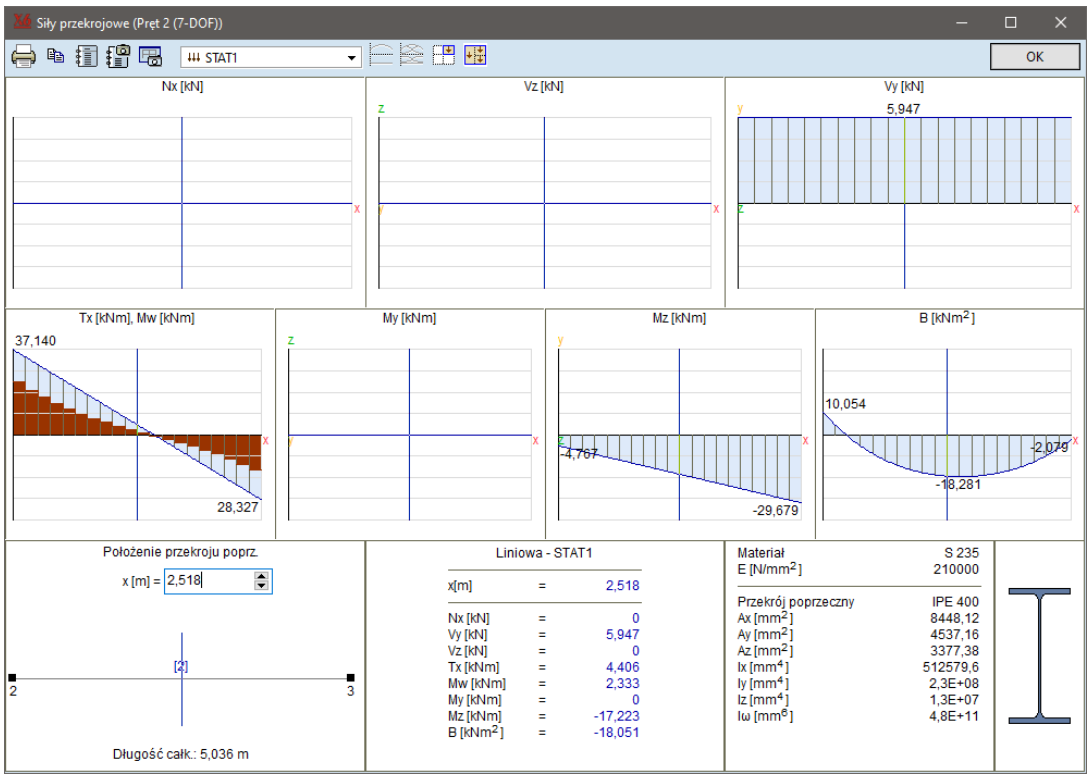


Wybierając obwiednie lub decydującą kombinację obciążeń, wyświetlone zostaną minimalne i maksymalne wartości sił wewnętrznych, pośrednich przekrojów poprzecznych na wybranym pręcie.

Możliwe jest wyświetlenie wykresów odnoszących się do dowolnego przypadku lub kombinacji obciążeń, jak również obwiedni. Można również włączyć lub wyłączyć funkcję wyświetlania obwiedni i ustawić pozycję na długości elementu, gdzie mają zostać wyświetlone wyniki.

Wykresy dla prętów 7DOF

Oprócz sił i momentów *Nx, Vy, Vz, Tx, My, Mz* wyświetlany jest także wykres dla bimomentu *B*. Wykres *Tx* pokazywany dla przypadku i kombinacji obciążeń wyświetla również moment giętno-skrętny *Mw*.



Zapisz wykresy w Bibliotece Rysunków

Wykresy skojarzone można zapisać w Bibliotece Rysunków. Rysunki z tej Biblioteki można wstawiać do raportów. Wprowadzenie zmian i przeprowadzenie ponownych obliczeń w modelu spowoduje zaktualizowanie wykresów w Bibliotece i raportach.

Tabele wyników

Dostępne są trzy różne tabele.

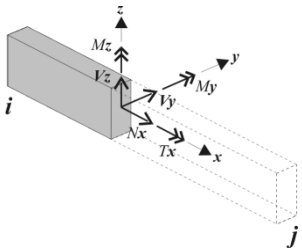
Siły wewn. prętów	wyświetla wartości sił wewn. wzdłuż pręta
Siły wewn. na końcach prętów	wyświetla wartości sił wewn. tylko na początku i końcu pręta
Siły do wymiarowania połączeń	wyświetla listę sił w węzłach połączonych żeber/prętów/pr. kratowych

Jeżeli wartości min/max występują w pojedynczym położeniu, wyświetlone zostaną towarzyszące wartości składowych sił wewnętrznych lub symbol * (w przypadku wielokrotnego występowania). Wyświetlone zostanie również wystąpienie takiego położenia.

Patrz... *6.1.5 Tabele wyników*

6.1.10 Siły wewn. żeber

W węzłach każdego elementu obliczane są trzy ortogonalne siły wewnętrzne, jedna siła normalna i dwie siły tnące (N_x, V_y, V_z) oraz trzy momenty wewnętrzne, jeden skręcający i dwa zginające (T_x, M_y, M_z). Żebro można wykorzystać oddzielnie (niepołączone z elementem powierzchniowym) lub w połączeniu z elementem powierzchniowym.
Siły wewnętrzne odnoszą się do lokalnego układu współrzędnych elementu, położonego w środku ciężkości przekroju poprzecznego, a konwencje znaków dodatnich zastosowane są tak jak na rysunku powyżej.



Wykresy momentów rysowane są po stronie rozciąganej elementów żebrowych.
Jeżeli żebro połączone jest mimośrodowo z elementem powłoki, to w żebrze i powłoce pojawią się siły osiowe. W tym przypadku moment wymiarujący obliczany jest następująco:

$$M_{yD} = M_y + e_z * N_x$$

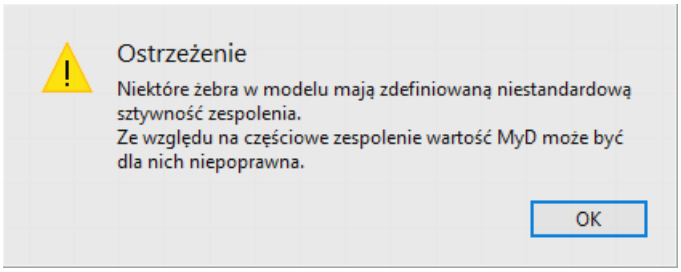
Założenia do wyznaczania wartości MyD

Moment do wymiarowania (M_{yD}) jest wyznaczany przez program zawsze (w poprzednich wersjach programu tylko dla wybranych zestawów materiałów żebro-płyta). Należy jednak pamiętać, że powyższa metoda wyznaczania jego wartości daje miarodajne wyniki, tylko przy poniższych założeniach:

- pomiędzy żebrem a powłoką jest w pełni sztywne zespolenie na ścinanie
- w żebrze nie występują znaczące siły podłużne oprócz tych wynikających ze zginania
- przekrój żebra jest na tyle wysoki względem płyty, że pominięcie momentu zginającego w płycie nie powoduje znaczącego błędu (moment zginający płyty nie jest uwzględniany w M_{yD})

Użytkownik powinien za każdym razem sprawdzić, czy powyższe warunki są spełnione.

M_{yD} jest również obliczany i wyświetlany w przypadku sprężystego zespolenia żebro-płyta, ale w takim przypadku wyświetlane jest ostrzeżenie podczas wyświetlania wyników dla M_{yD} (pojawia się tylko raz po wybraniu tego składnika po raz pierwszy po wykonaniu analizy)



Warunki wyznaczania siły V_{xz}

W przypadku ustawienia *Połączenia ścinanego* dla żebra jako *Sprężystego* oraz dla jego ustawienia w pozycji podciąg lub nadproże wyznaczana jest także V_{xz} - podłużna siła tnąca (rozwarstwiająca). Dla *Połączenia ścinanego* żebra ustawionego jako *Sztywne*, ten składnik wyników nie jest dostępny.

Wyświetlanie sił wewnętrznych

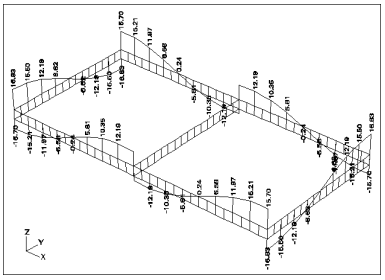
Możliwe jest jednoczesne wyświetlenie sił wewnętrznych dla więcej niż jednego żebra, jeżeli:

a) odchylenie kątowe ich lokalnych osi -x- oraz -z- nie przekracza wartości maksymalnych określonych w oknie dialogowym Parametry wyświetlania / Ustawienia inne...

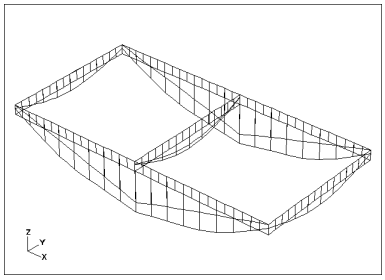
b) elementy wykonane są z tego samego materiału

Wyświetlanie sił wewnętrznych użebrowanej płyty:

Wykres Tx



Obwiednia My min/max



Tabele wyników

Patrz... *6.1.5 Tabele wyników*

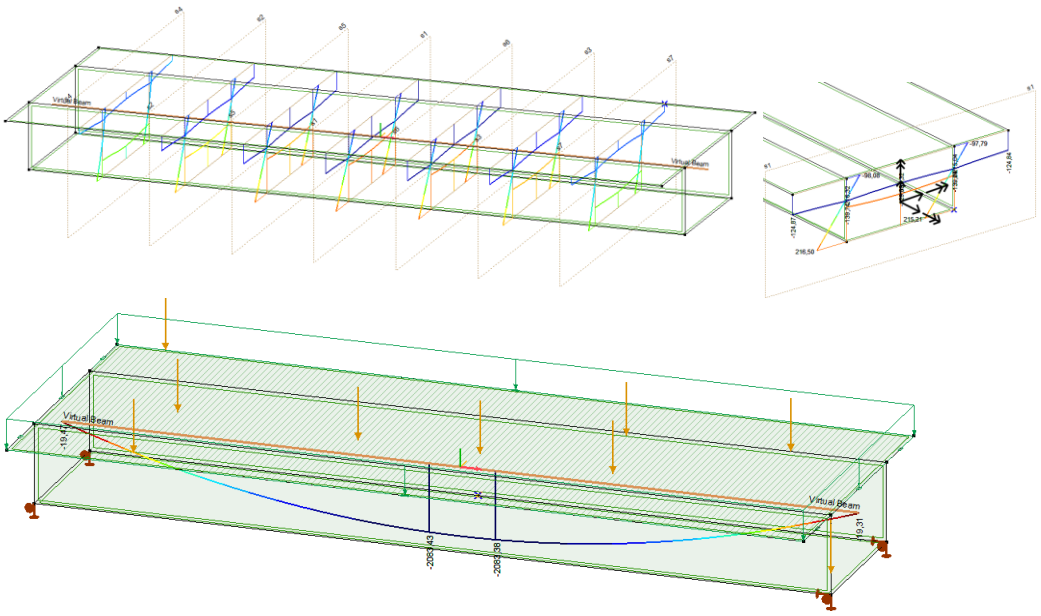
Potencjalne źródło błędów

Przy wyznaczaniu *MyD* zakłada się, że żebro jest połączone z elementem powierzchniowym. Jeżeli żebro znajduje się na krawędzi, gdzie dochodzi więcej niż jeden obszar, użytkownik musi upewnić się, że żebro to jest połączone z odpowiednim obszarem. Dlatego ważne jest, aby podczas definiowania żebra wskazać konkretny obszar (jeden lub dwa), który będzie do niego przypisany. Błędne jest na przykład przypisanie żebra do obszaru, w którym znajduje się otwór wzdłuż żebra.
Sprawdzenie jaki obszar został przypisany do żebra może zostać przeprowadzone poprzez wyświetlenie podpowiedzi, która pojawia się na zakładce *Elementy* po najechaniu kursorem na wybrane żebro.
Przypisywanie obszaru do żebra uwzględnia również widoczne w danym momencie fragmenty. Jeżeli żebro ma znaleźć się na krawędzi wielu obszarów, ale w danym momencie wyświetlany jest tylko jeden z nich (pozostałe są niewidoczne na modelu), to żebro zostanie automatycznie przypisanego do widocznego obszaru.

6.1.11 Siły wewnętrzne pręta wirtualnego

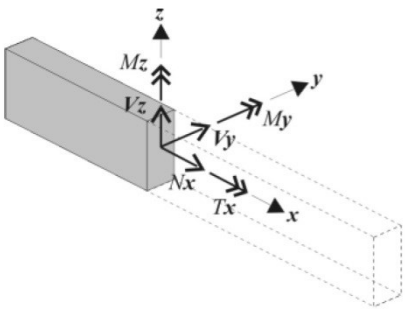
Obliczenia

Po zdefiniowaniu pręta wirtualnego (**Patrz...** *2.16.16 Pręt wirtualny*) program wyznacza środek ciężkości w każdym jego przekroju, w celu ustalenia linii środkowej. Skończona ilość przekrojów na tej linii zależy od geometrii, połączonych elementów i gęstości siatki. W każdym z nich siły przekrojowe są redukowane do punktu przecięcia linii środkowej i płaszczyzny przekroju. Po tej operacji rezultaty dla pręta wirtualnego rysowane są na jego linii środkowej.



Komponenty sił wewnętrznych

W każdym pośrednim przekroju poprzecznym każdego elementu wyznaczane są trzy prostopadłe siły wewnętrzne: osiowa i dwie tnące *(Nx, Vy, Vz)* oraz trzy wewnętrzne momenty: skręcający i dwa zginające *(Tx, My, Mz)*.
Siły wewnętrzne odnoszą się do lokalnego układu współrzędnych, a konwencja ich znakowania dla wartości dodatnich pokazana jest na rysunku obok. Wykresy momentów rysowane są po rozciąganej stronie elementów.



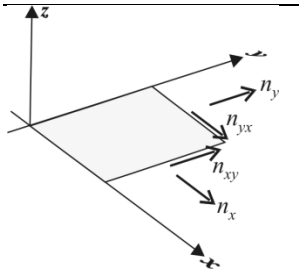
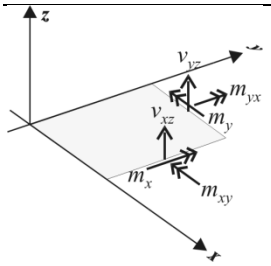
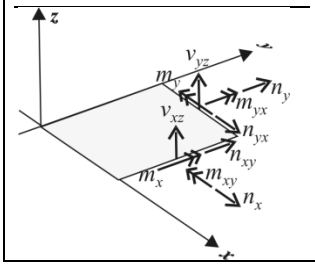
Wyniki tabelaryczne

Wyniki wylistowane są dla wszystkich przekrojów i podane we współrzędnych globalnych ich środka ciężkości.

6.1.12 Siły wewn. elementu powierzchniowego

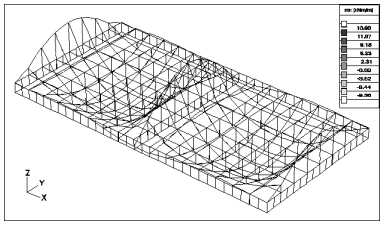
Siły wewnętrzne

Siły wewnętrzne i konwencja znaków dodatnich elementów powierzchniowych każdego typu, podsumowane zostały w poniższej tabeli.

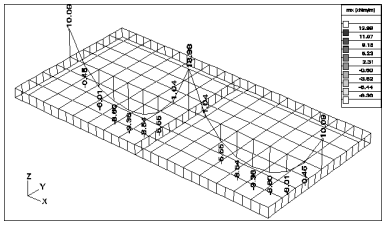
Elementy powierzchniowe			
Tarcza 	n_x n_y n_{xy}	*Płyta* 	m_x m_y m_{xy} v_{xz} v_{yz}
Powłoka 	n_x n_y n_{xy} m_x m_y m_{xy} v_{xz} v_{yz}		

Wyświetlanie sił wewnętrznych użebrowanej płyty:

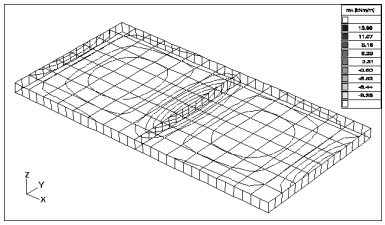
Wykres



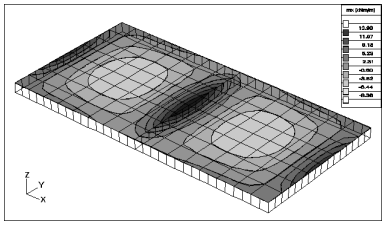
Wycinek



Izolinia



Izopowierzchnia 2D



☞ **Indeks x i y momentów w płycie wskazuje na kierunek normalnych naprężeń, które pojawiają się ze względu na odpowiadający moment, a nie oś obrotu.**

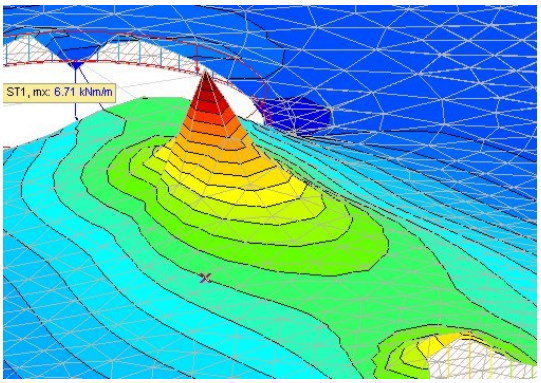
Tak więc, moment m_x obraca wokół lokalnej osi *y*, podczas gdy m_y wokół lokalnej osi *x*.
Wykresy momentów elementów płytowych i powłokowych rysowane są po stronie rozciąganej. Na górnej powierzchni (określonej przez lokalny kierunek *z*) znak jest zawsze dodatni, a na dolnej powierzchni znak jest zawsze ujemny.

Zmienność intensywności

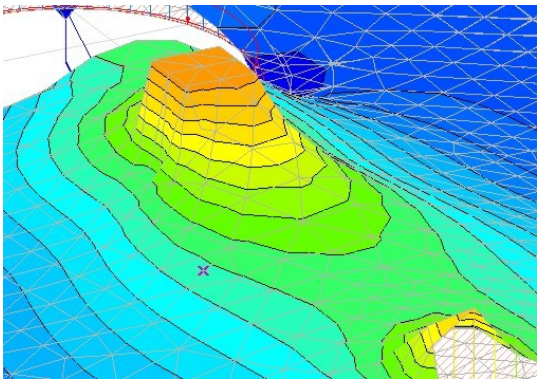
Metoda elementów skończonych jest metodą przybliżoną. W *warunkach normalnych*, wyniki są zbieżne z dokładnymi wartościami, gdy siatka jest odpowiednio zagęszczona.
Na wyniki wpływa zagęszczenie siatki (liczba elementów użytych w siatce), geometria elementów, warunki podparcia i obciążenia oraz wiele innych parametrów. Z tego względu niektóre wyniki będą względnie dokładne, podczas gdy inne wyniki wymagają od użytkownika określenia, czy spełniają warunki dokładności jakich oczekuje.
Wartości dla zmienności intensywności mają za zadanie ułatwienie wychwycenia regionów w modelu (siatka), gdzie dokładność wyników może być niesatysfakcjonująca, bez potrzeby przeprowadzania dodatkowej analizy. Ta metoda nie wskazuje, które wyniki są dobre, ale zaznacza zmienność intensywności z wysokimi magnitudami, gdzie zaleca się przeprowadzenie kontroli i/lub zagęszczenia siatki. Dopuszczalne wartości zmienności intensywności mogą być określone na podstawie praktyki.

Uśrednianie wyników w płycie nad słupami

Jeżeli modelowane są słupy połączone z płytami jako podpory węzłowe, nad podporami pojawią się duże wartości szczytowe momentów. W przypadku zastosowania gęstszej siatki, wierzchołki te zwiększą się ze względu na naturę metody elementów skończonych. Bardziej realistyczny model bierze pod uwagę, że słupy mają niezerowe pole powierzchni przekroju poprzecznego. Znając przekrój poprzeczny słupa, można wyrównać wierzchołki momentów. Jeżeli zaznaczono opcję *Dopasuj siatkę do głowicy słupa* (*4.11.1.2 Generowanie siatki obszaru*), siatka zastosuje się do przekroju poprzecznego słupów. Po włączeniu opcji *Utnij wierzchołki momentów nad słupami* w oknie dialogowym Parametry Wyświetlania (*6.1 Statyka*), wykresy momentów zostaną wyświetlone w trybie izopowierzchni 3D, jak na poniższym wykresie po prawej stronie.



Wykres bez uciętych wierzchołków momentów



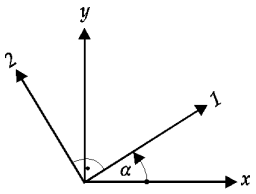
Wykres z uciętymi wierzchołkami momentów

Tabele wyników

Patrz... *6.1.5 Tabele wyników*

Siły główne

Główne siły wewnętrzne *n1, n2 oraz m1, m2* obliczane są zgodnie z ich kierunkami: *αn* oraz *αm*.
Kierunek siły głównej 1 oraz 2 mogą być również badane indywidualnie, poprzez wybranie składników wyników *αn1, αn2* oraz *αm1, αm2*.
Oprócz tego wyznaczany jest również składnik wypadkowej siły tnącej *vRz* z jego kierunkiem *αvRz*.

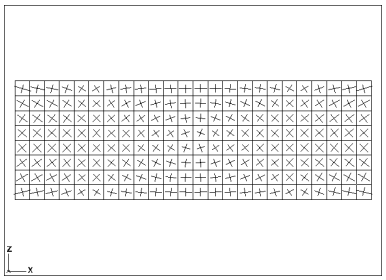


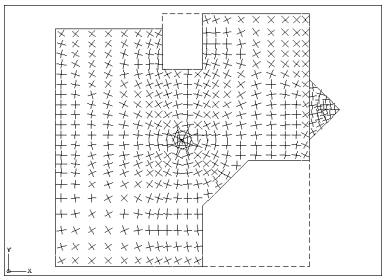
Obowiązuje następująca konwencja znaków:
$m_1 \geq m_2,\ n_1 \geq n_2,\ -90° < \alpha \leq +90°$ (względem lokalnej osi -x-)

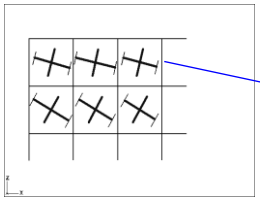
	Powłoka	
	Tarcza	Płyta
n_1	$n_1 = \frac{n_x + n_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{n_x - n_y}{2}\right)^2 + n_{xy}^2}$	—
n_2	$n_2 = \frac{n_x + n_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{n_x - n_y}{2}\right)^2 + n_{xy}^2}$	—
α_n	$\mathrm{tg}(2\alpha_n) = \frac{2n_{xy}}{n_x - n_y}$	—
m_1	—	$m_1 = \frac{m_x + m_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{m_x - m_y}{2}\right)^2 + m_{xy}^2}$
m_2	—	$m_2 = \frac{m_x + m_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{m_x - m_y}{2}\right)^2 + m_{xy}^2}$
α_m	—	$\mathrm{tg}(2\alpha_m) = \frac{2m_{xy}}{m_x - m_y}$
vRz	—	$vRz = \sqrt{v_{xz}^2 + v_{yz}^2}$
αvRz	—	$\alpha vRz = arctg\left(\frac{v_{yz}}{v_{xz}}\right)$

☞ **W przypadku elementów tarczowych w płaskim stanie odkształcenia, $n_z \neq 0$ i nie jest wyznaczana.**

Siły wewnętrzne mogą zostać wyświetlone w formie wykresów, wycinków, izolinii lub izopowierzchni. Kierunki główne (*αn, αn1, αn2, αm, αm1, αm2* oraz *αvRz)*) mogą być wyświetlone tylko w formie wykresów. Kolor i wielkość kierunku wektora określane są na podstawie wartości poszczególnych wewnętrznych sił głównych.
Jeżeli wewnętrzna siła główna jest ujemna to odpowiedni kierunek wektora jest ograniczony przez dwa odcinki prostopadłe do niego.







Tabele wyników **Patrz...** *6.1.5 Tabele wyników*

Siły dla zbrojenia

Dla elementów powierzchniowych obliczane są także siły i momenty do wymiarowania zbrojenia n_{xD}, n_{yD}, m_{xD}, m_{yD} zgodnie z poniższymi zasadami:

$$n_{xD} = n_x \pm |n_{xy}|, \qquad n_{yD} = n_y \pm |n_{xy}|$$
$$m_{xD} = m_x \pm |m_{xy}|, \qquad m_{yD} = m_y \pm |m_{xy}|$$

Siły do wymiarowania zbrojenia można wyświetlić w formie kolorowych wykresów, wycinków, izolinii lub izopowierzchni.

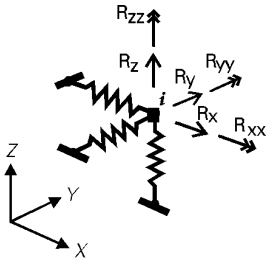
Zmienność intensywności

dnx, dny, dnxy, dmx, dmy, dmxy, dqx, dqy są bezwymiarowymi komponentami wyników, pokazującymi zmianę nasilenia w obrębie poszczególnych elementów skończonych. Różnica pomiędzy wartością maksymalną a minimalną w elemencie skończonym jest dzielona przez wartość odniesienia. Wartość odniesienia można ustawić wg jednej z poniższych opcji:

- Bezwzględne maksimum całego modelu dla bieżącego przypadku lub kombinacji obc.
- Bezwzględne maksimum aktywnych fragmentów dla bieżącego przypadku lub kombinacji obc.
- Wartość niestandardowa

Wartość odniesienia może zostać ustawiona w oknie Parametry wyświetlania (**Patrz...** *6.1 Statyka*)

6.1.13 Siły wewn. podpór



Dodatnie przemieszczenia i obroty powodują dodatnie wartości sił składowych podpory. Wydłużenie sprężyny podpory powoduje powstanie siły rozciągającej, podczas gdy skrócenie jej powoduje powstanie siły ściskającej.

Siły wewnętrzne mogą być wyświetlone w formie kolorowych wykresów. W przypadku podpór węzłowych, podczas wyświetlania ich w formie wykresu, składowe sił wewnętrznych reprezentowane są jako wektory.

Wypadkowe siły wewnętrzne R_{eR}, $R\theta_R$ obliczane są następująco:

$$R_{eR} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}, \qquad R_{\Theta R} = \sqrt{R_{xx}^2 + R_{yy}^2 + R_{zz}^2}$$

Rxyz oraz Rxxyyzz to komponenty wyników odnoszące się specjalnego trybu ich prezentacji, gdzie wyświetlane są równocześnie wszystkie siły i momenty podporowe, reprezentowane przez trzy strzałki skierowane w odpowiadającym kierunku lokalnym.

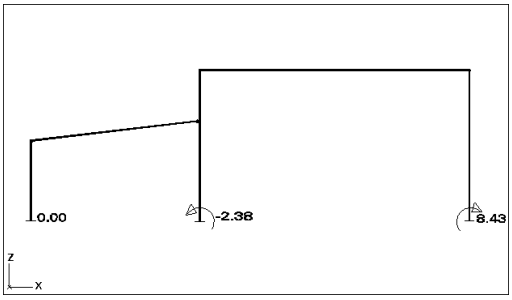
Stosunek sił poziomych do pionowych

Składnik wyników pokazujący stosunek siły poziomej do pionowej i obliczany jako:

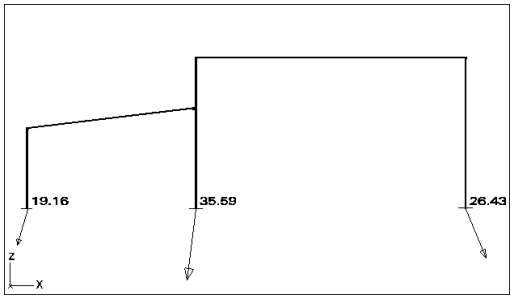
$$\alpha_R = \frac{1}{R_z}\sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

Wyświetlanie wewnętrznych sił podpór w konstrukcji **ramowej i powłokowej:**

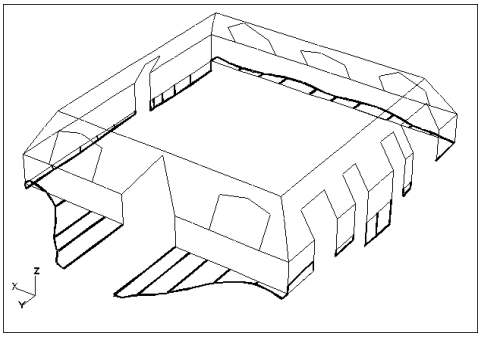
Momenty Ryy



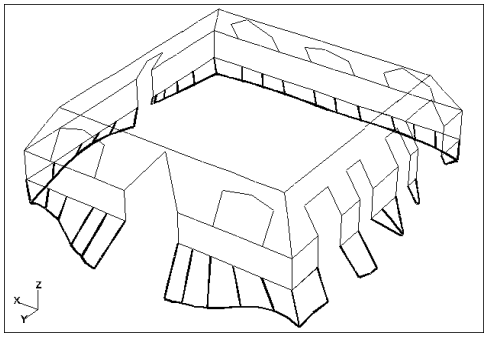
Wypadkowe siły ReR



Siły krawędziowe Ry



Wypadkowe siły krawędziowe ReR

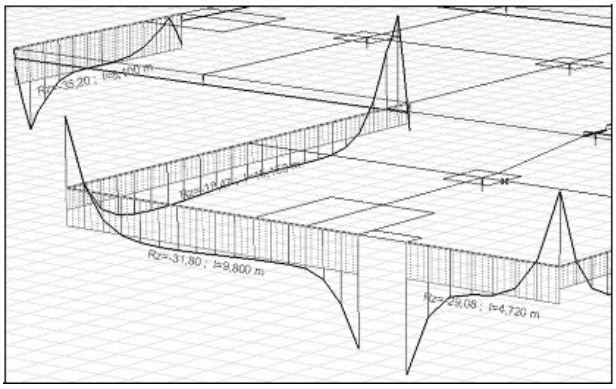


Tabele wyników

Patrz... *6.1.5 Tabele wyników*

Wykres + wartości średnie

Podczas wyświetlania sił dla podpór liniowych, dostępny jest specjalny tryb prezentacji (wykres + wartości średnie). Jeżeli tryb ten zostanie wybrany to do wykresów sił podpór liniowych dodane zostaną wartości średnie wraz z etykietami. Uśrednienie zrobione jest na ciągłych podporach. Podpory uznaje się za ciągłe, jeżeli posiadają taką samą sztywność i ich kąt jest mniejszy od najmniejszej wartości granicznej. Etykiety pokazują także długość uśrednianego odcinka.



Wyniki mogą być opcjonalnie uśredniane dla każdego elementu konstrukcyjnego oddzielnie. Metoda uśredniania może zostać wybrana w oknie *Parametry wyświetlania wyników* (**Patrz...** *6.1 Statyka*).

Wartość średnia

Jest to osobny sposób wyświetlania wyników tylko dla wartości sił podpór powierzchniowych, który przedstawia średnią wartość *Rx, Ry* lub *Rz*. Opcjonalnie wyniki mogą być uśredniane dla każdego obszaru oddzielnie. Metoda uśredniania może zostać wybrana z okna Parametry wyświetlania wyników (**Patrz...** *6.1 Statyka*). Możliwe jest także wyznaczanie wartości uśrednionych oddzielnie dla regionów wartości dodatnich i ujemnych.

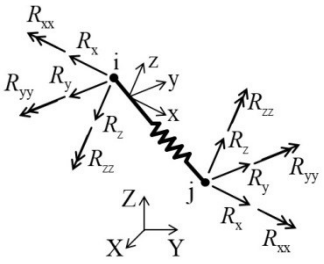
6.1.14 Siły wewn. elementów łączących linia-linia i przegubów krawędziowych

Siły wewnętrzne

AxisVM określa siły *nx, ny, nz* i momenty *mx, my, mz* dla elementów łączących linia-linia i przegubów krawędziowych. Jeżeli dowolna składowa sztywności ustawiona jest na 0 to powiązana składowa wyniku wynosi 0 i nie jest wyświetlany ani w polu kombi składowych ani w tabelach z wynikami.

6.1.15 Siły wewn. sprężyn

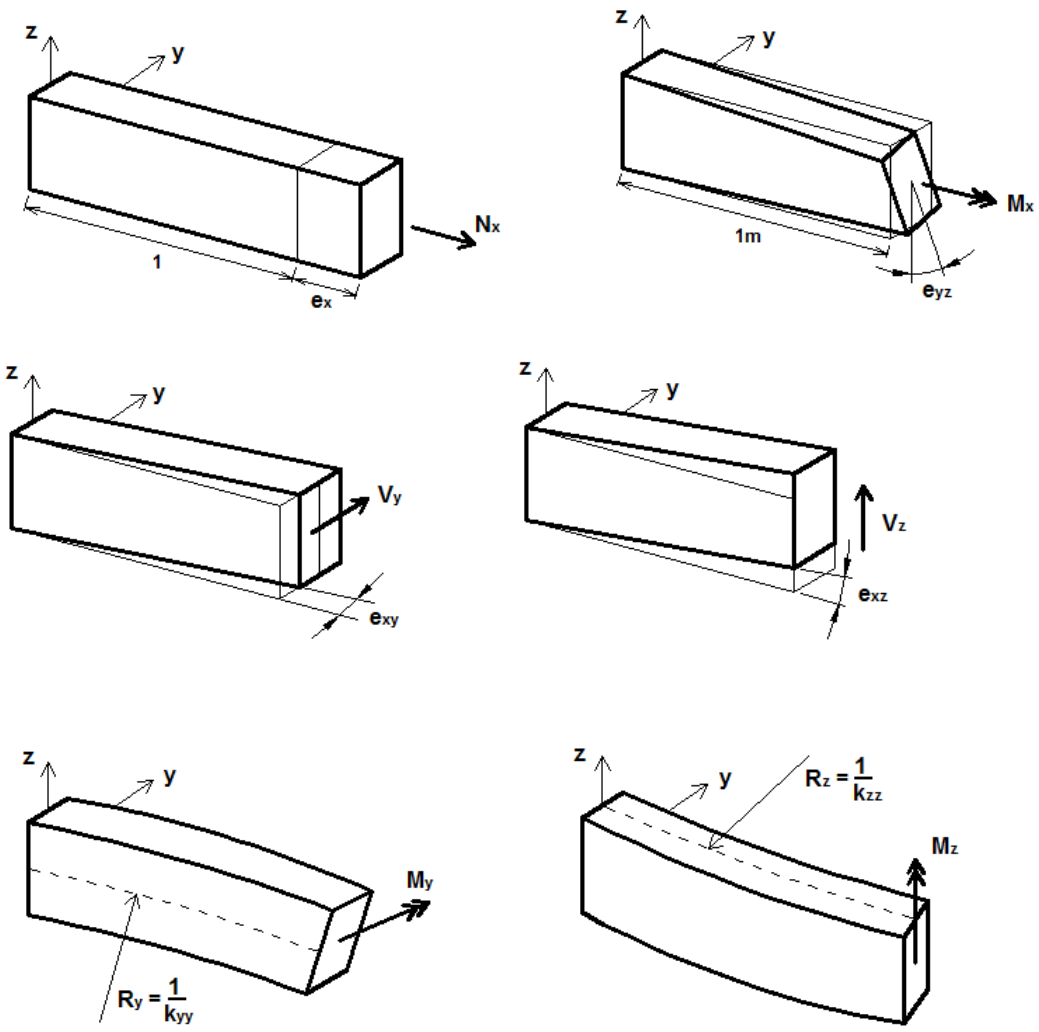
Siły wewnętrzne są odniesione do lokalnego układu elementu. Przyjęta konwencja znakowania dodatnich sił wewnętrznych jest pokazana na rysunku obok.



6.1.16 Odkształcenia prętów kratowych, prętów i żeber

Wyniki odkształceń dostępne są tylko w przypadku analizy uwzględniającej nieliniowy model materiału.

Składnik odkształcenia	*Opis*
exx	Odkształcenia osiowe po kierunku lokalnym x
exy	Odkształcenia przy ścinaniu w lokalnej płaszcz. xy
exz	Odkształcenia przy ścinaniu w lokalnej płaszcz. xz
eyz	Odkształcenia przy skręcaniu po kierunku lokalnym x
kyy	Krzywizna w lokalnej płaszcz. xy
kzz	Krzywizna w lokalnej płaszcz. xz



Komponenty odkształceń dostępne dla elementów prętowych wymienione są poniżej:

Składnik odkształcenia	*Pręt kratowy*	*Pręt*	*Żebro*
exx	*exx*	*exx*	*exx*
kyy		*kyy*	*kyy*
kzz		*kzz*	*kzz*
eyz		*eyz*	*eyz*
exy			*exy*
exz			*exz*

6.1.17 Odkształcenia w punktach naprężeń elementów pręt kratowy / pręt / żebro

Wyniki odkształceń w punktach naprężeń są dostępne tylko w przypadku analizy uwzględniającej nieliniowość materiałową. Poniższe wartości odkształceń wyznaczane są dla elementów typu pręt kratowy oraz w każdym punkcie naprężeń każdego profilu elementu typu pręt lub żebro.

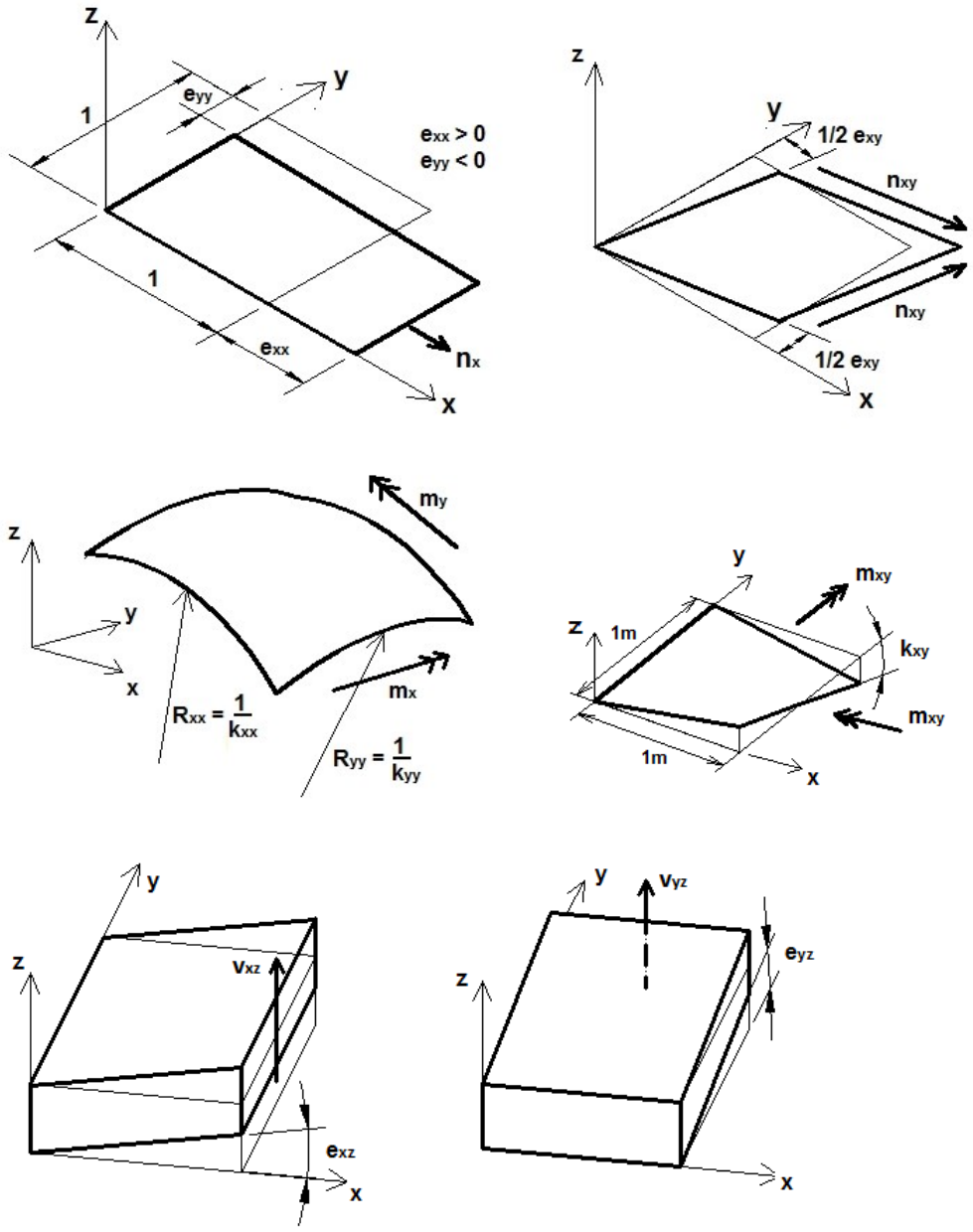
Składnik odkształcenia w punktach naprężeń	*Opis*
exx T	Całkowite odkształcenie podłużne w kierunku lokalnym *x*
(NLP) exx E	Sprężyste odkształcenie podłużne w kierunku lokalnym *x*
(NLP) exx P	Plastyczne odkształcenie podłużne w kierunku lokalnym *x*
(NLP) eeff	Efektywne odkształcenie plastyczne
(NLP) deeff	Przyrost efektywnego odkształcenia plastycznego
(NLE) eeff	Odkształcenie efektywne $(NLE)\ e_{eff} = \lvert e_{xx}\ T \rvert$

Adnotacje:
(NLE) – Sprężysty materiał nieliniowy
(NLP) – Plastyczny materiał nieliniowy
T - całkowite
E - sprężyste
P - plastyczne

6.1.18 Odkształcenia elementów powierzchniowych

Wyniki odkształceń dostępne są tylko w przypadku analizy uwzględniającej nieliniowy model materiału.

Składnik odkształcenia	*Opis*
e_{xx}	Odkształcenia osiowe po kierunku lokalnym x
e_{yy}	Odkształcenia osiowe po kierunku lokalnym y
e_{xy}	Odkształcenia przy ścinaniu w lokalnej płaszcz. xy
f_{zz}	Obrót wokół lokalnej osi –z-
k_{xx}	Krzywizna w lokalnej płaszcz. xz
k_{yy}	Krzywizna w lokalnej płaszcz. yz
k_{xy}	Krzywizna dystorsyjna
e_{xz}	Odkształcenia przy ścinaniu w lokalnej płaszcz. xz
e_{yz}	Odkształcenia przy ścinaniu w lokalnej płaszcz. yz
e_{Wz}	Wypadkowe odkształcenia przy ścinaniu, prostopadłe do płaszczyzny elementu $e_{Wz} = \sqrt{e_{xz}^2 + e_{yz}^2}$
e1	Maksymalne odkształcenie główne w lok. pł. *xy*
e2	Minimalne odkształcenie główne w lok. pł. *xy*
ae	Kąt dla kierunku odkształcenia głównego
k1	Maksymalna krzywizna główna
k2	Minimalna krzywizna główna
ak	Kąt dla kierunku krzywizny głównej



Komponenty odkształceń dostępne dla elementów powierzchniowych wymienione są poniżej:

Składnik odkształcenia	*Tarcza*	*Płyta*	*Powłoka*
e_{xx}	*exx*		*exx*
e_{yy}	*eyy*		*eyy*
e_{xy}	*exy*		*exy*
f_{zz}	f_{zz}		f_{zz}
k_{xx}		*kxx*	*kxx*
k_{yy}		*kyy*	*kyy*
k_{xy}		*kxy*	*kxy*
e_{xz}		*exz*	*exz*
e_{yz}		*eyz*	*eyz*
e_{Sz}		*eSz*	*eSz*
e1	*e1*		*e1*
e2	*e2*		*e2*
ae	*ae*		*ae*
k1		*k1*	*k1*
k2		*k2*	*k2*
ak		*ak*	*ak*

6.1.19 Odkształcenia w punktach naprężeń elementów powierzchniowych

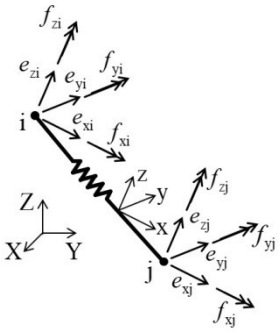
Wyniki odkształceń dostępne są tylko w przypadku analizy uwzględniającej nieliniowy model materiału. Poniższe wartości odkształceń punktów naprężeń wyznaczane są w każdym węźle każdego elementu zarówno w jego górnych, dolnych jak i środkowych warstwach.

Składnik odkształcenia w punktach naprężeń	*Opis*
exx T, (NLP) exx E, (NLP) exx P	Odkształcenia osiowe w kierunku lokalnym *-x-*
eyy T, (NLP) eyy E, (NLP) eyy P	Odkształcenia osiowe w kierunku lokalnym *-y-*
exy T, (NLP) exy E, (NLP) exy P	Odkształcenia przy ścinaniu w lokalnej płaszcz. *-xy-*
e1 T, (NLP) e1 E, (NLP) e1 P	Maksymalne odkształcenia główne w lokalnej płaszcz. *-xy-*
e2 T, (NLP) e2 E, (NLP) e2 P	Minimalne odkształcenia główne w lokalnej płaszcz. *-xy-*
ae T, (NLP) ae E, (NLP) ae P	Kąt odkształceń głównych
(NLP) eeff	Efektywne odkształcenie plastyczne
(NLP) deeff	Przyrost efektywnego odkształcenia plastycznego
(NLE) eeff	Odkształcenie efektywne $e_{eff}=\sqrt{\frac{1}{(1-2\nu)(1+\nu)}\left[(1-\nu)(e_{xx}^2+e_{yy}^2+e_{zz}^2)+2\nu(e_{xx}e_{yy}+e_{xx}e_{zz}+e_{yy}e_{zz})+\frac{1-2\nu}{2}e_{xy}^2\right]}$

Adnotacje: (NLE) – Sprężysty materiał nieliniowy
(NLP) – Plastyczny materiał nieliniowy
T – całkowite
E – sprężyste
P – plastyczne

6.1.20 Odkształcenia sprężyn

Składnik odkształcenia	*Odkształcenia w kierunkach lokalnych*
ex	$e_x = e_{xj} - e_{xi}$
ey	$e_y = e_{yj} - e_{yi}$
ez	$e_z = e_{zj} - e_{zi}$
	Odkształcenia kątowe wokół osi lokalnych
fx	$f_x = f_{xj} - f_{xi}$
fy	$f_y = f_{yj} - f_{yi}$
fz	$f_z = f_{zj} - f_{zi}$



6.1.21 Naprężenia w prętach kratowych / prętach / żebrach

Tryby prezentacji dla wyników naprężeń są takie same jak dla sił wewnętrznych. Tabele z wynikami naprężeń są podobne do tabel sił wewnętrznych.

Pręt kratowy

Wartość naprężenia $S_x=N_x/A_x$ obliczana jest dla każdego pręta kratowego.
Wartość dodatnia oznacza rozciąganie.

Pręt / Żebro

Poniższe wartości naprężeń obliczane są w każdym punkcie do obliczania naprężenia należącego do przekroju poprzecznego pręta lub żebra:
Obliczane jest naprężenie normalne z rozciągania / ściskania i zginania, pomijając naprężenie wypaczające:

$$S_{x,i}=\frac{N_x}{A_x}+\frac{M_yI_z+M_zI_{yz}}{I_yI_z-I_{yz}^2}z_i-\frac{M_zI_y+M_yI_{yz}}{I_yI_z-I_{yz}^2}y_i$$

gdzie y_i, z_i to współrzędne punktu do obliczania naprężenia. Dodatnia wartość naprężenia oznacza rozciąganie w przekroju poprzecznym.
Wypadkowe naprężenie ścinające obliczane jest na podstawie ścinania i skręcania (Saint-Venant), pomijając wypaczające naprężenie ścinające.

Dla masywnych przekrojów poprzecznych: $V_i = \sqrt{V_{y,i}^2 + V_{z,i}^2}$ „

gdzie składowe naprężenia ścinającego to:

$$V_{y,i} = \frac{V_y}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_y}{\partial y}\right)_i + \frac{V_z}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial y}\right)_i + \frac{M_x}{I_x}\left[\left(\frac{\partial \omega}{\partial y}\right)_i - z_i\right]$$

$$V_{z,i} = \frac{V_y}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_y}{\partial z}\right)_i + \frac{V_z}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial z}\right)_i + \frac{M_x}{I_x}\left[\left(\frac{\partial \omega}{\partial z}\right)_i + y_i\right]$$

Φ_y oraz Φ_z są funkcjami naprężenia ścinającego dla ścinania w kierunku y oraz z, ω to funkcja związana z deplanacją.

Dla smukłych przekrojów poprzecznych:

$V_i = | V_y/A_x \ ((\partial \Phi_y)/\partial s)_i + V_z/A_x \ \ [((\partial \Phi_z)/\partial s)_i + M_x/I_x \ [(\partial \omega/\partial s)_i - m_i \ ]_]_ | + \frac{M_x}{I_x} t_i$

gdzie dwa ostatnie składniki to naprężenie ścinające wyprowadzone z rozkładu ścinania w zamkniętych i otwartych podsekcjach. m_i to odległość środka ciężkości od segmentu, t_i to grubość ściany segmentu. ω, Φ_y oraz Φ_z to wartości dla linii środkowej.

Naprężenie zredukowane (HMH) jest zdefiniowane jako $S_{o,i} = \sqrt{S_{xi}^2 + 3V_i^2}$

Jeżeli przekrój poprzeczny zawiera dwa lub większą liczbę oddzielnych fragmentów, to V_i oraz $S_{o,i}$ nie są obliczane.

Średnie naprężenia ścinające: $V_{y\,śred} = \frac{V_y}{A_x}$, $V_{z\,śred} = \frac{V_z}{A_x}$,

jeżeli $A_y = A_z = 0$ wtedy $A_y = A_z = A_x$

Naprężenia dla profili zespolonych

Naprężenia ważone modułem [16, rozdział 1.2] obliczane są dla każdej części składowej przekroju zespolonego. Moduł odniesienia E_{ref} oraz G_{ref} należy do materiału zewnętrznej części przekroju poprzecznego.

Naprężenia normalne wynikające z rozciągania/ściskania i zginania obliczane są z pominięciem naprężeń od spaczenia (zwichrowania):

$$S_{x,i} = \frac{E_i}{E_{ref}}\left(\frac{N_x}{A_x} + \frac{M_y I_z + M_z I_{yz}}{I_y I_z - I_{yz}^2} z_i - \frac{M_z I_y + M_y I_{yz}}{I_y I_z - I_{yz}^2} y_i\right)$$

gdzie y_i oraz z_i to współrzędne punktu obliczania naprężeń, a E_i to moduł Younga części, do której ten punkt należy.

Wypadkowe naprężenia ścinające obliczane są od ścinania i skręcania (zgodnie z zasadą Saint-Venant'a) z pominięciem ścinających naprężeń od spaczenia.

Dla punktów naprężeń należących do części masywnych przekroju $V_i = \sqrt{V_{y,i}^2 + V_{z,i}^2}$,

gdzie składniki tych naprężeń ścinających to:

$$V_{y,i} = \frac{G_i}{G_{ref}}\left(\frac{V_y}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_y}{\partial y}\right)_i + \frac{V_z}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial y}\right)_i + \frac{M_x}{I_x}\left[\left(\frac{\partial \omega}{\partial y}\right)_i - z_i\right] \quad \right)$$

$$V_{z,i} = \frac{G_i}{G_{ref}}\left(\frac{V_y}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_y}{\partial z}\right)_i + \frac{V_z}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial z}\right)_i + \frac{M_x}{I_x}\left[\left(\frac{\partial \omega}{\partial z}\right)_i + y_i\right] \quad \right)$$

gdzie
Φ_y oraz Φ_z są funkcjami naprężeń ścinających w kierunku -y- oraz -z-,
ω jest funkcją spaczenia,
G_i jest modułem ścinania (Kirchhoffa) części przekroju do której należy punkt naprężeń.

Dla punktów naprężeń należących do części smukłych przekroju

$$V_i = \frac{G_i}{G_{ref}}\{\quad |V_y \frac{(\partial\Phi_y}{\partial s})_i}{A_x} + \frac{V_z}{A_x}\left(\frac{\partial\Phi_z}{\partial s}\right)_i + \frac{M_x}{I_x}\left[\left(\frac{\partial\omega}{\partial s}\right)_i - m_i\right] \quad \left|+\frac{M_x}{I_x}t_i\right\}$$

gdzie
dwa ostatnie człony to naprężenia ścinające od skręcania wyprowadzone od rozkładu ścinania w zamkniętych i otwartych podprzekrojach,
m_i to odległość środka ciężkości od danego segmentu,
t_i to grubość ścianki segmentu,
ω, Φ_y oraz Φ_z to wartości linii środkowych.

Naprężenia HMH zdefiniowane są jako $S_{o,i} = \sqrt{S_{xi}^2 + 3V_i^2}$

☞ **Punkty obliczania naprężeń leżące na styku dwóch profili składowych przekroju zespolonego zawsze należą do przekroju smukłego.**

☞ **Wartości $V_{y,śred}$ oraz $V_{z,śred}$ nie są obliczane dla przekrojów zespolonych.**

☞ **Metoda wyznaczania naprężeń ważonych modułem bazuje na założeniu, że pomiędzy częściami składowymi profilu zespolonego nie występuje ścinanie. Nie ma to wpływu na naprężenia normalne, ponieważ środki ciężkości poszczególnych części pokrywają się. Jednak dla naprężeń ścinających byłaby różnica, gdybyśmy uwzględnili to połączenie ścinane.**

Pozostałe komponenty wyników naprężeń dla materiału nieliniowego

NL sprężysty / na podstawie energii odkształcenia

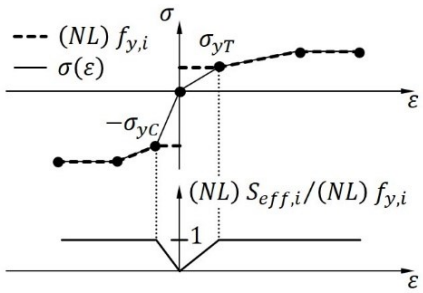
Naprężenia efektywne
Tylko naprężenie normalne wpływa na materiałową odpowiedź nieliniową pręta kratowego, pręta oraz żebra. Naprężenia od ścinania nie mają wpływu (więcej informacji w *Bibliografia [5]*)

$$(NL)S_{eff,i} = |S_{x.i}|$$

Rzeczywista granica plastyczności
Jest to rzeczywista granica proporcjonalności, na którą wpływa znak i magnituda naprężeń normalnych.

$$(NL)f_{y,i} = \begin{cases} \sigma(\varepsilon_{eff,i}) & dla \quad S_{x,i} > \sigma_{yT} \\ \sigma_{yT} & dla \quad 0 \le S_{x,i} \le \sigma_{yT} \\ \sigma_{yC} & dla \quad -\sigma_{yC} \le S_{x,i} \le 0 \\ |\sigma(-\varepsilon_{eff,i})| & dla \quad S_{x,i} < -\sigma_{yC} \end{cases}$$

gdzie σ_{yT} oraz σ_{yC} są punktami granicy liniowej sprężystości materiału, odpowiednio na dodatniej i ujemnej stronie wykresu naprężenie-odkształcenie (**patrz...** *3.1.15 Biblioteka materiałów*), a $\varepsilon_{eff,i}$ jest odkształceniem efektywnym (NLE) eeff (**patrz...** *6.1.17 Odkształcenia w punktach naprężeń elementów pręt kratowy / pręt / żebro)*.



Stopień wykorzystania

$$(NL)Stopien\ wykorzystania_i = \frac{(NL)S_{eff,i}}{(NL)f_{y,i}}$$

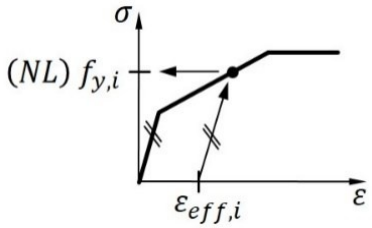
Plastyczny / model materiału von Mises

Naprężenia efektywne
Tylko naprężenie normalne wpływa na materiałową odpowiedź nieliniową pręta kratowego, pręta oraz żebra. Naprężenia od ścinania nie mają wpływu (patrz *Bibliografia [5]*)

$$(NL)S_{eff,i} = |S_{r,x.i}|$$

gdzie $S_{r,x,i} = S_{x,i} - B_{x,i}$ jest względnym naprężeniem względem środka powierzchni uplastycznienia (**patrz...** *3.1.15 Biblioteka materiałów*).

Rzeczywista granica plastyczności
Jest to rzeczywista granica plastyczności, na którą wpływa efekt wzmocnienia. Obliczana jest ona na podstawie wykresu naprężenie-odkształcenie materiału (**patrz...** *3.1.15 Biblioteka materiałów*)



gdzie $\varepsilon_{eff,i}$ jest efektywnym odkształceniem plastycznym (NLP) eeff (**patrz...** *6.1.17 Odkształcenia w punktach naprężeń elementów pręt kratowy / pręt / żebro)*.

Stopień wykorzystania

$$(NL)Stopien\ wykorzystania_i = \frac{(NL)S_{eff,i}}{(NL)f_{y,i}}$$

Plastyczny / model materiału Bresler-Pister

Naprężenia efektywne
Tylko naprężenie normalne wpływa na materiałową odpowiedź nieliniową pręta kratowego, pręta oraz żebra. Naprężenia od ścinania nie mają wpływu (patrz *Bibliografia [5]*)

$$(NL)S_{eff,i} = |S_{x.i}|$$

Rzeczywista granica plastyczności
Jest to rzeczywista granica proporcjonalności, na którą wpływa znak naprężeń normalnych.

$$(NL)f_{y,i} = \begin{cases} \sigma_{yT} & gdy \quad S_{x,i} \geq 0 \\ \sigma_{yC} & gdy \quad S_{x,i} < 0 \end{cases}$$

gdzie σ_{yT} oraz σ_{yC} są granicą uplastycznienia odpowiednio przy rozciąganiu i ściskaniu (**patrz...** *3.1.15 Biblioteka materiałów*).

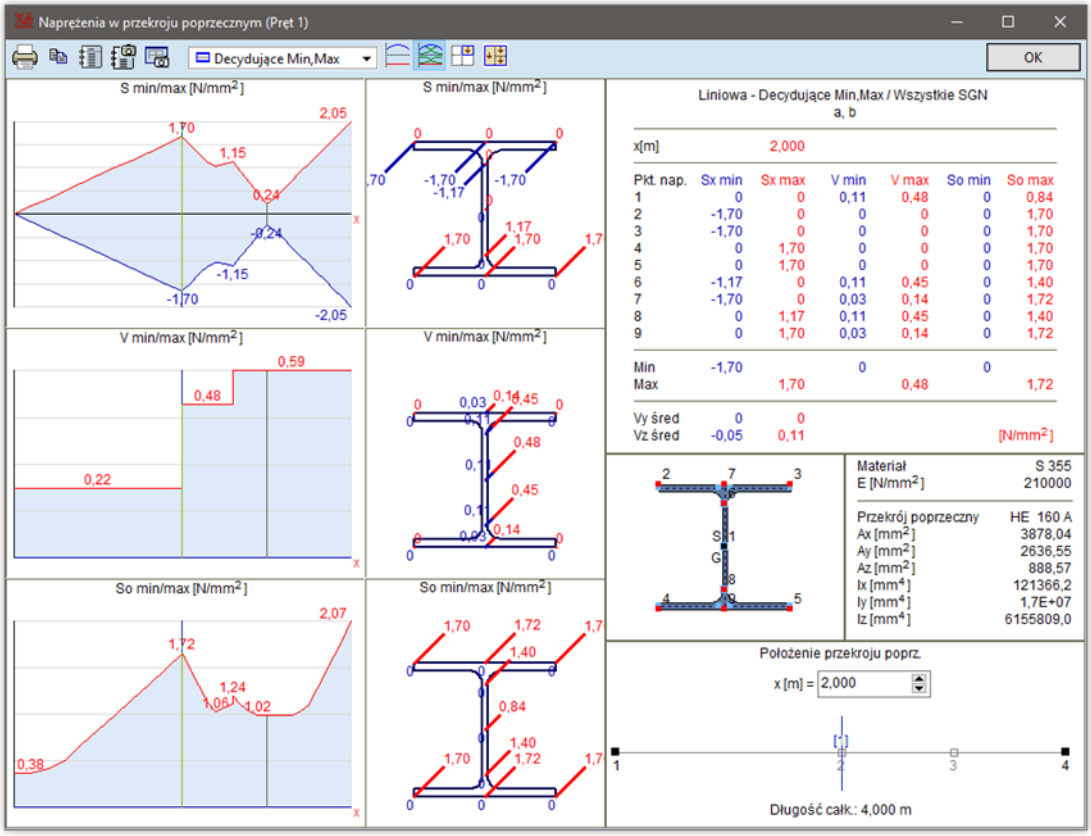
Stopień wykorzystania

$$(NL)Stopien\ wykorzystania_i = \frac{(NL)S_{eff,i}}{(NL)f_{y,i}}$$

Wyświetlanie wykresów naprężeń

Naprężenia w pręcie *S min/max, V min/max, So min/max* to wartości minimalne / maksymalne w obrębie przekroju poprzecznego i wyświetlane są podobnie jak siły wewnętrzne.

Aby wyświetlić wykresy naprężeń należy kliknąć na pręt / żebro. Po lewej stronie wyświetlane są wartości minimum / maksimum wzdłuż długości linii. Przeciągając niebieską linię za pomocą myszy można zmienić badane miejsce. Wykresy aksonometryczne pośrodku i tabele po prawej stronie przedstawiają rozkład naprężeń w przekroju w badanym punkcie.
Aby na jednym wykresie wyświetlić większą ilość elementów, należy je wybrać przed kliknięciem do wyświetlenia. Ciągłe pręty / żebra można wyświetlić na jednym wykresie, jeżeli spełnione zostaną warunki opisane w rozdziale *6.1.9 Siły wewn. prętów / prętów kratowych.*



Możliwe jest wyświetlenie wykresów odpowiadających dowolnemu przypadkowi lub kombinacji obciążeń, jak również obwiedni. Można również włączyć lub wyłączyć funkcję wyświetlania obwiedni i ustawić pozycję wzdłuż elementu, gdzie mają zostać wyświetlone wyniki.

Zapisz wykresy w Bibliotece Rysunków

Wykresy skojarzone można zapisać w Bibliotece Rysunków. Rysunki z tej Biblioteki można wstawiać do raportów. Wprowadzenie zmian i przeprowadzenie ponownych obliczeń w modelu spowoduje, że wykresy w Bibliotece oraz raportach również zostaną odpowiednio zmienione.

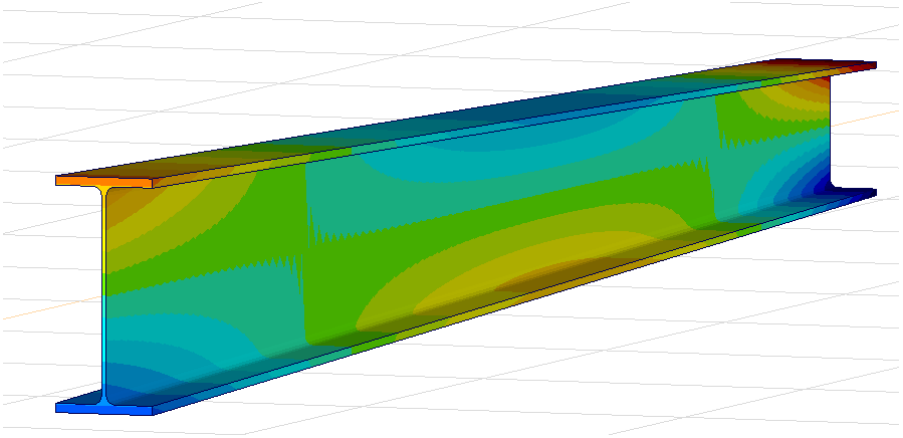
Gdy wybrana zostanie obwiednia lub kombinacje decydujące, wyświetlony zostanie tylko jeden z komponentów minimalnych i maksymalnych w zależności od komponentu. Jeżeli wartości ekstremalne znajdują się tylko w jednym przekroju poprzecznym, użytkownik zobaczy wartości także innych komponentów. W przeciwnym wypadku pojawi się symbol * i lokalizacja przekroju poprzecznego będzie pierwszą.

Tabele wyników

Patrz... *6.1.5 Tabele wyników*

Wyniki na modelu bryłowym

Rozkład naprężeń normalnych w elemencie prętowym na jego długości oraz wysokości przekroju poprzecznego może zostać wyświetlony w trybie wyświetlania wyników *Model bryłowy*.



6.1.22 Naprężenia w elem. powierzchniowych

W każdym węźle elementu w górnym, środkowym i dolnym włóknie obliczane są następujące komponenty naprężeń:

Komponent	Tarcza	Płyta	Powłoka
s_{xx}	$s_{xx} = \frac{n_x}{t}$	$s_{xx} = \pm\frac{6}{t^2}m_x$	$s_{xx} = \frac{n_x}{t} \pm \frac{6}{t^2}m_x$
s_{yy}	$s_{yy} = \frac{n_y}{t}$	$s_{yy} = \pm\frac{6}{t^2}m_y$	$s_{yy} = \frac{n_x}{t} \pm \frac{6}{t^2}m_y$
s_{xy}	$s_{xy} = \frac{n_{xy}}{t}$	$s_{xy} = \pm\frac{6}{t^2}m_{xy}$	$s_{xy} = \frac{n_{xy}}{t} \pm \frac{6}{t^2}m_{xy}$
s_{xz}		$s_{xz} = \frac{3v_{xz}}{2t}$	$s_{xz} = \frac{3v_{xz}}{2t}$
s_{yz}		$s_{yz} = \frac{3v_{yz}}{2t}$	$s_{yz} = \frac{3v_{yz}}{2t}$
s_1	$s_1 = \frac{s_x + s_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{s_x - s_y}{2}\right)^2 + s_{xy}^2}$		
s_2	$s_2 = \frac{s_x + s_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{s_x - s_y}{2}\right)^2 + s_{xy}^2}$		
α_s	$\mathrm{tg}(2\alpha_s) = \frac{2s_{xy}}{s_x - s_y}$		

☞ **W przypadku elementów tarczowych w płaskim stanie odkształcenia $s_{zz} \neq 0$ oraz jest określone jako $s_{zz} = \nu \cdot (s_{xx} + s_{yy})$**

Naprężenie zredukowane (HMH)

Naprężenie zredukowane (HMH) obliczane jest następująco:

$$s_0 = \sqrt{0.5\left[(s_{xx} - s_{yy})^2 + (s_{yy} - s_{zz})^2 + (s_{zz} - s_{xx})^2\right] + 3(s_{xy}^2 + s_{yz}^2 + s_{zx}^2)}$$

Pozostałe komponenty wyników naprężeń dla materiału nieliniowego

NL sprężysty / na podstawie energii odkształcenia

Naprężenia efektywne

$$(NL)s_{eff} = \sqrt{s_{xx}^2 + s_{yy}^2 + s_{zz}^2 - 2\nu(s_{xx}s_{yy} + s_{xx}s_{zz} + s_{yy}s_{zz}) + 2(1+\nu)s_{xy}^2}$$

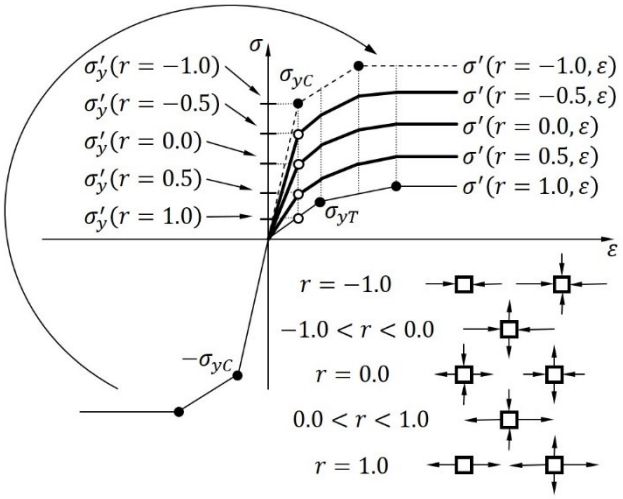
☞ **Tylko naprężenia normalne s_{xx}, s_{yy}, s_{zz} oraz naprężenia od ścinania s_{xy} wpływają materiałową odpowiedź nieliniową elementów powierzchniowych. Naprężenia od ścinania s_{xz} oraz s_{yz} nie mają żadnego wpływu (więcej informacji w [5])**

Rzeczywista granica plastyczności

Jest to granica proporcjonalności, na którą wpływa rzeczywisty, wieloosiowy stan naprężeń:

$$(NL)f_y = \begin{cases} \sigma'_y(r) & \text{if } 0 \le s_{eff} \le \sigma'_y(r) \\ \sigma'(r, \varepsilon_{eff}) & \text{if } s_{eff} > \sigma'_y(r) \end{cases}$$

gdzie $\sigma'(r, \varepsilon)$ jest interpolowanym wykresem naprężenie-odkształcenie odnoszącym się do rzeczywistego wieloosiowego stanu naprężenia, $\sigma'_y(r)$ jest jego punktem znajdującym się najbliżej początku układu, a ε_{eff} jest efektywnym odkształceniem [(NLE) *eeff*] (**patrz...** *6.1.19 Odkształcenia w punktach naprężeń elementów powierzchniowych*)



gdzie
r oznacza stosunek składowych rozciągających i ściskających wieloosiowego stanu naprężenia:

$$r = \begin{cases} -1 & if \ \dfrac{I_1}{\sigma_{VM}} < -1 \\ \dfrac{I_1}{\sigma_{VM}} & if \ -1 \le \dfrac{I_1}{\sigma_{VM}} \le 1 \\ 1 & if \ \dfrac{I_1}{\sigma_{VM}} > 1 \end{cases}$$

gdzie
I_1 jest pierwszym niezmiennikiem tensora naprężeń, a σ_{VM} jest równoważnym naprężeniem HMH:

$$I_1 = s_{xx} + s_{yy} + s_{zz}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{0.5\left[\left(s_{xx} - s_{yy}\right)^2 + \left(s_{yy} - s_{zz}\right)^2 + \left(s_{zz} - s_{xx}\right)^2\right] + 3s_{xy}^2}$$

Stopień wykorzystania

$$(NL)\ Stopien\ wykorzystania = \frac{(NL)s_{eff}}{(NL)f_y}$$

Model materiału Plastyczny / von Mises

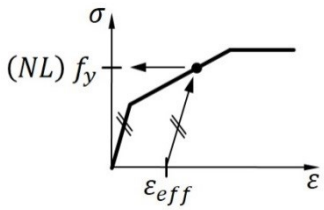
Naprężenia efektywne wyznaczane się zgodnie z kryterium plastyczności:

$$(NL)S_{eff} = \sqrt{0.5\left[\left(s_{r,xx} - s_{r,yy}\right)^2 + \left(s_{r,yy} - s_{r,zz}\right)^2 + \left(s_{r,zz} - s_{r,xx}\right)^2\right] + 3s_{r,xy}^2}$$

gdzie $s_{r,xx} = s_{xx} - b_{xx}$, $s_{r,yy} = s_{yy} - b_{yy}$, $s_{r,zz} = s_{zz} - b_{zz}$ oraz $s_{r,xy} = s_{xy} - b_{xy}$
Są to względne naprężenia w odniesieniu do środka obszaru plastycznego (**patrz...** *3.1.15 Biblioteka materiałów).*

☞ **Tylko naprężenia normalne s_{xx}, s_{yy}, s_{zz} oraz naprężenia od ścinania s_{xy} wpływają na materiałową odpowiedź nieliniową elementów powierzchniowych. Naprężenia od ścinania s_{xz} oraz s_{yz} nie mają żadnego wpływu (patrz** *Bibliografia* [5]**).**

Rzeczywista granica plastyczności
Jest to granica plastyczności, na którą wpływa efekt wzmocnienia. Obliczana jest ona na podstawie wykresu naprężenie-odkształcenie materiału (**patrz...** *3.1.15 Biblioteka materiałów*)



gdzie $\varepsilon_{eff,i}$ jest efektywnym odkształceniem plastycznym (NLP) eeff (**patrz...** *6.1.19 Odkształcenia w punktach naprężeń elementów powierzchniowych*).

Stopień wykorzystania

$$(NL)Stopien\ wykorzystania = \frac{(NL)s_{eff}}{(NL)f_y}$$

Model materiału Plastyczny / Bresler-Pister

Naprężenie efektywne jest zdefiniowane przez euklidesową odległość punktu $[s_1, s_2, s_3]$ od początku układu w przestrzeni naprężeń głównych:

$$(NL)s_{eff} = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2}$$

gdzie $[s_1, s_2, s_3]$ to przedstawienie za pomocą naprężeń głównych stanu naprężenia $[s_{xx}, s_{yy}, s_{zz}, s_{xy}]$.
Patrz... *3.1.15 Biblioteka materiałów*

☞ **Tylko naprężenia normalne s_{xx}, s_{yy}, s_{zz} oraz naprężenia od ścinania s_{xy} wpływają na materiałową odpowiedź nieliniową elementów powierzchniowych. Naprężenia od ścinania s_{xz} oraz s_{yz} nie mają żadnego wpływu (patrz** *Bibliografia* [5]**).**

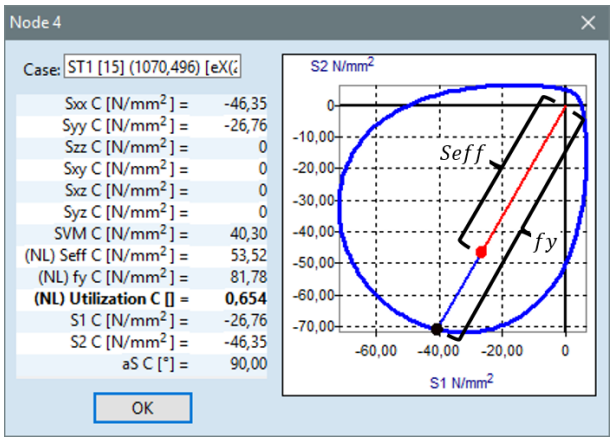
Rzeczywista granica plastyczności
Jest to rzeczywista granica plastyczności, na którą wpływa efekt wzmocnienia.

$$(NL)f_y = \sigma(s_{r,1}, s_{r,2}, s_{r,3}, \varepsilon_{eff})$$

gdzie $\sigma(s_{r,1}, s_{r,2}, s_{r,3}, \varepsilon)$ to punkt na powierzchni uplastycznienia wyznaczony przez rzeczywisty stan naprężeń (obrazek poniżej i **patrz...** *3.1.15 Biblioteka materiałów*), a ε_{eff} jest efektywnym odkształceniem plastycznym *(NLP) eeff* (**patrz...** *6.1.19 Odkształcenia w punktach naprężeń elementów powierzchniowych*).

Stopień wykorzystania:

$$(NL)\boldsymbol{Stopien\ wykorzystania} = \frac{(NL)s_{eff}}{(NL)f_y}$$



Stan naprężeń materiału nieliniowego

Jest to komponent wyników, który pozwala określić na konstrukcji miejsca rozciągane, ściskane i ścinane. Wartość numeryczna tych wyników bazuje na tzw. wskaźniku stanu naprężenia, który jest wyrażony przez stosunek naprężeń średnich do naprężeń zredukowanych.

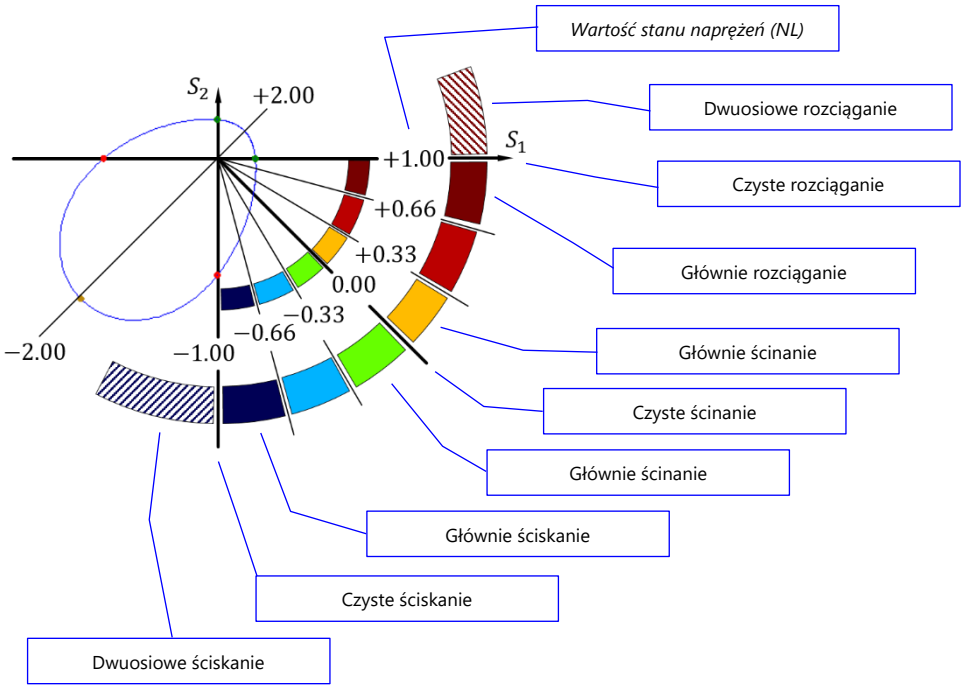
$$(NL)\ State = 3\frac{\sigma_m}{\sigma_{HMH}}$$

gdzie σ_m to naprężenie średnie, a σ_{HMH} naprężenie zredukowane wg hipotezy Hubera-Misesa-Henckego

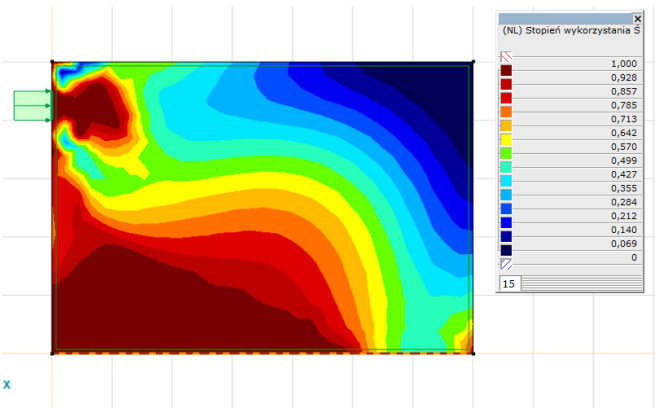
$$\sigma_m = \frac{s_{xx} + s_{yy} + s_{zz}}{3}$$

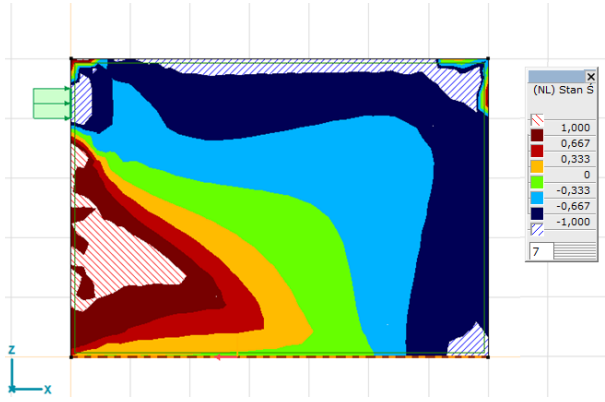
$$\sigma_{HMH} = \sqrt{0.5\left[(s_{xx} - s_{yy})^2 + (s_{yy} - s_{zz})^2 + (s_{zz} - s_{xx})^2\right] + 3s_{xy}^2}$$

Poniższy rysunek przedstawia stan naprężeń na płaszczyźnie naprężeń głównych S_1-S_2
T



Za pomocą komponentów *(NL) Stopień wykorzystania* wraz z *(NL) Stan* można łatwo odszukać krytyczne miejsca oraz określić przyczynę ich nadmiernego wykorzystania.

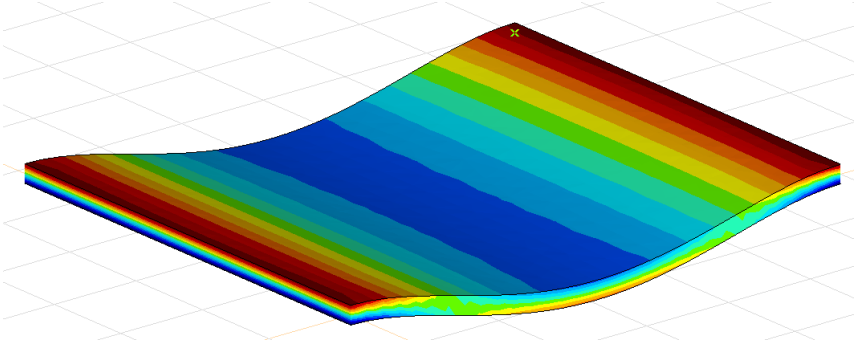




Wartości naprężeń mogą być wyświetlone w formie wykresu, wykresu wycinków, jako izolinie lub izopowierzchnie.

Tabele wyników **Patrz...** *6.1.5 Tabele wyników*

Wyświetlanie wyników na modelu bryłowym Wartości naprężeń górnej i dolnej warstwy mogą być wyświetlane równocześnie w trybie wyświetlania wyników *Model bryłowy*.



6.1.23 Wyniki dla sprężyn z charakterystyką nieliniową

Komponent wyników	
e,x T	Odkształcenie w lokalnym kierunku -x-
(NLP) e,x E	Sprężyste odkształcenie liniowe w lokalnym kierunku -x-
(NLP) e,x P	Plastyczne odkształcenie liniowe w lokalnym kierunku -x-
(NLP) eeff,x P	Efektywne plastyczne odkształcenie liniowe w lokalnym kierunku -x-
(NLP) deeff,x P	Przyrost efektywnego plastycznego odkształcenia liniowego w lokalnym kierunku -x- (statyczne) Prędkość efektywnego plastycznego odkształcenia liniowego w lokalnym kierunku -x- (dynamiczne)
R,x	Siła w sprężynie w lokalnym kierunku -x-
(NL) Fy,x	Rzeczywista siła graniczna w lokalnym kierunku -x-
(NL) St. wyk.,x	Stopień wykorzystania po kierunku lokalnym -x-
...,y	... w lokalnym kierunku -y-
...,z	... w lokalnym kierunku -z-
e,xx T	Odkształcenie kątowe wokół lokalnej osi -x-
(NLP) e,xx E	Sprężyste odkształcenie kątowe wokół lokalnej osi -x-
(NLP) e,xx P	Plastyczne odkształcenie kątowe wokół lokalnej osi -x-
(NLP) eeff,xx P	Efektywne plastyczne odkształcenie kątowe wokół lokalnej osi -x-
(NLP) deeff,xx P	Przyrost efektywnego plastycznego odkształcenia wokół lokalnej osi -x- (statyczne) Prędkość efektywnego plastycznego odkształcenia wokół lokalnej osi -x- (dynamiczne)
R,xx	Moment w sprężynie wokół lokalnej osi -x-
(NL) My,xx	Rzeczywisty moment graniczny wokół lokalnej osi -x-
(NL) St. wyk.,xx	Stopień wykorzystania wokół lokalnej osi -x-
...,yy	... wokół lokalnej osi -y-
...,zz	... wokół lokalnej osi -z-

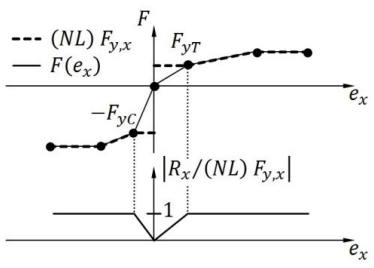
Model sprężyny NL sprężyste

Rzeczywista siła graniczna, Rzeczywisty moment graniczny

Jest to rzeczywista wytrzymałość, na którą wpływa ma znak siły:

$$(NL)F_{y,x} = \begin{cases} F_{yT} & jeżeli \quad R_x \geq 0 \\ F_{yC} & jeżeli \quad R_x < 0 \end{cases}$$

gdzie F_{yT} oraz F_{yC} to siły graniczne zdefiniowane przez użytkownika dla rozciągania i ściskania (**patrz**... *3.1.17 Biblioteka charakterystyk dla sprężyn*).



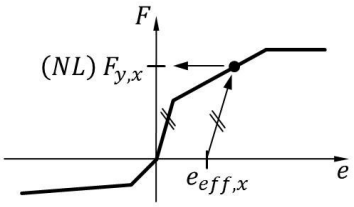
Stopień wykorzystania:

$$(NL)St.wykorz._x = \left|\frac{R_x}{(NL)F_{y,x}}\right|$$

Model sprężyny - plastyczne

Rzeczywista siła graniczna, Rzeczywisty moment graniczny

Jest to rzeczywista wytrzymałość, na którą wpływ ma efekt wzmocnienia. Obliczana jest ona na podstawie wykresu siła-przemieszczenie dla materiału (**Patrz...** *3.1.17 Biblioteka charakterystyk dla sprężyn*):



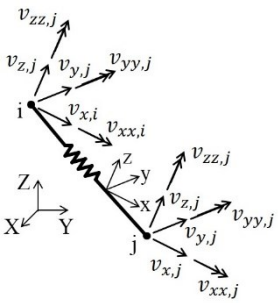
gdzie $e_{eff,x}$ to plastyczne odkształcenie efektywne (NLP) *eeff,x P).*

Stopień wykorzystania:

$$(NL)St.wykorz._x = \left|\frac{R_x}{(NL)F_{y,x}}\right|$$

6.1.24 Wyniki z analizy dynamicznej dla sprężyn

Składniki związane z przesuwem	*Opis*
(D) v,x	*Prędkość odkształcenia sprężyny w lokalnym kierunku -x-* $v_x = v_{x,j} - v_{x,i}$
R,x	*Siła w sprężynie w lokalnym kierunku -x-*
(D) R,x D	*Siła tłumiąca w lokalnym kierunku -x-*
(D) R,x S	*Całkowita siła sprężyna+tłumik w lokalnym kierunku -x-* $(D)\,R,x\,S = R,x + (D)\,R,x\,D$
...,y	*... w lokalnym kierunku -y-*
...,z	*... w lokalnym kierunku -z-*



Składniki związane z obrotem	*Opis*
(D) v,xx	*Prędkość odkształcenia kątowego sprężyny wokół lokalnej osi -x-* $v_{xx} = v_{xx,j} - v_{xx,i}$
R,xx	*Moment w sprężynie wokół lokalnej osi -x-*
(D) R,xx D	*Moment tłumiący wokół lokalnej osi -x-*
(D) R,xx S	*Całkowity moment sprężyna+tłumik wokół lokalnej osi -x-* $(D)\,R,xx\,S = R,xx + (D)\,R,xx\,D$
...,yy	*... wokół lokalnej osi -y-*
...,zz	*... wokół lokalnej osi -z-*

6.1.25 Linie wpływu

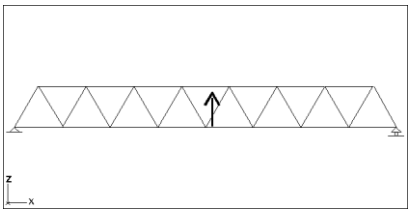
Wyświetla linie sił wewnętrznych odpowiadające przyłożony siłom jednostkowym P_X, P_Y, P_Z, które działają w dodatnim kierunku globalnych osi współrzędnych. Rzędna linii wpływu reprezentuje wartość poszczególnej siły wewnętrznej, która występuje w odpowiednim przekroju poprzecznym, spowodowana przez przyłożoną siłę jednostkową w położeniu rzędnej.

Pręt kratowy

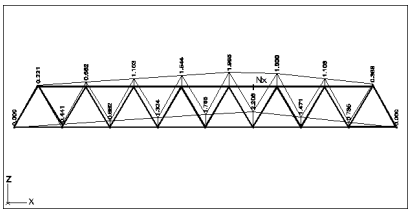
Kliknięcie na pręt kratowy wyświetli bezwzględną maksymalną wartość rzędnej elementów.

Wyświetlenie wykresów linii wpływu sił normalnych dźwigara kratowego:

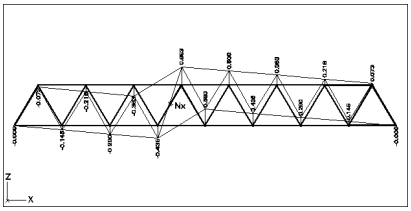
Jednostka siły w kierunku Z



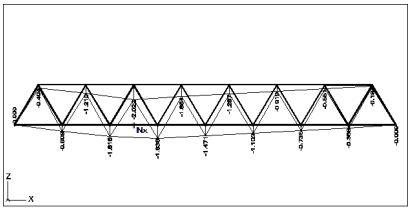
Linia wpływu pasa górnego



Linia wpływu pręta kratowego



Linia wpływu pasa dolnego

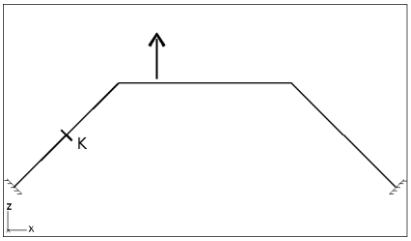


Pręt

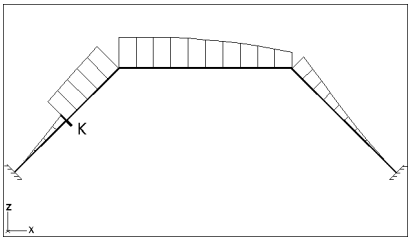
Kliknięcie na pręt wyświetli bezwzględną maksymalną wartość rzędnej elementów i jej lokalizację.

Wyświetlenie wykresów linii wpływu sił wewnętrznych ramy:

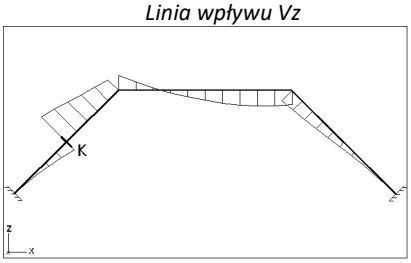
Jednostkowa siła w kierunku Z



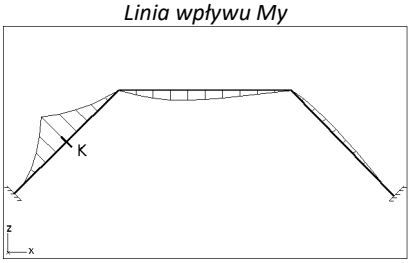
Linia wpływu Nx



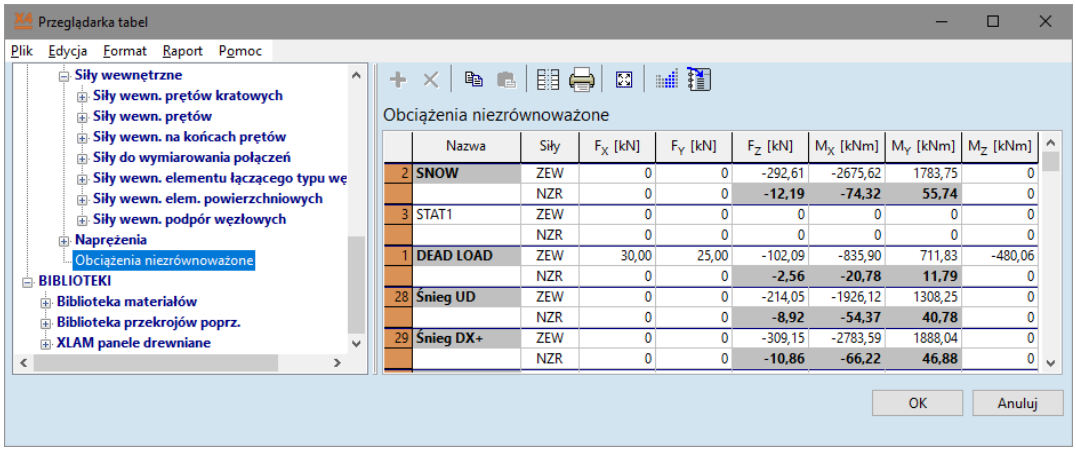
Linia wpływu Vz



Linia wpływu My



6.1.26 Obciążenia niezrównoważone

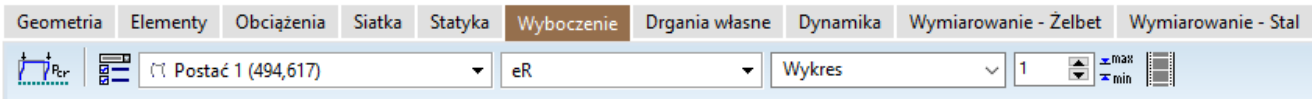


	Nazwa	Siły	F_X [kN]	F_Y [kN]	F_Z [kN]	M_X [kNm]	M_Y [kNm]	M_Z [kNm]
2	SNOW	ZEW	0	0	-292,61	-2675,62	1783,75	0
		NZR	0	0	**-12,19**	**-74,32**	**55,74**	0
3	STAT1	ZEW	0	0	0	0	0	0
		NZR	0	0	0	0	0	0
1	DEAD LOAD	ZEW	30,00	25,00	-102,09	-835,90	711,83	-480,06
		NZR	0	0	**-2,56**	**-20,78**	**11,79**	0
28	Śnieg UD	ZEW	0	0	-214,05	-1926,12	1308,25	0
		NZR	0	0	**-8,92**	**-54,37**	**40,78**	0
29	Śnieg DX+	ZEW	0	0	-309,15	-2783,59	1888,04	0
		NZR	0	0	**-10,86**	**-66,22**	**46,88**	0

Dla każdego przypadku obciążenia obliczana jest wypadkowa wszystkich zewnętrznych obciążeń w odniesieniu do początku globalnego układu współrzędnych (w kierunku X, Y, Z, XX, YY, ZZ).
Dla każdego przypadku obciążenia wyświetlane są także niezrównoważone obciążenia (NZR) zgodnie z ich składowymi (w kierunku X, Y, Z, XX, YY, ZZ). Niezrównoważone obciążenia nie pojawiają się w podporach, dlatego jeżeli istnieją niezerowe składowe niezrównoważonych obciążeń, zazwyczaj oznacza to, że część obciążeń zewnętrznych podparty jest przez zablokowane stopnie swobody, a nie podpory.

☞ **Zaleca się weryfikację obciążeń niezrównoważonych po przeprowadzeniu każdej analizy.**

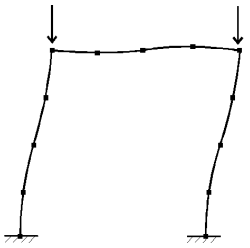
6.2 Wyboczenie



Wyświetla wyniki analizy wyboczeniowej (postacie wyboczenia i parametry obciążenia krytycznego).

W oknie Panelu informacyjnego wyświetlone zostanie:

Wyboczenie ramy:

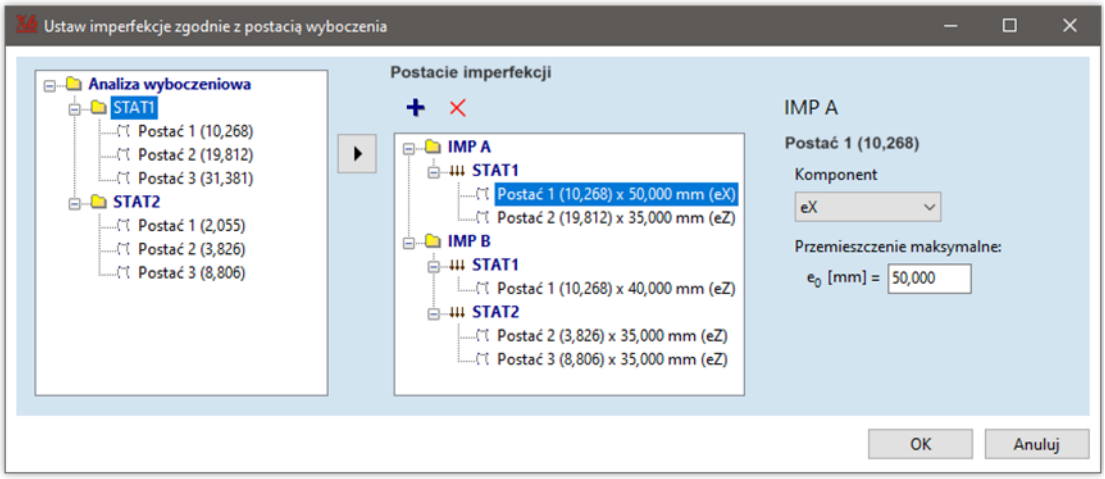


Ncr	mnożnik obciążenia krytycznego
Błąd	względny błąd wartości własnej
Iteracja	liczba iteracji przeprowadzonych przed osiągnięciem zbieżności

☞ **AxisVM zachowuje wyniki analizy wyboczeniowej odpowiadające każdemu przypadkowi.**

6.2.1 Tworzenie geometrii z imperfekcją na podstawie postaci wyboczeniowych – moduł IMP

Moduł pozwala uwzględnić imperfekcje na modelu globalnym poprzez zadanie ich na początkową geometrię konstrukcji na podstawie przeskalowania i nałożenia postaci wyboczeniowych. Efekty drugiego rzędu od imperfekcji mogą zostać ujęte dzięki analizie nieliniowej z opcją nieliniowości geometrycznej uruchomionej dla geometrii imperfekcyjnej.



Lista po lewej stronie zawiera postaci wyboczenia uzyskane z globalnej analizy wyboczeniowej. Lista pośrodku wyświetla postacie imperfekcji zbudowane z dostępnych postaci wyboczeniowych. Parametry imperfekcji do postaci można przypisywać grupowo i indywidualnie (w zależności od zakresu zaznaczenia na środkowej liście) w prawej części okna dialogowego.

Tworzy nową postać imperfekcji

Usuwa postacie imperfekcji lub jej składniki. Polecenie to może działać na wielu elementach listy, w zależności od zakresu zaznaczenia. Usunięcie postaci imperfekcji usuwa przypisane postaci wyboczenia z listy na środku oraz automatycznie powiązany z nią przypadek obciążenia.

Użycie przycisku *Dodaj* spowoduje dodanie postaci wyboczeniowych wybranych z listy po lewej stronie do wybranej na środkowej liście postaci imperfekcji. Można zaznaczyć na raz wiele postaci wyboczeniowych. Po wskazaniu na liście postaci wyboczeniowych tylko nazwy przypadku lub kombinacji obciążeń i kliknięcie w przycisk *Dodaj*, doprowadzi do dodania wszystkich postaci wyboczeniowych ze wskazanego przypadku do listy imperfekcji.
Dodane do środkowej listy postacie wyboczeniowe są automatycznie porządkowane w folderach z nazwą ich przypadku obciążenia. Nie jest możliwe ręczne ich grupowanie ani zmiana kolejności. Jeżeli zaznaczona postać wyboczeniowa jest już obecna na liście imperfekcji, to nie będzie możliwości dodania jej ponownie.

☞ **Zaznaczone postacie wyboczeniowe mogą również zostać dodane do postaci imperfekcji poprzez przeciągnięcie je myszką pomiędzy listami. Przeciągane elementy zostaną dodane tylko w miejsce, gdzie zostały upuszczone.**

Komponent, Przemieszczenie maksymalne

Aby utworzyć imperfekcje, należy określić jeden z komponentów przemieszczenia lub obrotu, albo ich wypadkową. Skalowanie przemieszczenia lub obrotu muszą zostać określone dla każdej postaci wyboczeniowej. Postaci te skalowane są w taki sposób, że bezwzględna wartość największego jej przemieszczenia po kierunku wybranego składnika jest równa bezwzględnej wartości skalowania z pola *Przemieszczenie maksymalne*. Znak wartości skalowania może być wykorzystany do sterowania kierunkiem deformacji danej postaci, tj. dodatni znak odpowiada kierunkowi postaci deformacji z wyboczenia, a znak ujemny odpowiada kierunkowi przeciwnemu.

Skalowanie i superpozycja postaci wykonywane są wg poniższych wzorów.

$$IMP = \sum_{(i)} c_i \cdot \eta_{cr,i}$$

gdzie

IMP to skompilowana postać imperfekcyjna,
$\eta_{cr,i}$ to *i-ta* postać wyboczeniowa,
c_i to współczynnik *i-tej* postaci wyboczeniowej:

$$c_i = \frac{e_{0,i}}{|\eta_{cr,i}|_{max}}$$

gdzie

$e_{0,i}$ skalowane przemieszczenie lub obrót
$|\eta_{cr,i}|_{max}$ to bezwzględna wartość maksymalnej deformacji *i-tej* postaci wyboczeniowej w kierunku wybranego komponentu.

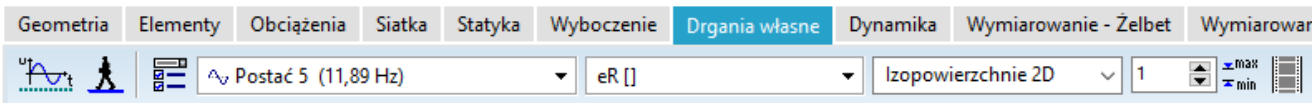
☞ **Wprowadzony komponent i wartość skalowania można zastosować jednocześnie do wielu zaznaczonych postaci.**

Utworzone za pomocą tego polecenia imperfekcyjne kształty konstrukcji dołączane są do rozwijanej listy na głównej zakładce *Wyboczenie*. Dzięki temu mogą być one wyświetlane tak jak pojedyncze postacie wyboczeniowe w oknie głównym programu.
Utworzenie i usunięcie imperfekcyjnego kształtu konstrukcji automatycznie tworzy i usuwa powiązany przypadek obciążenia, ale mogę one również być edytowane z poziomu przypadków obciążeń. Patrz *4.10.27 Imperfekcje geometryczne na podstawie postaci wyboczenia*.

Jeżeli z powodu zmian na modelu jakaś postać wyboczeniowa zostanie usunięta, to geometria z imperfekcją, która ją wykorzystywała nie jest usuwana, ale traktowana jako unieważniona. Po ponownym wykonaniu analizy wyboczeniowej imperfekcyjne kształty konstrukcji są automatycznie aktualizowane na podstawie nowych postaci wyboczeniowych.

☞ **Zaktualizowane postaci imperfekcyjne muszą zostać ponownie zrewidowane przez użytkownika, ponieważ zmianie mogły ulec postacie wyboczenia, niektóre z nich mogły zniknąć, a pojawić się zupełnie nowe.**

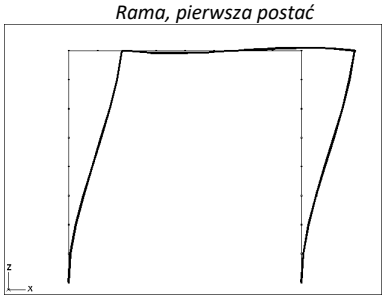
6.3 Drgania własne



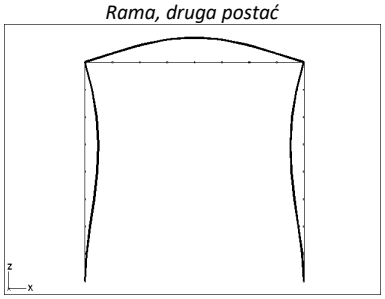
Wyświetla wyniki analizy modalnej (postacie i częstości własne).
W parametrach analizy użytkownik musi określić liczbę postaci własnych do wyznaczenia.
Postacie własne normalizowane są w odniesieniu do masy.

Wyświetlanie postaci własnych:

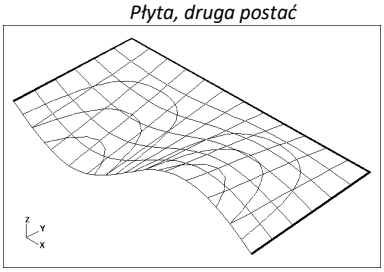
Rama, pierwsza postać



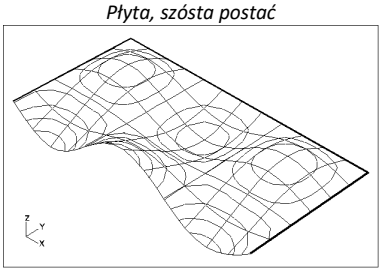
Rama, druga postać



Płyta, druga postać



Płyta, szósta postać



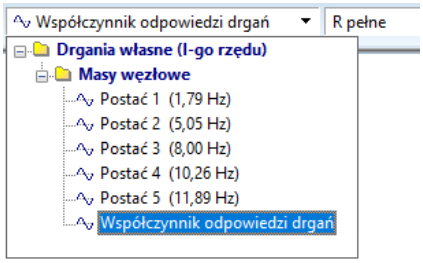
W oknie Panelu informacyjnego wyświetlone zostanie:

F	Częstość
Ω	Częstość kołowa
T	Okres
Ev	Wartość własna
Błąd	Względny błąd wartości własnej
Iteracja	Liczba iteracji przeprowadzonych przed osiągnięciem zbieżności

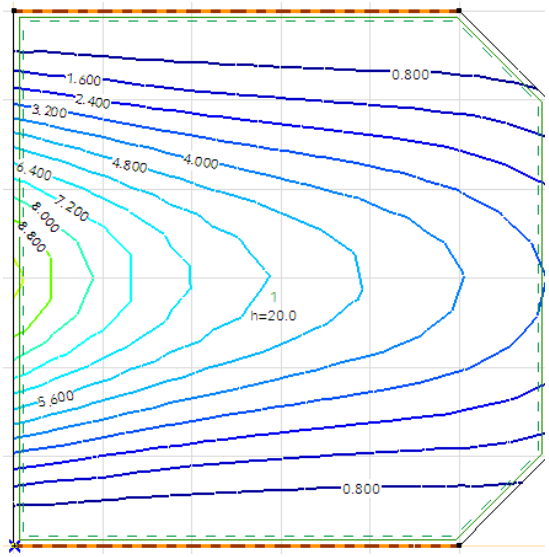
☞ **AxisVM zachowuje wyniki analizy drgań własnych odpowiadające każdemu przypadkowi.**

Wyświetlanie współczynnika odpowiedzi drgań

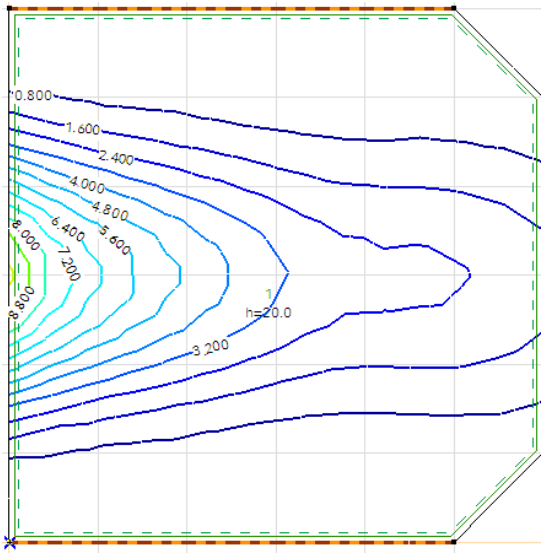
Po przeprowadzonej analizie drgań wymuszonych od ruchu pieszego (moduł FFA), należy wybrać *Współczynnik odpowiedzi drgań* znajdujący się na końcu listy z postaciami własnymi. Współczynniki odpowiedzi drgań wyznaczone za pomocą różnych metod wzbudzenia (*R pełne, R ekstr., R samowzb.*) mogą zostać wybrane z listy komponentów wyników (środkowa lista na zakładce *Drgania własne*).



Wzbudzenie pełne (R pełne)



Samowzbudzenie płyty (R samowzb.)



Wartości wyświetlane w oknie Panel informacyjny:

Metoda analizy:	CCIP-016 lub SCI P354
ξ:	Tłumienie [%]
N, L:	Liczba kroków [-] (CCIP-016), Długość ścieżki pieszego [m] (SCI P354)
m:	Masa pieszego [kg]
$f_{p,min}$, $f_{p,max}$	Minimalne i maksymalne częstotliwości dla chodu na płytach (CCIP-016, SCI P354), na schodach (SCI P354) [Hz]

Masa aktywowana

Program oblicza masy aktywowane (w niektórych publikacjach używa się terminu „masy modalne") po każdym kierunku: X, Y oraz Z, wykorzystując rzędne postaci własnych i masy.
Dla prętów

$$M_{mod} = \mu \int_l \delta^2(x) \cdot dl$$

Dla elementów powierzchniowych:

$$M_{mod} = \mu \int_A \delta^2(x,y) \cdot dA$$

gdzie:

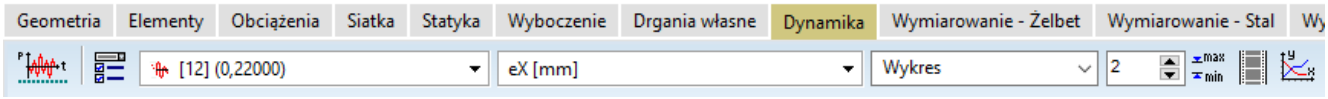
μ – rozkład masy
δ – znormalizowane rzędne postaci własnej po zadanym kierunku

Wartości obliczonych „mas aktywowanych" dla każdej postaci własnej i dla każdego kierunku wyświetlane są w tabeli Drgania własne / Masy aktywowane.
Masy aktywowane i częstości drgań własnych są wykorzystywane przy wymiarowaniu stropów obciążonych ruchem pieszych. W Eurokodzie jest kilka wytycznych do powyższego zagadnienia. Stąd też EU sponsorowała projekt badawczy, który pozwolił opracować wytyczne OS-RMS90 do projektowania stropów.
Dalsze informacje można znaleźć w poniższym pliku PDF:
http://www.stb.rwth-aachen.de/projekte/2007/HIVOSS/docs/Guideline_Floors_EN02.pdf

Tabela wyników

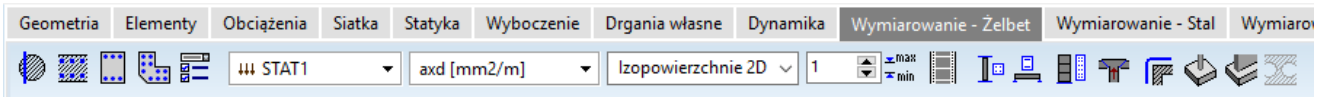
Patrz... *6.1.5 Tabele wyników*

6.4 Dynamika



Wyświetla wyniki analizy dynamicznej.
Ustawienia i tryby prezentacji są takie same jak w przypadku wyników analizy statycznej.
Patrz... *6.1 Statyka.*

6.5 Wymiarowanie - Żelbet



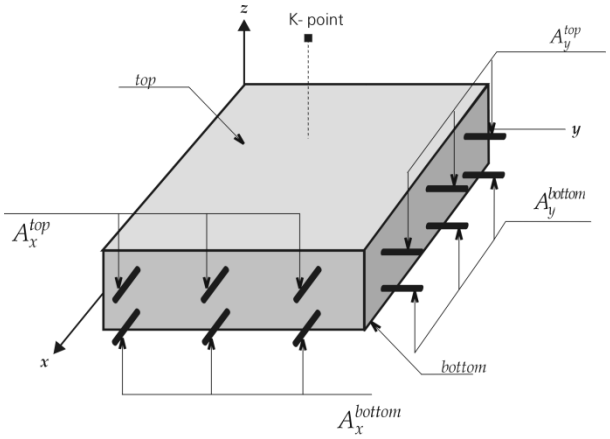
6.5.1 Wymiarowanie elementów powierzchniowych

6.5.1.1 Wymiarowanie zbrojenia (moduł RC1)

Normy projektowe

Eurokod 2: *EN 1992-1-1:2004*
DIN: *DIN 1045-1:2001-07*
SIA: *SIA 262: 2013*

Zbrojenie elementów powierzchniowych może być obliczone na podstawie Eurokodu 2. Obliczanie zbrojenia elementów typu tarcza, płyta i powłoka bazuje na III fazie pracy przekroju żelbetowego. Kierunki zbrojenia są takie same jak lokalne kierunki x oraz y. Moment nominalny i odpowiadająca wytrzymałość określane są na podstawie optymalnego wymiarowania po danym kierunku.



Komponenty wyników

nxD, nyD, mxD+, mxD-, myD+, myD-	siły do wymiarowania zbrojenia
ax(d):	pole pow. zbrojenia teoretycznego, dolnego w kierunku -x-
ay(d):	pole pow. zbrojenia teoretycznego, dolnego w kierunku -y-
ax(g):	pole pow. zbrojenia teoretycznego, górnego w kierunku -x-
ay(g):	pole pow. zbrojenia teoretycznego, górnego w kierunku -y-
sx(d):	rozstaw prętów dolnego zbrojenia teoretycznego w kierunku -x-
sy(d):	rozstaw prętów dolnego zbrojenia teoretycznego w kierunku -y-
sx(g):	rozstaw prętów górnego zbrojenia teoretycznego w kierunku -x-
sy(g):	rozstaw prętów górnego zbrojenia teoretycznego w kierunku -y-
x(d):	rzeczywiste (zastosowane) zbrojenie, dolne w kierunku -x-
y(d):	rzeczywiste (zastosowane) zbrojenie, dolne w kierunku -y-
x(g):	rzeczywiste (zastosowane) zbrojenie, górne w kierunku -x-
y(g):	rzeczywiste (zastosowane) zbrojenie, górne w kierunku -y-
x(d)–ax(d):	różnica zbr. rzeczywistego i wymaganego, dolnego w kierunku -x-
y(d)–ay(d):	różnica zbr. rzeczywistego i wymaganego, dolnego w kierunku -y-
x(g)–ax(g):	różnica zbr. rzeczywistego i wymaganego, górnego w kierunku -x-
y(g)–ay(g):	różnica zbr. rzeczywistego i wymaganego, górnego w kierunku -y-
vEd:	wypadkowa siła tnąca
avEd:	główny kierunek wypadkowej siły tnącej względem osi -x-
vRd,c:	nośność przy ścinaniu przekroju betonowego
vRd,max:	maksymalna nośność przy ścinaniu przekroju ze zbrojeniem na ścinanie
vEd/vRd,max:	stopień wykorzystania ze względu na ścinanie przekroju betonowego
vEd–vRd,c:	różnica pomiędzy wypadkową siłą tnącą prostopadłą do powierzchni i nośnością przy ścinaniu
wk(d)	rozwarcie rys w osi dolnego zbrojenia rzeczywistego
wk(g)	rozwarcie rys w osi górnego zbrojenia rzeczywistego
wk2(d)	rozwarcie rys na dolnej powierzchni dla zbrojenie rzeczywistego
wk2(g)	rozwarcie rys na górnej powierzchni dla zbrojenie rzeczywistego
wk2(d,g)	rozwarcie rys na dolnej i górnej powierzchni dla zbrojenie rzeczywistego
wR(d)	kierunek rys na dolnej powierzchni dla zbrojenie rzeczywistego
wR(g)	kierunek rys na górnej powierzchni dla zbrojenie rzeczywistego
*wk(d)**	rozwarcie rys w osi dolnego zbrojenia teoretycznego
*wk(g)**	rozwarcie rys w osi górnego zbrojenia teoretycznego
*wk2(d)**	rozwarcie rys na dolnej powierzchni dla zbrojenie teoretycznego
*wk2(g)**	rozwarcie rys na górnej powierzchni dla zbrojenie teoretycznego
*wk2(d,g)**	rozwarcie rys na dolnej i górnej powierzchni dla zbrojenie teoretycznego
*wR(d)**	kierunek rys na dolnej powierzchni dla zbrojenie teoretycznego
*wR(g)**	kierunek rys na górnej powierzchni dla zbrojenie teoretycznego

Wyświetlanie wyników na modelu bryłowym

Wartości wyników dla górnej i dolnej warstwy mogą być wyświetlane na modelu jednocześnie w trybie *Model bryłowy*.

Parametry zbrojenia

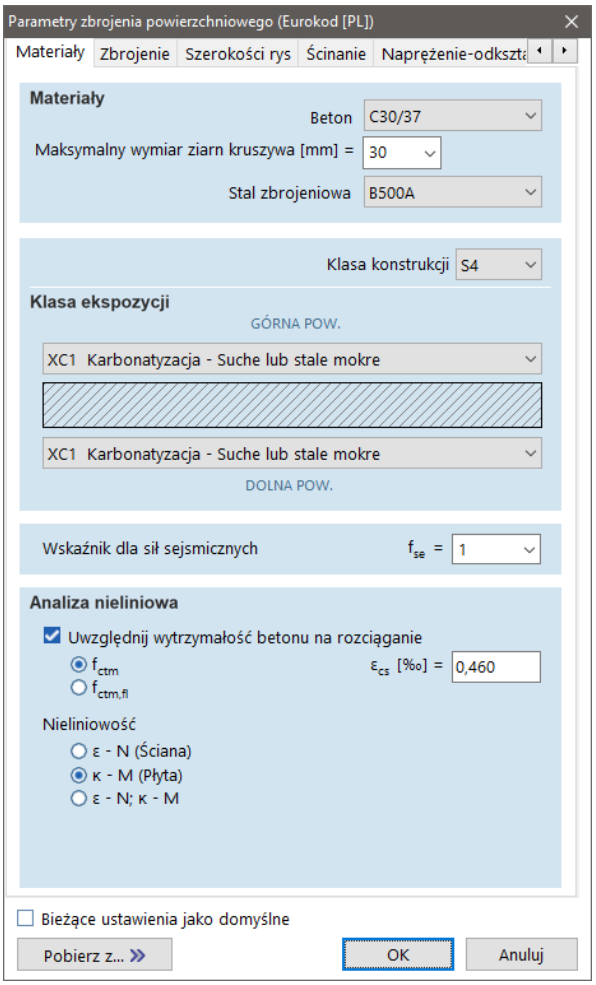
Aby zwymiarować zbrojenie elementów powierzchniowych, należy najpierw przypisać elementom skończonym następujące parametry:

Materiały

Klasa betonu i stali zbrojeniowej musi zostać określona. Wymagana minimalna otulina ustalana jest na podstawie klasy konstrukcji i środowiska na górnej i dolnej powierzchni elementu.

Przy obliczeniach minimalnego rozstawu prętów zbrojeniowych, wszystkie normy projektowe biorą pod uwagę maksymalny wymiar ziarn kruszywa. Norma szwajcarska (SIA) sprawdza tę wartość także dla otuliny minimalnej.

Wskaźnik dla sił sejsmicznych można znaleźć w rozdziale *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1).*



Analiza nieliniowa

Niektóre parametry uwzględniane w analizie nieliniowej elementów powierzchniowych (**patrz...** *6.5.6 Nieliniowa analiza dla żelbetowych płyt i powłok*) mogą zostać tutaj określone przez użytkownika:

- uwzględnienie wytrzymałości betonu na rozciąganie (f_{ctm}) lub wytrzymałości betonu na rozciąganie przy zginaniu elementów zbrojonych ($f_{ctm,fl}$)
- końcowe odkształcenie betonu od skurczu
- typ dominującej odpowiedzi nieliniowej (ściana, płyta lub powłoka)

Opcje te dostępne są dla następujących typów obszarów (**patrz...** *4.9.5 Obszar*):

- normalny,
- użebrowana płyta zespolona,
- parametrycznie użebrowany,
- strop zespolony (jeżeli zaznaczona jest opcja *Blacha trapezowa tylko jako szalunek*).

☞ **Odpowiedź nieliniowa dla ścian zakłada sprężyste wyznaczenie momentów zginających, a w przypadku płyt sprężyste wyznaczenie sił tarczowych.**

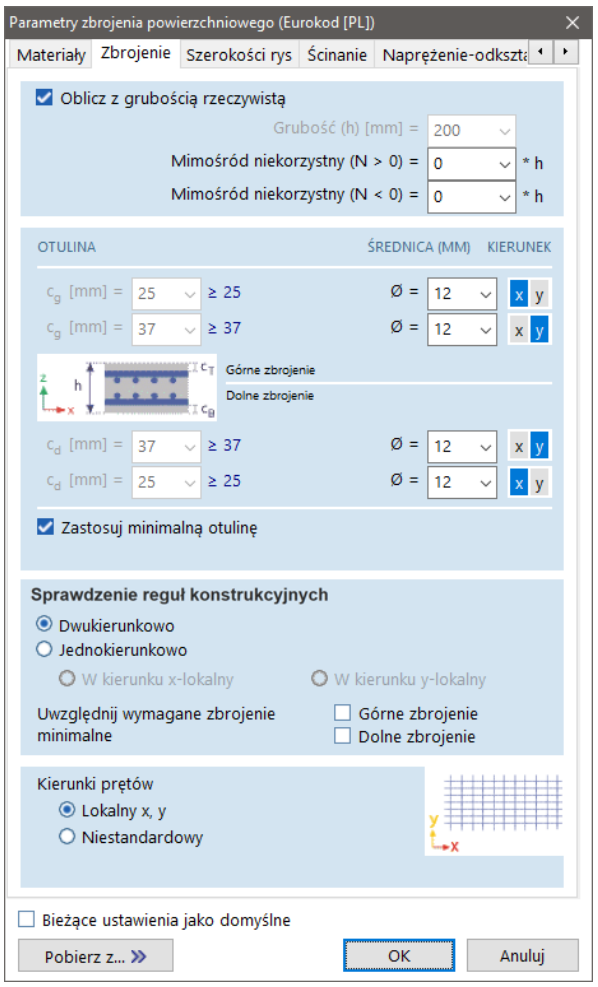
☞ **Celem uwzględniania nieliniowej odpowiedzi materiału w analizie nieliniowej jest obliczenie bardziej dokładnych wartości ugięć dla żelbetowych elementów powierzchniowych dla SGU. Użycie tego modelu całkowania po warstwach przekroju dla SGN nie jest zalecane.**
Ważne jest również, aby nie używać tego modelu materiału w celu uwzględnienia nieliniowej odpowiedzi elementów żelbetowych w analizie typu pushover zamiast wykorzystywanych tam przegubów plastycznych (patrz... *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*), ponieważ obecne tu modele materiałów nie uwzględniają osłabienia wytrzymałości od obciążeń cyklicznych, wyboczenia wkładek zbrojeniowych itd.

Zbrojenie

Oblicz z grubością rzeczywistą
Jeżeli ta opcja jest aktywna, to program do obliczenia zbrojenia przyjmie rzeczywistą grubość (stałą lub zmienną) powierzchni.

h to całkowita grubość użyta w obliczeniach. W przypadku Eurokodu 2 *Mimośród niekorzystny* będzie zawsze dodawany do wartości rzeczywistej (obliczonej na podstawie sił normalnych i momentów), aby zwiększyć bezwzględną wartość mimośrodu.

Aby określić otulinę można wybrać opcję *Zastosuj minimalną otulinę* lub wpisać samodzielnie wartość otuliny górnej i dolnej (liczonej od wierzchu zbrojenia do zewnętrznej powierzchni betonu) zarówno dla warstwy zbrojenia zewnętrznego jak i wewnętrznego niezależnie.
Dwa pierwsze wiersze kontrolek pod *Średnicą* i *Kierunkiem* odnoszą się do górnych prętów (pierwszy i drugi rząd bliżej wierzchu płyty), a dolne dwa wiersze do prętów dolnych (trzeci i czwarty rząd bliżej spodu płyty). Układ prętów zbrojeniowych na grafice w przyjętym układzie lokalnym jest wyświetlany z uwzględnieniem kolejności poszczególnych warstw.



Zastosuj minimalną otulinę

Program określa minimalną otulinę górną i dolną na podstawie przyjętej klasy środowiska, zgodnie z bieżącą normą projektową.

Sprawdzenie reguł konstrukcyjnych

W tej części okna dialogowego można uwzględnić kierunek przekazywania obciążenia podczas wyznaczania minimalnego i maksymalnego rozstawu prętów oraz minimalnego stopnia zbrojenia na podstawie normy projektowej oraz odpowiedniego załącznika krajowego. Rozstaw prętów jest zgodny z zasadami normowymi tylko wtedy, gdy włączona jest opcja *Zastosuj reguły rozstawiania prętów* w oknie *Parametry wyświetlania / Ustawienia inne* (**patrz...** *6.1 Statyka*)

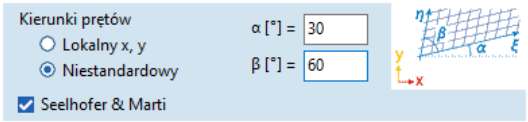
Jeżeli wyliczona ilość zbrojenia prowadzi do rozstawu prętów większego niż maksymalny, dopuszczalny rozstaw, to użyta zostanie wartość maksymalna. Jeżeli rozstaw byłby mniejszy od minimalnego, to płyta nie będzie mogła zostać zazbrojona.

Uwzględnij wymagane zbrojenie minimalne

Program wyznacza wymagane minimalne zbrojenie górne i dolne, zgodnie z bieżącą normą projektową. Jeżeli obliczona na podstawie sił wewnętrznych ilość zbrojenia jest mniejsza niż zbrojenie minimalne, to program przyjmuje wartość zbrojenia minimalnego.

Kierunki prętów

Wymagane zbrojenie może zostać obliczone z założeniem, że jego kierunek jest zgodny z lokalnymi kierunkami x/y obszaru lub z kierunkami niestandardowymi. Jeżeli wybrane zostały niestandardowe kierunki zbrojenia, to zamiast x/y do ich identyfikacji zostaną użyte symbole ξ/η.
Kąt α jest kątem między lokalną osią -x- elementu powierzchniowego a kierunkiem ξ zbrojenia, podczas gdy kąt β odnosi się do wartości kąta między kierunkami (ξ oraz η) prętów zbrojeniowych.
Dzięki temu można zdefiniować ortogonalną siatkę zbrojenia z niestandardowym kątem α (-360°<α<360°) oraz nieortogonalną siatkę zbrojenia (β≠90°). Graniczne wartości dla kąta β to 45° oraz 135°.



Jeżeli zaznaczona zostanie opcja Seelhofer & Marti, to program uwzględni przy sprawdzaniu ściskanych krzyżulców betonowych dodatkowe warunki z publikacji Hansa Seelhofera oraz Petera Martiego (*H. Seelhofer & P. Marti: Dimensioning of skewly reinforced concrete plates*) (**patrz...** *6.5.1.1.3 Obliczenia zbrojenia ukośnego wg Eurokodu 2 oraz SIA 262*).
Program zawsze uwzględnia przy sprawdzaniu ściskanych krzyżulców betonowych wytyczne z załącznika F normy EN 1992-1-1.

☞ **Jeżeli na modelu istnieje choć jeden element powierzchniowy ze zbrojeniem ukośnym, to wszystkie etykiety x/y na rysunkach i tabelach zostaną podmienione. Na przykład *ax(d)* zostanie zastąpione przez *aξ(d)* (gdy wszystkie elementy mają ukośne zbrojenie) lub przez a(x/ξ)(b) (gdy jednocześnie występują elementy z ukośnym i ortogonalnym kierunkiem zbrojenia).**

☞ **W przypadku obszarów typu Airdeck oraz płyta kanałowa nie można wyznaczyć wymaganego zbrojenia ukośnego. Jeżeli obszary tego typu zostały zaznaczone, to w oknie dialogowym Kierunki prętów będą niewidoczne.**

Zbrojenie wymagane (teoretyczne) obszarów

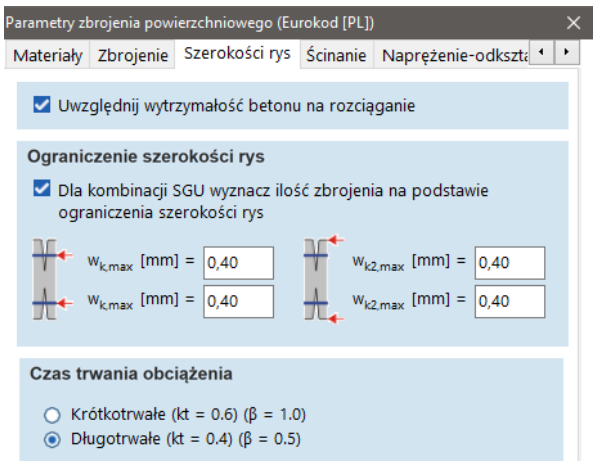
Program tworzy podsumowanie wagowe zbrojenia teoretycznego dla każdego przypadku obciążenia, kombinacji, obwiedni i kombinacji decydujących w *Przeglądarce tabel*, w tabelach *Zbrojenie wymagane obszarów*. Zawartość tej tabeli może być sortowana wg typu elementu konstrukcyjnego (ściana, płyta lub inne), betonu, klasy stali zbrojeniowej, właściwości obszaru i obliczonego zbrojenia wymaganego.
Kolumna *Komentarz* wyświetla ostrzeżenia, jeżeli obliczenia zbrojenia wymaganego nie powiodły się (np. *Pewne strefy nie mogą zostać zazbrojone*) lub jeżeli grubość obszaru jest inna niż ta zadana w jego parametrach do wymiarowania.
Tabela zawiera wyniki dla obszarów w aktywnych fragmentach (aktualnie wyświetlanych na modelu) lub tych które zostały zaznaczone przed otwarciem tabeli.

☞ **Zbrojenie wymagane (teoretyczne) nie zawiera dodatkowego zbrojenia wynikającego z zakładów, długości zakotwień, starterów czy prętów rozdzielczych.**

☞ Podczas interpretowania całkowitego i rzeczywistego zbrojenia, należy wziąć pod uwagę następujące aspekty:
- Dla płyt użebrowanych oraz zespolonych (z żebrami żelbetowymi), obliczona ilość zbrojenia dotyczy tylko płyt, a nie ich żeber.
- Objętość betonu danego obszaru zawiera objętość jego żeber tylko, jeżeli są to żebra logiczne, a nie rzeczywiste. Dla żeber rzeczywistych uwzględniana jest objętość betonu samej płyty.
- Dla stropu zespolonego na blasze trapezowej użycie rzeczywistej grubości obszaru spowoduje wyświetlenie objętości betonu płyty łącznie z jej żeberkami (także dla przypadku, gdy blacha jest tylko szalunkiem).
- Ustawienie indywidualnej grubości obszaru w parametrach do wymiarowania żelbetu nadpisuje grubość rzeczywistą. Objętość betonu i ilość zbrojenia w takim przypadku obliczana jest z tą zadaną wartością jak dla normalnej, pełnej płyty. Strop zespolony na blasze trapezowej jest tutaj wyjątkiem: indywidualna wartość grubości oznacza dla niego całkowitą wysokość przekroju betonowego i w taki sposób obliczana jest jego objętość betonu.

Szerokości rys

Na tej zakładce znajdują się dodatkowe ustawienia związane z wyznaczaniem szerokości rys.



Uwzględnij wytrzymałość betonu na rozciąganie

Jeżeli ta opcja jest włączona to program nie oblicza szerokości rys, gdy naprężenie w betonie pozostaje poniżej jego wytrzymałości na rozciąganie.

Ograniczenie szerokości rys

Jeżeli zaznaczono opcję *Dla kombinacji SGU wyznacz ilość zbrojenia na podstawie ograniczenia szerokości rys*, to wymagana ilość zbrojenia wyznaczana będzie z uwzględnieniem dopuszczalnej szerokości rysy na podstawie kombinatoryki SGU. Szerokość graniczna rysy może zostać ustawiona przez użytkownika jako wartość w osi zbrojenia ($w_{k,max}$) lub na wierzchu przekroju betonowego ($w_{k2,max}$).

Jeżeli na podstawie tak wyliczonego zbrojenia do obszaru zostanie przypisane zbrojenie rzeczywiste o takich samych parametrach (otulina, średnica), to obliczona wartość zarysowania nie przekroczy wtedy wartości granicznej (dotyczy wyników analizy sprężystej).

Przy wymiarowaniu na prosty, pojedynczy przypadek obciążenia lub na kombinację zdefiniowaną przez użytkownika (nie określonej jako SGN lub SGU) przy zaznaczonej powyższej opcji, wymagana ilość zbrojenia obliczona będzie zarówno ze względu na siły wewnętrzne jak i warunek dopuszczalnego zarysowania (w zależności, która wartość będzie w danym miejscu decydująca).

W przypadku wymiarowania na automatyczne kombinacje *Decydujące* (**patrz...** *6.1 Statyka*) wymagane zbrojenie będzie uwzględniać zarówno warunki SGN (automatycznie pobierane z kombinacji SGN) jak i warunki SGU (automatycznie pobierane z kombinacji SGU) i z obu warunków będzie wtedy decydować większa wartość ilości zbrojenia.

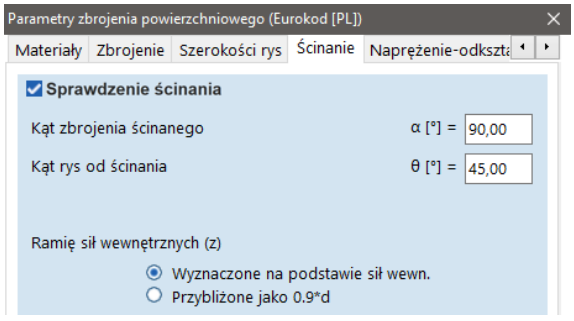
Czas trwania obciążenia

W tym miejscu można ustawić czas trwania obciążenia. Ten parametr wykorzystywany jest w analizie zarysowania.

Ścinanie

Kąt dla zbrojenia ścinanego i rys od ścinania mogą zostać tutaj ustawione, w celu obliczenia nośności na ścinanie $V_{Rd,max}$ (**patrz...** *6.5.1.4 Nośność na ścinanie dla płyt i powłok (moduł RC3)*)

Sprawdzenie ścinania może zostać wyłączone poprzez odznaczenie opcji znajdującej się w lewym górnym narożniku okna.



Naprężenie-odkształcenie

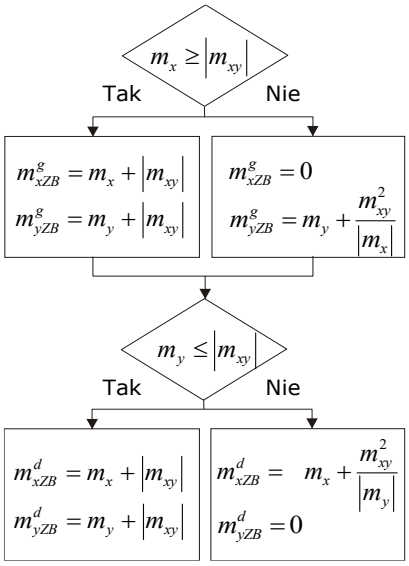
Parametry służące do przeprowadzenia analizy naprężenie-odkształcenie w powierzchniowym elemencie żelbetowym (moduł RC6) – **patrz...** *6.5.11.2 Analiza naprężenie-odkształcenie elementów powierzchniowych.*

6.5.1.1.1 Obliczenia zbrojenia ortogonalnego x/y wg Eurokodu 2

Płyta

Jeżeli *mx, my, mxy* to wewnętrzne siły w punkcie, to nominalne momenty zginające wyglądają następująco:

Optimum momentu: $\begin{matrix}\Delta m_2=0\\ \Delta m_1=\min!\end{matrix}$ $m_x \geq m_y$



Wyniki

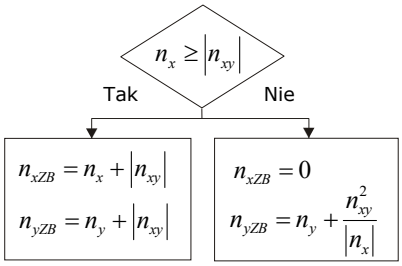
AxisVM wylicza zbrojenia rozciągane i / lub ściskane (dla przekrojów podwójnie zbrojonych).

☞ **Komunikat błędu** "Element nie może zostać zazbrojony" **zostanie wyświetlony, gdy: Całkowita powierzchnia zbrojenia górnego i dolnego po kierunku -x- lub -y- jest większa niż wynika z wartości stopnia maksymalnego zbrojenia. Wartość tę można zmodyfikować w Ustawienia > Normy projektowe > Żelbet (patrz...** *3.3.7 Normy projektowe***)**

Tarcza

Tylko tarcze w płaskim stanie naprężenia mogą zostać zazbrojone.
Jeżeli *nx, ny, nxy* to siły wewnętrzne w punkcie, to nominalne siły wyglądają następująco:

- optimum siły normalnej: $\begin{matrix}\Delta n_2 = 0\\ \Delta n_1 = \min!\end{matrix}$ $n_y \geq n_x$



Wyniki

AxisVM wylicza zbrojenia rozciągane lub ściskane. Zbrojenie ściskane wyliczane jest tylko w punktach, w których nośność na ściskanie osiowe przekroju bez zbrojenia jest mniejsza niż obliczeniowa osiowa siła ściskająca.

Powłoka

Jeżeli *nx, ny, nxy, mx, my, mxy* to siły wewnętrzne w punkcie, wtedy wymiarujące siły osiowe i momenty ustalane są na podstawie optimum rezerwy siły osiowej oraz optimum rezerwy momentu, które zostały wyszczególnione w opisie zbrojenia tarczy i płyty.

Program wylicza potrzebne zbrojenia rozciągane i ściskane.

Wyniki

Jako wyniki podane są następujące wartości: *ax(d), ax(g), ay(d), ay(g)*
Reprezentują one obliczone zbrojenie górne i dolne po kierunku *x* oraz *y*.

☞ **Komunikat z błędem** *"Element nie może zostać zazbrojony"* **pojawi się, gdy całkowita powierzchnia zbrojenia górnego i dolnego po kierunku -x- lub -y- przekroczy maksymalny poziom zbrojenia. Wartość tę można zmodyfikować w Ustawienia > Normy projektowe > Żelbet (patrz...** *3.3.7 Normy projektowe***)**

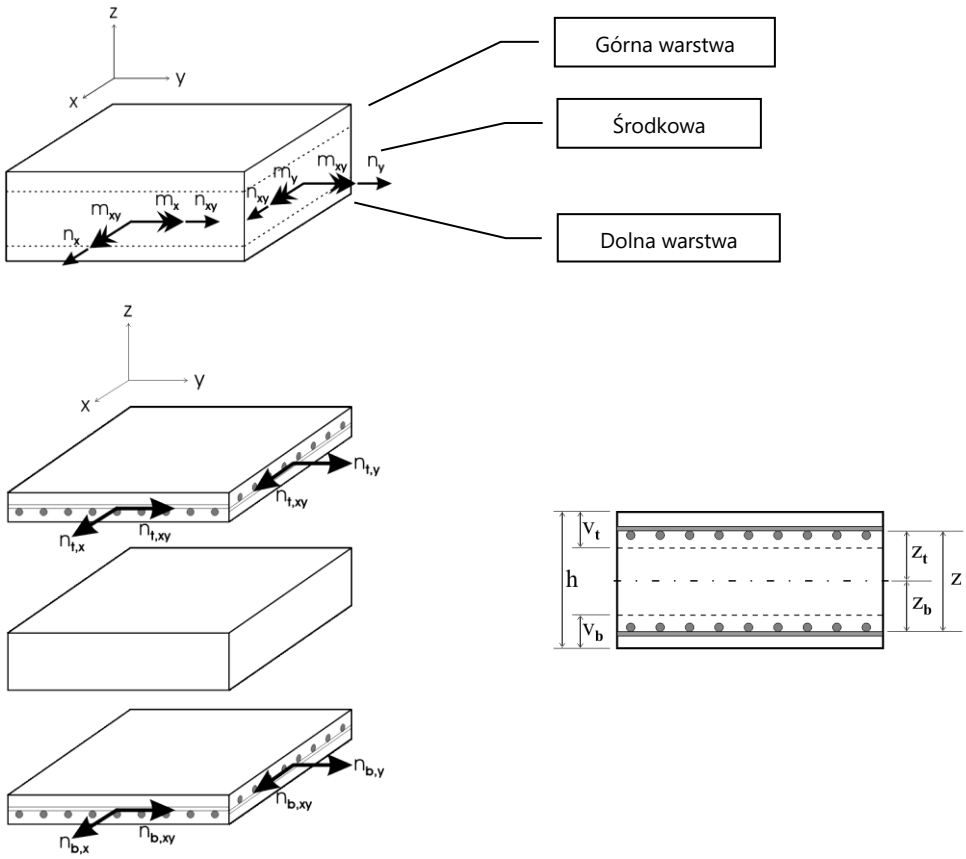
Tabele W tabelach użyte są następujące symbole:
(-) pręt zbrojeniowy ściskany
??? przekrój nie może zostać zazbrojony w odpowiadającym kierunku

6.5.1.1.2 Obliczenia zbrojenia ortogonalnego x/y wg DIN EN, DIN 1045-1 oraz SIA 262

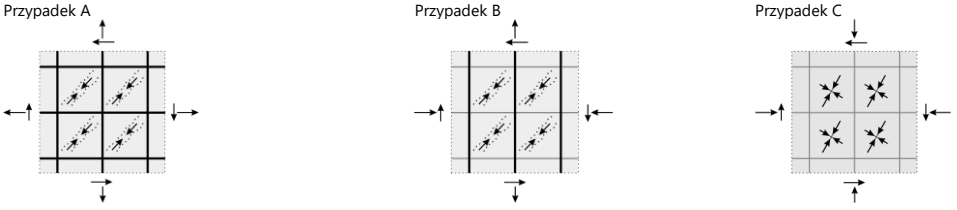
Płyta, Tarcza, Powłoka

Zbrojenie tarcz, płyt i powłok obliczane jest wg metody trzech warstw.
Siły wewnętrzne (m_x, m_y, m_{xy}, n_x, n_y, n_{xy}) obliczane są w prostopadłych kierunkach zbrojenia.

Powierzchnia podzielona jest na trzy warstwy. Obliczane są siły tarczowe dla górnych i dolnych warstw, a następnie określane są siły wymiarujące i wymagana ilość zbrojenia.



Poza obliczeniem wymaganego zbrojenia, strefy betonu są weryfikowane pod względem ścinania i ściskania zgodnie z przypadkami *A, B* i *C*. Program uwzględnia też zmniejszoną wytrzymałość na ściskanie, jeżeli w betonie pojawią się naprężenia rozciągające, a główne naprężenia rozciągające przekroczą wytrzymałość na rozciąganie (f_{ctd}).



Komunikat błędu ***Komunikat błędu*** *Przekrój poprzeczny nie może zostać zazbrojony* ***pojawi się:***

Jeżeli ściskana strefa betonu okaże się niewystarczająca ze względu na siły tnące.

Jeżeli ściskające naprężenie główne jest większe niż f_{cd}.

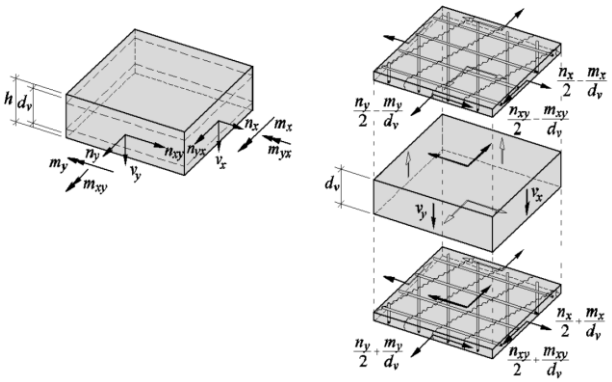
$Ax > 0.04\ A_c$ lub $Ay > 0.04\ A_c$, gdzie A_c to pole powierzchni betonowego przekroju poprzecznego.

Tabele W tabelach użyte zostały następujące symbole:
(-) pręt zbrojeniowy ściskany
??? przekrój nie może zostać zazbrojony w odpowiadającym kierunku
Jeżeli wymagane jest zbrojenie rozciągane nie pojawia się żaden symbol.

6.5.1.1.3 Obliczenia zbrojenia ukośnego wg Eurokodu 2 oraz SIA 262

Ortogonalne siatki zbrojeniowe ułożone nierównolegle do lokalnych osi -x- oraz -y- elementu powierzchniowego lub siatki zbrojeniowe z prętami ustawionymi pod dowolnym kątem, nazywane są w programie jako zbrojenie ukośne. Sposób obliczania takiego zbrojenia przedstawia niniejszy rozdział. W takim przypadku, do oznaczania kierunków prętów przyjęto symbole ξ/η zamiast x/y.
Kąt α jest kątem między lokalną osią -x- elementu powierzchniowego a kierunkiem ξ zbrojenia, podczas gdy kąt β odnosi się do wartości kąta między kierunkami (ξ oraz η) prętów zbrojeniowych.

Podczas obliczeń wymaganej powierzchni zbrojenia ukośnego wykorzystywany jest model trójwarstwowy. Metodologia obliczeń oparta jest na pracy Peter Marti oraz Hans Seelhofer (H. Seelhofer & P. Marti: Dimensioning of skewly reinforced concrete plates). Metodologia ta jest identyczna dla tarcz, płyt i powłok.



Źródło: H. Seelhofer & P. Marti: Dimensioning of skewly reinforced concrete plates

Obliczenia

Zarówno górna jak i dolna warstwa modelu warstwowego jest odpowiedzialna za przenoszenie momentów zginających i sił tarczowych. Środkowa warstwa przenosi siły tnące.
Siły tarczowe i momenty zginające są rozkładane na równoważne siły tarczowe dla górnej i dolnej warstwy. Przed tym rozkładem, siły wewnętrzne są transformowane z układu wsp. x-y na układ x'-y', gdzie kierunek x' pokrywa się z kierunkiem ξ zbrojenia.

- dolna warstwa:

$$n^d_{x'} = \frac{n_{x'}}{2} - \frac{m_{x'}}{d_v} \qquad n^d_{y'} = \frac{n_{y'}}{2} - \frac{m_{y'}}{d_v} \qquad n^d_{x'y'} = \frac{n_{x'y'}}{2} - \frac{m_{x'y'}}{d_v}$$

- górna warstwa:

$$n^g_{x'} = \frac{n_{x'}}{2} + \frac{m_{x'}}{d_v} \qquad n^g_{y'} = \frac{n_{y'}}{2} + \frac{m_{y'}}{d_v} \qquad n^g_{x'y'} = \frac{n_{x'y'}}{2} + \frac{m_{x'y'}}{d_v}$$

W celu osiągnięcia optymalnej ilości zbrojenia, grubość warstw jest przyjmowana w sposób iteracyjny. Najmniejsza wartość grubości to 5mm, a największa wartość graniczna to H/2 (dla warunków obciążenia jak tarcza, gdzie *H* to grubość elementu) lub $\xi_{c0}d$ (dla warunków obciążenia jak płyta, gdzie *d* jest użyteczną wysokością przekroju).
Ramię sił wyznaczane jest w następujący sposób:

$$d_v = min\left(d_b - \frac{t_g}{2}, d_g - \frac{t_d}{2}\right)$$

gdzie t_d, t_g oraz d_v są grubościami warstwy odpowiednio dolnej, górnej oraz ramieniem siły.
Wartości d_d oraz d_g są wysokościami użytecznymi przekroju, odpowiednio względem dolnej i górnej siatki zbrojeniowej. Wysokość użyteczna jest obliczana na podstawie uśrednionego położenia zbrojenia ξ oraz η.
Naprężenia w górnej i dolnej warstwie obliczane są w następujący sposób:

- dolna warstwa:

$$\sigma^d_{x'} = \frac{n^d_{x'}}{t_d}; \quad \sigma^b_{y'} = \frac{n^d_{y'}}{t_d}; \quad \tau^d_{x'y'} = \frac{n^d_{x'y'}}{t_d}$$

- górna warstwa:

$$\sigma^g_{x'} = \frac{n^g_{x'}}{t_g}; \quad \sigma^g_{y'} = \frac{n^g_{y'}}{t_g}; \quad \tau^g_{x'y'} = \frac{n^g_{x'y'}}{t_g}$$

Naprężenia te są potem transformowane na układ współrzędnych ξ-η, czyli na σ_ξ, σ_η, $\tau_{\xi\eta}$ w następujący sposób (H. Seelhofer & P. Marti: Dimensioning of skewly reinforced concrete plates):

$$\sigma_\xi = \sigma_{x'} \sin\beta + \sigma_{y'} \cos\beta \cot\beta - 2\tau_{x'y'} \cos\beta$$

$$\sigma_\eta = \frac{\sigma_{y'}}{\sin\beta}$$

$$\tau_{\xi\eta} = \tau_{\eta\xi} = \tau_{x'y'} - \sigma_{y'} \cot\beta$$

Wymagane zbrojenie ξ/η jest wyznaczane wg wzorów (k=1):

$$\rho_\xi = \frac{\frac{\sigma_\xi}{\sin\beta} + k\left|\frac{\tau_{\xi\eta}}{\sin\beta}\right|}{f_y} \qquad A_{s,\xi} = \rho_\xi t B$$

$$\rho_\eta = \frac{\frac{\sigma_\eta}{\sin\beta} + \frac{1}{k}\left|\frac{\tau_{\xi\eta}}{\sin\beta}\right|}{f_y} \qquad A_{s,\eta} = \rho_\eta t B$$

Betonowy krzyżulec poddany ściskaniu jest weryfikowany zgodnie z wytycznymi załącznika F Eurokodu EN 1992-1-1 oraz zgodnie z regułami z publikacji Seelhofer i Marti:

$$(\rho_\eta + \rho_\xi) f_y \le \nu f_{cd} + \sigma_{x'} + \sigma_{y'}$$

Program uwzględnia redukcję wytrzymałości na ściskanie tylko wtedy, gdy w betonie pojawią się naprężenia rozciągające, a główne naprężenia rozciągające przekroczą wytrzymałość na rozciąganie (f_{ctd}).

Jeżeli nośność krzyżulca betonowego jest niewystarczająca, to zwiększana jest grubość warstwy. Zbrojenie ściskane w elemencie powierzchniowym jest wymiarowane, gdy górna wartość graniczna grubości zostanie osiągnięta i stopień wykorzystania betonu nadal przekracza 1.0. Jeżeli natomiast naprężenia w warstwie i stopień wykorzystania betonu jest niski, to grubość warstwy jest zmniejszana.

Komunikaty błędów

Komunikat z błędem *"Element nie może zostać zazbrojony"* **pojawi się, gdy:**

- **nośność krzyżulca betonowego jest niewystarczająca przy maksymalnej grubości warstwy, niezależnie od tego czy zastosowano zbrojenie na ściskanie,**
- **całkowita powierzchnia zbrojenia górnego i dolnego po kierunku -ξ- lub -η- przekroczy maksymalny poziom zbrojenia. Wartość dopuszczalną maksymalnego poziomu zbrojenia można zmodyfikować w oknie dialogowym Normy projektowe, w zakładce Żelbet (patrz... *3.3.7 Normy projektowe*).**

Wyniki

Dostępne są następujące składniki wyników: *aξd, aξg, aηd, aηg*

Tabele

Poniższe symbole są używane w tabeli:
(-) ściskany pręt zbrojeniowy
??? przekrój nie może zostać zazbrojony w odpowiadającym kierunku

6.5.1.1.4 Obliczenia zbrojenia płyty zespolonej z blachą trapezową wg normy Eurokod i SIA

Zbrojenie płyty zespolonej na blasze trapezowej może zostać wyznaczone wg poniższych norm projektowych:

Eurokod 4: EN 1994-1-1:2004
SIA 264: SIA 262:2014

Płyty zespolone na blasze trapezowej mogą zostać utworzone zgodnie z opisem poprzednich rozdziałów tego podręcznika (**patrz...** *4.9.5.5 Blacha trapezowa / Strop zespolony*). Geometria takie płyty musi spełniać wymagania konstrukcyjne wybranej normy projektowej. Program sprawdza tylko najbardziej istotne warunki (zgodnie z rozdziałem 4.9.2 EC4 oraz rozdziałem 7.2 SIA 264) i wyświetla ostrzeżenia, jeżeli geometria wymaga zmian.

☞ **Przedstawiona metoda obliczeń może zostać użyta tylko, jeżeli zachowanie płyty przy ścinaniu podłużnym może być uważane za ciągliwe.**

☞ **Przedstawiona metoda została opracowana do wyznaczania zbrojenia płyt zespolonych na blasze trapezowej. Weryfikacja blachy trapezowej bez części betonowej nie leży w zakresie tego modułu.**

Zbrojenie podłużne obliczane jest wg poniższej metody. Zbrojenie na ścinanie oraz nośność na ścinanie nie jest obliczana. Ponadto, jeżeli do płyty przyłożona jest znaczna siła skupiona, to konieczne jest także sprawdzenie możliwości wystąpienia jej przebicia. Ten moduł nie wykonuje takiego sprawdzenia dla tego rodzaju płyty. Do sprawdzenia przebicia można użyć modułu RC3, jeżeli dla płyty wybrana została opcja *Blacha trapezowa tylko jako szalunek*.

☞ **Obliczenia tego modułu nie uwzględniają sprawdzenia płyty zespolonej dla różnych etapów jej wykonania. Ciężar rozkładanej mieszanki betonowej oraz tymczasowe podpory muszą zostać dodatkowo uwzględnione i sprawdzone przez projektanta.**

Parametry zbrojenia powierzchniowego

W przypadku stropów zespolonych na blasze trapezowej, okno dialogowe z parametrami nieznacznie różni się od okna opisanego w poprzednich rozdziałach. Główna zmiana to konieczność zdefiniowania parametrów zgodnie z kierunkiem zbrojenia, które przebiega równolegle i prostopadle do żeber płyty, a nie tylko równolegle do osi *-x-* oraz *-y-*. Definiowanie głównego kierunku zbrojenia jest możliwe tylko dla zbrojenia górnego.

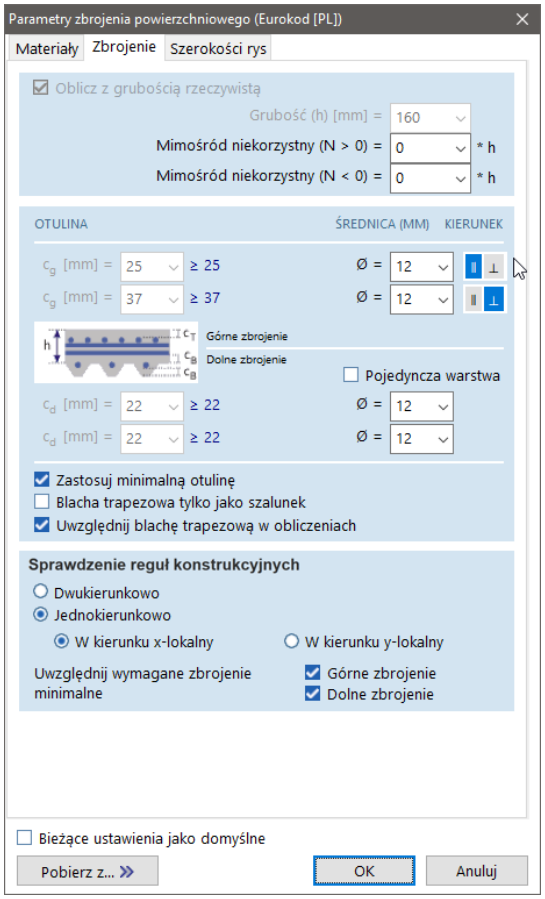
Otulina dolnego zbrojenia prostopadłego do żeber musi zostać określona od najwyższego punktu przekroju blachy trapezowej, a nie od krawędzi żebra.

Rysunek z przekrojem stropu w oknie dialogowym pozwala zrozumieć przyjęte kierunki zbrojenia oraz otuliny.

Ze względu na fakt, że parametry ustala się zgodnie z kierunkiem zbrojenia prostopadłego lub równoległego do żeber, to nie ma możliwości ustawiania tych parametrów jednocześnie dla kilku stropów o różnych kierunkach żeber. Podobnie dla zaznaczonych różnych typów obszarów, parametry zbrojenia nie mogą być równocześnie ustawiane, gdy jednym z obszarów jest strop zespolony.

Poniższe ustawienia są obsługiwane tylko w przypadku, gdy zaznaczona została opcja *Blacha trapezowa tylko jako szalunek*:

- wyznaczenie nośności na ścinanie i jego zbrojenia
- wyznaczenie zbrojenie nieortogonalnego
- nieliniowa analiza z uwzględnieniem zbrojenia i zarysowania



Pojedyncza warstwa zbrojenia

Jeżeli opcja *Pojedyncza warstwa* jest zaznaczona (opcja wyświetla się tylko przy wyłączonej opcji *Blacha trapezowa tylko jako szalunek*), to tylko górna siatka zbrojenia może zostać zadana w płycie, a zbrojenie dolne, prostopadłe do żeber jest niedostępne.

Uwzględnij blachę trapezową w obliczeniach

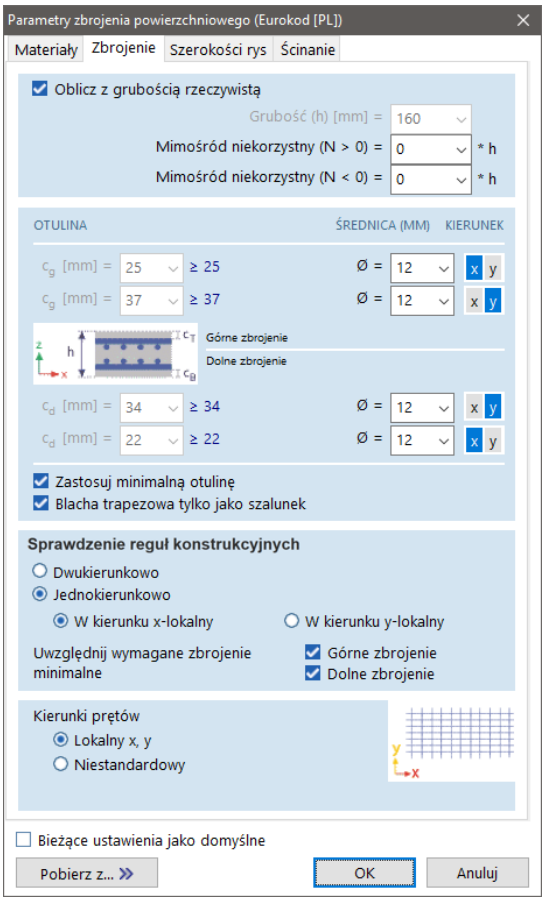
Jeżeli odznaczono opcję *Uwzględnij blachę trapezową w obliczeniach*, to zbrojenie główne obliczane jest przy założeniu takiego samego przekroju betonowego jak z tą opcją zaznaczoną, ale w równaniach równowagi sił wewnętrznych nie jest uwzględniana blacha trapezowa.

Blacha trapezowa tylko jako szalunek

Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, to program bierze pod uwagę przy równaniach równowagi sił przekrojowych tylko górną część płyty betonowej i ignoruje powierzchnię żeber i blachę trapezową. W takim przypadku parametry zbrojenia i otuliny mogą być zdefiniowane w odniesieniu do kierunków zbrojenia *x/y*.

Jeżeli opcja *Blacha trapezowa tylko jako szalunek* jest zaznaczona (tylko część płyty nad żebrami jest uwzględniana w obliczeniach), to dostępne są następujące możliwości dodatkowych obliczeń dla płyty zespolonej:

- sprawdzenie przebicia (**patrz...** *6.5.1.5 Sprawdzenie przebicia (moduł RC3)*,
- wyznaczenie nośności na ścinanie oraz zbrojenia ścinanego (**patrz...** *6.5.1.4 Nośność na ścinanie dla płyt i powłok (moduł RC3)*
- obliczenia dla zbrojenia ukośnego (**patrz...** *6.5.1.1.3 Obliczenia zbrojenia ukośnego wg Eurokodu 2 oraz SIA 262*
- nieliniowa analiza z uwzględnieniem zarysowania i zbrojenia (**patrz...** *6.5.6 Nieliniowa analiza dla żelbetowych płyt i powłok*



Obliczanie zarysowania

Dla płyt zespolonych na blasze trapezowej nie ma możliwości zdefiniowania ograniczenia rozwarcia rysy na zakładce *Szerokości rys*, jak ma to miejsce dla normalnego obszaru. Niezależnie też od zaznaczenia opcji *Blacha trapezowa tylko jako szalunek* wartość zarysowania obliczana jest tylko dla górnej powierzchni stropu. Dodatkowe informacje odnośnie do obliczania zarysowania można znaleźć w rozdziale *6.5.1.3 Zarysowanie*.
Szerokości rozwarcia rys obliczane są równolegle i prostopadle do kierunku żeberek. Jeżeli opcja *Blacha trapezowa tylko jako szalunek* zostanie zaznaczona, to program obliczy szerokość zarysowania zgodnie z kierunkami naprężeń głównych, tak jak dla normalnej płyty żelbetowej.

Wyznaczanie zbrojenia głównego

Płyty zespolone z blachą trapezową są projektowane najczęściej jako płyty jednokierunkowo zbrojone z pominięciem sił tarczowych. Takie założenie przyjęto również w programie, który podczas obliczania zbrojenia wymaganego nie uwzględnia sił tarczowych.
Pojawienie się w takiej płycie sił tarczowych związane jest najczęściej z niepoprawnym jej modelowaniem i należy zwrócić szczególną uwagę na definicję warunków brzegowych.

Zbrojenie prostopadłe do żeberek

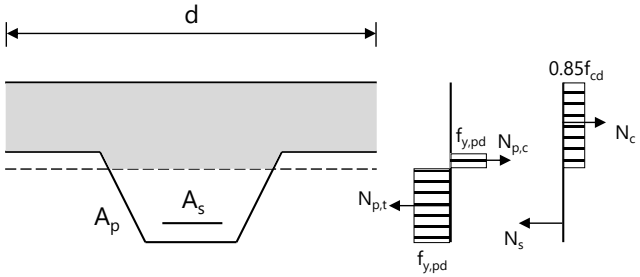
Obliczanie zbrojenie głównego prostopadłego do żeberek jest identyczne jak w przypadku obliczania zbrojenia w standardowych płytach żelbetowych (**patrz...** *6.5.1.1.1 Obliczenia zbrojenia ortogonalnego x/y wg Eurokodu 2* oraz *6.5.1.1.2 Obliczenia zbrojenia ortogonalnego x/y wg DIN EN, DIN 1045-1 oraz SIA 262*). Miarodajne momenty zginające do wymiarowania zbrojenia obliczane są w taki sam sposób na podstawie wartość m_x, m_y oraz m_{xy}.
Dodatnia oraz ujemna wartość momentu miarodajnego (m_{xD}, m_{yD}) może być obliczona dla tego samego położenia ze względu na obecność znacznego momentu skręcającego (m_{xy}). Jeżeli zaznaczona została opcja *Pojedyncza warstwa*, to zbrojenie obliczane jest dla pojedynczej warstwy odpowiednio z dodatniego i ujemnego momentu zginającego.

Zbrojenie równoległe do żeberek (dolna część przekroju rozciągana)

Poniżej przedstawiono model wraz z równaniami równowagi przyjęty do obliczeń zbrojenia równoległego do żeberek. Szerokością dla miarodajnego przekroju poprzecznego jest *d*. Płaszczyzną odniesienia sił wewnętrznych przyjętą w programie jest płaszczyzna środkowa górnej części betonowej płyty (bez żeberek). Z tego powodu siły wewnętrzne są przekształcane na siły działające względem środka ciężkości przekroju poprzecznego.

Naprężenia w betonie, zbrojeniu oraz w blasze trapezowej obliczane są zgodnie z położeniem plastycznej osi obojętnej. W zależności od położenia tej osi część blachy trapezowej w przekroju może być poddana ściskaniu lub rozciąganiu. Efekt lokalnego wyboczenia części ściskanej blachy uwzględniony jest poprzez przyjęcie szerokości efektywnej.

Jeżeli opcja *Blacha trapezowa tylko jako szalunek* nie zostanie zaznaczona, to blacha trapezowa jest pomijana w równaniach równowagi.



Równanie równowagi oraz nośność na zginanie wyrażone są wzorami:

$$0.85 f_{cd} A_c = A_s f_{y,d} + (A_{p,t} - A_{p,c}) f_{yp,d}$$

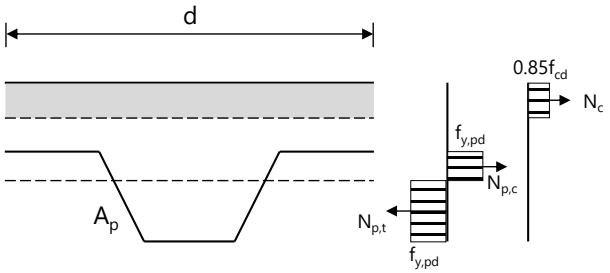
$$M_{pl,Rd} = A_s f_{y,d} \left(z_s - \frac{x_c}{2}\right) + A_{p,t} f_{yp,d} \left(z_{p,t} - \frac{x_c}{2}\right) - A_{p,c} f_{yp,d} \left(z_{p,c} - \frac{x_c}{2}\right)$$

Jeżeli w obliczeniach niezbędne okaże się zbrojenie ściskane, to składowa reprezentująca siły ściskane w takim zbrojeniu zostanie dodana do równania.

Kroki obliczania zbrojenia wymaganego:

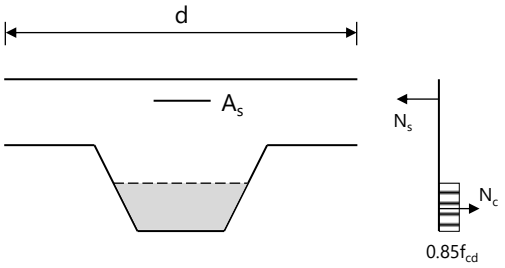
- Plastyczna nośność na zginanie płyty zespolonej obliczana jest bez żadnego dodatkowego zbrojenia. Jeżeli nośność jest wystarczająca po porównaniu z miarodajnym momentem zginającym, to zbrojenie nie jest wymagane i algorytm przerywa pracę.
- Jeżeli $M_{pl,Rd} < M_{Ed}$ to zbrojenie jest wymagane. W pierwszej kolejności, położenie plastycznej osi obojętnej porównywane jest z x_{c0}:
  - $x_c < x_{c0}$ to ilość zbrojenia i plastyczna nośność na zginanie obliczane są z wykorzystaniem wartości x_{c0} jako wysokości strefy ściskanej (tj. górna granica strefy ściskanej, dla której zbrojenie pozostaje w strefie plastycznej).
    - $M_{Ed} < M_{pl,0,Rd}$ zbrojenie na ściskanie nie jest wymagane. Dokładna wartość rozciąganego zbrojenia wymaganego ustalana jest w drodze iteracji.
    - $M_{Ed} > M_{pl,0,Rd}$ zbrojenie na ściskanie jest wymagane i obliczane jest z różnicy momentów $\Delta M = M_{Ed} - M_{pl,0,Rd}$. Zbrojenie rozciągane w takiej sytuacji obliczane jest z równań równowagi dla $x_c = x_{c0}$.
  - $x_c > x_{c0}$ to zbrojenie na ściskanie przyjmowane jest iteracyjnie, aż do spełnienia jednego z warunków $M_{pl,Rd} > M_{Ed}$ lub $x_c = x_{c0}$. W pierwszym przypadku dodatkowe zbrojenie jest zbędne, oprócz wyznaczonego już zbrojenia na ściskanie. W drugim przypadku wymagane zbrojenie rozciągane obliczane jest z różnicy momentów $\Delta M = M_{Ed} - M_{pl,0,Rd}$. Dokładna wartość zbrojenia ściskanego obliczana jest z równań równowagi przy założeniu $x_c = x_{c0}$.

Przy wyznaczaniu położenia plastycznej osi obojętnej dla $\eta < 1$ (η wyraża stosunek pełnej nośności nadbetonu na ściskanie przenoszonej na blachę trapezową), należy rozpatrzyć w zespoleniu efektywność połączenia ścinanego. W takiej sytuacji otrzymujemy dwie osie obojętne: jedna dla betonu ze zbrojeniem, a druga dla blachy trapezowej. Równanie równowagi rozpisywane jest dwukrotnie, w celu uzyskania położenia wspomnianych osi. W pierwszym przypadku przez η mnożony jest udział blachy trapezowej, a w drugim udział betonu i zbrojenia.
Po wykonaniu powyższych działań, naprężenia w betonie i zbrojeniu obliczane są z wykorzystaniem pierwszej ze wspomnianych osi obojętnych, a naprężenia w blasze trapezowej z wykorzystaniem drugiej osi obojętnej.



Zbrojenie równoległe do żeberek (górna powierzchnia przekroju rozciągana)

W tej sytuacji udział blachy trapezowej jest pomijany.



Równanie równowagi oraz nośność na zginanie wyrażone są wzorami:

$$0.85 f_{cd} A_c = A_s f_{y,d}$$

$$M_{pl,Rd} = A_s f_{y,d} \left(z_s - \frac{x_c}{2} \right)$$

Jeżeli w obliczeniach niezbędne okaże się zbrojenie ściskane, to składowa reprezentująca siły ściskane w takim zbrojeniu zostanie dodana do równania.

Kroki obliczania zbrojenia wymaganego:

- Najpierw obliczana jest wysokość strefy ściskanej x_{c0} oraz nośność na zginanie $M_{pl,0,Rd}$
  - $M_{Ed} < M_{pl,0,Rd}$ to zbrojenie na ściskanie nie jest wymagane. Dokładna wartość wysokości strefy ściskanej oraz ilość rozciąganego zbrojenia wymaganego ustalana jest w drodze iteracji.
  - $M_{Ed} > M_{pl,0,Rd}$ to dodatkowe zbrojenie na ściskanie jest wymagane i obliczane jest z różnicy momentów $\Delta M = M_{Ed} - M_{pl,0,Rd}$. Zbrojenie rozciągane obliczane jest z równania równowagi przy założeniu $x_c = x_{c0}$.

Uwaga

☞ **Program konwertuje obliczone zbrojenie wymagane (teoretyczne) w odniesieniu na 1 metr bieżący przekroju, dlatego jednostki przedstawionych wyników to mm²/m, cm²/m itd.**

☞ **Program oblicza i wyświetla wymaganą ilość zbrojenia żebra w elemencie po wskazaniu go myszką, jeżeli wybrany jest odpowiedni komponent wyników (dolne zbrojenie wymagane dla kierunku zgodnego z kierunkiem żeber).**

6.5.1.2 Zbrojenie rzeczywiste dla elementów powierzchniowych i obszarów

Rzeczywiste zbrojenie

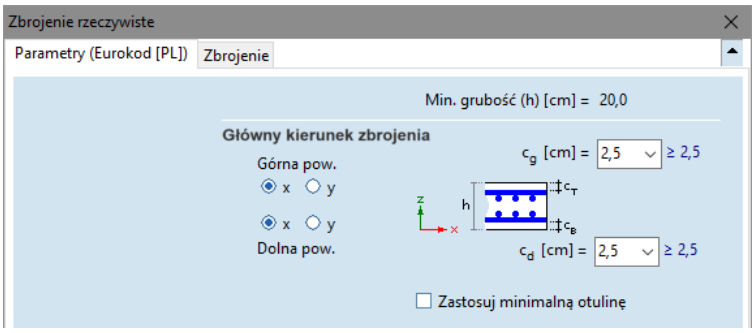
Umożliwia zastosowanie rzeczywistego zbrojenia do obszarów lub skończonych elementów powierzchniowych.
Wykorzystując zbrojenie rzeczywiste można przeprowadzić nieliniową analizę ugięcia płyty.

Zbrojenie rzeczywiste można zdefiniować na dwa sposoby:

1.) wybierając elementy powierzchniowe lub obszary, a następnie klikając na przycisk na pasku narzędzi, aby określić zbrojenie
2.) klikając na przycisk w celu zdefiniowania zbrojenia bez wcześniejszego wybrania elementów, a następnie rysując obszary zbrojenia niezależne od siatki lub przypisując zbrojenie do całego obszaru.

Parametry

Pierwsza zakładka wyświetla parametry wymagane przez normę projektową do obliczenia szerokości rozwarcia rys.
Rzeczywista otulina i główne kierunki zbrojenia mogą różnić się od tych użytych do określenia wymaganej ilości zbrojeń (**Patrz...** *6.5.1 Wymiarowanie elementów powierzchniowych*)

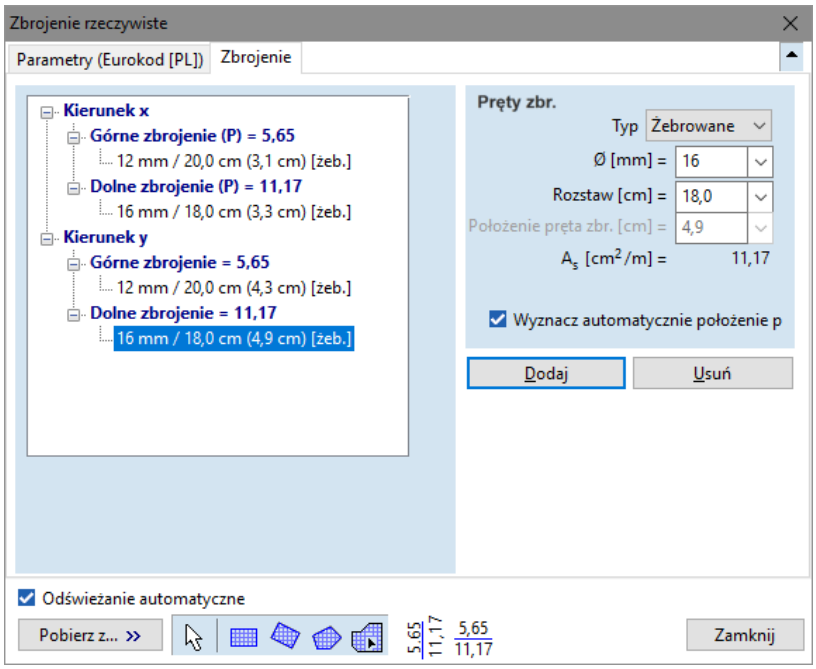


Zmiana powyższych parametrów nie nadpisuje parametrów zbrojenia powierzchniowego.

Min. grubość

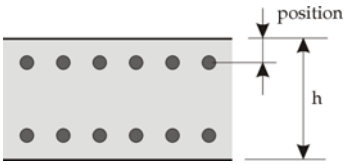
Wyświetla wartość minimalnej grubości wprowadzonej jako parametr wymiarowania dla wybranych elementów, a nie minimalną rzeczywistą grubość elementów.

Zbrojenie



Parametry zbrojenia rzeczywistego wyświetlane jest na liście po lewej stronie. Wybranie danego zbrojenia umożliwia edytowanie jego parametrów po prawej stronie. Zmiana wartości zaktualizuje dane na liście po lewej.
Opcja *Wyznacz automatycznie położenie prętów* ustawia położenie prętów zbrojeniowych zgodnie z rzeczywistą otuliną i głównymi kierunkami zbrojenia.

☞ **Położenie prętów zbrojeniowych definiowana jest jako odległość pomiędzy powierzchnią betonu i osią pręta.**



Dodaj i usuń

Wybierając kierunek i położenie zbrojenia po lewej stronie okna (np. *Kierunek x / Górne zbrojenie*) można ustawić dokładne parametry zbrojenia po prawej stronie okna i dodać je jako nowe zbrojenie.

Za pomocą przycisku *Usuń* (lub klawisza **[Del]**) można usunąć zbrojenie, a za pomocą przycisku *Dodaj* (lub klawisza **[Ins]**) można dodać zbrojenie do grupy. Jeżeli w widoku drzewa wybrany zostanie węzeł, przycisk *Usuń* (lub klawisz **[Del]**) usunie wszystkie zbrojenie pod tym węzłem. Przycisk *Dodaj* lub (lub klawisz **[Ins]**) doda zbrojenie do odpowiadającej grupy.

Zbrojenie zdefiniowane w tym oknie, może być zastosowane do wybranych już elementów, ale również, za pomocą dolnego paska narzędzi, można kontrolować sposób ułożenia tego zbrojenia w konstrukcji. Istnieje możliwość zdefiniowania zbrojenia niezależnego od siatki elementów skończonych, czyli zbrojenia wrysowanego po dowolnym konturze.

Wyświetla pasek narzędzi Wyboru, aby wybrać istniejące obszary. Bieżące zbrojenie zostanie zastosowane, gdy wybór zostanie zakończony.

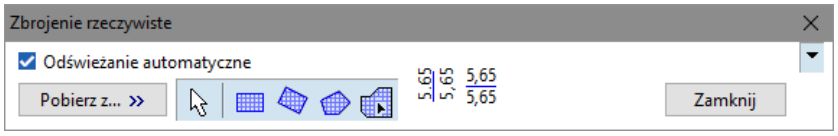
Opcja rysowania prostokątnych obszarów zbrojenia.

Opcja rysowania pochylonych prostokątnych obszarów zbrojenia.

Opcja rysowania wielokątnych obszarów zbrojenia.

Opcja zastosowania zbrojenia do obszarów poprzez kliknięcie w nie.

Okno dialogowe można zredukować do paska narzędzi. Kliknięcie na trójkątną ikonę w górnym, prawym rogu, zwija lub otwiera okno dialogowe. Ilość określonego zbrojenia wyświetlana jest jako symbol. Ilość zbrojenia y górnego i dolnego wypisana jest wzdłuż pionowej linii. Ilość zbrojenia x górnego i dolnego wypisana jest wzdłuż poziomej linii.

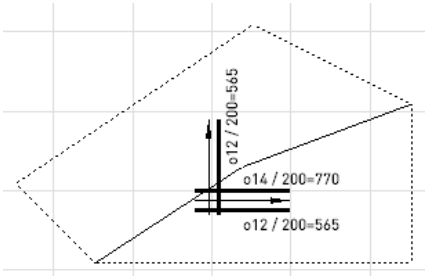


Zbrojenie zostanie zastosowane tylko tam, gdzie jego kontur pokrywa się z elementami powierzchniowymi lub obszarami (wystające fragmenty zbrojenia poza obrys elementu żelb. będą ignorowane).

Aby zdefiniować zbrojenie niezależne od siatki elementów skończonych, czyli zbrojenie wrysowane po dowolnym konturze, należy najpierw ustawić parametry i schemat zbrojenia, a następnie narysować prostokątne lub wielokątne obszary zbrojenia na elemencie.

Kontury obszarów zbrojeniowych są rozpoznawane przez kursor. Kliknięcie w obszary zbrojeniowe umożliwia wprowadzenie zmian w zbrojenie. Przyciskając klawisz [SHIFT] i klikając za pomocą myszy, można wybrać jednocześnie kilka obszarów zbrojenia. Kliknięcie na jeden z wybranych obszarów umożliwi wprowadzenie zmian w kilku obszarach zbrojenia. Taką samą metodę wykorzystuje się dla elementów lub obciążeń niezależnych od siatki.

Obszary zbrojeniowe niezależne od siatki wyświetlane są jako kontury z kreskowanych brązowych linii. Symbol przedstawiający ilość górnego i dolnego zbrojenia w kierunkach *x(ξ)* oraz *y(η)* pojawi się w środku. Punkt środkowy połączony jest z dwoma wierzchołkami wielokąta obszaru poprzez ciągłe brązowe linie.



Istnieją dwie metody modyfikowania istniejącego obszaru zbrojenia:

Zastąp

Nowe zbrojenie zastępuje istniejące.

Dodaj

Nowe zbrojenie zostaje dodane do istniejącego.

Odświeżanie automatyczne

Jeżeli ta opcja została zaznaczona, to każda zmiana zbrojenia powoduje natychmiastową aktualizację na modelu.

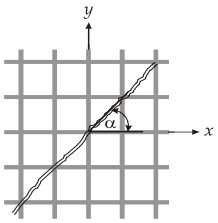
☞ **Płyty zespolone na blasze trapezowej nie mogą być w programie wybierane razem z innymi typami obszarów płyt. Jeżeli na modelu dostępne są obszary z płytą zespoloną oraz inne typy obszarów, to przed wykonaniem polecenia trzeba wybrać jeden typ obszaru. Podobnie w przypadku, gdy zaznaczono na raz więcej niż jedną płytę zespoloną, a płyty zespolone różnią się między sobą parametrami geometrycznymi – w takim przypadku trzeba również wskazać tylko jeden obszar.**
Dla płyt zespolonych zbrojenie rzeczywiste definiowane jest w kierunkach prostopadłych i równoległych do żeberek płyty.

6.5.1.3 Zarysowanie

Normy projektowe

Eurokod 2: *EN 1992-1-1:2004*
DIN: *DIN 1045-1:2001-07*

Po przypisaniu rzeczywistego zbrojenia, program oblicza szerokość i kierunki rys w tarczach, płytach i powłokach.
Obliczenia mogą zostać przeprowadzone dla kierunków zbrojenia pokrywających się z układem lokalnym x/y elementu powierzchniowego lub dla dowolnych kierunków zbrojenia ξ oraz η.
Program wyświetla szerokości rys zgodnie z legendą kolorów, może narysować mapę rys oraz ich kąty.



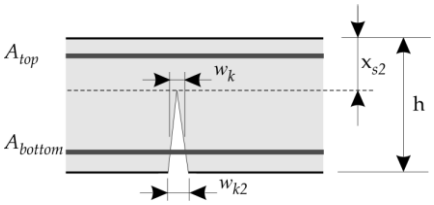
☞ **Aby poznać wartość ugięcia elementu w stanie zarysowanym, należy uruchomić statyczną analizę nieliniową z odpowiednimi opcjami.**

Ustawienia parametrów można zobaczyć w poprzednim rozdziale.

Wyniki

Obliczenie zarysowania może zostać przeprowadzone dla zbrojenia rzeczywistego (zastosowanego) jak i wymaganego (teoretycznego). Wyniki zarysowania dla zbrojenia wymaganego oznaczane są za pomocą * (np. *wk**). Szerokość zarysowania obliczona dla zbrojenia wymaganego może być traktowana wyłącznie jako wartość orientacyjna, ponieważ ilość zbrojenia rzeczywistego będzie zawsze inna od zbrojenia teoretycznego.
Tabela wyników zawiera poniższe dane:

Aa(x/ξ), *Aa(y/η)*	zbrojenie rzeczywiste w kierunkach ***x*** oraz ***y*** (lub ***ξ*** oraz ***η*** dla zbrojenia ukośnego)
wk	szerokości rys w osi pręta zbrojeniowego
wk2	szerokości rys na powierzchni płyty
x_{s2}	położenie osi neutralnej od krawędzi ściskanej
σ_{s2}	naprężenie w prętach zbrojeniowych
wR	kąt rys względem lokalnego kierunku x
nx, ny, nxy, mx, my, mxy	momenty i siły powierzchniowe



☞ **Jeżeli obliczone naprężenie w zbrojeniu jest wyższe niż charakterystyczna granica plastyczności stali, pojawi się ostrzeżenie.**
Obliczenia szerokości rys oparte są na rzeczywistym zbrojeniu przypisanym do powierzchni.

6.5.1.3.1 Obliczenia wg Eurokodu 2

$w_k = s_{r,max}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$, gdzie $s_{r,max}$ to maksymalny rozstaw rys, ε_{sm} to odkształcenie pręta zbrojeniowego, ε_{cm} to odkształcenie betonu między rysami.

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_{s2} - \frac{k_t f_{ctm}}{\rho_{\rho,eff}}\left(1 + \frac{E_s}{E_{cm}}\rho_{\rho,eff}\right)}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_{s2}}{E_s}$$

$$s_{r,max} = \mathrm{k}_3 \cdot c + \mathrm{k}_4 \cdot k_1 k_2 \frac{\overline{\Phi}}{\rho_{\rho,eff}} \quad \left(s_{r,max} = \frac{\sigma_{s2}\phi}{3.6 f_{ct,eff}}\right.\text{la DIN EN 1992-1-1)}$$

gdzie

$\overline{\Phi}$ to średnia średnica pręta zbrojeniowego,
c to otulina prętów zbrojeniowych,
k_1 to współczynnik zależny od powierzchni prętów zbrojeniowych (żebrowana lub gładka),
k_2 to współczynnik zależny od charakterystyki rozciągania mimośrodowego,
k_3 jest współczynnikiem, który przyjmuje się równy 3.4
k_4 jest współczynnikiem, który przyjmuje się równy 0.425
Współczynniki k_3 oraz k_4 mogą zostać zmodyfikowane w oknie dialogowym Normy projektowe, na zakładce Żelbet (**patrz...** *3.3.7 Normy projektowe*)

k_t to współczynnik zależny od czasu trwania obciążenia

dla obciążeń krótkotrwałych	$k_t = 0{,}6$
dla obciążeń długotrwałych (stałych)	$k_t = 0{,}4$

$\rho_{\rho eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$ to stosunek efektywnego zbrojenia.

Jeżeli użyte zostały pręty gładkie lub rozstaw między prętami żebrowanymi przekracza $5 \cdot \left(c + \frac{\overline{\Phi}}{2}\right)$ wtedy $s_{rmax} = 1.3 \cdot (h - x_2)$.

Program uwzględnia fakt, że rysy nie są prostopadłe do żadnego z kierunków zbrojenia i oblicza ich kąt względem osi x.

6.5.1.3.2 Obliczenia wg DIN 1045-1

$w_k = s_{r,max}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$, gdzie $s_{r,\max}$ to maksymalna rozstaw rys, ϵ_{sm} to odkształcenie pręta zbrojeniowego, ϵ_{cm} to odkształcenie betonu pomiędzy rysami.

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_{s2} - 0.4 \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}}\left(1 + \frac{E_s}{E_{cm}}\rho_{eff}\right)}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_{s2}}{E_s}$$

$$s_{rmax} = \frac{\overline{d}}{3.6 \cdot \rho_{eff}} \leq \frac{\sigma_{s2}\overline{d}}{3.6 f_{ctm}}$$

gdzie

$\overline{d}$ to średnia średnica pręta zbrojeniowego

$\rho_{\rho eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$ to stosunek efektywnego zbrojenia.

Program uwzględnia fakt, że rysy nie są prostopadłe do żadnego z kierunków zbrojenia i oblicza ich kąt względem osi x.

6.5.1.4 Nośność na ścinanie dla płyt i powłok (moduł RC3)

Normy projektowe

Eurokod 2: *EN 1992-1-1:2004*
DIN: *DIN 1045-1:2001-07*
SIA: *SIA 262:2013*

AxisVM oblicza:

- nośność na ścinanie żelbetowej płyty lub powłoki bez zbrojenia na ścinanie,
- zbrojenie na ścinanie (a_{sw}) jeżeli jest wymagane
- maksymalną nośność na ścinanie płyty lub powłoki ze zbrojeniem na ścinanie zgodnie z wyczerpaniem nośności betonu poddanego ściskaniu.

Co więcej, obliczane są także:

- wypadkowa siła tnąca,
- kierunek główny (ϕ),
- różnica między wymiarującą siłą tnącą a nośnością na ścinanie bez zbrojenia na ścinanie, stosunek siły tnącej do maksymalnej nośności na ścinanie ze zbrojeniem na ścinanie.

Funkcjonalność ta dostępna jest dla następujących typów obszarów (**patrz...** *4.9.5 Obszar*):

- typ normalny,
- użebrowana płyta zespolona,
- parametryczna płyta użebrowana,
- obszar z niestandardową macierzą sztywności,
- płyty AIRDECK,
- płyty zespolone na blasze trapezowej (jeżeli zaznaczona została opcja *Blacha trapezowa tylko jako szalunek*).

☞ **Ze względu na różnice w przepisach dotyczących ścinania i przebicia, poniższe obliczenia i weryfikacje ich wyników nie mogą służyć i zastąpić sprawdzenia przebicia!**

$v_{Ed} = \sqrt{v_{xz}^2 + v_{yz}^2}$ to wypadkowa siła tnąca, gdzie v_{xz} oraz v_{yz} to składowe siły tnącej w płaszczyznach z normalnymi w lokalnym kierunku x oraz y.

$\phi = \arctan\frac{v_{yz}}{v_{xz}}$ to kąt normalnej danej płaszczyzny, w której działa wypadkowa siła tnąca q_{Rz}. Kąt ten może zostać wyświetlony jako niezależny komponent wyników.

$d = \frac{[(d]_x + d_y)}{2}$ to średnia wysokość efektywna.

Zbrojenie ortogonalne x/y:
$\rho_l = \rho_x \cos^2\phi + \rho_y \sin^2\phi$ jest stopniem zbrojenia podłużnego.
Wartość ρ_x oraz ρ_y jest stopniem zbrojenia rozciąganego po kierunku -x- oraz -y-.

Zbrojenie ukośne:
$\rho_l = \rho_\xi \cos^2(\phi - \alpha) + \rho_\eta \cos^2[\beta - (\phi - \alpha)]$jest stopniem zbrojenia podłużnego.
Wartość ρ_ξ oraz ρ_η jest stopniem zbrojenia rozciąganego po kierunku -ξ- oraz -η-.

☞ **Obliczanie nośności na ścinanie oparte jest na rzeczywistym zbrojeniu przypisanym do powierzchni.**

6.5.1.4.1 Obliczenia wg Eurokodu 2

Nośność na ścinanie to

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c}k(100 \cdot \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1\sigma_{cp}\right] \cdot d \geq (v_{min} + k_1\sigma_{cp}) \cdot d$$ zie

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c}, \qquad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0, \qquad k_1 = 0.15$$

$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2\, f_{cd}$, $v_{min} = 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}$ Ed to siła normalna w powłoce, prostopadła do płaszczyzny q_{Rz}.
N_{Ed} jest dodatnia przy ściskaniu.
Stopień zbrojenia $\rho_l \leq 0.02$.

$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} z \nu_1 f_{cd} \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta}$zie

$$\nu_1 = \nu = 0.6\left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right]$$

$$\alpha_{cw} = 1.0 \leftarrow \sigma_{cp} = 0$$

$$\alpha_{cw} = \left(1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}}\right) \leftarrow 0 < \sigma_{cp} \leq 0.25 f_{cd}$$

$$\alpha_{cw} = 1.25 \leftarrow 0.25 f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0.5 f_{cd}$$

$$\alpha_{cw} = 2.5\left(1 - \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}}\right) \leftarrow 0.5 f_{cd} < \sigma_{cp} \leq f_{cd}$$

z jest ramieniem sił wewnętrznych

Wyznaczanie ramienia sił wewnętrznych

Ramię sił wewnętrznych wyznaczane jest na podstawie jednej z dwóch metod, którą wskazuje użytkownik: (**Patrz...** *6.5.1 Wymiarowanie elementów powierzchniowych*)

- Wyznaczone na podstawie sił wewn. przy założeniu stanu równowagi trójwarstwowego modelu
- Przybliżone jako $z = 0.9d$

Obliczanie wymaganego zbrojenia na ścinanie

Jeżeli v_{Ed} jest większe niż $V_{Rd,c}$, to wymagane jest zbrojenie na ścinanie. Powierzchnia tego zbrojenia na metr bieżący szerokości przekroju wynosi:

$$a_{sw} = \frac{v_{Ed}}{z f_{ywd} 1m\left[(\cot\theta + \cot\alpha)\sin\alpha\right]}$$

Jeżeli v_{Ed} jest większe niż $V_{Rd,max}$to przekrój nie może zostać zazbrojony, aby przenieść siły tnące. W takich przypadkach program ostrzega użytkownika za pomocą odpowiedniego komunikatu.

Nośność na ścinanie $V_{Rd,c}$, $V_{Rd,max}$az różnica między siłą tnącą a nośnością na ścinanie $V_{Ed} - V_{Rd,c}$ oraz $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}}$żna wyświetlić za pomocą izolinii oraz izopowierzchni.

6.5.1.4.2 Obliczenia wg SIA 262

Nośność na ścinanie to

$$V_{Rdc} = k_d \tau_{cd} d$$

Gdzie $\tau_{cd} = 0.3\sqrt{f_{ck}}/\gamma_c;\ k_d = 1/(1 + \varepsilon_v d k_g);\ k_g = 48/(16 + D_{max});$

Parametr ε_v jest obliczany zgodnie z ustawieniami w następujący sposób:

$$\varepsilon_v = 1{,}5\frac{f_{sd}}{E_s} \quad \text{lub} \quad \varepsilon_v = \frac{m_d}{m_{Rd}}\frac{f_{sd}}{E_s}.$$

Jeżeli kierunek wypadkowej siły obliczeniowej V_{Ed} nie jest równoległy ani do zbrojenia -x- ani -y-, to ε_v jest zwiększane o $1/(\cos^4\phi + \sin^4\phi)$.

$$V_{Rd,max} = z k_c f_{cd} (\cos\alpha + \cot\beta \sin\alpha) \sin\alpha$$

gdzie

$$k_c = \frac{1}{1.2 + 55\varepsilon_1} \leq 0.65 \qquad \varepsilon_1 = \varepsilon_x + (\varepsilon_x + 0.002)\cot^2\alpha \; \nu_1 = \nu = 0.6\left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right]$$

z jest ramieniem sił wewnętrznych

Obliczanie wymaganego zbrojenia na ścinanie

Jeżeli v_{Ed} jest większe niż $V_{Rd,c}$, to wymagane jest zbrojenie na ścinanie. Powierzchnia tego zbrojenia na metr bieżący szerokości przekroju wynosi:

$$a_{sw} = \frac{v_{Ed}}{z f_{ywd} 1m\left[\left(\cot\theta + \cot\alpha\right)\sin\alpha\right]}$$

Jeżeli v_{Ed} jest większe niż $V_{Rd,max}$to przekrój nie może zostać zazbrojony, aby przenieść siły tnące. W takich przypadkach program ostrzega użytkownika za pomocą odpowiedniego komunikatu.

Nośność na ścinanie $V_{Rd,c}$, $V_{Rd,max}$az różnica między siłą tnącą a nośnością na ścinanie $V_{Ed} - V_{Rd,c}$ oraz $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}}$ żna wyświetlić za pomocą izolinii oraz izopowierzchni.

6.5.1.5 Sprawdzenie przebicia (moduł RC3)

Normy projektowe

Sprawdzenie przebicia może zostać przeprowadzone zgodnie z poniższymi normami:

Eurokod:	*EN 1992-1-1:2010*
Norma szwajcarska:	*SIA 262:2013*

Sprawdzenie obejmuje następujące warianty:
- słup (dowolny materiał) i płyta żelbetowa (włącznie z płytą fundamentową)
- zakończenie lub narożnik ściany i płyta żelbetowa (włącznie z płytą fundamentową).

Ponadto uwzględniona jest weryfikacja nośności krzyżulców ściskanych oraz wyznaczenie ilości potrzebnego zbrojenia na ścinanie.

Funkcjonalność ta dostępna jest dla następujących typów obszarów (**patrz...** *4.9.5 Obszar*):

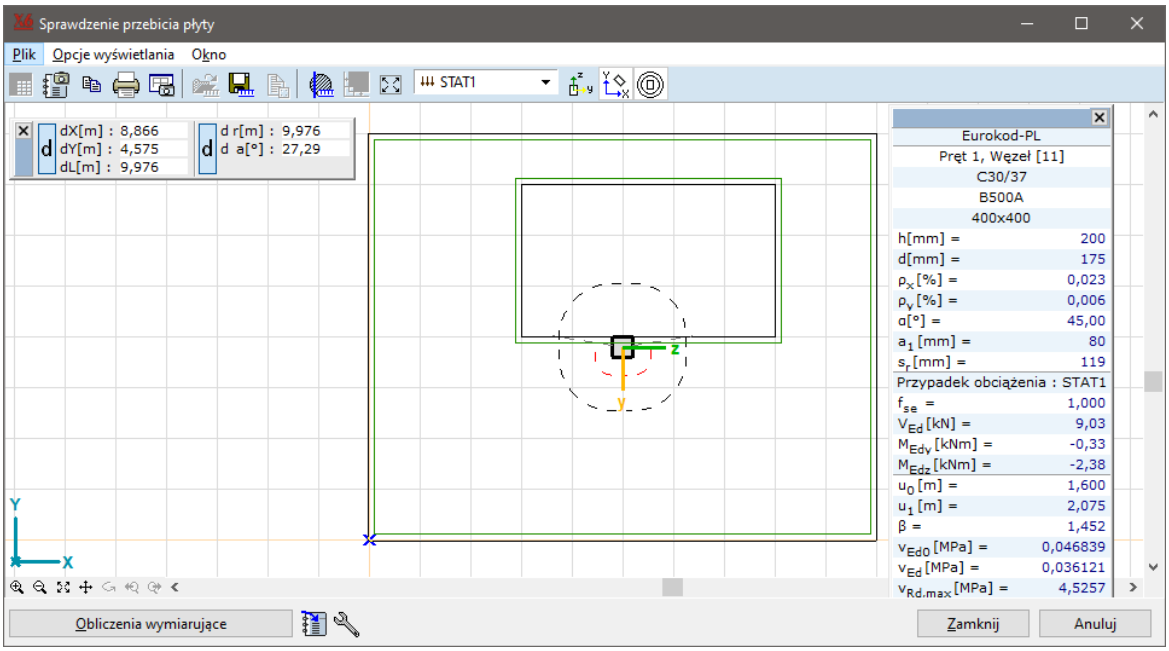
- typ normalny,
- użebrowana płyta zespolona,
- parametryczna płyta użebrowana,
- obszar z niestandardową macierzą sztywności,
- płyty AIRDECK,
- płyty zespolone na blasze trapezowej (jeżeli zaznaczona została opcja *Blacha trapezowa tylko jako szalunek*).

Otwory i kontur płyty

Moduł RC3 podczas wyznaczania obwodu do sprawdzenia przebicia automatycznie rozpoznaje otwory, które znajdują się w odległości mniejszej niż 6d od słupa lub od zakończenia ściany. Ważne jest, aby projektant odpowiednio zinterpretował i zweryfikował czy otwór taki należy rzeczywiście potraktować przy wyznaczaniu obwodu kontrolnego jako otwór w płycie, czy też jego gabaryty powodują, że powinien być traktowany jako krawędź płyty.

Krawędzie otworów większych niż 2m^2 przylegające do krawędzi płyty oraz krawędzie wewnętrznych otworów większych niż 5m^2 traktowane są przez program jako krawędzie płyty (a nie jako otwory), co ma wpływ na długość wyznaczonego obwodu kontrolnego.

Jeżeli słup połączony jest z kilkoma obszarami w analizowanym węźle końcowym lub zaznaczonych zostało wiele obszarów, to do sprawdzenia przebicia program wybierze najcieńszy z nich. Jeżeli tylko jeden obszar zostanie zaznaczony wraz z węzłem słupa, to tylko ten obszar zostanie uwzględniony w sprawdzeniu przebicia.



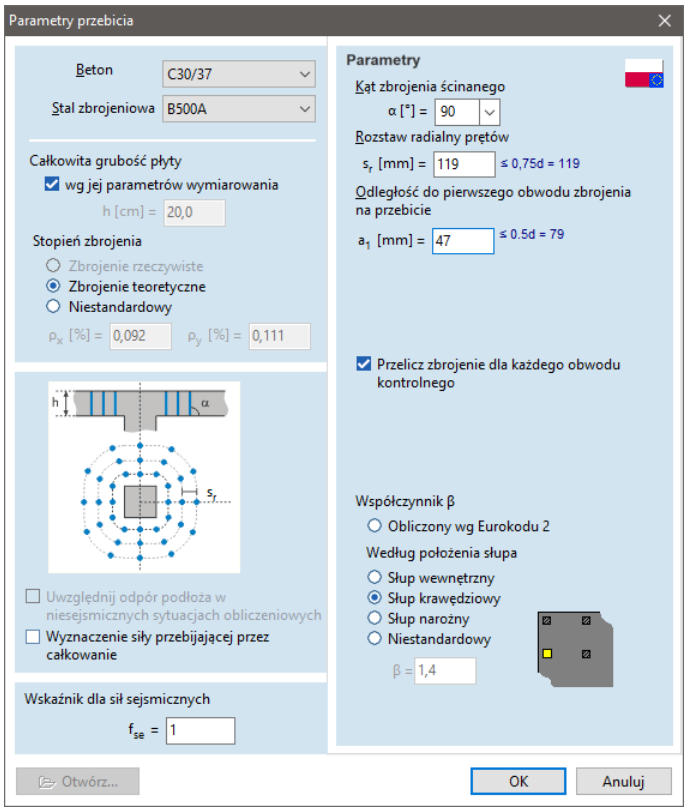
6.5.1.5.1 Sprawdzenie przebicia wg Eurokodu

6.5.1.5.1.1 Przebicie przez słup wg Eurokodu

Kontrolne obwody przebicia określane są na podstawie przekroju poprzecznego słupa i efektywnej grubości płyty. Krawędzie płyty i otwory uwzględniane są tylko, jeżeli znajdują się w odległości od słupa mniejszej niż sześciokrotna grubość płyty. Jeżeli przekrój poprzeczny słupa jest wklęsły, w zamian użyty zostaje przekrój wypukły.

☞ **Jeżeli element typu żebro połączony jest ze słupem w płaszczyźnie płyty, to sprawdzenie przebicia nie będzie mogło zostać przeprowadzone!**

W celu przeprowadzenia tej analizy, należy przypisać do płyty parametry zbrojenia oraz zdefiniować dla niej rzeczywiste zbrojenie.
Po kliknięciu w przycisk na pasku narzędzi, należy wybrać do analizy słup lub podporę o sztywności obliczonej z parametrów słupa (jeżeli ze słupem w płaszczyźnie płyty połączone jest żebro, analiza nie może zostać przeprowadzona).



Parametry w oknie do ustawienia:

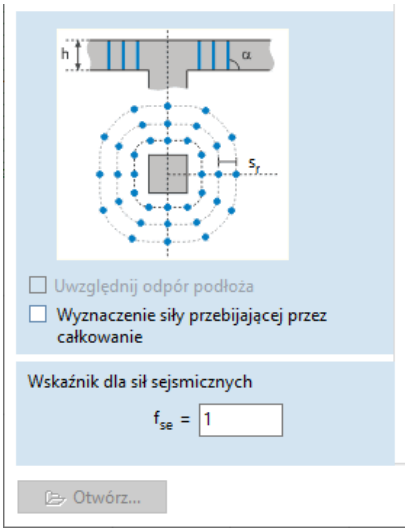
Beton, Stal zbrojeniowa — Klasa betonu i stali zbrojeniowej użyte do obliczeń. Te parametry pobrane są domyślnie z rzeczywistego modelu, ale mogą zostać zmienione w tym miejscu.

Całkowita grubość płyty (h) — Wartość grubości płyty pobierana jest z parametrów wymiarowania przypisanych do tej płyty. Po wyłączeniu opcji *Wg jej parametrów wymiarowania* można zmodyfikować tę wartość.

Stopień zbrojenia — Stopień zbrojenia (ρ_x, ρ_y) może zostać przyjęty jako:

- obliczony ze zbrojenia rzeczywistego (zastosowanego)
- obliczony ze zbrojenia wymaganego (obliczonego)
- niestandardowy (podany przez użytkownika)

Uwzględnij odpór podłoża — Jeżeli ta opcja jest zaznaczona, to podczas obliczania siły przebijającej uwzględniony zostanie odpór podłoża w obrębie okręgu zbrojenia. Ten efekt zwiększa się wraz z promieniem i potrafi zmniejszyć wielkość potrzebnego pola powierzchni zbrojenia. Wartości odporu na poszczególne okręgi zbrojenia zestawione są w oknie *Wyniki analizy przebicia*.
Program weryfikuje nośność na przebicie wg PN-EN 1992-1-1 6.4.4 (2) , tj. na obwodach od krawędzi słupa do odległości 2d.



Wyznaczanie siły przebijającej przez całkowanie — Domyślna metoda wyznaczenia siły przebijającej w budynkach wielokondygnacyjnych polega na obliczeniu różnicy między wewnętrznymi siłami osiowymi w słupie pod i nad płytą.
Zaznaczenie opcji *Wyznaczenie siły przebijającej przez całkowanie* spowoduje obliczenie tej siły poprzez scałkowanie sił tnących z płyty. Całkowanie wykonywane jest wzdłuż linii znajdującej się w odległości *2d* od wypukłego obrysu słupa.
W przypadku płyt fundamentowych całkowanie przebiega wzdłuż linii znajdującej się w odległości *0.5d* od wypukłego obrysu słupa (wartość siły $V_{Eed,0}$).
Powyższe wartości brane są przy sprawdzaniu warunku nośności betonowych krzyżulców ściskanych (porównywane z maksymalnym naprężeniem stycznym przy przebiciu).

Wskaźnik dla sił sejsmicznych Współczynnik dla sił sejsmicznych można znaleźć w rozdziale *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1).*

Parametry

Kąt zbrojenia ścinanego Kąt pomiędzy płytą i prętami zbrojeniowymi na przebicie (45°-90°).

Rozstaw radialny prętów Rozstaw radialny prętów to różnica między promieniami dwóch sąsiednich okręgów ze zbrojeniem. Przycisk **OK** nie jest dostępny, dopóki podstawowe kryterium normowe nie zostanie spełnione: $s_r \leq 0.75 \cdot d$. (rozdział 9.4.3. (1) EC2)

Odległość do pierwszego okręgu zbrojenia na przebicie Odległość do pierwszego okręgu zbrojenia na przebicie od wypukłej krawędzi słupa.

Współczynnik β

Obliczony na podstawie (6.4.3. (3) (6.39))	$1 + k\frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1}$	
Szacunkowa wartość wg położenia słupa (6.4.3. (6))*	*Słup wewnętrzny*	*1,15*
	Słup krawędziowy	*1,4*
	Słup narożny	*1,5*
Użytkownika	*wartość określona przez użytkownika*	

*Dla konstrukcji, w których poprzeczna stateczność nie zależy od współpracy płyty i słupów rozpatrywanych jako elementy ramy i w których przylegające przęsła nie różnią się pod względem długości o więcej 25%.

Otwórz... Wczytuje zapisany zestaw parametrów.

Po wprowadzeniu wszystkich parametrów, w oknie panelu informacyjnego wyświetlone zostaną obwody kontrolne i wymagana ilość prętów zbrojeniowych na przebicie.

AxisVM oblicza efektywne fragmenty obwodów kontrolnych w oparciu o krawędzie płyty i otwory. Linie ciągłe wskazują, że zbrojenie jest potrzebne. AxisVM wyświetla wymaganą ilość zbrojenia dla każdej linii. Okno informacyjne przedstawia ilość krytycznego zbrojenia na przebicie. Podczas obliczania długości obwodu krytycznego przyjmuje się, że rozstaw prętów zbrojeniowych na obwodzie nie przekracza *2d*, ale spełnienie tego wymogu nie jest weryfikowane. Jeżeli ten wymóg nie został spełniony, użytkownik powinien wybrać mniejszy obwód lub umieścić dodatkowe pręty.

Przelicz zbrojenie dla każdego obwodu kontrolnego Jeżeli ta opcja została zaznaczona, to zbrojenie dla obwodów kontrolnych znajdujących się ponad *2d* będzie obliczane z rzeczywistej długości obwodu. Dla obwodów kontrolnych znajdujących się bliżej niż *2d* zastosowane będzie zbrojenie dla obwodu krytycznego.
Jeżeli ta opcja nie została zaznaczona to zbrojenie obliczone dla obwodu krytycznego zostanie użyte dla wszystkich obwodów.

Tok obliczeń Najpierw obliczone zostają wyniki dla obwodu krytycznego (są one wyświetlane w oknie dialogowym *Wyniki analizy przebicia*). Następnie określana jest wymagana ilość zbrojenia dla okręgów zbrojenia zdefiniowanych w oknie dialogowym parametrów. Obwód krytyczny wyświetlony jest na czerwono, a okręgi zbrojenia na czarno. Linie przerywane wskazują obwód, gdzie odległość od słupa wynosi sześciokrotną wartość efektywnej grubości płyty.
Cienka niebieska linia wskazuje na obwód, gdzie nie potrzebne jest zbrojenie na przebicie.
Jest to kontur głowicy grzybkowej, którą można zaprojektować o grubości H_2 i bez zbrojenia na przebicie.

Gruba niebieska linia wskazuje na obwód, gdzie krytyczna siła przebicia przewyższa wytrzymałość betonu na ściskanie, tak więc płyta o pierwotnej grubości nie może zostać prawidłowo zazbrojona. Jest to kontur głowicy grzybkowej, którą można zaprojektować o grubości H_1 i ze zbrojeniem na przebicie. Nośność na przebicie można zwiększyć ustawiając większą grubość płyty, wykorzystując lepszą klasę betonu lub słupy z większym polem przekroju poprzecznego.

Zapisuje rysunek w Bibliotece Rysunków.

Wczytuje zapisany zestaw parametrów przebicia.

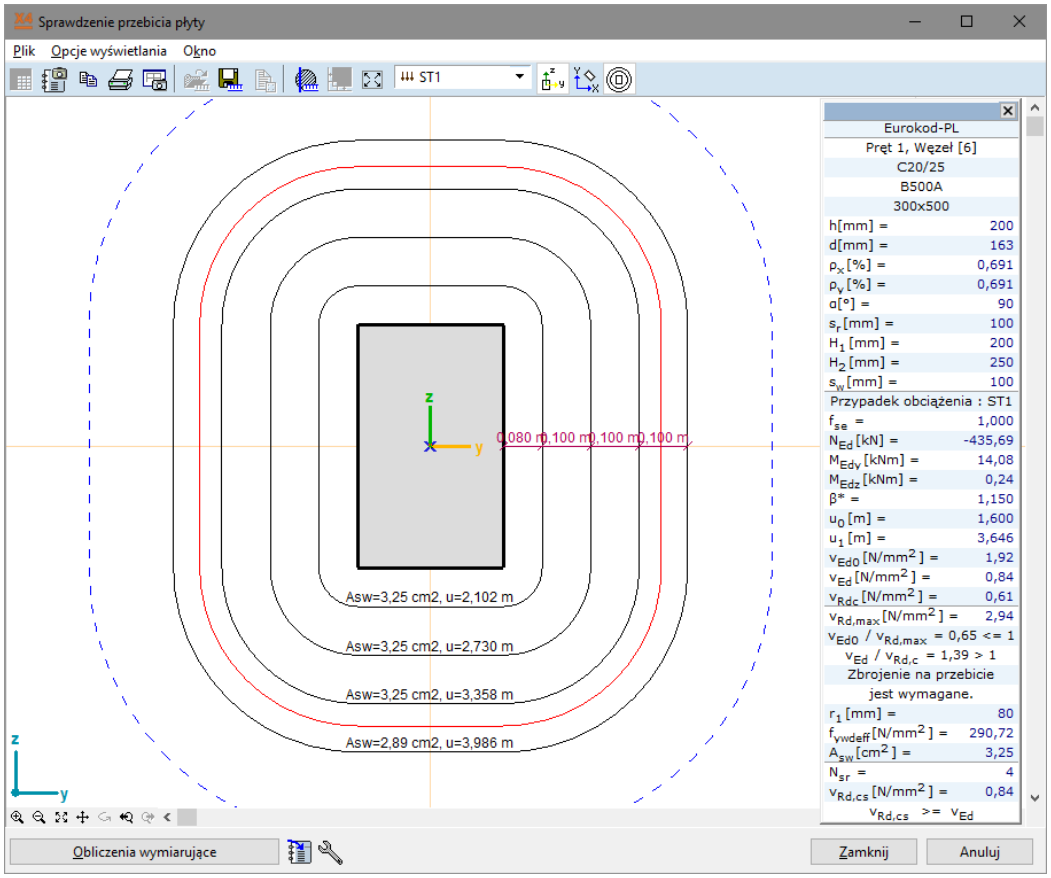
Zapisuje bieżące parametry przebicia pod podana nazwą. Zapisane parametry można wczytać ponownie za pomocą przycisku *Wczytywanie...* w oknie dialogowym *Parametry przebicia*.

Okna dialogowe parametrów przebicia.

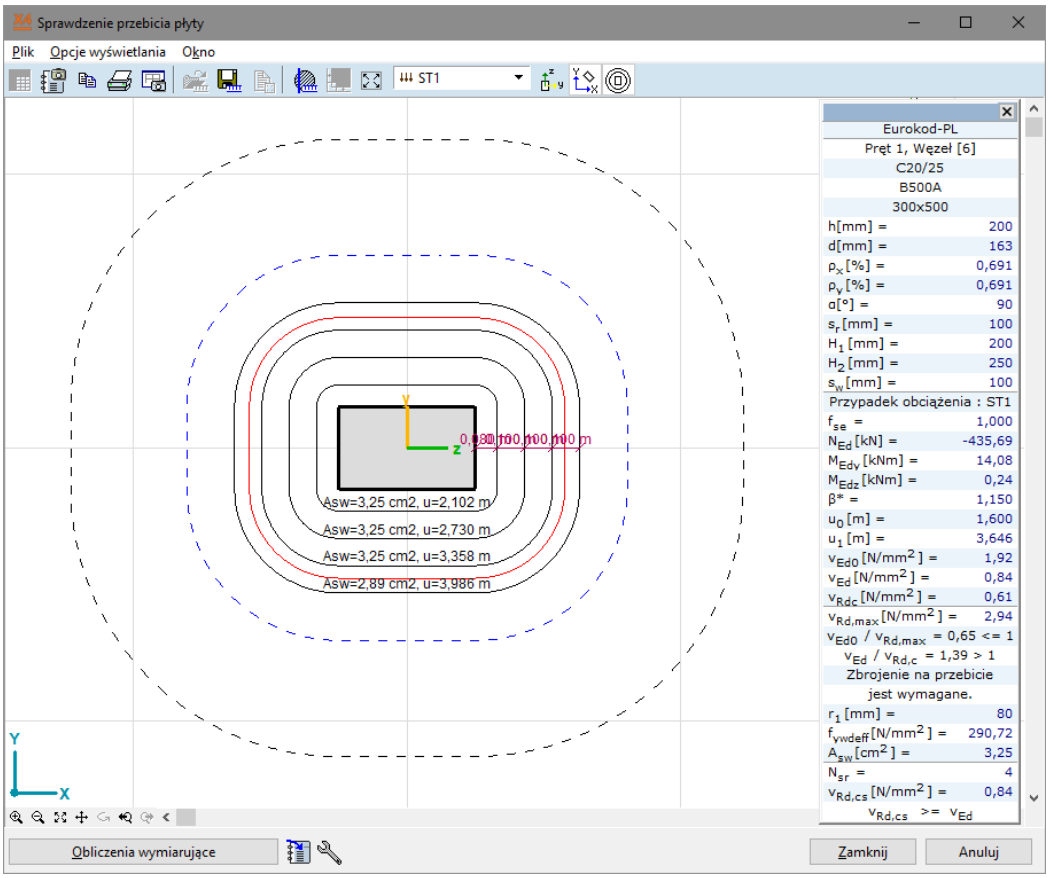
Zwiększa granice płyty, aby cały przekrój poprzeczny znajdował się wewnątrz obszaru.

Dopasowuje wykres do okna.

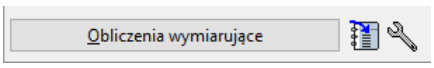
Użyte zostają lokalne współrzędne słupa.



Użyte zostają globalne współrzędne.



Włącza i wyłącza wyświetlanie okręgów zbrojenia.



Przycisk *Obliczenia wymiarujące* wyświetli szczegóły obliczeń. **Patrz...** *6.6.1.3 Wykresy i obliczenia wymiarujące*

Kliknięcie na tę ikonę dodaje obliczenia wymiarujące do bieżącego raportu.

Kliknięcie na ikonę *Ustawienia* przy przycisku *Obliczenia wymiarujące* umożliwia ustawienie jednostek dla sił i długości użytych w obliczeniach wymiarujących.

Proces obliczeń

Wymagane zbrojenie na przebicie obliczane jest na podstawie następujących założeń.
Połączenie słup-płyta jest poprawne, jeżeli naprężenie ścinające jest mniejsze lub równe wartości obliczeniowej maksymalnej nośności na przebicie wzdłuż przekroju kontrolnego i wartości obliczeniowej nośności na przebicie płyty ze zbrojeniem na przebicie:

$$v_{Ed} \le v_{Rd,max} \text{ i } \quad v_{Ed} \le v_{Rd,cs}$$

v_{Ed} wartość obliczeniowa naprężenia ścinającego
$v_{Rd,max}$ rtość obliczeniowa maksymalnej nośności na przebicie wzdłuż przekroju kontrolnego
$v_{Rd,cs}$ wartość obliczeniowa nośności na przebicie płyty ze zbrojeniem na przebicie

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d}$$

gdzie u_i to długość obwodu kontrolnego, *d* to średnia efektywna grubość płyty

β to współczynnik wyrażający dodatkowe naprężenie spowodowane przez siły mimośrodowe:

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_i}{W_1}$$

Eurokod przyjmuje, że przekrój krytyczny znajduje się w odległości *2d* od krawędzi przekroju poprzecznego. Długość obwodu krytycznego i momentu statycznego obliczana jest uwzględniając krawędzie płyty i otwory rzeczywistej geometrii.
Obliczeniowa nośność na przebicie bez zbrojenia na przebicie to:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c}k(100\rho_1 f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1\sigma_{cp} \geq v_{min} + k_1\sigma_{cp}_1 = \sqrt{(\rho_x\ \rho_y)} \quad (\rho_1 = \sqrt{\rho_\xi \rho_\eta})$$ *dla zbrojenia ukośnego*

Jeżeli $v_{Ed} > v_{Rd,c}$ wtedy wymagane zbrojenie na przebicie określane jest wzdłuż obwodu krytycznego

$$v_{Rd,cs} = 0.75 \cdot v_{Rd,c} + 1.5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot \frac{A_{sw} f_{ywd,ef}}{u_1 d} \sin\alpha\,; \quad v_{Ed} \leq v_{Rd,cs}$$

Zbrojenie dla każdego obwodu i obwód, gdzie niepotrzebne jest zbrojenie na przebicie, obliczane są na podstawie wzoru:

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i d} \leq v_{Rd,c}$$

Okno informacyjne

W oknie informacyjnym pod oznaczeniem wybranej normy, identyfikatorami elementów i materiałami wyświetlone są następujące parametry:

- *h* grubość płyty
- *d* efektywna grubość płyty
- ρ_x, ρ_y stopień zbrojenia podłużnego w kierunku -x- oraz -y-
- *α* kąt pomiędzy płytą i zbrojeniem na przebicie
- a_1 odległość pierwszego obwodu zbrojenia na przebicie od wypukłego obrysu słupa
- s_r rozstaw okręgów zbrojenia
- f_{se} współczynnik skalujący siły wewnętrzne tylko od obciążeń sejsmicznych
- V_{Ed} obliczeniowa siła przebijająca
- $V_{Ed,0}$ obliczeniowa siła przebijająca z całkowania w odległości 0.5d od wypukłego konturu słupa (tylko dla płyt fundamentowych)
- M_{Edx}, M_{Edy} wartość obliczeniowa momentu zginającego
- u_0 obwód kontrolny w obwodzie słupa
- u_1 krytyczny obwód kontrolny w odległości *2d* od krawędzi słupa
- *β** obliczony współczynnik mimośrodu
- v_{Ed0} naprężenie ścinające wzdłuż obwodu u_0
- v_{Ed} naprężenie ścinające wzdłuż obwodu u_1
- $v_{Rd,max}$ obliczeniowa wartość maksymalnej nośności na ścinanie
- v_{Rdc} obliczeniowa wartość nośności na ścinanie płyty żelbetowej przy przebiciu bez zbrojenia na ścinanie
- $v_{Ed0}/v_{Rd,max}$ stopień wykorzystania w obwodzie u_0 (w licu słupa)
- v_{Ed}/v_{Rdc} stopień wykorzystania (rozciąganie w betonie)
- $f_{ywd,ef}$ rozciąganie w zbrojeniu na przebicie
- A_{sw} pole powierzchni zbrojenia na przebicie w krytycznym obwodzie kontrolnym
- $v_{Rd,cs}$ obliczeniowa wartość nośności na ścinanie przy przebiciu płyty żelbetowej ze zbrojeniem na ścinanie
- N_{sr} liczba obwodów zbrojenia
- $h_{min,1}$ minimalna wymagana grubość płyty ze zbrojeniem na przebicie
- $h_{min,2}$ minimalna wymagana grubość płyty bez zbrojenia na przebicie

Eurokod-PL	
Pręt 2, Węzeł [7]	
C20/25	
B500C	
L400x400	
h[mm] =	200
d[mm] =	163
ρ_y [%] =	0,893
ρ_z [%] =	0,961
α[°] =	90
a_1 [mm] =	50
s_r [mm] =	100
Decydujące Min,Max	
f_{se} =	1,000
V_{Ed} [kN] =	-474,38
M_{Edy} [kNm] =	-10,56
M_{Edz} [kNm] =	-2,77
u_0 [m] =	1,454
u_1 [m] =	3,186
β =	1,041
v_{Ed0} [N/mm²] =	2,0849
v_{Ed} [N/mm²] =	0,95129
$v_{Rd,max}$ [N/mm²] =	2,944
v_{Rdc} [N/mm²] =	0,63848
v_{Ed0} / $v_{Rd,max}$ = 0,708 ≤ 1	
v_{Ed} / $v_{Rd,c}$ = 1,490 > 1	
Zbrojenie na przebicie jest wymagane.	
$f_{ywd,ef}$ [N/mm²] =	290,72
A_{sw} [cm²] =	3,45
$v_{Rd,cs}$ [N/mm²] =	0,95129
v_{Ed} / $v_{Rd,cs}$ = 1,000 ≤ 1	
N_{sr} =	5
$h_{min,1}$ [mm] =	200
$h_{min,2}$ [mm] =	270

6.5.1.5.1.2 Przebicie przez ścianę wg Eurokodu

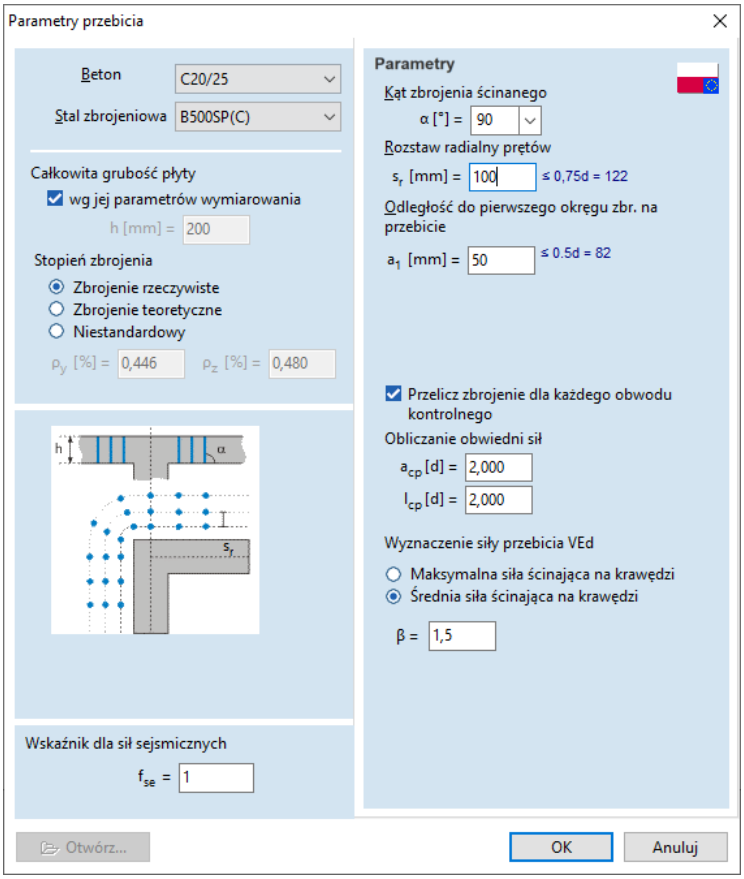
Sprawdzenie przebicia przez zakończenie lub narożnik ściany może zostać przeprowadzone również za pomocą modułu RC3, włącznie z wyznaczeniem wymaganego zbrojenia na przebicie. Program generuje obwody kontrolne do sprawdzenia przebicia uwzględniając lokalizację ścian względem płyty, krawędzie płyty oraz otwory. Krawędzie i otwory są uwzględniane, gdy znajdują się w odległości od słupa mniejszej niż sześciokrotna efektywna grubość płyty.

☞ **Jeżeli element typu żebro połączony jest z narożnikiem/końcem ściany w płaszczyźnie płyty, to sprawdzenie przebicia nie będzie mogło zostać przeprowadzone!**

Po kliknięciu w ikonkę sprawdzenia przebicia dla ścian, należy wybrać węzeł reprezentujący zakończenie ściany lub jej narożnik. Program automatycznie identyfikuje ściany dochodzące do wybranego węzła. Ściany mogą być na modelu pionowymi obszarami lub podporami liniowymi z obliczonymi i przypisanymi sztywnościami na podstawie określonych parametrów ściany (**patrz...** *4.9.11 Podpora liniowa).* Oba przypadki reprezentacji ścian są obsługiwane przy weryfikacji przebicia.

Definicja parametrów przebicia odbywa się w poniższym oknie dialogowym:

Parametry przebicia

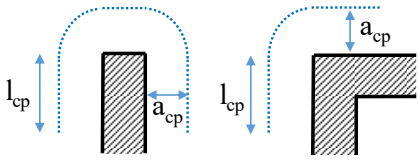


Większość parametrów, które można ustawić w tym oknie, została już opisana w poprzednim rozdziale (**patrz...** *6.5.1.5.1.1 Przebicie przez słup wg Eurokodu*)

Najczęściej do sprawdzenia przebicia w zakończeniach i narożnikach ściany siła wyznaczana jest w jeden z następujących sposobów:

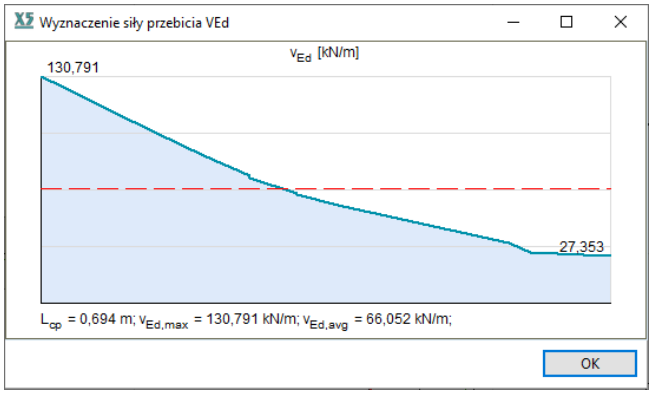
- przez całkowanie reakcji wzdłuż ścian lub ściany
- przez całkowanie sił tnących działających wokół zakończenia lub narożnika ściany

W programie zastosowano tę drugą metodę, gdzie parametry a_{cp} oraz l_{cp} określające położenie linii odczytu sił mogą zostać określone przez projektanta. Siła do weryfikacji przebicia obliczana jest z sił tnących znajdujących na tej linii, na podstawie poniższego opisu.
Parametry a_{cp} oraz l_{cp} w oknie z parametrami do przebicia określane są względem wartości *d* (wysokość użyteczna). Dla a_{cp}=2 oraz l_{cp}=2 położenie linii całkowania będzie znajdowało się w odległości *2d* od krawędzi ściany, a koniec linii również *2d* od zakończenia ściany lub jej narożnika.



☞ **W przypadku płyt fundamentowych siła przebijająca jest wynikiem całkowana wzdłuż linii znajdującej się w odległości 0.5d od wypukłego obrysu słupa (wartość siły VEed,0). Wartość ta brana jest przy sprawdzaniu warunku nośności betonowych krzyżulców ściskanych (porównywane z maksymalnym naprężeniem stycznym przy przebiciu).**

Rozkład siły wzdłuż linii całkowania zostanie wyświetlony po kliknięciu ikonki wykresu:



☞ **Należy wiedzieć i pamiętać, że linia określona przez parametry a_{cp} oraz l_{cp} jest tylko pomocniczym narzędziem do określania siły przebicia i nie jest traktowana przez program jako kontrolny obwód przebicia.**
Obwód do sprawdzenia przebicia wyznaczany jest zgodnie z normą projektową (patrz... *6.5.1.5.1.1 Przebicie przez słup wg Eurokodu* oraz *6.5.1.5.2.1 Przebicie przez słup wg SIA 262*).

Wyznaczanie siły VEd do sprawdzenia przebicia

Przy wyznaczaniu *VEd* z maksymalnej siły tnącej, obliczana jest ona w następujący sposób:

$V_{Ed} = v_{Ed,max} \cdot L$zie

- $v_{Ed,max}$ to maksymalna wartość siły tnącej wzdłuż linii całkowania;
- L to długość linii całkowania.

Przy wyznaczaniu *VEd* ze średniej siły tnącej, obliczana jest ona w następujący sposób:

$$V_{Ed} = \beta \cdot v_{Ed,avg} \cdot L$$

gdzie

- β to współczynnik uwzględniający oddziaływanie momentu zginającego;
- $v_{Ed,avg}$ to średnia wartość siły tnącej wzdłuż linii całkowania.

Wartość v_{Ed} obliczana jest wg wzoru:

$$v_{Ed} = \sqrt{v_{xz}^2 + v_{yz}^2}$$

Odpór podłoża

W przypadku sprawdzania przebicia na zakończeniu/narożniku ściany siła od odporu podłoża jest pomijana, ponieważ obwody kontrolne nie tworzą linii zamkniętej, a siła przebijająca jest zazwyczaj scałkowana z odległości 2d od konturu ściany, więc większość oddziaływania podłoża jest już pominięta.

Interfejs i wyniki

Interfejs graficzny tego modułu oraz dostępne tam przyciski zostały szczegółowo opisane w poprzednim rozdziale (**patrz...** *6.5.1.5.1.1 Przebicie przez słup wg Eurokodu*). Wyniki wymiarowania są przedstawiane w oknie informacyjnym oraz w sposób graficzny w oknie *Sprawdzenie przebicia płyty*.
Jeżeli w wyniku obliczeń okaże się, że do zapewnienie nośności wymagane jest zbrojenie na przebicie, to jego obliczona ilość pojawi się na obwodach w strefie przebicia. W oknie dialogowym *Sprawdzenie przebicia płyty* dostępny jest również przycisk *Obliczenia wymiarujące*, po kliknięciu którego wyświetlany jest szczegółowa notka z obliczeń. Obliczenia te oraz rysunki mogą zostać zapisane i wykorzystane podczas tworzenia raportu.

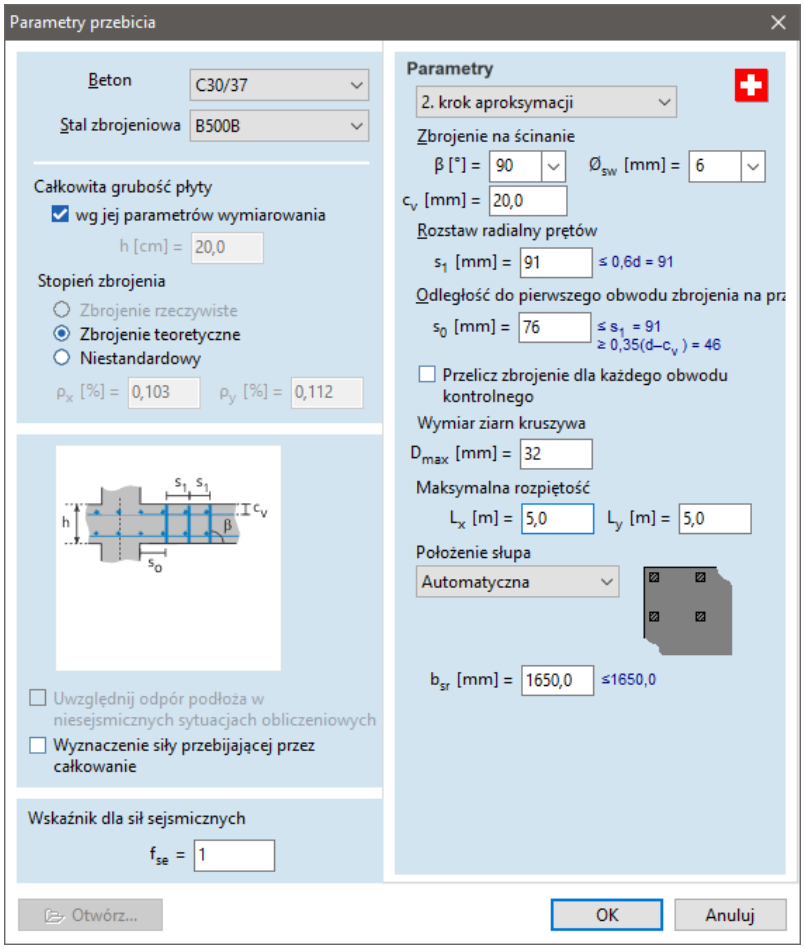
6.5.1.5.2 Sprawdzenie przebicia wg SIA 262

6.5.1.5.2.1 Przebicie przez słup wg SIA 262

Sprawdzenie przebicia jest dostępne, jeżeli zdefiniowano wcześniej parametry wymiarowania i zbrojenie rzeczywiste dla analizowanej płyty.
Po kliknięciu ikonki sprawdzenia przebicia, należy wybrać słup lub podporę węzłową z przypisanymi parametrami słupa.
Niektóre informacje o procesie wymiarowania zostały już omówione w rozdziale *6.5.1.5.1.1 Przebicie przez słup wg Eurokodu* i nie są już tutaj powtarzane.

☞ **Sprawdzenie przebicia jest niemożliwe, gdy do słupa dochodzi żebro leżące w płaszczyźnie analizowanej płyty.**

Parametry do sprawdzenia przebicia mogą zostać określone w analogiczny sposób, jak ma to miejsce w przypadku wymiarowania wg Eurokodu.



Materiał

Beton, Stal zbrojeniowa — Klasa betonu i stali zbrojeniowej użyte do obliczeń. Te parametry pobrane są domyślnie z rzeczywistego modelu, ale mogą zostać zmienione w tym miejscu.

Całkowita grubość płyty (h) — Grubość płyty pobrana jest domyślnie z modelu rzeczywistego i można ją zmienić w tym miejscu, jeżeli wyłączono opcję *Według parametrów zbrojenia*.

Stopień zbrojenia — Stopień zbrojenia (ρ_x, ρ_y) może zostać przyjęty jako:

- obliczony ze zbrojenia rzeczywistego (zastosowanego)
- obliczony ze zbrojenia wymaganego (obliczonego)

niestandardowy (podany przez użytkownika)

Wyznaczenie siły przebijającej — Siła przebijająca może być wyznaczona jako różnica w sile osiowej połączonych w płycie słupów lub poprzez scałkowanie siły tnącej w płycie (**patrz...** *6.5.1.5.1.1 Przebicie przez słup wg Eurokodu*).

Parametry

Krok aproksymacji Poziom aproksymacji ustawiany zgodnie z SIA 262:2013 (rozdział 4.3.6.4.2). Można wybrać krok aproksymacji 1 lub 2.

β Kąt między płaszczyzną płyty a prętami na ścinanie (45°-90°).

Φ_{sw} Średnica prętów na ścinanie.

c_v Otulina betonowa zbrojenia na przebicie po stronie rozciąganej.

Rozstaw radialny prętów Rozstaw radialny prętów to różnica między promieniami dwóch sąsiednich okręgów ze zbrojeniem na ścinanie.

Odległość do pierwszego okręgu zbrojenia na przebicie Odległość do pierwszego okręgu zbrojenia na przebicie od wypukłej krawędzi słupa.

Wymiar ziarn kruszywa D_{max} maksymalny wymiar ziarn kruszywa.

Maksymalna rozpiętość L_x oraz $L_y$to rozpiętośc w kierunku -x- oraz -y- wg rozdziału 4.3.6.4.2 oraz 4.3.6.4.4.

Położenie słupa Współczynnik redukcyjny k_e, którego wartość można określić na podstawie 4.3.6.2.4 normy SIA 262: 2013. Jeżeli wybrano opcję *Automatyczna*, to współczynnik ten obliczany jest z poniższego wzoru:

$$k_e = \frac{1}{1+\frac{e}{b}}$$

b_{sr} Wartość graniczna dla szerokości strzemion słupa do wyznaczenia nośności na zginanie.

Wyznaczenie siły przebijającej Siła przebijająca może zostać wyznaczona z różnicy siły podłużnych poszczególnych słupów lub poprzez całkowanie siły tnącej w płycie (**patrz...** *6.5.1.5.1.1 Przebicie przez słup wg Eurokodu*).

Wytyczne do wymiarowania Program wyznacza obwód przebicia w odległości $0{,}5d_v$ (rozdział 4.3.6.2.2) od wypukłej krawędzi słupa. Nośność ściskanych krzyżulców obliczana jest wg rozdziału 4.3.6.5.7:

$$V_{Rd,max} = 2 \cdot k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

Jeżeli $V_d > V_{Rd,max}$ nośność betonowych krzyżulców ściskanych jest niewystarczająca. W takim przypadku należy zmienić grubość płyty lub klasę betonu.
Nośność na ścinanie przy przebiciu bez zbrojenia na ścinanie obliczana jest wg rozdziału 4.3.6.3.1:

$$V_{Rd,c} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

Jeżeli $V_d \leq V_{Rd,c}$ to zbrojenie ścinane nie jest potrzebne. W przeciwnym wypadku wymagane zbrojenie ścinane na przebicie obliczane jest zgodnie z rozdziałem 4.3.6.5.2 (65) oraz 4.3.6.5.3 (66)):

$$\Sigma A_{sw} = \frac{V_d}{k_e \cdot \sigma_{sd} \cdot sin\beta},$$

gdzie

$$\sigma_{sd} = \frac{E_s \cdot \psi}{6} \cdot \left(1 + \frac{f_{bd}}{f_{sd}} \cdot \frac{d}{\phi_{sw}}\right)$$

$$\psi = 1{,}5 \cdot \frac{r_s}{d} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left(\frac{m_{sd}}{m_{Rd}}\right)^{3/2} \; z \; f_{bd} = \frac{1{,}4 \cdot f_{ctm}}{\gamma_c}$$

Tak obliczone zbrojenie wymagane musi być rozłożone w obwodach zbrojenia znajdujących się między $0{,}35 \cdot d_v$ a d_v. Wymagane zbrojenie dla pojedynczego obwodu zbrojenia obliczane jest przez podzielenie wartości ΣA_{sw} przez liczbę obwodów zbrojenia. Ilość zbrojenia wymaganego A_{sw} jest umieszczana na każdym obwodzie zbrojenia tam, gdzie jest to konieczne.

Okno informacyjne

W oknie informacyjnym pod oznaczeniem wybranej normy, identyfikatorami elementów i materiałami wyświetlone są następujące parametry:

h	grubość płyty
d	grubość płyty
ρ_x, ρ_y	stopień zbrojenia podłużnego płyty w kierunku -x- oraz -y-
β	kąt pomiędzy płytą i zbrojeniem na przebicie
s_0	odległość pierwszego obwodu zbrojenia na przebicie od wypukłego obrysu słupa
s_1	rozstaw okręgów zbrojenia
$\varnothing_{sw}$	średnica zbrojenia na ścinanie
d_v	efektywna grubość płyty
l_x, l_y	rozpiętość w kierunku -x- oraz -y-
f_{se}	współczynnik skalujący siły wewnętrzne tylko od obciążeń sejsmicznych
V_d	obliczeniowa siła przebijająca
$V_{d,0}$	obliczeniowa siła przebijająca z całkowania w odległości 0.5d od wypukłego konturu słupa (tylko dla płyt fundamentowych)
M_y, M_z	wartość obliczeniowa momentu zginającego
u	długość obwód przy przebiciu
k_e	współczynnik redukcyjny dla obwodów kontrolnych przy przebiciu
u'	$u' = k_{e\,u} \cdot u$
$V_{Rd,max}$	obliczeniowa wartość maksymalnej nośności na ścinanie
$V_{Rd,c}$	obliczeniowa wartość nośności na ścinanie płyty żelbetowej przy przebiciu bez zbrojenia na ścinanie
$V_d/V_{Rd,max}$	stopień wykorzystania dla $V_{Rd,max}$
$V_d/V_{Rd,c}$	stopień wykorzystania dla $V_{Rd,c}$
$V_{d,s}$	siła przebijająca do obliczenia zbrojenia na ścinanie
σ_{sd}	obliczeniowa wartość naprężeń rozciągających w zbrojeniu ścinanym
ΣA_{sw}	całkowita wymagana ilość zbrojenia na ścinanie
A_{sw}	wymagana ilość zbrojenia na ścinanie w jednym obwodzie zbrojenia
$V_{Rd,s}$	obliczeniowa siła przebijająca do obliczenia zbrojenia na ścinanie
N_{sr}	liczba obwodów zbrojenia

SIA 26x (Szwajcarski)	
Pręt 1, Węzeł [5]	
C30/37	
B500B	
400x400	
h[cm] =	20,0
d[cm] =	15,2
ρ_x[%] =	0,251
ρ_y[%] =	0,273
β[°] =	90
s_0[mm] =	76
s_1[mm] =	91
Ø[mm] =	6
d_v[mm] =	132,0
l_x[m] =	5,0
l_y[m] =	5,0
Przypadek obciążenia : STAT1	
f_{se} =	1,000
V_d[kN] =	227,26
M_y[kNm] =	1,57
M_z[kNm] =	-2,23
u[m] =	2,014
k_e =	0,980
u'=k_e·u[m] =	1,974
$V_{Rd,max}$[kN] =	427,26
$V_{Rd,c}$[kN] =	213,63
V_d / $V_{Rd,max}$ = 0,532 ≤ 1	
V_d / $V_{Rd,c}$ = 1,064 > 1	
Zbrojenie na przebicie	
jest wymagane.	
$V_{d,s}$[kN] =	113,63
σ_{sd}[MPa] =	434,78
Σ A_{sw}[mm²] =	267
A_{sw}[mm²] =	267
$V_{Rd,s}$[kN] =	113,63
N_{sr} =	2

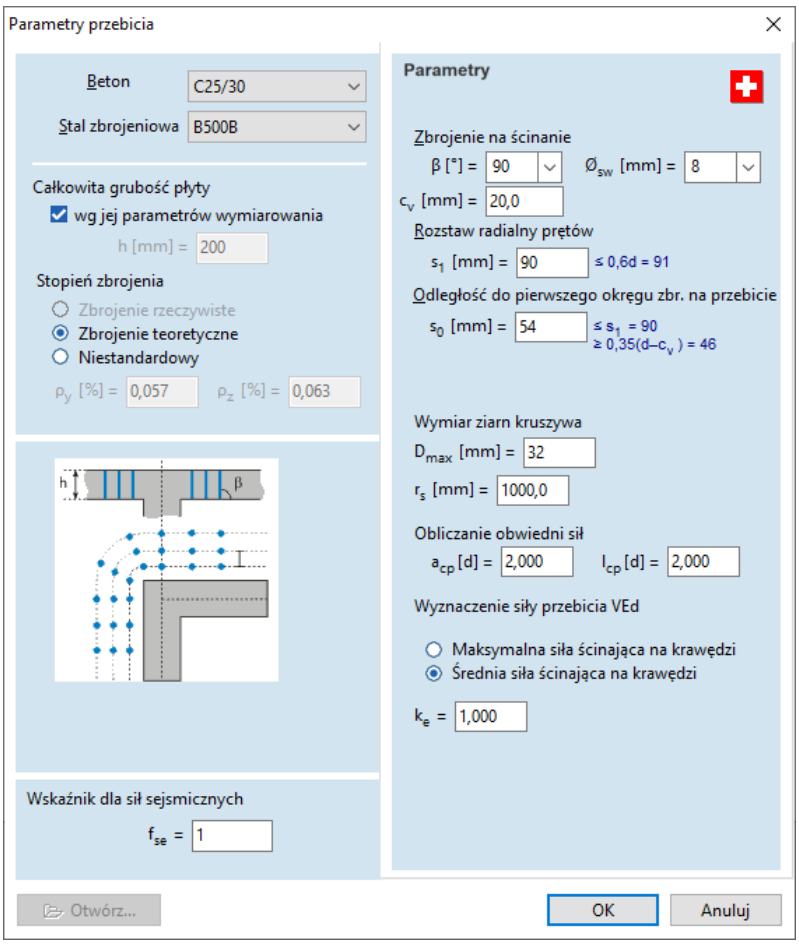
6.5.1.5.2.2 Przebicie przez ścianę wg SIA 262

Program wyznacza siłę przebicia tak jak to opisano w HIV. W przypadku wymiarowania wg SIA współczynnik β nie jest wykorzystywany. Współczynnik redukcji k_e dla długości obwodu może zostać określony przez użytkownika.

Po kliknięciu w ikonkę sprawdzenia przebicia dla ścian, należy wybrać węzeł reprezentujący zakończenie ściany lub jej narożnik. Program automatycznie identyfikuje ściany dochodzące do wybranego węzła. Ściany mogą być na modelu pionowymi obszarami lub podporami liniowymi z obliczonymi i przypisanymi sztywnościami na podstawie określonych parametrów ściany (**patrz...** *4.9.11 Podpora liniowa*). Oba przypadki reprezentacji ścian są obsługiwane przy weryfikacji przebicia.

Większość parametrów, które można ustawić została już opisana w rozdziale *6.5.1.5.1.2 Przebicie przez ścianę wg Eurokodu* i nie jest tutaj ponownie opisywana.

☞ **Jeżeli element typu żebro połączony jest z narożnikiem/końcem ściany w płaszczyźnie płyty, to sprawdzenie przebicia nie będzie mogło zostać przeprowadzone!**



Szczegóły wymiarowania i zastosowane wzory zostały omówione w poprzednim rozdziale *6.5.1.5.2.1 Przebicie przez słup wg SIA 262*. W przypadku zakończenia ścian i ich narożników nie można wybrać poziomy aproksymacji (rozdział 4.3.6.4.2. normy SIA 262:2013), a w programie przyjęto poziom 1, ponieważ założono, że $m_{sd}/m_{Rd} \cong 1.0$ a wartość odległości r_s może zostać określona przez użytkownika.

6.5.2 Wymiarowanie belki żelbetowej (moduł RC2)

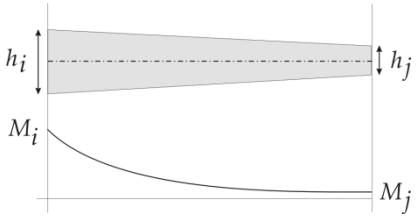
Normy projektowe

Eurokod 2: *EN 1992-1-1:2004*
DIN: *DIN 1045-1:2001-07*
SIA: *SIA 262:2013*

☞ **Belki są elementami konstrukcyjnymi z jednym wymiarem (długością) większym niż wymiary przekroju poprzecznego, obciążone zginaniem i ścinaniem, a siła normalna wynosi zero lub jest mała, a przez to nieistotna.**

Moduł do wymiarowanie zbrojenia belki można zastosować do prętowych elementów konstrukcyjnych, modelowanych za pomocą prętów lub żeber, które posiadają ten sam materiał, przekrój stały lub zmienny, prostokątny lub teowy, zakładając, że obciążenie przyłożone jest w płaszczyźnie symetrii przekroju poprzecznego.
Obliczane zbrojenie górne i dolne są z tego samego gatunku stali, podczas gdy strzemiona mogą mieć inny gatunek stali od prętów podłużnych.

Zmienny przekrój poprzeczny



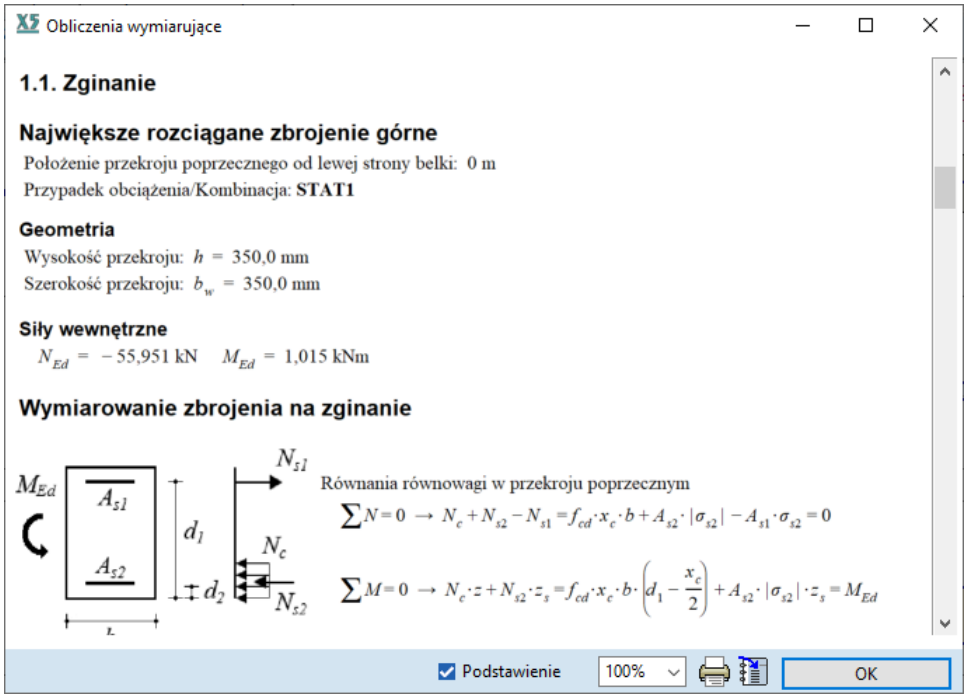
Uwzględniana jest zmiana w sile tnącej ze względu na zmienny przekrój poprzeczny.
Tam, gdzie znak momentu nie zmienia się, można zastosować prostą zasadę: jeżeli na długości wysokość przekroju zmienia się w ten sam sposób co moment, wytrzymałość na ścinanie maleje, w przeciwnym wypadku rośnie.

Siła tnąca modyfikowana jest przez $\Delta V = 2A_s f_{yd} \sin\alpha$, gdzie A_s to powierzchnia podłużnego zbrojenia rozciąganego α to kąt pomiędzy włóknem skrajnym i linią środkową. Zakłada się, że zbrojenie podłużne jest równoległe do włókna skrajnego.

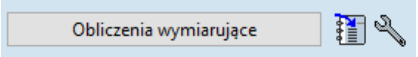
☞ **AxisVM przeprowadza procedury wymiarujące wymienione poniżej. Wszystkie pozostałe wymagane zgodnie z normą sprawdzenia muszą być wykonane przez użytkownika.**
Aktualna wersja modułu Wymiarowanie belek nie weryfikuje zginania ukośnego, złożonego oddziaływania sił wewnętrznych, zwichrzenia czy wpływu naprężeń prostopadłych do osi podłużnej, wywołanych siłami skupionymi. Z tego powodu moduł nie może być stosowany do wymiarowania krótkich wsporników.

Obliczenia wymiarujące

Kliknięcie w przycisk *Obliczenia wymiarujące* w oknie *Zbrojenie belki* wyświetli szczegółową notkę obliczeniową wg wybranej normy projektowej. Odniesienia do odpowiednich punktów rozdziałów i wzorów normowych są wyświetlone na niebiesko.
Notka obliczeniowa jest przygotowana dla zbrojenia teoretycznego lub rzeczywistego, w zależności czy zostanie wywołana z zakładki *Zbrojenie belki teoretyczne* czy *Zbrojenie belki rzeczywiste*.



Kliknięcie w ikonkę *Ustawienia* obok przycisku *Obliczenia wymiarujące* pozwala ustawić poziom szczegółowości notki oraz podstawowe jednostki dla sił i długości wykorzystywanych w notce.



Większość pozostałych wyników jest konwertowana wg ustawień jednostek przyjętych w AxisVM (**patrz...** *3.3.8 Jednostki i formaty*)

Więcej szczegółów dotyczących okna *Obliczenia wymiarujące* można znaleźć w *6.6 Wymiarowanie – Stal* oraz *6.6.1.3 Wykresy i obliczenia wymiarujące*

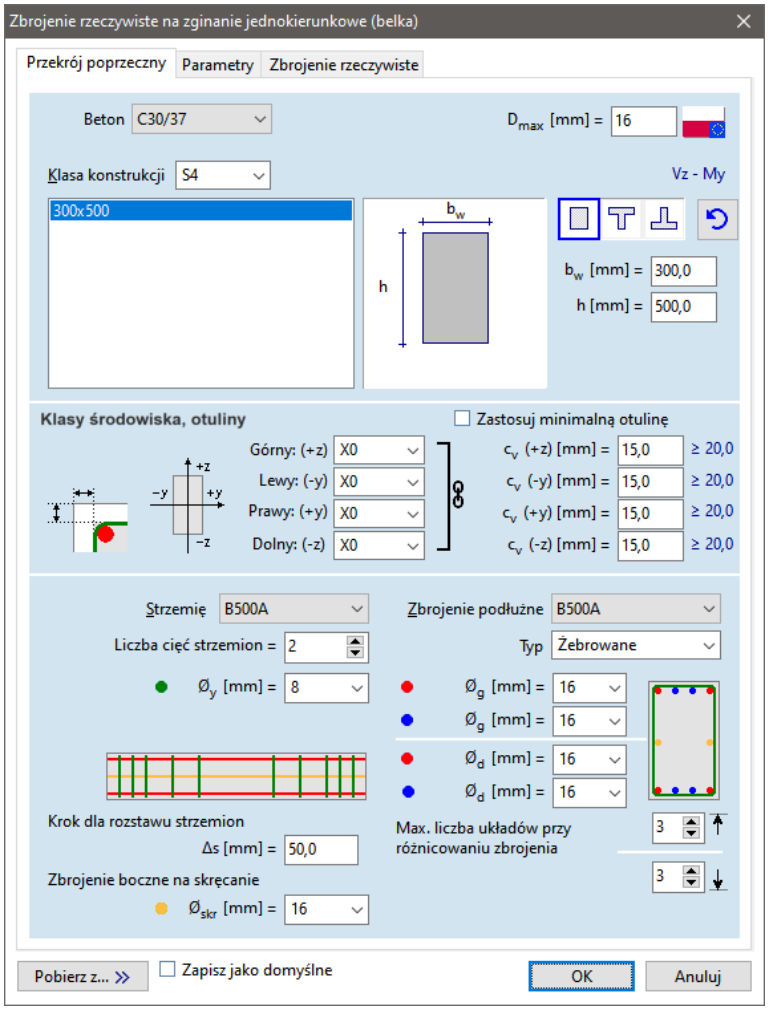
6.5.2.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste belek (zginanie jednokierunkowe)

Za pomocą tego polecenia, parametry do wymiarowania i zbrojenie rzeczywiste (zastosowane) belek żelbetowych mogą zostać przypisane bez konieczności procedury weryfikacji przekroju dla każdego elementu prętowego z osobna. Parametry wymiarowania belek żelbetowych mogą być różne dla każdego elementu skończonego belki (analogicznie do oczka siatki). Aby wybrać tylko część elementu konstrukcyjnego, zaznacz następującą opcję *Ustawienia / Preferencje / Edycja / Włącz wybór elementów skończonych na liniach*.

☞ **Okno dialogowe parametrów zbrojenia belek jest odpowiednie do zdefiniowania dla elementów pracujących na jednokierunkowe zginanie. Może być ono jednak również użyte dla elementów pionowych.**

Parametry dostępne w tym oknie są wykorzystywane przy wymiarowaniu belek żelbetowych **patrz...***6.5.2.2 Etapy wymiarowania zbrojenia belki*.

Przekrój poprzeczny

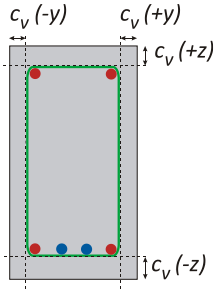


Lista z przekrojami poprzecznymi zawiera wszystkie wybrane przez użytkownika przekroje belek do zwymiarowania. Parametry geometryczne wybranych przekroi z listy zostaną wyświetlone i mogą zostać następnie wyedytowane. Zmiany te nie spowodują jednak ponownego uruchomienia obliczeń sił wewnętrznych, dlatego wymiary przekroju poprzecznego nie powinny być zmieniane, chyba że jest to naprawdę konieczne.
Klasa betonu może zostać w tym miejscu zmieniona. Klasa konstrukcji i maksymalny wymiar ziarn kruszywa (D_{max}) muszą zostać określone.

☞ **Po zmianie wymiarów przekroju poprzecznego w tym oknie dialogowym zalecane jest zmienienie rzeczywistego przekroju poprzecznego przypisanego w modelu do elementu i ponowne przeliczenie całego modelu.**

Klasy środowiska, otuliny

Klasy środowiska i otuliny muszą zostać określone na wszystkich czterech bokach belki *(+z, -y, +y, -z)*.
Otulina rozumiana jest jako najmniejsza odległość pomiędzy strzemionami a zewnętrzną powierzchnią betonu. Minimalna wartość otuliny na podstawie klasy środowiska i innych parametrów, zgodnie z wymogami normy projektowej, wyświetlana jest na końcu każdego wiersza na niebiesko. Zaznaczenie opcji *Zastosuj minimalną otulinę* ustawi pola c_v na obliczoną wartość. Kliknięcie w symbol łańcucha przy klasach środowiska, ustawi tę samą klasę dla wszystkich boków.



Parametry dla zbrojenia

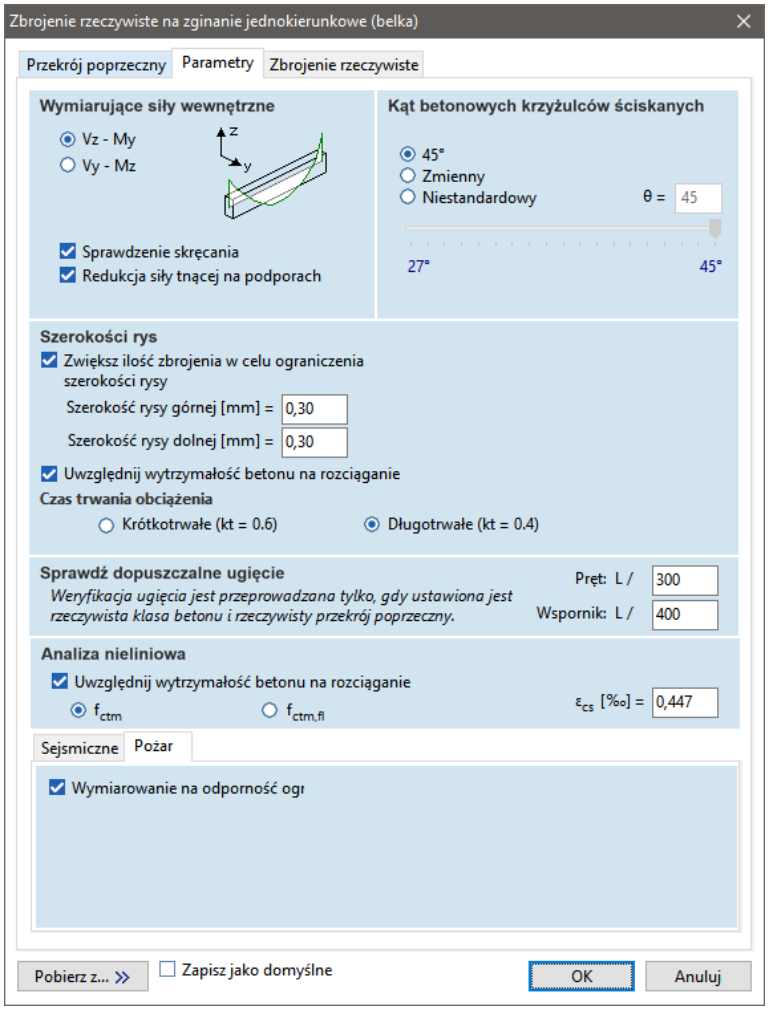
Parametry strzemion (m.in. klasa stali, średnica itd.) oznaczonych zielonym kolorem i parametry prętów podłużnych na skręcanie oznaczone żółtym kolorem znajdują się po lewej stronie. Parametry prętów podłużnych znajdują się po prawej stronie okna (pręty narożne są czerwone, pozostałe pręty są niebieskie). Średnice tych prętów ($Ø_t$-*górne*, $Ø_b$-dolne) mogą być ustawiane niezależnie. Zaznaczenie opcji *Ustaw tę stal dla prętów i strzemion jako domyślną* ustawi domyślne parametry klasy stali strzemion i wkładek dla kolejnych belek, zgodnie z wartościami z okna dialogowego.

☞ **Poniższe parametry wykorzystywane są tylko do wymiarowania belek żelbetowych. Program rozkłada strzemiona i pręty zgodnie z tymi ustawieniami, przed weryfikacją obliczonego zbrojenia.**

Krok dla rozstawu strzemion: Wyznaczony rozstaw strzemion będzie wielokrotnością tej wartości.

Maksymalna liczba zastosowanych układów wkładek ogranicza liczbę różnych zastosowanych schematów rozkładu prętów na długości belki (liczba rozkładów górnych i dolnych może zostać ustawiona oddzielnie).

Parametry



Parametry te są wymagane do wymiarowania i weryfikacji belek żelbetowych.

Wymiarujące siły wewnętrzne

Zbrojenie belek może zostać wyznaczone na zginanie po jednym kierunku. Dlatego belki mogą zostać zwymiarowane albo na siły *Vz-My* albo *Vy-Mz*.
Zaznaczenie opcji *Sprawdzania skręcania* pozwoli uwzględnić skręcanie podczas wymiarowania belki (pkt. 6.3.1 (2) EC2).
Zaznaczenie opcji *Redukcja siły tnącej nad podporami* pozwala zastosować redukcję zgodnie z bieżącą normą projektową.

Kąt betonowych krzyżulców ściskanych

Eurokod 2 pozwala określić kąt θ betonowych krzyżulców ściskanych. Zgodnie z pkt. 6.2.3 (2) $1 \le \text{ctg}\,\theta \le 2.5$ ($1 \le \text{ctg}\,\theta \le 2.0$ dla PN-EN 1992). W przypadku bardziej płaskich krzyżulców (mały kąt θ, duży kąt rys) rysy przecinają tylko kilka strzemion, dlatego beton przejmuje większe naprężenia ścinające. W przypadku bardziej stromych krzyżulców (większy kąt θ, mały kąt rys) zarysowanie przecina więcej strzemion, dlatego beton przejmuje mniejsze naprężenia ścinające.

Dla metody zmiennych krzyżulców (druga opcja), ich kąt jest optymalizowany dla minimalnej ilości zbrojenia ścinanego.
Jeżeli rozciąganie lub moment skręcający nie są pomijalne, należy wybrać metodę standardową (pierwsza opcja), gdzie kąt krzyżulców ustawiony jest na 45°.

Szerokości rys Zaznaczenie opcji *Zwiększ ilość zbrojenia w celu ograniczenia szerokości rysy* umożliwia wprowadzenie maksymalnych dopuszczalnych wartości szerokości rozwarcia rys. W takim przypadku program zwiększy górne / dolne zbrojenie (zachowując zależność $A_s \leq 0.04A_c$, aby zredukować szerokość rys do określonej wartości. Aby przeprowadzić analizę zarysowania, należy określić *Czas trwania obciążenia*. (patrz poniżej).
Jeżeli zaznaczona została opcja *Uwzględnij wytrzymałość betonu na rozciąganie* to w miejscach, gdzie naprężenia nie przekraczają wytrzymałości betonu na rozciąganie nie będą przeprowadzane obliczenia zarysowania.

Czas trwania obciążenia k_t to współczynnik zależny od czasu trwania obciążenia.
Dla krótkotrwałych obciążeń k_t =0.6, dla długotrwałych obciążeń k_t =0.8.

Sprawdź dopuszczalne ugięcie Program sprawdza dopuszczalne ugięcie dla ustawionego kryterium pręt lub wspornik. *L* oznacza długość belki. Sprawdzenie zostanie przeprowadzone tylko dla ustawionej rzeczywistej klasy betonu i rzeczywistego przekroju poprzecznego.

Analiza nieliniowa Następujące parametry związane z analizą nieliniową (**patrz...** *5.1 Analiza statyczna*) mogą tutaj zostać ustawione:

- uwzględnienie wytrzymałości betonu na rozciąganie
- końcowe odkształcenie betonu od skurczu

Sejsmika

Wskaźnik dla sił sejsmicznych Wskaźnik dla sił sejsmicznych – **Patrz...** *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*

Nośność w warunkach sejsmicznych Parametr ten może zostać ustawiony dla belek w zależności od tego, czy dana belka jest elementem pierwszorzędnym (pręt układu antysejsmicznego) czy też drugorzędnym (pręt nie należący do układu antysejsmicznego). Przeguby plastyczne (**patrz...** *6.5.2 Wymiarowanie belki żelbetowej (moduł RC2)* mogą zostać zdefiniowane tylko dla belek należących do układu antysejsmicznego. Klasa ciągliwości może zostać wybrana za pomocą przełączników obok rozwijanej listy (M – DCM; H – DCH). Klasa ta wpływa na dopuszczalny maksymalny rozstaw strzemion w celu zapewnienia oczekiwanej ciągliwości. Podczas obliczeń nośności na ścinanie dla klasy H przyjęty zostaje kąt ϑ=45° dla betonowych krzyżulców ściskanych (EN 1998-1-1).

Znormalizowana siła podłużna dla sejsmicznej sytuacji obliczeniowej Zdolność do deformacji elementów żelbetowych w sejsmicznej sytuacji obliczeniowej zależy m.in. od znaku i wielkości siły osiowej w elemencie. Z tego powodu siła ta nie może przekroczyć pewnej granicznej wartości. W celu ułatwienia procesu wymiarowania i weryfikacji siły osiowej w liniowym elemencie betonowym, program oblicza i wyświetla w formie graficznej komponent ich znormalizowanej (rozumianej jako $A_c{*}f_{cd}$) siły podłużnej.

$$\upsilon_d = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}}$$

Należy zauważyć, że w obliczeniach tych siła ściskana jest przyjmowana ze znakiem dodatnim. W przypadku siły rozciągającej wyświetlana jest wartość ujemna, która z oczywistych powodów jest wartością orientacyjną, ponieważ beton nie może przenosić dużych sił rozciągających. W przypadku wykrycia siły rozciągającej wyświetlany jest komunikat z ostrzeżeniem.
Powyższy komponent wyników obliczany jest tylko dla sejsmicznych przypadków i kombinacji obciążeń, obwiedni sejsmicznych czy kombinacji decydujących uwzględniajacych sejsmikę. Dla kombinacji istotne jest czy zawiera ona czy nie aktualny sejsmiczny przypadek obciążenia, a ponadto znaczeniema ma także sam typ kombinacji.

☞ **Znormalizowana siła podłużna obliczana jest dla każdego elementu liniowego z materiałem typu beton (włącznie z prętami kratowymi, prętami i żebrami) uwzględniając określoną przy definicji elementu liniowego klasę betonu i przekrój poprzeczny. Jeżeli do elementu przypisano parametry wymiarowania, to uwzględniane będą parametry materiału i przekroju poprzecznego tam określone, zamiast oryginalnych parametrów zdefiniowanych podczas tworzenia elementu.**

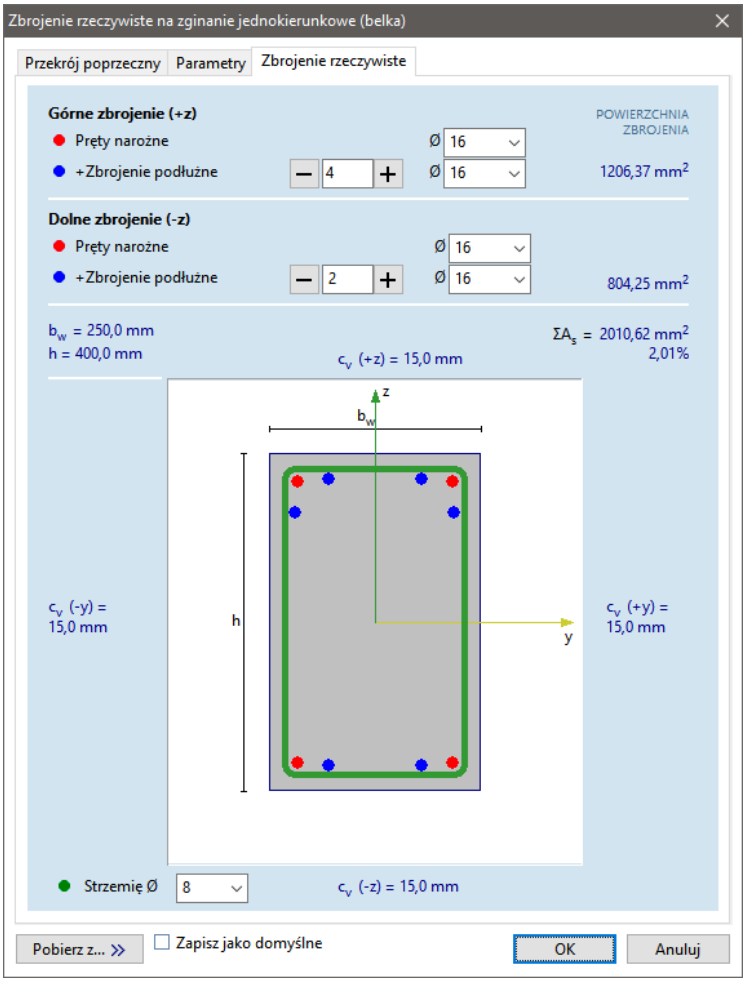
Pożar

Wymiarowanie na odporność ogniową

Szczegółowe informacje odnośnie wyznaczania odporności ogniowej dla żelbetowych element liniowych zostały przedstawione w rozdziale *6.5.4 Wymiarowanie belek i słupów żelbetowych na warunki pożarowe (moduł RC8-B)*

Zbrojenie rzeczywiste

Zbrojenie rzeczywiste może zostać przypisane do wybranych elementów skończonych (niekoniecznie do całych elementów konstrukcyjnych). Analiza nieliniowa może uwzględnić to zbrojenie podczas wyznaczania ugięcia.
Pręty narożne są niezbędne i muszą znaleźć się w przekroju. Ich średnica może zostać zmieniona. Liczba i średnica górnych / dolnych prętów dodatkowych może zostać dowolnie określona. Pręty rozkładane są automatycznie.

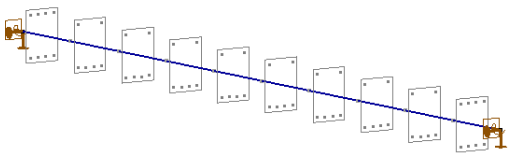


Pobierz

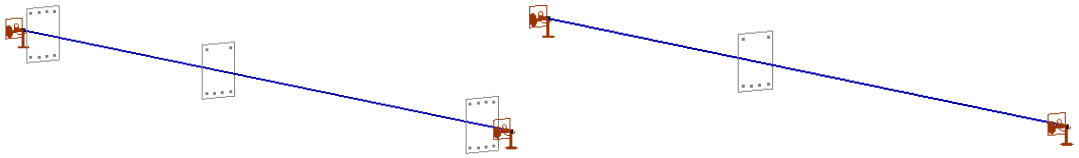
Kliknięcie w przycisk *Pobierz z...* pozwala pobrać parametry zdefiniowane wcześniej dla innej belki.

Wyświetlanie zbrojenia rzeczywistego

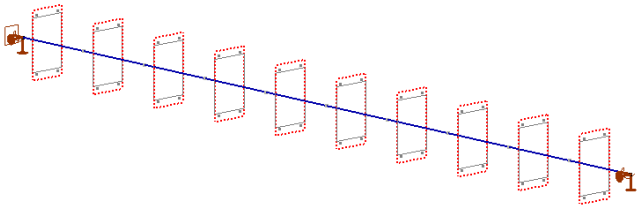
Gdy włączone jest wyświetlanie kształtu przekroju poprzecznego (*Ustawienia / Opcje wyświetlania / Symbole / Graficzne symbole / Kształt przekroju poprzecznego*, **patrz...** *2.16.18 Opcje wyświetlania*), to po przypisaniu parametrów i zbrojenia rzeczywistego do belki, zbrojenie jej jest widoczne na modelu.



Jeżeli siatka jest przypisana do elementu liniowego (**patrz...** *4.11.1.1 Generowanie siatki dla elementów liniowych*), to każdy element skończony może posiadać inne zbrojenie rzeczywiste (Aktywuj *Ustawienia / Preferencje / Edycja / Włącz wybór elementów skończonych na liniach*). Jeżeli wyświetlanie siatki jest wyłączone, to pokazane są trzy przekroje poprzeczne (na początku, środku i na końcu elementu prętowego). W przypadku zbrojenia stałego na całej długości, pokazywany jest tylko przekrój środkowy.



Podczas definiowania parametrów zbrojenia dla belek, możliwa jest zmiana jej przekroju. Jeżeli przekrój poprzeczny przypisany do elementu liniowego nie jest identyczny z przekrojem określonym w oknie dialogowym parametrów zbrojenia belki, to ten zmodyfikowany przekrój wyświetlany jest w widoku modelu za pomocą przerywanej czerwonej linii.



6.5.2.2 Etapy wymiarowania zbrojenia belki

Wymiarowanie zbrojenia belki

Parametry niezbędne do zwymiarowania przekroju żelbetowego zostały opisane w rozdziale *6.5.2.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste belek (zginanie jednokierunkowe)*.

Wymiarowanie wykonywane jest w dwóch etapach:

1. Wymiarowanie podłużnego zbrojenia na momenty wokół osi -y- lub -z- (M_z lub M_y).
2. Ustalenie rozstawu strzemion pionowych z uwzględnieniem sił tnących w osi y lub z (V_y lub V_z) i momentu skręcającego (Tx).

Siła osiowa nie jest uwzględniana. Jeżeli nie można pominąć siły osiowej, zaleca się użycie modułu *Wymiarowanie słupa* **patrz**... *6.5.3 Wymiarowanie słupa żelbetowego (moduł RC2)*.
Zginanie i ścinanie / skręcanie analizowane jest oddzielnie, jednak przy określaniu wytrzymałości na ścinanie uwzględniane jest rozciągane zbrojenie podłużne.
Wzrost rozciągania w podłużnych prętach zbrojeniowych, spowodowany przez pojawienie się rys od ścinania, zostaje uwzględniony przez przesunięcie momentu.

W zakładce *Wymiarowanie* mogą zostać wyświetlone następujące wykresy:
Obliczeniowy moment zginający *(My_{Ed})*, wyznaczone górne/dolne zbrojenie podłużne *(A_s)*, obliczeniowa siła tnąca *(V_z)*, rozstaw strzemion *(s_w)*, obliczeniowy moment skręcający *(T_x)*, boczne zbrojenie na skręcanie *(A_{SL})*.

Zbrojenie podłużne na zginanie

Rozciągane zbrojenie podłużne na zginanie wyświetlane jest na niebiesko, a zbrojenie ściskane na czerwono. Minimalne zbrojenie zgodne z normą projektową ma kolor szary.

Rozstaw strzemion

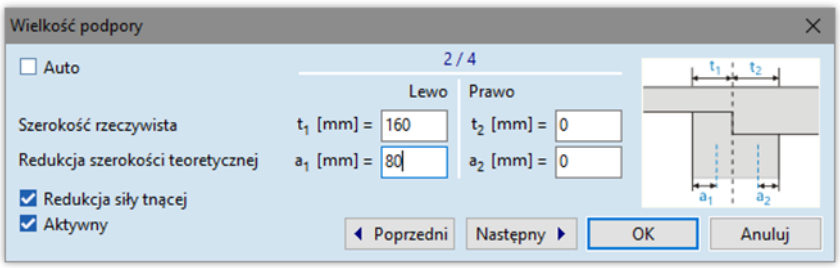
Maksymalny dopuszczalny rozstaw strzemion wyświetlany jest na czarno, rozstaw wynikający z obliczeń na niebiesko, a minimalny rozstaw zgodny z normą projektową na szaro.

Zbrojenie podłużne na skręcanie

Wykres zbrojenia podłużnego na skręcanie wyświetlany jest cienką fioletową linią. Wykres $A_{sl,T}$ pokazuje sumaryczne zapotrzebowanie przekroju na zbrojenie podłużne przeciwko skręcaniu.

Definiowanie wielkości podpory

AxisVM automatycznie identyfikuje wszystkie typy możliwych podpór (słupy, ściany, podpory węzłowe), a ich szerokości mogą zostać zmodyfikowane. Po kliknięciu w podporę na schemacie belki pojawi się poniższe okno dialogowe.



Zaznaczeni opcji *Auto* ustawi automatyczne wykrywanie szerokości podpory. Aby ręcznie ustawić wartość *Rzeczywistej szerokości* i *Redukcję szerokości teoretycznej* należy odznaczyć wcześniej wspomnianą opcję. Określenie odległości a_1 oraz a_2 spowoduje pominięcie pozostałej szerokości podpory w obliczeniach. Siły wewnętrzne w tych odcinkach interpolowane są liniowo.
Zaznaczenie opcji *Redukcja siły tnącej* aktywuje metodę redukcji siły tnącej nad podporą, opisaną w normie projektowej.
Wyłączenie opcji *Aktywny* powoduje pominięcie podpory w obliczeniach wymiarujących.

Parametry belki

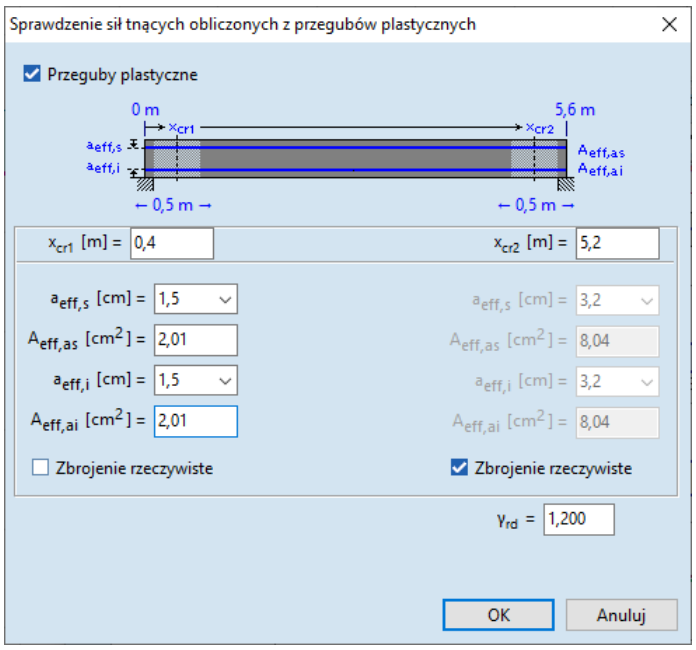
Patrz... *6.5.2.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste belek (zginanie jednokierunkowe)*

Parametry wyświetlania wyników

Wyświetlane wykresy i etykiety na każdej zakładce mogą zostać ustawione przez użytkownika.

Przeguby plastyczne

W przypadku konstrukcji rozpraszających energię o klasie ciągliwości DCM lub DCH (EN 1998-1-1) w celu uniknięcia zniszczenia od ścinania, wartości sił tnących do wymiarowania wyznaczane są zgodnie z zasadami obliczania nośności w warunkach sejsmicznych (pod warunkiem, że przypadek obciążenia sejsmicznego został uwzględniony w rozpatrywanej kombinacji) na podstawie równowagi momentów $M_{i,d}$ (gdzie i=1 lub 2) w węzłach skrajnych słupa, odnoszącego się do układu przegubu plastycznego dla dodatniego lub ujemnego kierunku obciążenia sejsmicznego.
Następujące parametry mogą zostać określone przez użytkownika: współczynnik bezpieczeństwa, odległość pomiędzy przegubami plastycznymi oraz zbrojenie w przegubach plastycznych.
Jeżeli pola *Zbrojenie rzeczywiste* zostały zaznaczone, to parametry zbrojenia dla przegubów plastycznych zostaną automatycznie obliczone na podstawie zdefiniowanego zbrojenia rzeczywistego (**patrz...** *6.5.2.4 Weryfikacja zbrojenia rzeczywistego belki*).
Pod przegubami plastycznymi na rysunku w oknie dialogowym znajdują się zaznaczone długości odcinków krytycznych, dla których program uwzględnia bardziej rygorystyczne wymagania dotyczące zasad konstruowania zbrojenia ścinanego w celu osiągnięcia oczekiwanej ciągliwości.



Z uwagi na zasady wymiarowania obliczeniowa siła tnąca obliczana jest w następujący sposób (jeżeli sejsmiczny przypadek obciążenia znajduje się w wybranej kombinacji):

$$V_{Ed} = V_{Ed,0} + V_{Ed,EQ}$$

gdzie

- $V_{Ed,0}$ oznacza siłę tnąca od odziaływania niesejsmicznego (obciążenia stałe itd.)
- $V_{Ed,EQ}$ jest obliczeniową wartością sejsmicznej siły tnącej

$$V_{Ed,EQ} = \gamma_{Rd} \frac{M_{1,d} + M_{2,d}}{l}$$

gdzie

- l jest odległością między przegubami plastycznymi (xcr2 – xcr1).

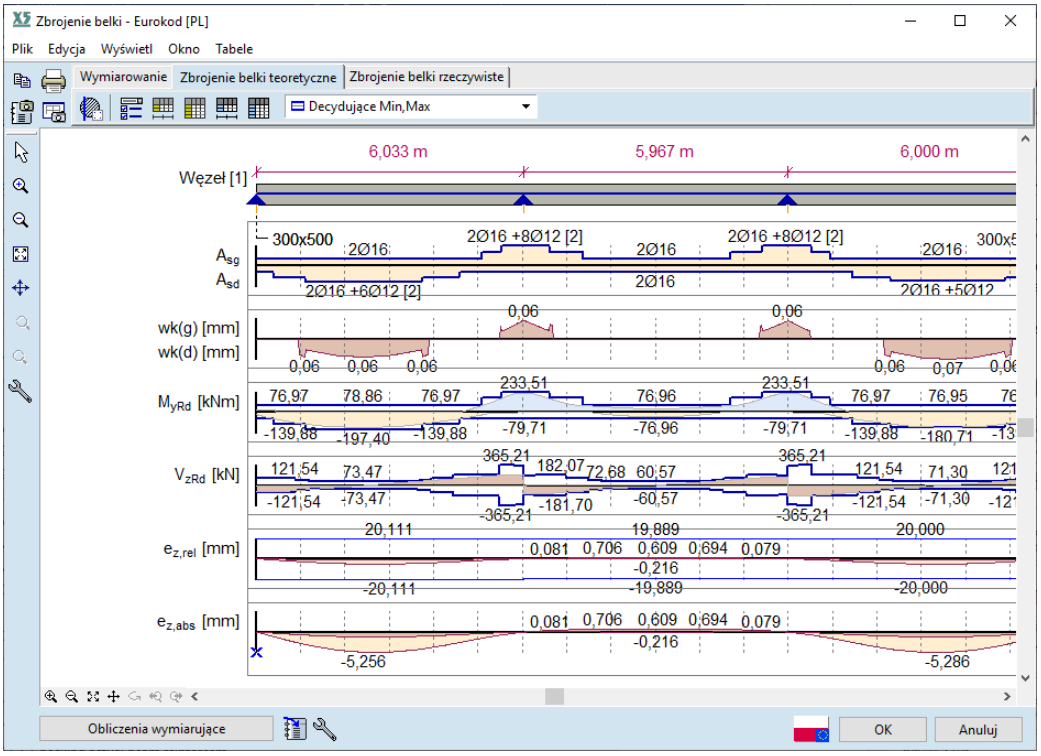
Sejsmiczna siła tnąca brana jest do obliczeń zarówno ze znakiem dodatnim jak i ujemnym, które to uwzględniają zmienne kierunki oddziaływania obciążenia sejsmicznego.

☞ **Jeżeli sejsmiczna siła tnąca z analizy sejsmicznej jest większa niż siła tnąca obliczona zgodnie z zasadami wymiarowania nośności w warunkach sejsmicznych, to jako $V_{Ed,EQ}$ brana jest siła tnąca z analizy sejsmicznej.**

☞ **Program bierze pod uwagę zasady konstrukcyjne przy rozkładzie strzemion dotyczące maksymalnego ich rozstawu. Obowiązkiem użytkownika programu jest spełnienie pozostałych zaleceń konstrukcyjnych zawartych w normie dla belek z przegubami plastycznymi.**

6.5.2.3 Obliczanie zbrojenia teoretycznego belki

Po kliknięciu w zakładkę *Zbrojenie teoretyczne belki* istnieje możliwość wyświetlenia następujących wykresów:
obwiednia zbrojenia na zginanie *(A_s)*, boczne zbrojenie na skręcanie *($A_{sl,T+}$)*, zarysowanie *(w_k)*, rozstaw strzemion *(s_w)*, nośność na zginanie *(M_{yRd})*, nośność na ścinanie *(V_{zRd})*, nośność na skręcanie *(T_{zRd})*, stopień wykorzystania na zginanie *(M_{yEd}/M_{yRd})*, stopień wykorzystania na ścinanie *(V_{zEd}/V_{zRd})*, stopień wykorzystania na skręcanie *(T_{zEd}/T_{zRd})*, ugięcie względne *($e_{z,rel}$)*, ugięcie bezwzględne *($e_{z,abs}$)*, stopień wykorzystania dla ugięcia względnego *($e_{z,rel}/e_{zmax}$)*, stopień wykorzystania dla ugięcia bezwzględnego *($e_{z,abs}/e_{zmax}$)*.



Stan graniczny nośności (SGN)

Zginanie Nośność na zginanie M_{Rd} wyznaczana jest z wymaganego (obliczonego) zbrojenia. W tej wersji nie jest uwzględniana siła osiowa. Jeżeli siła osiowa jest znacząca, to zalecane jest użycie modułu do wymiarowania słupów. Stopień wykorzystania ze względu na zginanie $\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)$ może być również wyświetlony w formie wykresu.

Ścinanie Program wyznaczana:
- nośność na ścinanie bez zbrojenia na ścinanie ($V_{Rd,c}$),
- maksymalną nośność na ścinanie ograniczoną przez zmiażdżenie ściskanych krzyżulców betonowych ($V_{Rd,max}$- nośność na ścinanie zbrojenia ścinanego ($V_{Rd,s}$),

Całkowita nośność na ścinanie (V_{Rd}) przekroju poprzecznego bazuje na wspomnianych składnikach. Stopień wykorzystania ze względu na ścinanie $\left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}\right)$ wyświetlany jest na długości całego elementu.

Ścinanie ze skręcaniem Program oblicza nośność ze względu na ścinanie ze skręcaniem, a mianowicie:
- nośność na ścinanie bez zbrojenia na ścinanie / skręcanie ($V_{Rd,c}$ oraz $T_{Rd,c}$),
- maksymalną nośność na ścinanie / moment skręcający ograniczoną przez zmiażdżenie ściskanych krzyżulców betonowych ($V_{Rd,max}$az $T_{Rd,max}$- nośność zbrojenia ścinanego na ścinanie ($V_{Rd,s}$) i maksymalny moment skręcający ($T_{Rd,s}$)

Zbrojenie podłużne na skręcanie $A_{sl,T+}$ pokazuje pozostałe zbrojenie do rozłożenia na bokach przekroju (*Asl,T+*/2 na jeden bok przekroju). Wykres zbrojenia głównego *Ast* oraz *Asb* uwzględnia już część podłużnego zbrojenia na skręcanie wyznaczonego na poprzedniej zakładce jako *Asl*.
Przyjmuje się, że dla belek niskich zbrojenie *Asl* może zostać rozłożone na końcach boków przekroju, czyli na górze i na dole razem ze zbrojeniem głównym na zginanie (EC2 pkt. 6.3.2 (3)).

Powierzchnia zbrojenia strzemion brana pod uwagę przy skręcaniu obliczana jest z:

$$A_{sw,T} = \frac{V_{Ed,i}}{V_{Ed,i} + V_{Ed}} \cdot A_{sw}$$

gdzie A_{sw} jest powierzchnią jednego ramienia strzemienia
$V_{Ed,i} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_k} \cdot z$ jest siłą tnącą wynikająca ze skręcania,
V_{Ed} jest obliczeniową siłą tnącą.

Przy obliczaniu nośności na skręcanie, uwzględniane są tylko zewnętrzne ramiona strzemiona.

Stan graniczny użytkowalności (SGU)

Analiza zarysowania

Po kliknięciu w zakładkę *Zbrojenie teoretyczne*, AxisVM określa schemat ułożenia górnych i dolnych prętów zbrojeniowych z wymaganej powierzchni tego zbrojenia **wyznaczonej dla wybranego przez użytkownika przypadku lub kombinacji obciążeń**. Program uwzględnia także minimalne normowe odstępy pomiędzy prętami.

Jeżeli wymagana ilość prętów zbrojeniowych nie mieści się w jednym rzędzie, wprowadzone zostaną dodatkowe rzędy. Rząd składa się z minimum dwóch prętów zbrojeniowych.

W przypadku przekrojów teowych, pręty zbrojeniowe zostaną umieszczone w półce tylko wtedy, gdy pręty nie mieszczą się już w środniku. Pręty w półce mogą formować tylko jeden rząd i ich liczba nie może przekroczyć połowy całkowitej liczby prętów zbrojeniowych.

☞ **Jeżeli do wymiarowania belki wybrano obwiednię obciążeń, to szerokości rys obliczane są ze wszystkich kombinacji SGU zawartych w obwiedni. Jeżeli w obwiedni nie zawarto żadnych kombinacji SGU, użyte zostaną wszystkie kombinacje SGN.**
Jeżeli do wymiarowania belki wybrano tylko kombinację SGU, to szerokości rys będą obliczane dla układu prętów wyznaczonego na podstawie kombinacji SGU. Tak obliczona wartość rysy może być większa niż w przypadku, gdy schemat prętów zostanie wyznaczony dla wyników z obwiedni decydującej.
Właściwości przekroju poprzecznego i szerokości rys obliczane są dla opisanego powyżej schematu rozkładu prętów zbrojeniowych.

Zarysowanie

Jeżeli w *Parametrach* zaznaczono opcję *Zwiększ ilość zbrojenia w celu ograniczenia szerokości rysy*, to program będzie zwiększał liczbę wkładek po rozciąganej stronie przekroju aż do momentu, gdy obliczona szerokość rysy spadnie poniżej określonej wartości. Warunkiem granicznym jest stopień zbrojenia, który nie może przekroczyć 4% ($A_s \leq 0.04 \cdot A_c$).

Ugięcie

Ugięcie obliczane jest jako przybliżone, pozostając po bezpiecznej stronie.
Program oblicza współczynnik rozkładu ζ w miejscu występowania największego momentu przęsłowego i na krawędziach teoretycznych podpór, a następnie zakłada, że współczynnik ten jest stały pomiędzy:

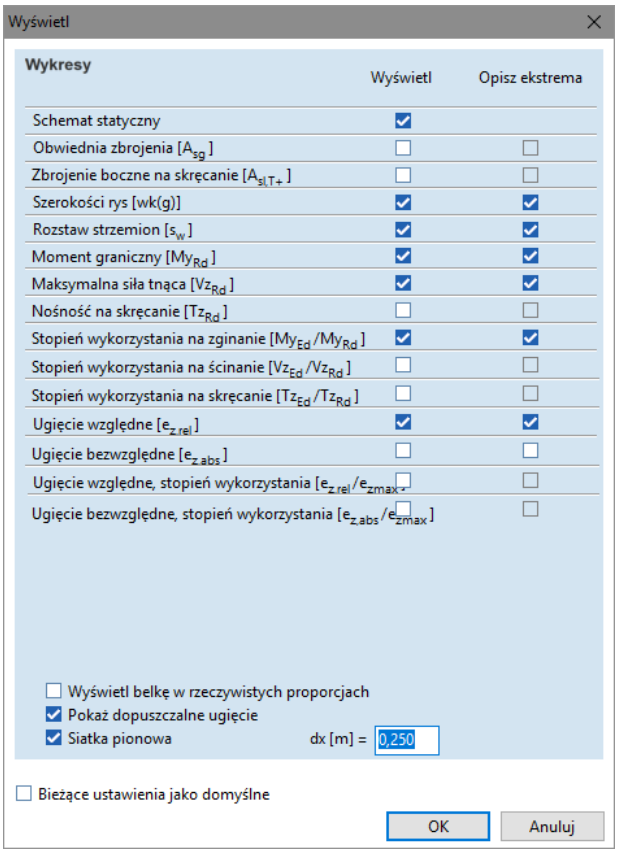
- krawędziami podpór i punktem zerowania się momentu,
- punktami zerowania się momentów w przęśle.

Ugięcie bezwzględne wyznaczane w analizie liniowej jest korygowane za pomocą wartości przemieszczenia podpór.

Przybliżone ugięcie w konkretnym punkcie belki wynosi $e = e_I \cdot (1 - \zeta) + e_{II} \cdot \zeta$
gdzie
ζ jest współczynnikiem rozkładu $\zeta = 1 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)^2$
e_I jest przybliżonym ugięciem niezarysowanej belki żelbetowej $e_I = e_0 \cdot \frac{I_I}{I_b}$
e_{II} jest przybliżonym ugięciem zarysowanej belki żelbetowej $e_{II} = e_0 \cdot \frac{I_{II}}{I_b}$
e_0 jest skorygowanym ugięciem uwzględniającym efektywny moduł sprężystości betonu i przemieszczenia podpór $e_0 = e_{lin} \cdot \frac{E_{cm}}{E_{c,eff}}$

Parametry wyświetlania wyników

Kliknięcie w tę ikonę pozwala ustawić wyświetlane wykresy i opis etykiet.



Tabele weryfikujące (SGN)

Dla każdego przekroju pośredniego wyświetlane są w tabeli dwa wiersze danych: dla zbrojenia górnego i dolnego. Każdy wiersz zawiera zestaw sił wewnętrznych dla SGN oraz pozostałe wartości wyników cząstkowych.
Tabela z podsumowaniem pozwala wyświetlić wartości wyników tylko w pewnych, najważniejszych przekrojach. Schemat zbrojenia w półce przekroju teowego (poza jego środnikiem) przedstawiony jest za pomocą liczby wkładek w nawiasie kwadratowym [ ]. Wkładki w środniku przekroju przedstawione są w każdym wierszu w nawiasie okrągłym ( ).

Tabele weryfikujące (SGU)

Podobny zestaw tabel generowany jest dla wartości sił wewnętrznych SGU, zarysowania i ugięcia.
Rysy górne wyznaczane są z (max) momentu powodującego rozciąganie wierzchu przekroju. Rysy dolne wyznaczane są z (min) momentu powodującego rozciąganie spodu przekroju. Jeżeli na którejś ze stron nie pojawi się rozciąganie (wartość max jest ujemna lub wartość min jest dodatnia), to obliczenia wykonywane są dla momentu równego zero. W takim przypadku tabela pokazuje wartość momentu zero, a rzeczywista wartość momentu wyświetlona jest w nawiasie okrągłym.

☞ **Siły wewnętrzne, które wyświetlane są w tych tabelach różnią się tylko wtedy, gdy zbrojenie zostało wyznaczone dla obwiedni lub kombinacji decydujących. Jeżeli wybrany został pojedynczy przypadek lub kombinacja obciążenia, to siły wewnętrzne w obu tabelach będą identyczne.**

6.5.2.4 Weryfikacja zbrojenia rzeczywistego belki

Edycja zbrojenia rzeczywistego belki

Na zakładce *Zbrojnie rzeczywiste belki* możliwa jest edycja rzeczywistego zbrojenia podłużnego oraz strzemion przypisanych do elementów skończonych belki.

Przy zmianie zbrojenia podłużnego lub strzemion, wyniki wymiarowania belki przeliczane są automatycznie, jeżeli opcja *Wyświetl / Przelicz automatycznie* jest włączona. Jeżeli to ustawienie spowalnia definicję zbrojenia (np. w przypadku wymiarowania belki na ogromną liczbę kombinacji), należy wspomnianą opcję wyłączyć, a obliczenia uruchomić przyciskiem *Obliczanie*, który pojawi się na dole okna dialogowego do wymiarowania.

Wybierz wszystko (Ctrl+A)
Wybiera wszystkie elementy skończone na belce.

Zastosuj zbrojenie obliczone / rozstaw strzemion
Ustawia podłużne zbrojenie rzeczywiste oraz strzemiona dla całej belki na podstawie wartości zbrojenia teoretycznego wyznaczonego dla bieżącego przypadku lub kombinacji obciążeń.

Należy kliknąć w jedną z dwóch ikon, aby wybrać tryb definicji:

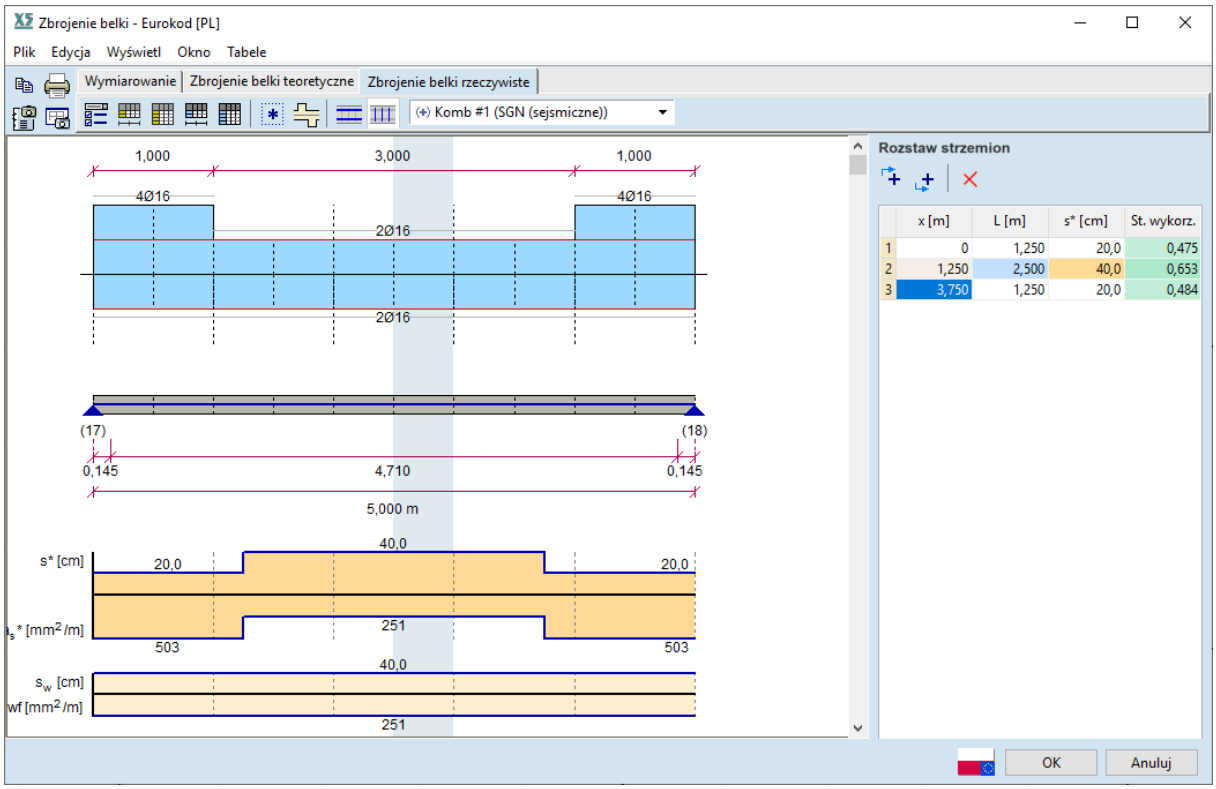
Zbrojenie podłużne *Rozstaw strzemion*

Zbrojenie podłużne

Jeżeli zaznaczono tę ikonę, to można zdefiniować zbrojenie podłużne.
Wybór i odznaczanie elementów skończonych odbywa się poprzez kliknięcie lub przeciągnięcie po nich wskaźnika myszy. Aby dodać pojedyncze elementy skończone belki do zaznaczenia, należy wcisnąć **[SHIFT]** podczas wspomnianej operacji. Średnica prętów narożnych i pozostałych wkładek ustawiana jest w parametrach zbrojenia belki.
Okienka edycyjne pozwalają zmienić liczbę wkładek zbrojenia górnego i dolnego w zaznaczonych elementach. Przycisk – oraz + steruje liczbą wkładek.
Wykres zbrojenia rzeczywistego wypełniony jest kolorem błękitnym, a zbrojenie obliczone dla bieżącego przypadku lub kombinacji obciążeń wrysowane jest kolorem czerwonym z różowym wypełnieniem.

Rozstaw strzemion

Po kliknięciu w tę ikonę, można zdefiniować własny rozstaw strzemion.
Wykres z rzeczywistym rozstawem strzemion (*s**) i ich powierzchnią (a_s*) pojawi się w górnej części okna. Po prawej stronie zostanie wyświetlona tabelka z rozstawem strzemion na długości belki. Wartość współrzędnej *x* oznaczającej początek strefy rozkładu, wartość *L* oznaczająca długość strefy oraz wartość *s** oznaczająca rozstaw strzemion w strefie może być edytowana. Jeżeli wyniki zostały przeliczone, to dla każdej strefy zostanie wyświetlony stopień wykorzystania dla strzemion. Jeżeli wartość stopnia wykorzystania przekracza 1.0 to tło komórki jest czerwone, w przeciwnym razie pozostaje zielone.



Edycja rozstawu strzemion

Po kliknięciu w ikonę *Zastosuj zbrojenie obliczone / rozstaw strzemion* tabelka wyświetli wyznaczone wartości ze zbrojenia teoretycznego. Aby wyedytować parametry stref rozkładu, należy użyć poniższych poleceń:

Wstaw nowy wiersz przed bieżącym
Tworzy nową strefę poprzez podzielenie zaznaczonej strefy na pół i wstawia ją powyżej niej. Wartość *s** zostanie skopiowana do nowopowstałej strefy, gdzie może zostać wyedytowana.

Wstaw nowy wiersz za bieżącym
Tworzy nową strefę poprzez podzielenie zaznaczonej strefy na pół i wstawia ją poniżej niej. Wartość *s** zostanie skopiowana do nowopowstałej strefy, gdzie może zostać wyedytowana.

Usuń wybrane wiersze
Po usunięciu zaznaczonego wiersza, poprzednia strefa zostanie rozciągnięta.

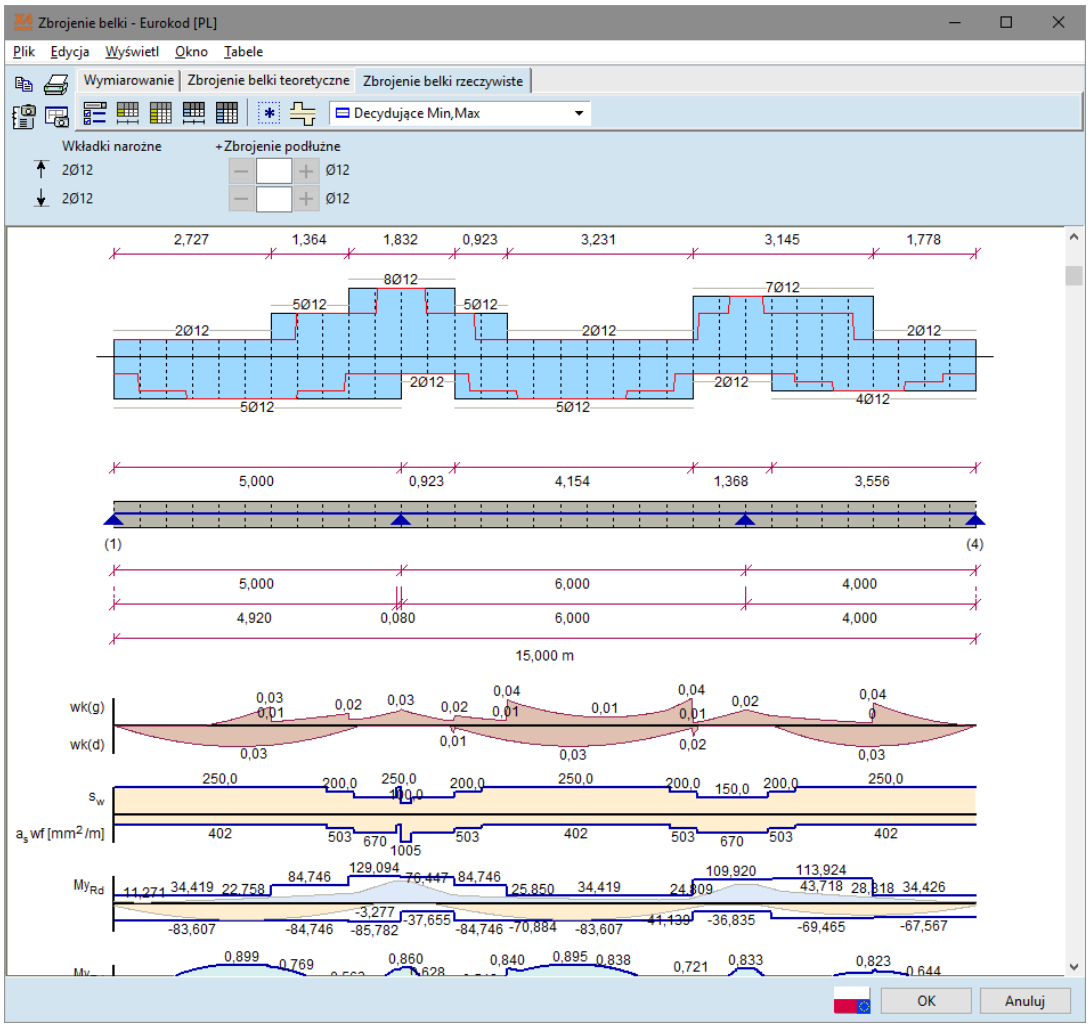
Edycja komórek

Współrzędna *x* początku strefy może zostać zmieniona na dowolną wartość z zakresu pomiędzy wartości początku poprzedniej i następnej strefy. Zmiana taka dopasowuje odpowiednio długość bieżącej i poprzedniej strefy. Wartości *x* spoza opisanego zakresu są odrzucane.

Długość *L* strefy może zostać również zmieniona, ale jej koniec musi znaleźć się przed zakończeniem następnej strefy. Długość następnej strefy zostanie odpowiednio dopasowana automatycznie.

Weryfikacja zbrojenia rzeczywistego belki

Program wyświetla wybrane wyniki na wykresach i w tabelach w taki sam sposób jak na poprzedniej zakładce, ale dla zbrojenia rzeczywistego.

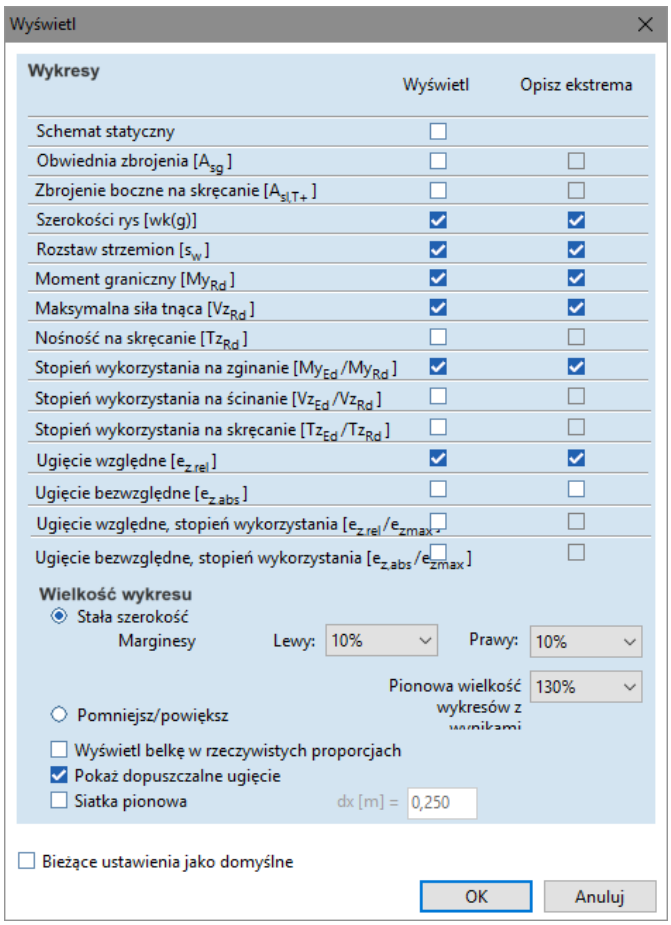


Parametry wyświetlania wyników

Kliknięcie w tę ikonę pozwala ustawić wyświetlane wykresy i ich etykiety.
Specjalne ustawienia dla *Rzeczywistego zbrojenia belki* to:

Marginesy
Ustawia lewy i prawy margines wykresów jako procent całkowitej ich szerokości. W ten sposób można zostawić miejsce na okienko informacyjne.

Pionowa wielkość wykresów z wynikami
Ustawienie dla wysokości wykresów z zakresu 100 do 300%. Wartość ta może być również zmieniona w oknie dialogowym za pomocą obrotu kółka myszy.



6.5.2.5 Obliczanie belki żelbetowej wg Eurokodu 2

Symbole, charakterystyki materiałowe, współczynniki częściowe	
f_{cd}	obliczeniowa wytrzymałość betonu na ściskanie
f_{ctd}	obliczeniowa wytrzymałość betonu na rozciąganie
α	= 0.85; wskaźnik, który uwzględnia długotrwałe obciążenie i inne niekorzystne oddziaływania
γ_c	= 1.5; współczynnik częściowy betonu
f_{yd}	obliczeniowa granica plastyczności stali zbrojeniowej
ε_{su}	graniczne odkształcenie stali zbrojeniowej
E_s	(=200 kN/mm^2); Moduł Younga dla stali zbrojeniowej
γ_s	= 1.15; współczynnik częściowy dla stali

Wymiarowanie strzemion na ścinanie i skręcanie

Wymiarowanie oparte jest na następujących wartościach obliczeniowej nośności na ścinanie:

$V_{Rd,c}$ Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego na ścinanie bez zbrojenia na ścinanie
$V_{Rd,max}$ Obliczeniowa wartość maksymalnej siły poprzecznej ze względu na ukośne ściskanie w krzyżulcach betonowych
$V_{Rd,s}$ Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego na ścinanie ze zbrojeniem na ścinanie
$T_{Rd,c}$ Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego na skręcanie bez zbrojenia na ścinanie
$T_{Rd,max}$ Obliczeniowa wartość maksymalnego momentu skręcającego ze względu na ukośne ściskanie w krzyżulcach betonowych

AxisVM oblicza zbrojenia na ścinanie i skręcanie przyjmując, że kąt nachylenia rysy od ścinania wynosi 45°. Program weryfikuje również relację pomiędzy nośnością ukośnych ściskanych krzyżulców betonowych i wartościami obliczeniowymi.

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} \leq 1,$$

gdzie

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta}$$

oraz

$$T_{Rd,max} = 2\nu\alpha_{cw} f_{ctd} t_{efi} A_k \sin\theta \cos\theta$$

Jeżeli przekrój poprzeczny jest poprawny, weryfikuje się, czy wymagane jest zbrojenie na ścinanie i skręcanie wg wzoru

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} \leq 1$$

gdzie

$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} k (100\varrho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}\right] b_w d$ oraz $T_{Rd,c} = 2 f_{ctd} t_{efi} A_k$

Jeżeli zbrojenie na ścinanie i skręcanie jest wymagane,

$$\frac{\sum A_{sl} f_{yd}}{u_k} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} \cot\theta$$

to

$$A_{sl} = \frac{T_{Ed} u_k}{2A_k f_{yd} \tan\theta}$$

Rozstaw strzemion na ścinanie / skręcanie obliczany jest z tych wzorów:

$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot\theta$ oraz $V_{Rd,s} \geq V_{Ed} + V_{Edi}$

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed} + V_{Edi}} z f_{ywd} \cot\theta$$

Za pomocą metody zmiennego kąta krzyżulców betonowych, można uzyskać znaczne oszczędności na zbrojeniu na ścinanie, jeżeli betonowe krzyżulce ściskane posiadają zapas nośności, np.

$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} \ll 1$niając kąt nachylenia rys od ścinania, betonowe krzyżulce ściskane otrzymują większe obciążenie, podczas gdy zbrojenie na ścinanie mniejsze. Rzeczywiste oszczędności zależą od zasad wymiarowania.

Jeżeli użytkownik wybierze metodę zmiennego kąta krzyżulców betonowych, AxisVM określi przed obliczeniem zbrojenia kierunek rys od ścinania pomiędzy 21,8° (ctgΘ=2,5) i 45° (ctgΘ=1), aby wykorzystanie ukośnych ściskanych prętów betonowych osiągnęła swoje maksimum (najwyżej 100%). Kąt nachylenia rys od ścinania jest zwiększany stopniowo, aby spełnić wymóg

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} \leq 1$$

☞ **Przekrój poprzeczny nie jest poprawny, jeżeli siła tnąca jest wyższa niż nośność na ścinanie ściskanych krzyżulców betonowych tj.:**

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} > 1$$

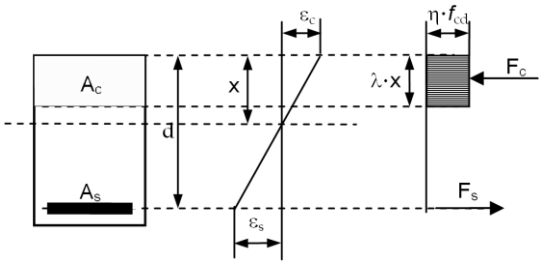
Zasady wymiarowania stosowane w obliczeniach:

Na podstawie równania 9.2.2 (9.5N) $\rho_{w;min} = 0.08\frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$równania 9.2.2 (9.4) $\rho_w = \frac{A_{sw}}{s b_w}$, stosunek zbrojenia na ścinanies$_{max,1} = \frac{A_{sw}}{\rho_{wmin} b_w}$.2.2 (9.6N) określa, że: $s_{max,2} = 0.75\ d$

Podłużne zbrojenie belki

Przy wymiarowaniu belki żelbetowej zakłada się, że wkładki zbrojenia osiągają granicę plastyczności, a strefa ściskana w betonie osiąga odkształcenie graniczne.

Przyjmuje się prostokątny rozkład naprężeń w strefie ściskanej (EC23.1.7.(3))



Program wyznacza podłużne zbrojenie ściskane, jeżeli wysokość strefy ściskanej osiągnie wysokość graniczną. Poza tą granicą naprężenie nie osiąga granicy plastyczności w zbrojeniu rozciąganym i uplastycznienie nie może zostać założone.

Dla każdego przypadku obciążenia obliczane jest wymagane zbrojenie górne i dolne na długości belki i przesunięcie wykresu momentów.

Ze względu na rysy ukośne, zbrojenie rozciągane wymiarowane jest na siłę większą niż tą obliczoną z *M/z*.
Normy projektowe uwzględniają ten fakt przesuwając wykres momentów.

Określane są wartości minimalne ($M_{min} \leq 0$) i maksymalne ($M_{max} \geq 0$) wykresu momentów i odpowiadającego zbrojenie po stronie rozciąganej i ściskanej. Zbrojenie rozciągane wyświetlane jest na niebiesko, zbrojenie ściskane na czerwono, a minimalne zbrojenie rozciągane wymagane przez normę projektową na szaro.

W przypadku wymiarowania ściskanych wkładek podłużnych, rozstaw strzemion nie może przekraczać 20x wielokrotności średnicy wymiarowanej wkładki na ściskanie.

Szerokości rys obliczane są zgodnie z sekcją *6.5.1.3.1 Obliczenia wg Eurokodu 2*

6.5.2.6 Obliczanie belki żelbetowej wg DIN 1045-1

DIN 1045-1

Symbole, charakterystyki materiałowe, współczynniki częściowe	
f_{cd}	obliczeniowa wytrzymałości betonu na ściskanie
f_{ctm}	średnia wytrzymałość betonu na rozciąganie
α	= 0.85; wskaźnik, który uwzględnia długotrwałe obciążenie i inne niekorzystne oddziaływania
γ_c	= 1.5; współczynnik częściowy betonu
f_{yd}	wartość obliczeniowa granicy plastyczności stali zbrojeniowej
ε_{su}	graniczne odkształcenie stali zbrojeniowej
E_s	(=200 kN/mm^2); Moduł Younga dla stali zbrojeniowej
γ_s	= 1.15; współczynnik częściowy stali

Wymiarowanie strzemion na ścinanie i skręcenie

Wymiarowanie oparte jest na trzech wartościach obliczeniowych nośności na ścinanie:

$V_{Rd,ct}$ Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego na ścinanie bez zbrojenia na ścinanie
$V_{Rd,max}$ Obliczeniowa wartość maksymalnej siły poprzecznej ze względu na ukośne ściskanie w krzyżulcach betonowych
$V_{Rd,sy}$ Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego na ścinanie ze zbrojeniem na ścinanie

Zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane, jeżeli: $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$ DIN 1045-1 10.3.1 (2)
Przekrój poprzeczny jest poprawny, jeżeli: $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$ żeli $V_{Ed} > V_{Rd,ct}$ należy zastosować zbrojenie na ścinanie DIN 1045-1 10.3.1 (3)
Rozstaw strzemion określa się tak, aby spełniał wymóg $V_{Ed} \leq V_{Rd,sy}$

Dla przekrojów poprzecznych ze zbrojeniem na ścinanie można wybrać *standardową* metodę (zarysowanie 45°) lub metodę *Zmiennego kąta krzyżulców betonowych* (VAT ang. Variable Angle Truss).
Jeżeli przyjęte ściskane krzyżulce posiadają rezerwę $V_{Rd,max} > V_{Ed}$ odnie ze standardową metodą, metoda zmiennego kąta prowadzić będzie do znaczących oszczędności w zbrojeniu na ścinanie.
Zmieniając kąt nachylenia rys od ścinania, ściskane betonowe pręty otrzymują większe obciążenie, podczas gdy zbrojenie na ścinanie otrzymuje mniejsze obciążenie.

Program oblicza wartość ctgϕ:

$$\cot\Theta = \frac{1.2 - 1.4\frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}A_{sw}}{1 - \frac{V_{Rd,c}}{V_{Ed}}}$$

W przypadku betonu zwykłego: $0.58 \leq \cot\Theta \leq 3.0$
W przypadku betonu lekkiego: $0.58 \leq \cot\Theta \leq 2.0$
DIN 1045-1 10.3.4 (3)

Standardowa metoda przyjmuje, że kąt rys od ścinania wynosi 45°, więc $\cot\Theta = 1$.

$V_{Rd,sy} = \frac{A_{sw}}{s_w} f_{yd} z \cot\Theta$ DIN 1045-1 10.3.4 (7)

jest nośnością na ścinanie ze względu na zbrojenie na ścinanie.

Jeżeli uwzględnione zostaje skręcanie, AxisVM weryfikuje również następujący warunek:

$\left[\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}}\right]^2 + \left[\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}}\right]^2 \leq 1$ DIN 1045-1 10.4.2 (5)

Nie trzeba stosować zbrojenia na ścinanie i skręcanie, jeżeli

$T_{Ed} \leq \frac{V_{Ed} b_w}{4} . 5$ oraz $V_{Ed}\left[1 + \frac{4.5 T_{Ed}}{V_{Ed} b_w}\right] \leq V_{Rd,ct}$ DIN 1045-1 10.4.1 (6)

Strzemiona obliczane na podstawie momentu skręcającego

Nośność na moment skręcający w oparciu o zniszczenie ściskanego krzyżulca betonowego:

$$T_{Rd,sy} = \frac{2A_{sw}}{s_w} f_{yd} A_k \cot\Theta$$

Rozstaw strzemion:

$$s_w = \frac{2A_{sw}}{T_{Ed}} f_{yd} A_k \cot\Theta$$

Podłużne zbrojenie obliczane jest z momentu skręcającego $T_{Rd,sy} = \frac{2A_{sl}}{u_k} f_{yd} A_k \tan\Theta$, więc $A_{sl} = \frac{T_{Ed} u_k}{2 f_{yd} A_k} \tan\Theta$, które powinno zostać rozmieszczone równomiernie na obwodzie konturu przekroju poprzecznego.

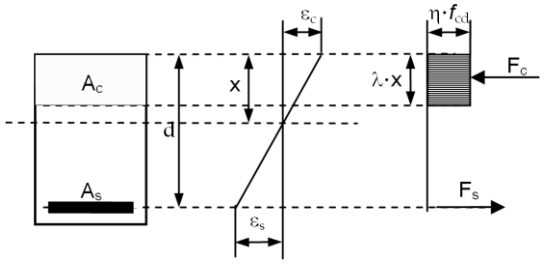
Rzeczywisty rozstaw strzemion, który zostaje uwzględniony, pochodzi ze zsumowania rozstawu strzemion na skręcanie i ścinanie**:**

$$s_w = \frac{1}{\frac{1}{s_{w,V}} + \frac{1}{s_{w,T}}}$$

Podłużne zbrojenie belki na podstawie DIN1045-1

Przy wymiarowaniu belki żelbetowej zakłada się, że wkładki zbrojenia osiągają granicę plastyczności, a strefa ściskana w betonie osiąga odkształcenie graniczne.

Przyjmuje się prostokątny rozkład naprężeń w strefie ściskanej (DIN 1045-1 10.2)



Program wyznacza podłużne zbrojenie ściskane, jeżeli wysokość strefy ściskanej osiągnie wysokość graniczną. Poza tą granicą naprężenie nie osiąga granicy plastyczności w zbrojeniu rozciąganym i uplastycznienie nie może zostać założone.

Jeżeli z obliczeń uzyskana wartość jest większa niż x_0 to stosowane są stalowe wkładki ściskane, ale suma zbrojenia ściskanego i rozciąganego nie może przekroczyć 8% przekroju betonowego.

Dla każdego przypadku obciążeń i przekroju poprzecznego program oblicza dolne i górne zbrojenie oraz wartość przesunięcia momentu.

Ze względu na ukośne rysy, zbrojenie rozciągane zaprojektowane jest na siłę rozciągającą większą niż tą obliczoną z M/z.
Normy projektowe uwzględniają ten fakt przesuwając wykres momentów (DIN 1045-1 13.2.2).

Określone zostają wartości minimalne ($M_{min} \leq 0$) i maksymalne ($M_{max} \geq 0$) wykresu momentów i odpowiadające zbrojenie rozciągane i ściskane. Na wykresie zbrojenie rozciągane wyświetlane jest na niebiesko, zbrojenie ściskane na czerwono, a minimalne zbrojenie rozciągane wymagane przez normę projektową na szaro.

W przypadku wymiarowania ściskanych wkładek podłużnych, rozstaw strzemion nie może przekraczać 12x wielokrotności średnicy wymiarowanej wkładki na ściskanie.

Zasady konstrukcyjne uwzględnione w programie

Stopień zbrojenia strzemionami: $\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} b_w$

Z powyższego stosunku: $s_{max,1} = \frac{A_{sw}}{\rho_w b_w}$ gdzie $\rho_w = \frac{0.16 f_{ctm}}{f_{yk}}$

Minimalną wartość ρ_w można obliczyć z tabeli 29. w DIN 1045-1 13.1.3

Rozstaw strzemion s_{max} uwzględnia tabela 31. w DIN 1045-1 13.2.1
Maksymalny rozstaw strzemion z momentów skręcających to $u_k/8$.

Ostrzeżenia, komunikaty o błędach

Program wyświetla ostrzeżenie i nie rysuje wykresów zbrojenia w następujących przypadkach:

Wiadomość **Przekrój poprzeczny nie jest poprawny ze względu na ścinanie / skręcanie**

Zdarzenie Jeden z następujących warunków nie został spełniony:

$$V_{Rd,max} > V_{Ed} \text{lub } \left[\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}}\right]^2 + \left[\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}}\right]^2 \leq 1$$

Rozwiązanie Zwiększenie betonowego przekroju poprzecznego i / lub klasy betonu.

Wiadomość **Przekrój poprzeczny nie jest poprawny ze względu na zginanie (As + As2 > 0.08 * Ac)**

Zdarzenie Pole powierzchni poprzecznego zbrojenia podłużnego jest większe niż 8% przekroju betonowego.

Rozwiązanie Zwiększenie betonowego przekroju poprzecznego i / lub klasy betonu i / lub klasy stali.

6.5.2.7 Obliczanie belki żelbetowej wg SIA 262:2003

SIA 262:2003

Symbole, charakterystyki materiałowe, współczynniki częściowe	
f_{cd}	obliczeniowa wytrzymałości betonu na ściskanie
f_{ct}	obliczeniowa wytrzymałość betonu na rozciąganie
γ_c	= 1.5; współczynnik częściowy betonu
f_{yd}	wartość obliczeniowa granicy plastyczności stali zbrojeniowej
ε_{su}	graniczne odkształcenie stali zbrojeniowej
E_s	(=200 kN/mm^2); Moduł Younga dla stali zbrojeniowej
γ_s	= 1.15; współczynnik częściowy stali
k_c	= 0.6; współczynnik redukcji wytrzymałości betonu na ściskanie w strefie zarysowanej

Wymiarowanie strzemion na ścinanie i skręcanie

Wymiarowanie oparte jest na trzech wartościach obliczeniowych nośności na ścinanie:

V_{Rd} Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego na ścinanie bez zbrojenia na ścinanie

$V_{Rd,c}$ Obliczeniowa wartość maksymalnej siły poprzecznej ze względu na ukośne ściskanie w krzyżulcach betonowych

$V_{Rd,s}$ Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego na ścinanie ze zbrojeniem na ścinanie

Zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane, jeżeli: $V_d \leq V_{Rd}$

$$V_{Rd} = k_d \tau_{cd} d b_w$$

gdzie $V_{Rd} = k_d \tau_{cd} d b_w$,
$k_v = 2.5$
Uwaga: *d* w [m]

Betonowy przekrój poprzeczny jest poprawny, jeżeli $V_{Rd,c} \geq V_d$

$$V_{Rd,c} = b_w z k_c f_{cd} \sin\alpha \cos\alpha$$

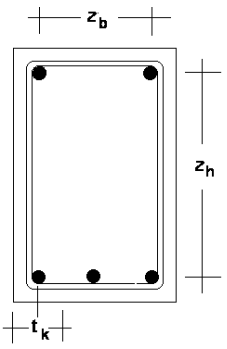
Jeżeli $V_d \geq V_{Rd,c}$ należy zaprojektować zbrojenie na ścinanie.
Rozstaw strzemion określa się z wyrażenia:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{sd} \cot\alpha$$

Rozstaw strzemion to $s = \frac{A_{sw}}{V_d} z f_{sd} \cot\alpha$

Siła podłużna od ścinania: $F_{td} = V_{Rd} \cot\alpha$

Dodatkowe zbrojenie podłużne: $\Delta A_{sl} = V_{Rd} \cot\alpha / f_{sd}$,
które powinno zostać umieszczone ½ do strefy rozciąganej, ½ do strefy ściskanej.



Siła tnąca od skręcania: $V_{d,i} = \frac{T_d}{2A_k} z_i$

Siła tnąca w pionowym włóknie: $V_{d,h} = T_d / 2z_b$

Siła tnąca w poziomym włóknie: $V_{d,b} = T_d / 2z_h$

Program weryfikuje następujące wyrażenie $\frac{V_d}{V_{Rd,c}} + \frac{V_{di}}{V_{Rd,ci}} \leq 1$,

gdzie $V_{Rd,ci} = t_k z_h k_c f_{cd} \sin\alpha \cos\alpha$

Rozstaw strzemion od skręcania: $s = A_{sw}\frac{2z_h z_b}{T_d} f_{sd}\cot\alpha$

Podłużne zbrojenie od skręcania:

$$A_{slT} = \frac{\sum V_{d,i}\cot\alpha}{f_{sd}} = \frac{\frac{T_d}{z_h z_b}(z_h + z_b)\cot\alpha}{f_{sd}}$$

które to zbrojenie powinno zostać rozmieszczone równomiernie wzdłuż konturu przekroju poprzecznego.

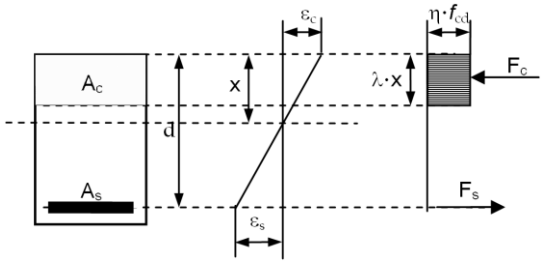
Rzeczywisty rozstaw strzemion, który zostaje uwzględniony, pochodzi ze zsumowania rozstawu strzemion na skręcanie i ścinanie**:**

$$\boldsymbol{s_w = \frac{1}{\frac{1}{s_{w,V}} + \frac{1}{s_{w,T}}}}$$

Podłużne zbrojenie belki na podstawie SIA 262:2003

Przy wymiarowaniu belki żelbetowej zakłada się, że wkładki zbrojenia osiągają granicę plastyczności, a strefa ściskana w betonie osiąga odkształcenie graniczne.

Przyjmuje się prostokątny rozkład naprężeń w strefie ściskanej (SIA262 4.2.1.4)



Program wyznacza podłużne zbrojenie ściskane, jeżeli wysokość strefy ściskanej osiągnie wysokość graniczną. Poza tą granicą naprężenie nie osiąga granicy plastyczności w zbrojeniu rozciąganym i uplastycznienie nie może zostać założone.

Ze względu na ukośne rysy, zbrojenie rozciągane zaprojektowane jest na siłę rozciągającą większą niż tą obliczoną z *M / z*.
Jest to uwzględnione poprzez przesunięcie wykresu momentów.

Określone zostają wartości minimalne ($M_{min} \leq 0$) i maksymalne ($M_{max} \geq 0$) wykresu momentów i odpowiadające zbrojenie rozciągane i ściskane. Na wykresie zbrojenie rozciągane wyświetlane jest na niebiesko, zbrojenie ściskane na czerwono, a minimalne zbrojenie rozciągane wymagane przez normę projektową na szaro.
W przypadku wymiarowania ściskanych wkładek podłużnych, rozstaw strzemion nie może przekraczać 15x wielokrotności średnicy wymiarowanej wkładki na ściskanie.

Zasady konstrukcyjne uwzględnione w programie

Maksymalny rozstaw strzemion:

$$s_{max} = \frac{A_{sw} f_{yk}}{0.2 \cdot b_w f_{ctm} \sin\alpha} \leq 400\ \text{mm}$$

Ostrzeżenia, komunikaty o błędach

Program AxisVM wysyła ostrzeżenie i nie rysuje wykresów zbrojeń w następujących przypadkach:

Wiadomość **Przekrój poprzeczny nie jest poprawny ze względu na ścinanie / skręcanie**

Zdarzenie Jeżeli stopień wykorzystania betonowego przekroju poprzecznego jest większy niż 1.
Rozwiązanie Zwiększenie betonowego przekroju poprzecznego i / lub klasy betonu.

6.5.3 Wymiarowanie słupa żelbetowego (moduł RC2)

Weryfikację słupów żelbetowych można przeprowadzić w oparciu o następujące normy projektowe:

Normy projektowe

Eurokod 2: *EN 1992-1-1:2004* + (załączniki MSZ, DIN, SR, DS, NBN, BS, NEN, SFS, NS, SS, NTC, CSN, PN, ELOT, NAs)
DIN: *DIN 1045-1:2001-07*
SIA: *SIA 262:2013*

Zbrojenie

Zbrojenie rzeczywiste może zostać wprowadzone w taki sam sposób, jak zostało to opisane w rozdziale *6.5.3.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste słupów (zginanie dwukierunkowe)*

Weryfikacja słupa

Program wykonuje weryfikacje słupa ze względu na dwukierunkowe zginanie z lub bez siły osiowej, a także ze względu na siły tnące i momenty skręcające na podstawie właściwości przekroju poprzecznego i zadanych parametrów zbrojenia. Dodatkowo wyznacza też przyrost mimośrodów od sił (lub dowolnych wartości $N_x, M_{yd}, M_{zd}, M_{yg}, M_{zg}$) na podstawie zadanych parametrów wyboczeniowych, zgodnie z wybraną normą projektową.
Oblicza siły wymiarujące $N_{x,Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ wykorzystując przyrosty mimośrodów i weryfikuje, czy te punkty znajdują się w obrębie wykresu interakcji.
Opcje wyświetlania wykresu można ustawić w oknie *Parametry wyświetlania*.
W przypadku weryfikacji ścinania, program wyznacza nośność na ścinanie przekroju betonowego i strzemion, a także określa maksymalną siłę poprzeczną, która ograniczona jest przez zmiażdżenie betonowych krzyżulców ściskanych.
Podczas obliczeń stopnia wykorzystania uwzględniany jest również łączny wpływ ścinania i skręcania.

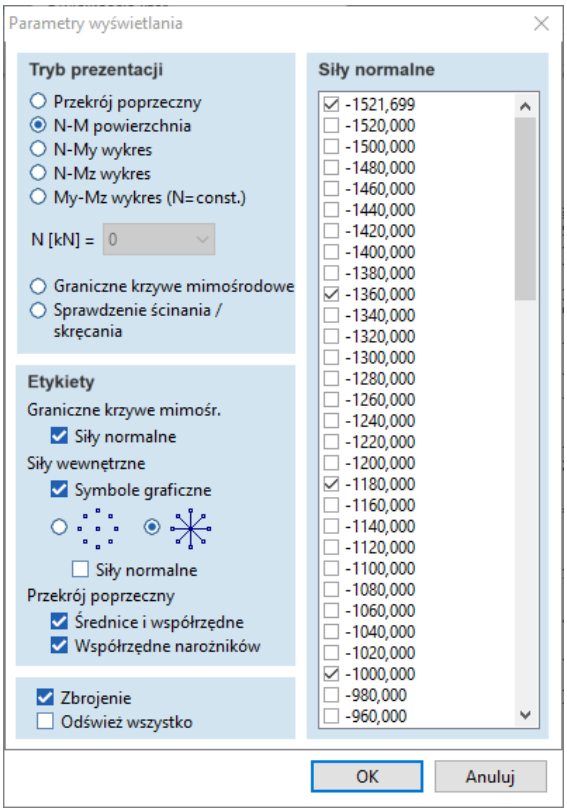
Wyświetlanie

Umożliwia ustawienie trybów prezentacji wykresu interakcji.

Aby wybrać tryb prezentacji, należy kliknąć na przycisk w oknie grupy *Tryb prezentacji*. Taki sam efekt można osiągnąć, wybierając go z rozwijanej listy.

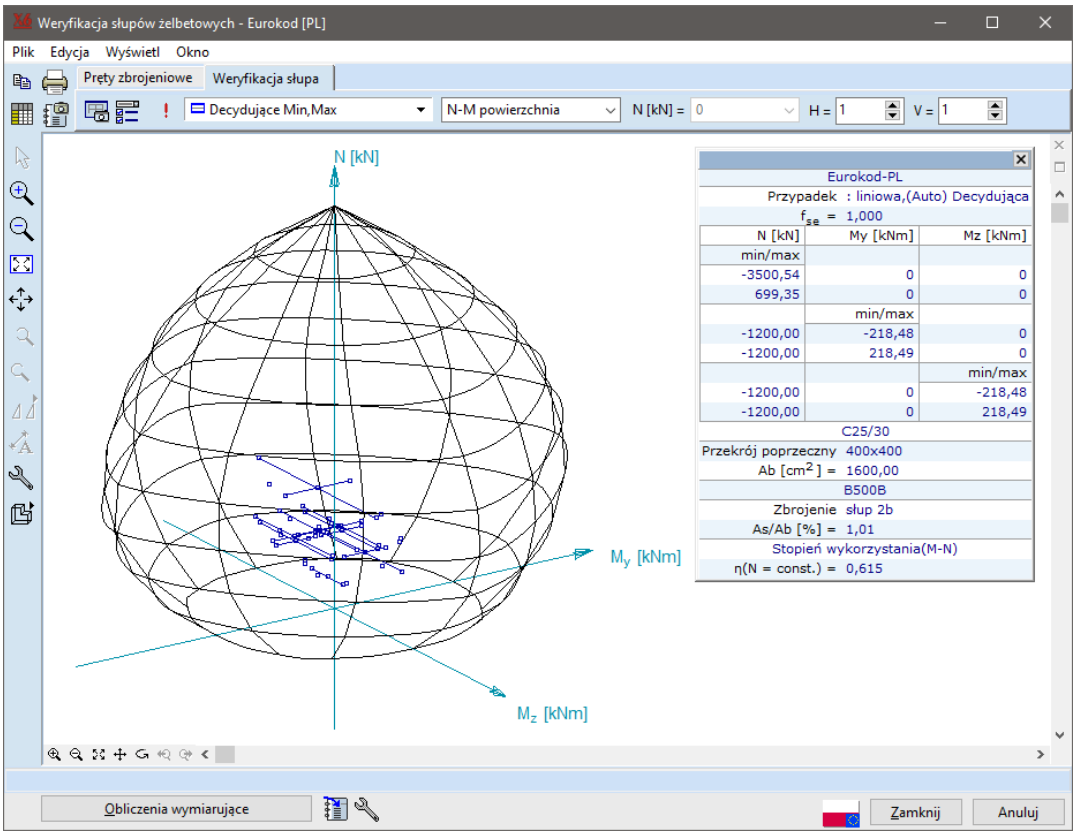
Z listy można wybrać wartości sił normalnych, które mają zostać użyte do narysowania wykresu interakcji 3D (N-M Obszar).

W grupie *Etykiety* można włączyć i wyłączyć etykietowanie sił normalnych, wyświetlanie symboli graficznych dla sił wewnętrznych wybranych słupów w przestrzeni N-My-Mz oraz wyświetlanie opcji dla trybu przekroju poprzecznego.

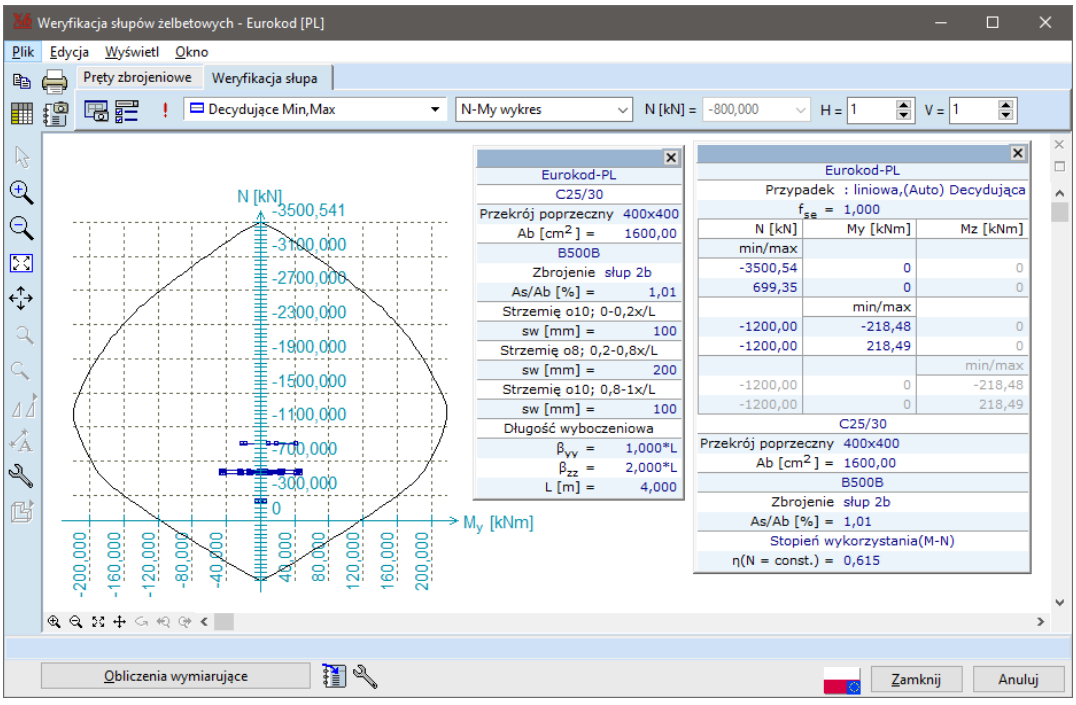


Kolor niebieski oznacza, że wartości $N_{x,Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ znajdują się wewnątrz wykresu interakcji.
Kolor czerwony oznacza, że wartości $N_{x,Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ znajdują się poza wykresem interakcji.
Siły normalne dla tych punktów są zawsze wyświetlane.

N-M powierzchnia Wyświetla wykres interakcji 3D N_x-M_y-M_z.



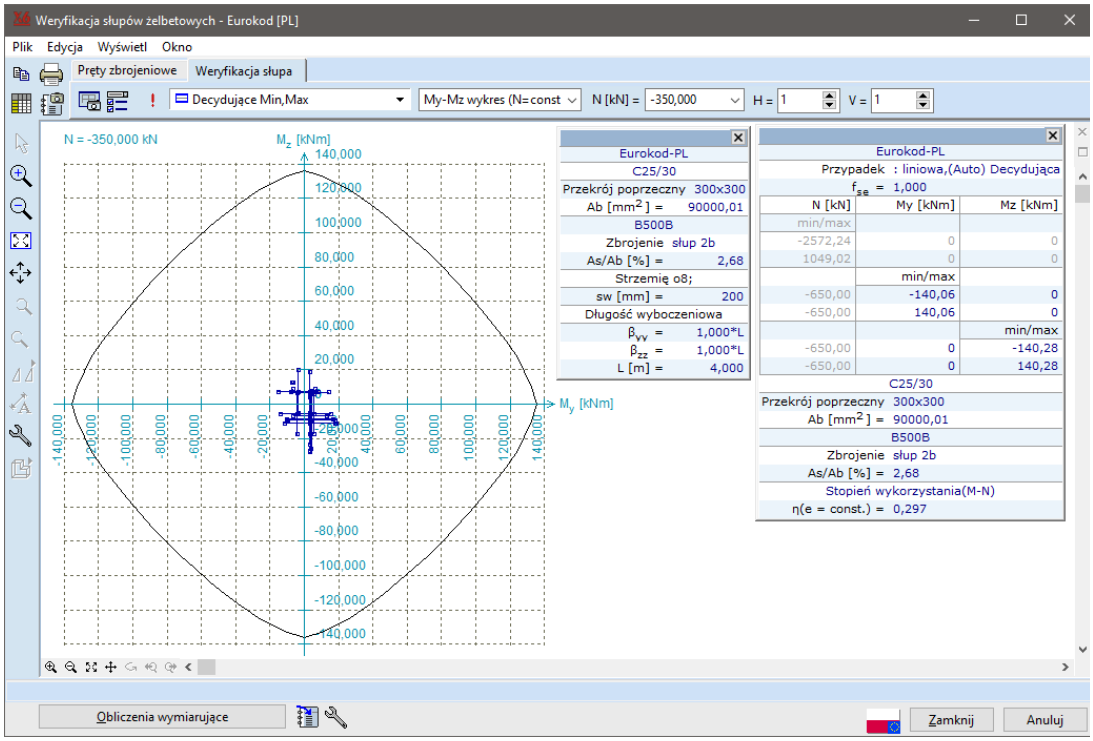
N-M wykres Wyświetla wykres nośności N_x-M_y, lub N_x-M_z interakcji siła normalna-moment.



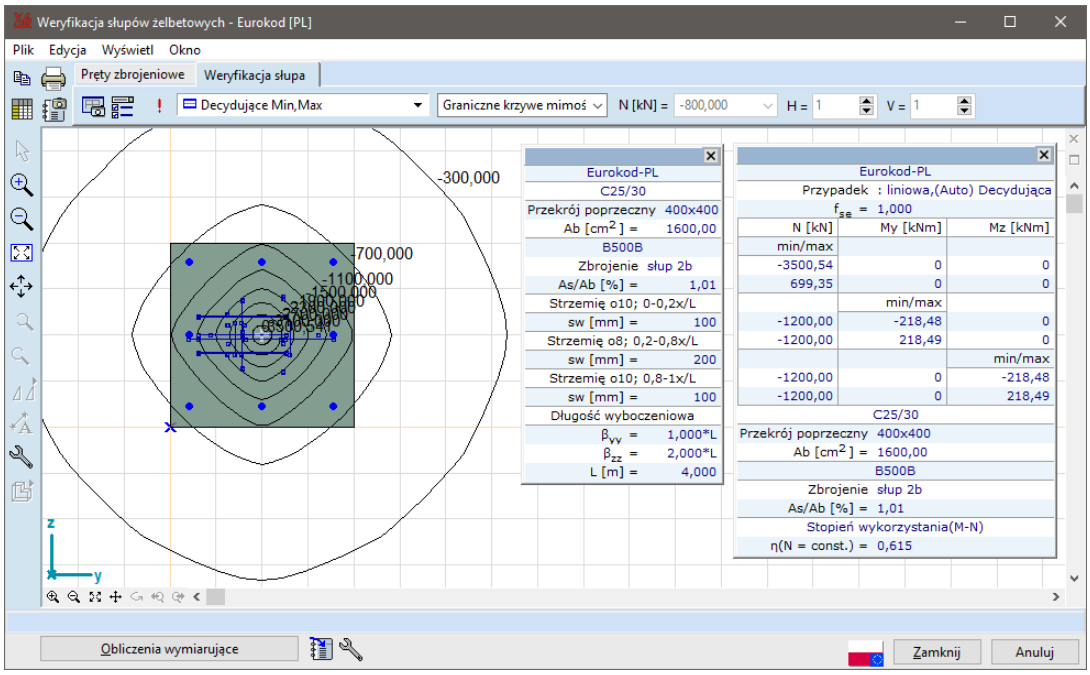
Ten tryb prezentacji można wykorzystać w przypadku symetrycznych przekrojów poprzecznych. Aktywując pole wyboru *Przypisz wartości do*, można wyświetlić wartości obliczeniowe sił wewnętrznych. Wartości obliczeniowe sił wewnętrznych wyświetlane są w sposób następujący:

- Niebieski prostokąt: wartość obliczeniowa N_x-M_y-M_z jest pod powierzchnią interakcji.
  x czerwony krzyżyk: wartość obliczeniowa N_x-M_y-M_z jest nad powierzchnią interakcji.

My-Mz wykres Wyświetla wykres interakcji *My-Mz* w zadanej wartości *N*.

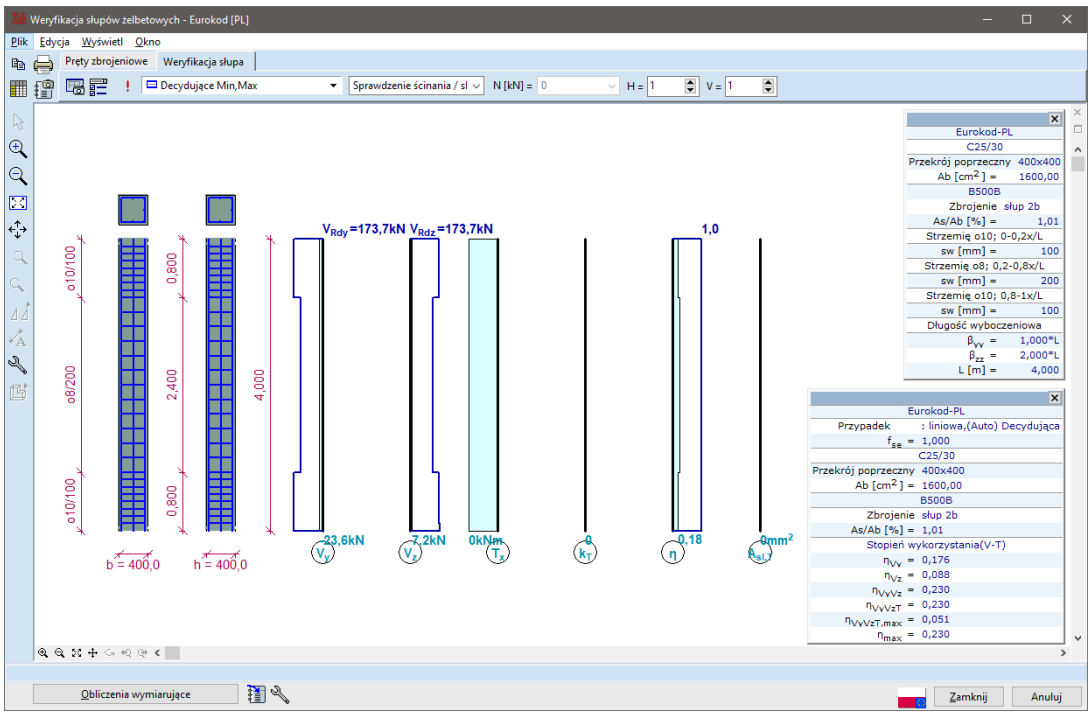


Graniczne krzywe mimośrodu obciążenia



Sprawdzenie ścinania / skręcania

Wyświetla graniczne krzywe mimośrodu obciążenia w oparciu o $M_{y,Rd,i}/N_i$ lub $M_{z,Rd,i}/N_i$.



Poniższe rysunki i wykresy wyświetlane są w oknie dialogowym:

a) Rysunek zbrojenia słupa,
b) Wykres obliczeniowej siły tnącej V_y, V_z wraz z nośnością na ścinanie bez skręcania (niebieska linia),
c) Wykres momentu skręcającego T_x wraz z nośnością na skręcanie (niebieska linia),
d) Współczynnik k_T przedstawiający na długości słupa stopień wykorzystania strzemion na skręcanie,
e) Maksymalny stopień wykorzystania η na długości słupa,
f) Wymagana powierzchnia $A_{sl,T}$ dodatkowego zbrojenia podłużnego na skręcanie, na długości słupa.

Sprawdzenie ścinania i skręcania może być przeprowadzone tylko dla słupów o przekroju kołowym lub prostokątnym.

W przypadku wyników z kombinacji Decydujących lub z obwiedni, wykresy przedstawiają wyniki tylko dla jednej kombinacji, która prowadzi do największego stopnia wykorzystania. Szczegółowe wyniki dla każdej kombinacji i przypadków dostępne są w tabeli.

W celu zwiększenia wydajności obliczeń, słup dzielony jest na kilka odcinków. Nowy odcinek powstaje automatycznie w miejscu, gdzie dowolna z sił wewnętrznych osiąga wartość min/max, zmieniają się parametry strzemion oraz gdzie zmienia się wykres sił wewn. V_y, V_z lub T_x.
Wartości k_T, η oraz $A_{sl,T}$ obliczane są na początku i końcu każdego odcinka. W oknie dialogowym pokazywane są tylko ich wartości maksymalne dla danego wykresu.

☞ **Po najechaniu kursorem na czarną linię (oś słupa), dostępna jest szczegółowa wartość wyniku w danym punkcie na długości słupa**

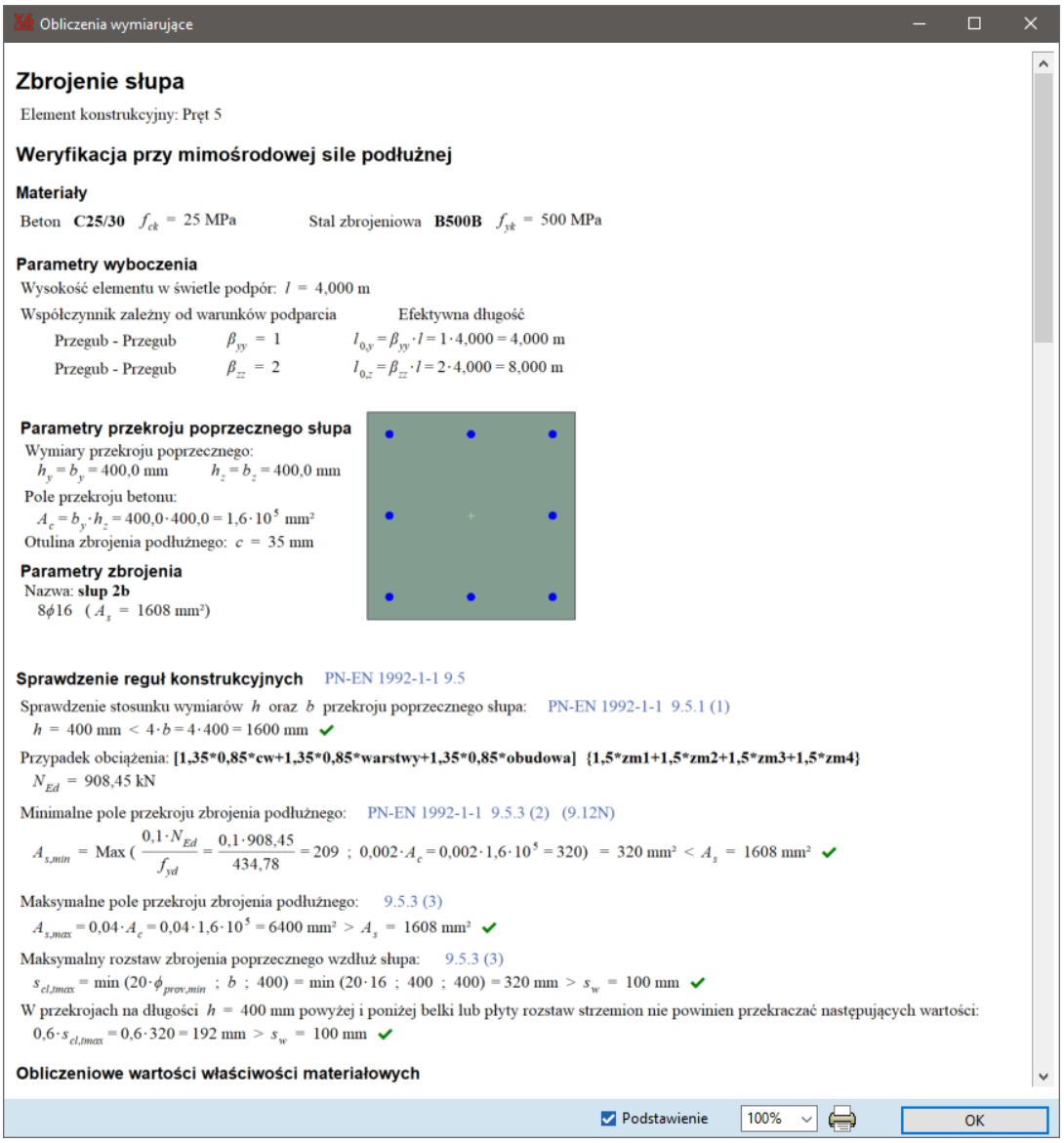
Dedykowane układy widoków

W menu *Okno / Dedykowane układy widoków* można wybrać różne zestawy widoków, które następnie można dopasować.

Obliczenia wymiarujące

Szczegóły obliczeń wg bieżącej normy projektowej mogą zostać wyświetlone jako wielostronicowa notka. Odniesienia do normowych rozdziałów i wzorów wyświetlane są w kolorze niebieskim. Notka dostępna jest tylko, gdy wymiarowanie słupa zostało przeprowadzone.

Kliknięcie w ikonę *Ustawienia* obok przycisku *Obliczenia wymiarujące*, pozwala ustawić podstawowe jednostki sił i długości użyte w notce obliczeniowej. Można tutaj również wybrać opcję wyświetlania bardziej szczegółowo przedstawionych w notce obliczeń.



Reguły konstrukcyjne

Oprogramowanie sprawdza najbardziej krytyczne reguły konstrukcyjne wg bieżącej normy. Jeżeli jakaś reguła nie zostanie spełniona, to wyświetlone zostanie odpowiednie ostrzeżenie w specjalnym komunikacie oraz w obliczeniach wymiarujących.

Siły wewnętrzne

Tabela *Weryfikacja sił wewnętrznych słupa* zawiera maksymalne siły normalne i momenty w górnych i dolnych węzłach wybranych słupów oraz wartości mimośrodów.
Dostępne są również dodatkowe kolumny zawierające ekstremalne wartości nośności przy zginaniu $My_{Rd,min}, My_{Rd,max}, Mz_{Rd,min}, Mz_{Rd,max}$ dla danej wartości siły Nx.

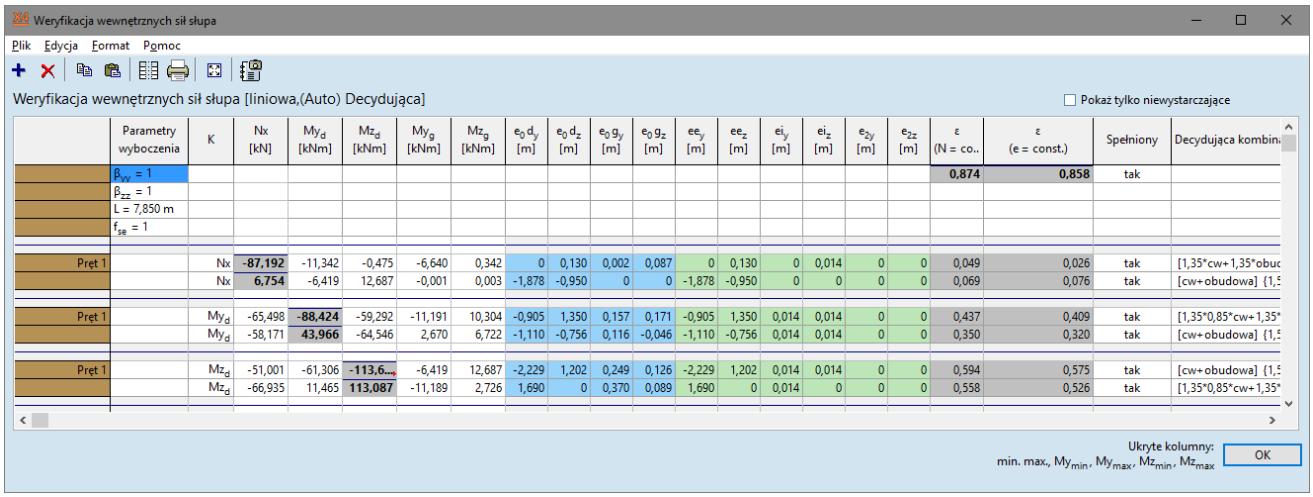
Stopień wykorzystania

Obliczone stopnie wykorzystania są również dostępne w powyższej tabeli. Dla przedstawianych wyników *N-M powierzchnia*, *N-My wykres*, *N-Mz wykres* lub *graniczne krzywe mimośrodów*, przedstawiony stopień wykorzystania dotyczy warunku na zginanie z lub bez siły osiowej. Dla trybu prezentacji wyników ścinanie/skręcanie, w tabeli dostępne są wyniki weryfikacji ścinania ze skręcaniem.

Stopień wykorzystania – zginanie z lub bez siły osiowej

Program oblicza stopień wykorzystania na dwa sposoby. Pierwszy to *ε (N = const.)*, w którym stopień wykorzystania dla momentu zginającego jest zdefiniowany na wykresie *My-Mz* jako stosunek odległości punktu przyłożenia siły obliczeniowej od początku układu do odległości wyznaczonej przez półprostą poprowadzoną z początku układu przez powyższy punkt, aż do przecięcia krzywej nośności.

Drugi sposób wyznaczania stopnia wykorzystania *ε (e = const.)* bazuje na stałym mimośrodzie. Jest on zdefiniowany w przestrzeni *N-My-Mz* jako stosunek odległości punktu przyłożenia siły obliczeniowej od początku układu do odległości wyznaczonej przez półprostą poprowadzoną z początku układu przez powyższy punkt, aż do przecięcia powierzchni *N-M*.

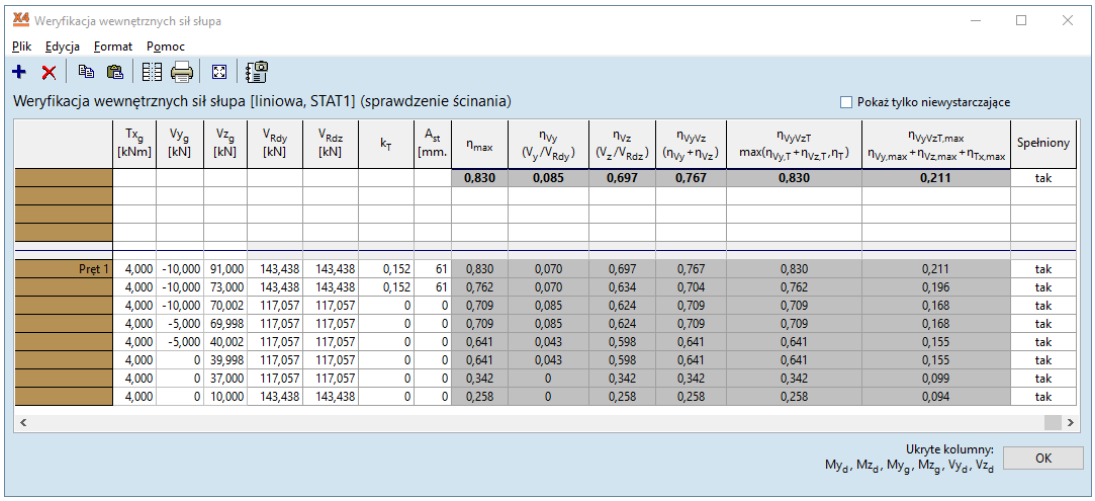


Stopień wykorzystania – ścinanie/skręcanie

Program wyświetla wartości następujących stopni wykorzystania w tabeli:

- *ηVy*: wykorzystanie na ścinanie w lokalnym kierunku -y- bez skręcania
- *ηVz*: wykorzystanie na ścinanie w lokalnym kierunku -z- bez skręcania
- *ηVyVz*: całkowite wykorzystanie na ścinanie bez skręcania
- *ηVyVzT*: całkowite wykorzystanie na interakcję ścinania ze skręcaniem
- *ηVyVzT,max*: wykorzystanie betonowych krzyżulców ściskanych
- *ηmax*: maksymalne wykorzystanie (max wartość z powyższych stopni wykorzystania)

Oprócz stopni wykorzystania, program wyświetla w tabeli także obliczeniowe nośności na ścinanie względem lokalnej osi -y- oraz -z-, współczynnik redukcyjny nośność na ścinanie strzemion ze względu na skręcanie oraz wymagane dodatkowe zbrojenie podłużne ze względu na skręcanie.



Pokaż tylko niewystarczające

Włącz tę funkcję, aby wyświetlić w tabeli tylko te słupy, które nie spełniają warunków nośności.

Własne zestawy sił w tabeli weryfikacyjnej

Przycisk ten dodaje nowy zestawi sił do tabeli, dla wybranego słupa. Program zapisuje te siły wewnętrzne i uwzględnia je razem z siłami wewnętrznymi pochodzącymi z analizy modelu globalnego.

Usuwa zaznaczone wiersze z tabeli.

Wklejanie własnych zestawów sił ze schowka

Własne zestawy sił do weryfikacji słupa mogą zostać wklejone do tabeli ze schowka. Jeżeli podczas wklejania wybrano opcję *Wklej wiersze na końcu tabeli*, to wklejana ze schowka tabela musi zawierać dokładnie 11 kolumn uporządkowanych zgodnie z kolejnością sił w tabeli docelowej *(N_x, M_{ya}, M_{za}, M_{yf}, M_{zf}, T_{xa}, V_{ya}, V_{za}, T_{xf}, V_{yf}, V_{zf})*.
Jeżeli wybrana zostanie opcja *Zastąp tabelę zaczynając od bieżącej komórki* to tabela z wynikami musi mieć zaznaczoną taką samą liczbę wierszy i kolumn, jak dane w schowku.

Komponenty wyników na modelu globalnym

Jeżeli na modelu pojawią się słupy żelbetowe z przypisanym zbrojeniem rzeczywistym, to na liście z wynikami modelu globalnego na zakładce *Wymiarowanie-Żelbet* wyświetlany będzie dodatkowy komponent o nazwie *Zbrojenie słupa*. Komponent ten może wyświetlać stopień wykorzystania oraz wymagane zbrojenie podłużne na skręcanie. Lista dostępnych wyników do wyświetlenia dla słupów żelbetowych na modelu globalnym zawiera:

- *Stopień wykorzystania N-M*,
- *Stopień wykorzystania V-T*,
- $A_{sl,T}$ (wymagane zbrojenie podłużne na skręcanie),
- *Maksymalny stopień wykorzystania* (większa wartość z wykorzystania *N-M* oraz *V-T*).

Wyniki w Przeglądarce tabel

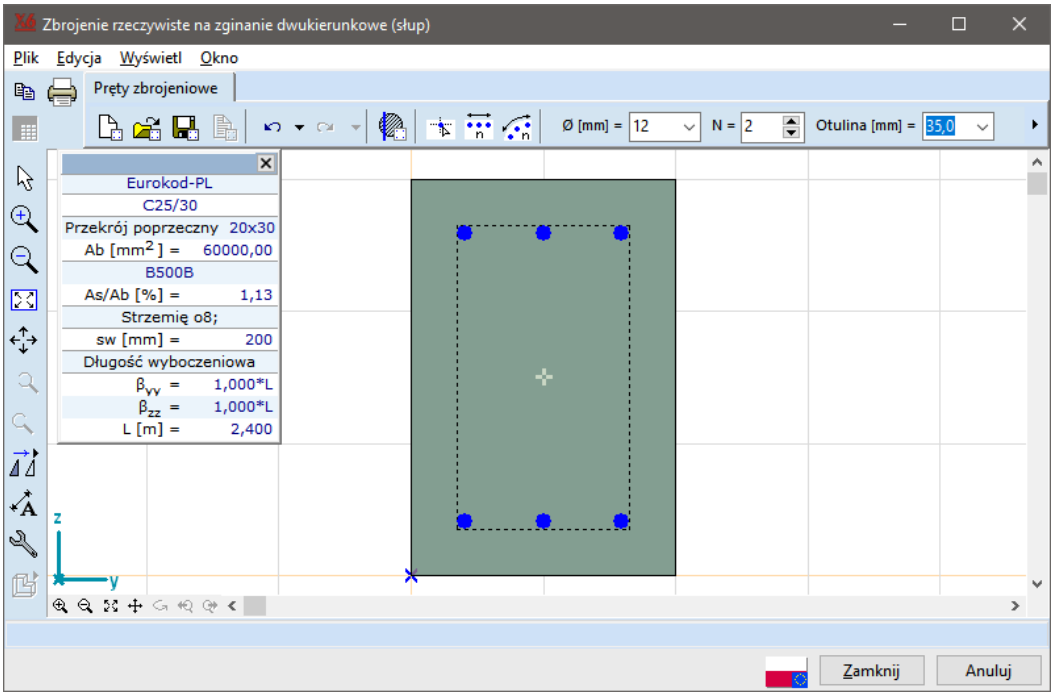
Wyniki wymiarowania dostępne są również w Przeglądarce tabel (**patrz...** *2.9 Przeglądarka tabel*), gdzie zawarte jest podsumowanie wymiarowania każdego słupa żelbetowego.

6.5.3.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste słupów (zginanie dwukierunkowe)

Parametry i zbrojenie rzeczywiste na dwukierunkowe zginanie mogą zostać określone w poniższym oknie.
Każdy element skończony danego pręta może posiadać różne parametry zbrojenia. Aby móc wybrać tylko część elementu konstrukcyjnego, zaznacz następującą opcję *Ustawienia / Preferencje / Edycja / Włącz wybór elementów skończonych na liniach*.

Sprawdzenie nośności słupa ze zbrojeniem rzeczywistym zostało opisane w *6.5.3 Wymiarowanie słupa żelbetowego (moduł RC2)*.

☞ **Ten typ zbrojenia używany jest dla żelbetowych elementów poddawanych dwukierunkowemu zginaniu. Może być on również przypisany do elementów poziomych, choć w tym przypadku wykorzystanie parametrów dla belek jednokierunkowo zginanych (Patrz...** *6.5.2 Wymiarowanie belki żelbetowej (moduł RC2)***) może być bardziej użyteczne.**



Zapisuje bieżący rysunek w Bibliotece Rysunków.

Definiuje nowe zbrojenie

Otwiera nowy przekrój lub zbrojenie.

☞ **Można otworzyć tylko przekroje poprzeczne z danymi graficznymi.**

Zapisuje zbrojenie pod podaną nazwą do przyszłego wykorzystania.

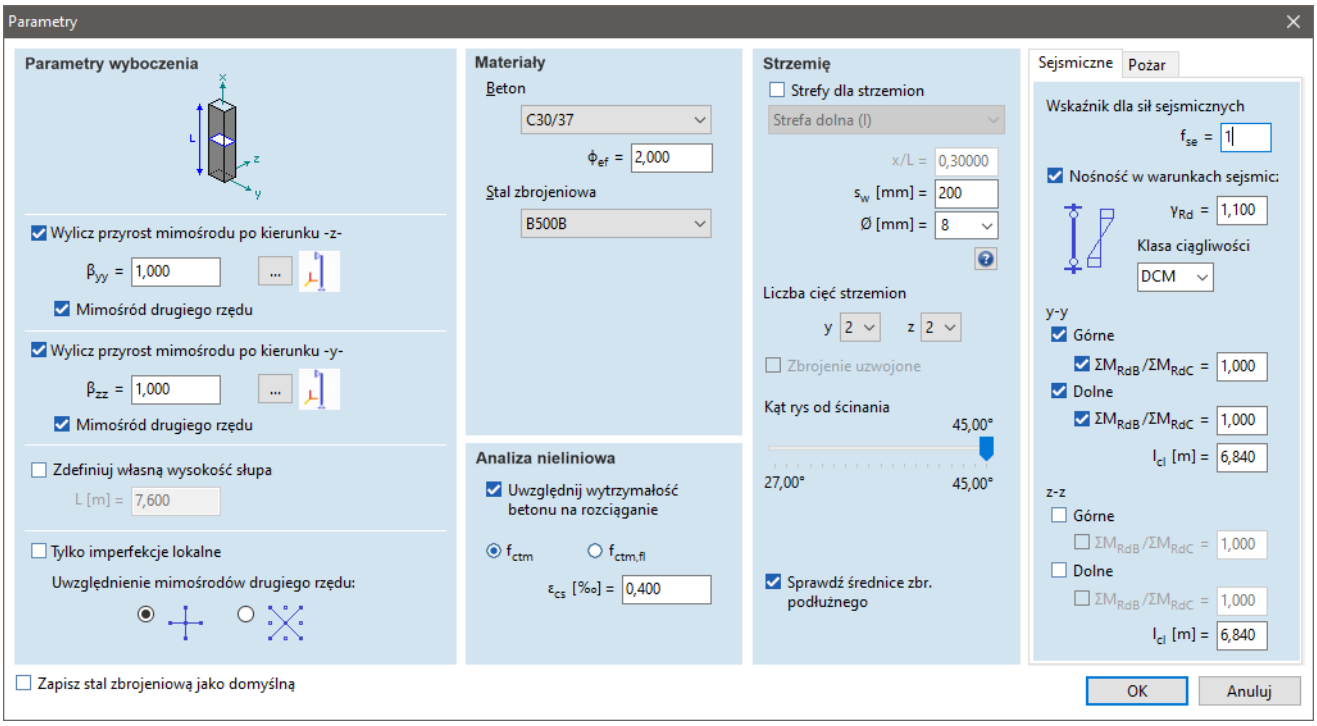
Lista istniejących zbrojeń. Można je sortować i usuwać zaznaczone rzędy.

Definiowanie zbrojenia

Poniższe ikony dostępne są w poleceniu *Zbrojenie rzeczywiste na zginanie dwukierunkowe*:

Parametry

Pozwala przypisać parametry do weryfikowanego słupa żelbetowego. Weryfikacja obejmuje dwukierunkowe zginanie z siłą osiową lub bez, weryfikację ścinania i skręcania.



Wartości przyrostu niekorzystnych mimośrodów określone na podstawie parametrów wyboczenia, wyświetlane są po kliknięciu w *Tabela weryfikacji sił wewnętrznych słupa*.
Użytkownik może sterować tym, czy przyrosty mimośrodów, zalecane przez normy projektowe, będą zastosowane w określonym kierunku czy też nie. Co więcej, mimośrody od efektów drugiego rzędu mogą być włączane przez użytkownika i uwzględniane w obliczeniach dla każdego kierunku. Mimośrody te mogą być traktowane jako występujące łącznie lub niezależnie w każdym kierunku. Dla zaznaczonych w oknie dialogowym kierunków można określić współczynniki długości wyboczenia β_{yy} oraz β_{zz} (β_{yy} w płaszczyźnie x-z, a β_{zz} w płaszczyźnie x-y).
Możliwa jest również zmiana wysokości słupa, używana do obliczenia długości wyboczeniowej i wybranie kształtu wyboczenia słupa. Wskaźnik dla sił sejsmicznych można znaleźć w rozdziale *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*

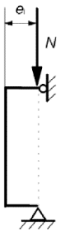
Klasa betonu słupa do obliczeń wymiarujących może zostać zmieniona względem pierwotnie zdefiniowanej i przypisanej do elementu. Pozwala to użytkownikowi zweryfikować słup z inna klasą betonu, bez konieczności wykonywania ponownych obliczeń statycznych.
ϕ_{ef} jest tzw. efektywnym współczynnikiem pełzania, zgodnie z rozdziałem 5.8.4 normy EN 1992-1-1.
W nawiązaniu do statycznej analizy nieliniowej słupa (**patrz...** *6.5.7 Nieliniowa analiza żelbetowych belek i słupów*) można określić uwzględnienie wytrzymałości betonu na rozciąganie i odkształcenia skurczowe.
Na długości słupa można określić stałe lub zmienne rozstawy strzemion (trzy różne odcinki rozstawów z różnymi średnicami). Wartość x/L odnosi się do względnej odległości od dołu słupa do odcinka z danymi parametrami strzemion. Liczba cięć strzemion jest stała na długości elementu, ale może być różna dla kierunku lokalnego -y- oraz -z-. Kąt rysy od ścinania może być zdefiniowany przez użytkownika. W przypadku słupów okrągłych, możliwe jest zastosowanie zbrojenia uzwojonego.

W przypadku konstrukcji rozpraszających energię o klasie ciągliwości DCM lub DCH (EN 1998-1-1) wartości sił tnących do wymiarowania wyznaczane są zgodnie z zasadami obliczania nośności w

warunkach sejsmicznych (pod warunkiem, że przypadek obciążenia sejsmicznego został uwzględniony w rozpatrywanej kombinacji) na podstawie równowagi momentów $M_{i,d}$ (gdzie i=1 lub 2) w węzłach skrajnych słupa, odnoszącego się do układu przegubu plastycznego dla dodatniego lub ujemnego kierunku obciążenia sejsmicznego.
Następujące parametry mogą zostać określone przez użytkownika:
Współczynnik bezpieczeństwa, klasa ciągliwości, wysokość słupa w świetle (odległość pomiędzy przekrojami końcowymi, w których może powstać przegub plastyczny), stosunek sumy momentów nośnych belek i słupów dochodzących do tego samego węzła.

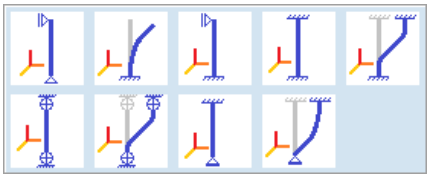
Szczegółowe informacje odnośnie wymiarowania na warunki pożarowe belek i słupów znajduja się w *6.5.4 Wymiarowanie belek i słupów żelbetowych na warunki pożarowe (moduł RC8-B)*

Jeżeli imperfekcje globalne są uwzględniane jako dodatkowe obciążenie działające na konstrukcję, to należy je zignorować przy obliczaniu nośności słupa żelbetowego. Aby to uzyskać, należy zaznaczyć opcję *Tylko imperfekcje lokalne*. Jeżeli do tego wybrany został przechyłowy kształt postaci wyboczenia (węzły przesuwne), to geometryczne imperfekcje lokalne są uwzględniane tylko jako wartość stała na długości elementu.



Postaci wyboczenia

Mimośrody drugiego rzędu wyznaczane są na podstawie wybranego kształtu wyboczenia (**patrz** *6.5.3.2 Wyznaczanie mimośrodów*). Wraz z wyborem postaci wyboczenia zmienia się również wartość współczynnika wyboczeniowego, ale może on zostać nadpisany wartością zdefiniowaną przez użytkownika.



☞ **Zadane postaci wyboczenia i współczynniki wyboczeniowe są powiązane z lokalnymi osiami –y- oraz -z- przekroju poprzecznego słupa. Odpowiednio do nich, podczas wyznaczania geometrycznych imperfekcji lokalnych i mimośrodów drugiego rzędu brane są pod uwagę momenty bezwładności związane z osią -y- oraz -z- (patrz...** *6.5.3.2 Wyznaczanie mimośrodów*).

Sprawdź średnice zbr. podłużnego

Niektóre pręty podłużne nie mogą być uwzględniane przy przenoszeniu ściskania z powodu ich średnicy oraz zastosowanego rozstawu strzemion (w zależności od normy projektowej rozstaw strzemion powinien być mniejszy niż 12 do 20 wielokrotności średnicy zbrojenia podłużnego). Jeżeli opcja ta jest odznaczona, to program nie będzie sprawdzał tych warunków.

Analiza nieliniowa

Następujące parametry związane z analizą nieliniową (**patrz...** *5.1 Analiza statyczna*) mogą tutaj zostać ustawione:

- uwzględnienie wytrzymałości betonu na rozciąganie
- końcowe odkształcenie betonu od skurczu

Pręty zbrojeniowe

Do punktu z otuliną

Generuje pręt zbrojeniowy o określonej średnicy w lokalizacji kursora.
Jeżeli kursor znajduje się w rogu lub na linii konturu, zbrojenie zostanie wygenerowane uwzględniając otulinę.

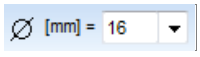
Według rozstawu

Wprowadza w równych odstępach, *N+1* nowych prętów zbrojeniowych pomiędzy dwoma wybranymi punktami.

Po łuku

Wprowadza w równych odstępach, *N+1* nowych prętów zbrojeniowych pomiędzy wybranym punktem początkowym i końcowym łuku.

Średnica

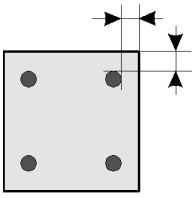


Umożliwia zdefiniowanie lub zmianę średnicy pręta zbrojeniowego.
Aby ją zmodyfikować, należy wybrać pręty zbrojeniowe, a następnie wprowadzić średnicę lub wybrać wartość z listy.

Otulina

Otulina [mm] = 35,0

Umożliwia zdefiniowanie lub wprowadzenie zmian do otuliny.



☞ **W tym przypadku otulinę stanowi odległość od skrajnego włókna do pręta zbrojeniowego!**

Modyfikacja geometrii prętów zbrojeniowych:

1. Najedź kursorem na środek pręta zbrojeniowego.
2. Użyj lewego przycisku (trzymaj wciśnięty), aby przesunąć pręt zbrojeniowy do nowego położenia lub wprowadź liczbowo nowe współrzędne do okna współrzędnych.

N = 1

Ilość podziałów, która definiuje liczbę prętów zbrojeniowych jako *N+1*.

Tworzy nowe pręty zbrojeniowe kopiując istniejące poprzez translację.

Tworzy nowe pręty zbrojeniowe kopiując istniejące poprzez obrót.

Tworzy nowe pręty zbrojeniowe tworząc lustrzane odbicia istniejących.

Wyświetlanie zbrojenia rzeczywistego

Gdy włączone jest wyświetlanie kształtu przekroju poprzecznego *(Ustawienia / Opcje wyświetlania / Symbole / Graficzne symbole / Kształt przekroju poprzecznego,* **Patrz...** *2.16.18 Opcje wyświetlania,* to po przypisaniu parametrów i zbrojenia rzeczywistego do słupa, zbrojenie jego jest widoczne na modelu. **Patrz...** *6.5.2.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste belek (zginanie jednokierunkowe)*

Znormalizowana siła podłużna dla sejsmicznej sytuacji obliczeniowej

Zdolność do deformacji elementów żelbetowych w sejsmicznej sytuacji obliczeniowej zależy m.in. od znaku i wielkości siły osiowej w elemencie. Z tego powodu, siła ta nie może przekroczyć pewnej granicznej wartości . W celu ułatwienia procesu wymiarowania i weryfikacji siły osiowej w elemencie, program oblicza i wyświetla graficznie dla betonowych elementów liniowych komponent ich znormalizowanej (rozumianej jako $A_c{*}f_{cd}$) siły podłużnej.

$$\upsilon_d = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}}$$

Należy zauważyć, że w obliczeniach tych siła ściskana jest przyjmowana ze znakiem dodatnim. W przypadku siły rozciągającej wyświetlana jest wartość ujemna, która z oczywistych powodów jest wartością orientacyjną, ponieważ beton nie może przenosić dużych sił rozciągających. W przypadku wykrycia siły rozciągającej wyświetlany jest komunikat z ostrzeżeniem.
Powyższy komponent wyników obliczany jest tylko dla sejsmicznych przypadków i kombinacji obciążeń, obwiedni sejsmicznych czy kombinacji decydujących uwzględniajacych sejsmikę. Dla kombinacji istotne jest czy zawiera ona czy nie aktualny sejsmiczny przypadek obciążenia, a ponadto znaczeniema ma także sam typ kombinacji.

☞ **Znormalizowana siła podłużna obliczana jest dla każdego elementu liniowego z materiałem typu beton (włącznie z prętami kratowymi, prętami i żebrami) uwzględniając określoną przy definicji elementu liniowego klasę betonu i przekrój poprzeczny. Jeżeli do elementu przypisano parametry wymiarowania, to uwzględniane będą parametry materiału i przekroju poprzecznego tam określone, zamiast oryginalnych parametrów zdefiniowanych podczas tworzenia elementu.**

6.5.3.2 Wyznaczanie mimośrodów

Wyznaczanie mimośrodów w AxisVM opiera się na metodzie zakładającej, że wartości momentów zginających wzdłuż słupa są sumą: momentów zginających wyznaczonych zgodnie z teorią pierwszego rzędu, momentów zginających spowodowanych przez imperfekcje geometryczne oraz momentów zginających od efektów drugiego rzędu (EN 1992-1-1 5.8.8.2). Każdy z przekrojów na długości słupa może być krytyczny.

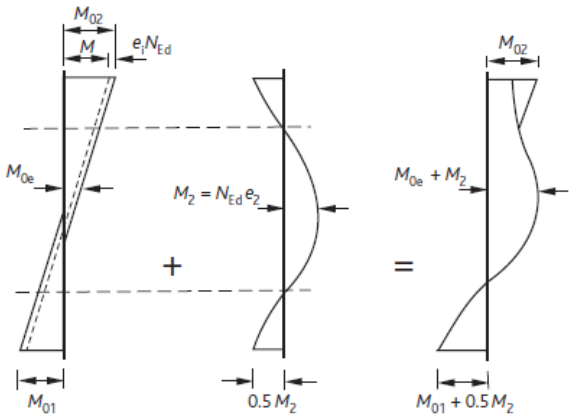
$$M_{Ed} = M_0 + M_i + M_2$$

gdzie

M_0 moment zginający pierwszego rzędu

M_i moment zginający wywołany przez imperfekcje geometryczne

M_2 moment zginający drugiego rzędu



(*A. J. Bond et al., How to Design Concrete Structures using Eurocode 2. UK, 2006*)

Zgodnie z tą metodą weryfikacja słupa o dowolnych warunkach brzegowych może zostać przeprowadzona, jeżeli w każdym przekroju słupa dostępne są momenty zginające.

Momenty zginające pierwszego rzędu

AxisVM analizuje momenty zginającego pierwszego rzędu na długości słupa i na podstawie liczby momentów ekstremalnych dzieli słup. W ten sposób oddziaływanie od sił pośrednich na długości słupa może zostać uwzględnione. Momenty zginające pomiędzy wartościami ekstremalnymi wyznaczane są za pomocą interpolacji liniowej.

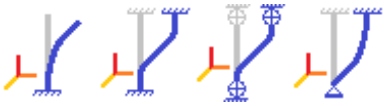
Momenty zginające wywołane przez imperfekcje

W przypadku elementów o węzłach nieprzesuwnych (nieprzechyłowy kształt wyboczenia) momenty zginające spowodowane przez imperfekcje geometryczne są brane jako stałe na długości słupa, ponieważ: 1) osie słupów na różnych kondygnacjach niekoniecznie są współliniowe, 2) jeżeli słup ma sztywne zamocowania to jego lokalna krzywizna powoduje tę samą wartość momentu *(N·e$_i$)* na obu końcach, ale z przeciwnym znakiem.

Postaci wyboczenia elementów stężonych (o węzłach nieprzesuwnych):

W przypadku przechyłowych postaci wyboczenia przyjmuje się liniowy wykres momentu zginającego na długości pręta, jeżeli jest on określony w normie.

Postaci wyboczenia elementów o węzłach przesuwnych:



Jeżeli imperfekcje globalne zostały uwzględnione jako dodatkowe obciążenie działające na konstrukcję, to należy je pominąć przy weryfikacji zbrojenia słupa. Aby to uzyskać, należy zaznaczyć opcję *Tylko imperfekcje lokalne*. Jeżeli wybrany został także przechyłowy kształt postaci wyboczenia (węzły przesuwne), to geometryczne imperfekcje lokalne są uwzględniane tylko jako wartość stała na długości elementu (obliczana ze współczynnikiem wyboczenia β ≤ 1.0).

Momenty zginające drugiego rzędu

Na podstawie wybranych norm projektowych, momenty zginające drugiego rzędu obliczane są na podstawie momentów pierwszego rzędu (rozszerzone o momenty spowodowane przez imperfekcje) lub na podstawie postaci wyboczeniowej. Pierwsza metoda nazywa się metodą nominalnej sztywności, a druga metodą nominalnej krzywizny.

Metoda nominalnej krzywizny

Momenty zginające drugiego rzędu wyznaczane są za pomocą funkcji trygonometrycznych przy założeniu, że wartość momentu w jego amplitudzie jest równa *N·e$_2$*. Maksymalna wartość amplitudy uzyskiwana jest w zależności od wybranego kształtu wyboczenia (**patrz...** *6.5.3.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste słupów (zginanie dwukierunkowe)*)

1) $e_2 = \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) e_{2,0}$

2) $e_2 = \cos\left(\frac{\pi x}{2L}\right) e_{2,0}$

3) $e_2 = \cos\left(\frac{3\pi x}{2L}\right) e_{2,0}$

4) $e_2 = \cos\left(\frac{2\pi x}{L}\right) e_{2,0}$

5) $e_2 = \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) e_{2,0}$

6) $e_2 = \left[1 - \frac{\beta - 0.5}{0.5}\right] \cos\left(\frac{2\pi x}{L}\right) e_{2,0} - \left[1 - \frac{1 - \beta}{0.5}\right] \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) e_{2,0}$

7) $e_2 = \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) e_{2,0}$

8) $e_2 = \cos\left(\frac{3\pi x}{2L} + \frac{\pi}{2}\right) e_{2,0}$

9) $e_2 = \cos\left(\frac{\pi x}{2L} + \frac{\pi}{2}\right) e_{2,0}$

$e_{2,0}$ jest maksymalną amplitudą mimośrodu drugiego rzędu

Metoda nominalnej sztywności

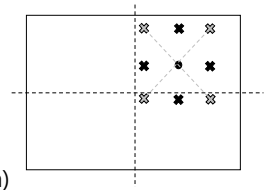
Metoda ta ignoruje postać wyboczeniową. Suma wartości momentów zginających pierwszego rzędu oraz momentów spowodowanych przez imperfekcje jest przemnażana przez współczynnik bazujący na obliczeniowej sile normalnej i sile krytycznej. Więcej informacji znajduje się w EN 1992-1-1. Holenderski i duński załącznik krajowy wymaga stosowanie tej metody.

Mimośród minimalny

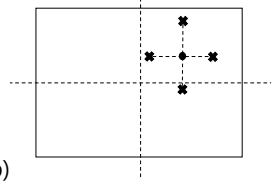
Normy projektowe zwykle wymagają uwzględnienia mimośrodu minimalnego, jeżeli wyznaczona wartość jest mniejsza niż wartość graniczna. W AxisVM, jeżeli suma mimośrodów pierwszego rzędu, mimośrodów od imperfekcji i mimośrodów drugiego rzędu nie osiągnie wartości mimośrodu minimalnego, to wartość mimośrodu od imperfekcji jest zwiększana tak, aby spełnić warunek mimośrodu minimalnego.

Zginanie dwukierunkowe

Słup żelbetowy ogólnie jest poddawany dwukierunkowemu zginaniu, ponieważ imperfekcje geometryczne i mimośrody drugiego rzędu mogą zostać uwzględnione w obu głównych kierunkach. Ogółem rozważanych jest 5 przypadków. Środek krzyża przedstawia sumę mimośrodu pierwszego rzędu i mimośrodu od imperfekcji geometrycznych. Mimośrody drugiego rzędu uwzględniane są zarówno ze znakiem plus jak i minus.



a)



b)

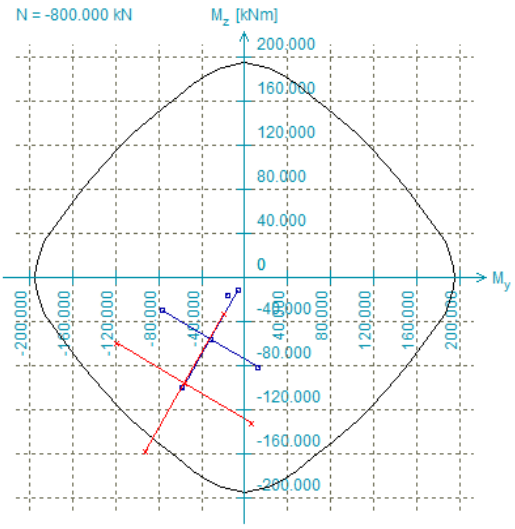
Mimośrody drugiego rzędu mogą być uwzględniane po obu kierunkach (*-y-* oraz *-z-*) równocześnie (rys. a) oraz niezależnie (rys. b) (A. W. Beeby, R. S. Narayanan (2009): *Designer's guide to Eurocode 2: Design of concrete structures*).

Patrz... *6.5.3.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste słupów (zginanie dwukierunkowe)*

☞ **Uwaga: Rysunki w tym rozdziale zostały przygotowane dla przypadku (b). Dla przypadku (a) równoczesnego uwzględnienia mimośrodów drugiego rzędu, rysunki wyglądałyby inaczej.**

Słupy podwójnie symetryczne

Przekroje słupa podwójnie symetryczne, okrągłe lub kwadratowe, to typowe przypadki w praktyce projektowej.
Jeżeli $I_y = I_z$ zarówno dla przekroju poprzecznego jak i zbrojenia oraz warunki brzegowe są identyczne w kierunku *-y-* oraz *-z-*, to mimośrody drugiego rzędu nie są uwzględniane ani po kierunku *-y-* ani *-z-*, ale zgodnie z wypadkową momentów zginających od efektów pierwszego rzędu w krytycznym przekroju przy wyboczeniu.



6.5.3.3 Weryfikacja słupów żelbetowych wg Eurokodu 2 (zginanie z siłą osiową)

Momenty obliczeniowe w kierunkach zginania wynoszą $M_d = N_d \cdot e_d$ gdzie
N_d to siła normalna w słupie,
$e_d = e_e + e_i + e_2$ to krytyczny mimośród w zadanym kierunku zginania.
Minimalna wartość mimośrodu wynosi: max [20 mm; h/30].

e_e to **mimośród początkowy** obliczony na podstawie siły i momentu zgodnie z teorią pierwszego rzędu.
Mimośrody początkowe na końcach analizowanego odcinka:

$$e_e = \frac{M_I}{N_d}$$

Mimośrody początkowe w przekrojach pośrednich analizowanego odcinka (mimośród ekwiwalentny):

$$e_e = \max\begin{Bmatrix} 0.6 \cdot e_a + 0.4 \cdot e_b \\ 0.4 \cdot e_a \end{Bmatrix} \text{ oraz } |e_a| \geq |e_b|,$$

gdzie

e_a oraz e_b to mimośrody początkowe na końcach analizowanego odcinka.

e_i to **mimośród od imperfekcji geometrycznych**

$$e_i = \alpha_h \Theta_0 \frac{l_0}{2}$$

gdzie l_0 to długość wyboczeniowa,

$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}}$ oraz $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$, gdzie l to wysokość słupa,

Θ_0 – zgodnie z Załącznikiem Krajowym wybranej normy.

e_2 to **mimośród II-go rzędu**
Mimośród drugiego rzędu jest rozpatrywany, gdy $\lambda \geq \lambda_{lim} = 20\frac{ABC}{\sqrt{n}}$
gdzie

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} \qquad A = \frac{1}{1+0.2\varphi_{ef}}, \qquad B = \sqrt{1+2\omega}, \qquad \omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}},$$

C to stała, która może zostać zmodyfikowana w oknie *Normy projektowe*.

☞ **Obliczanie λ_{lim} może się różnić w zależności od Załącznika Krajowego wybranej normy!**

Dla DIN EN 1992-1-1: $n < 0.41 \rightarrow \lambda_{lim} = \frac{16}{\sqrt{n}}; n > 0.41 \rightarrow \lambda_{lim} = 25.0$

Dla normy włoskiej: $\lambda_{lim} = \frac{25}{\sqrt{n}}$

Dla normy NS EN 1992-1- : $\lambda_n = \sqrt{\frac{n}{1+k_a\omega}} \geq \lambda_{n,lim} = 13A_\varphi$

Zalecaną metodą wyznaczania $\boldsymbol{e_2}$, w zależności od Załącznika Krajowego wybranej normy, może być metoda nominalnej krzywizny lub metoda nominalnej sztywności. W niektórych Załącznikach Krajowych dopuszczalne są obie metody. W takim przypadku stosowana jest metoda nominalnej krzywizny.

Metoda nominalnej krzywizny

$e_2 = \frac{1}{r}\frac{l_0^2}{c}$

gdzie $\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{f_{yd}}{E_s \cdot 0.45 \cdot d'}$

$8 \leq c \leq \pi^2$ na podstawie wykresu momentu zginającego pierwszego rzędu

$K_r = \min\left\{\frac{N_u' - N_{Ed}}{N_u' - N_{bal}}; 1.0\right\}$, $K_\varphi = \max\{1 + \beta\varphi_{ef}; 1.0\}$,

$\beta = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150}$, gdzie f_{ck} w jednostkach N/mm^2

$d' = \frac{h}{2} + i_s$, gdzie i_s to promień bezwładności zbrojenia podłużnego

Metoda nominalnej sztywności

$e_2 = (e_e + e_i)\left[1 + \frac{\beta}{N_B/N_d - 1}\right]$,

gdzie $\beta = \frac{\pi^2}{c}$

N_B to siła krytyczna ze względu na wyboczenie dla sztywności nominalnej

$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s$ to sztywności nominalne, gdzie

E_{cd} to obliczeniowa wartość modułu sprężystości betonu, patrz 5.8.6 (3)

I_c to moment bezwładności przekroju betonowego

E_s to obliczeniowa wartość modułu sprężystości zbrojenia, 5.8.6 (3)

I_s to moment bezwładności pola przekroju zbrojenia względem środka ciężkości powierzchni betonu

K_c to współczynnik zależny od wpływów zarysowania, pełzania itd., patrz 5.8.7.2. (2), (3)

K_s to współczynnik zależny od udziału zbrojenia, patrz 5.8.7.2. (2), (3)

Mimośrody są wyznaczane w obu płaszczyznach zginania. Program sprawdza następujące sytuacje obliczeniowe:

$\lambda_y/\lambda_z \leq 2$ oraz $\lambda_z/\lambda_y \leq 2$,
$\frac{e_{dy}/b_{eq}}{e_{dz}/h_{eq}} \leq 0{,}2$ lub $\frac{e_{dz}/h_{eq}}{e_{dy}/b_{eq}} \leq 0{,}2$ *
jeżeli $e_{dy}/b_{eq} > e_{dz}/h_{eq}$

$M_{dy,1} = 0$

$M_{dz,1} = -N_d(e_{ey} + e_{iy} \pm e_{2y})$

w przeciwnym razie

$M_{dy,2} = N_d(e_{ez} + e_{iz} \pm e_{2z})$

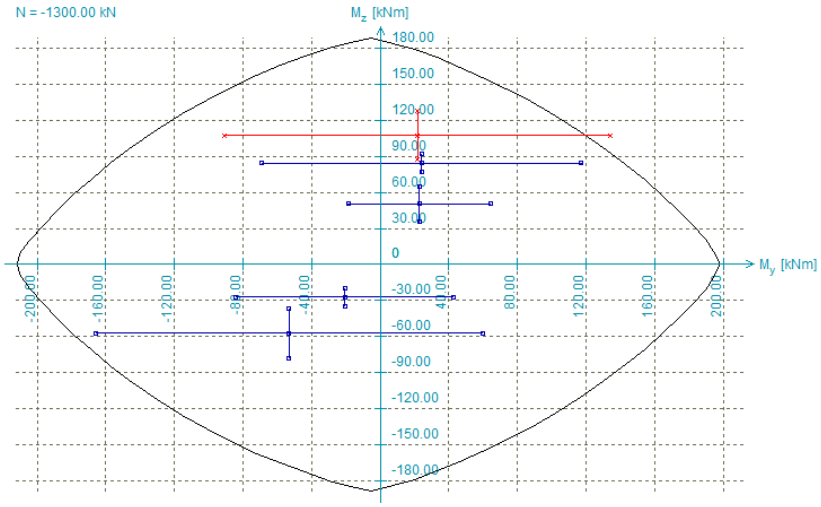
$M_{dz,2} = 0$

w przeciwnym razie

$M_{dy,1} = N_d(e_{ez} + e_{iz})$
$M_{dz,1} = -N_d(e_{ey} + e_{iy} \pm e_{2y})$
$M_{dy,2} = N_d(e_{ez} + e_{iz} \pm e_{2z})$
$M_{dz,2} = -N_d(e_{ey} + e_{iy})$

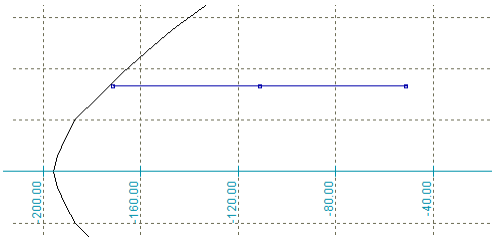
* z wyjątkiem DIN EN 1992-1-1 NA

AxisVM sprawdza czy wyznaczone obciążenia obliczeniowe znajdują się wewnątrz interakcyjnego wykresu nośności N-M. Jeżeli nie spełnia on dowolnej sytuacji obliczeniowej, to słup o zadanym przekroju poprzecznym i zbrojeniu jest niewystarczający.



Mogą pojawić się następujące sytuacje:

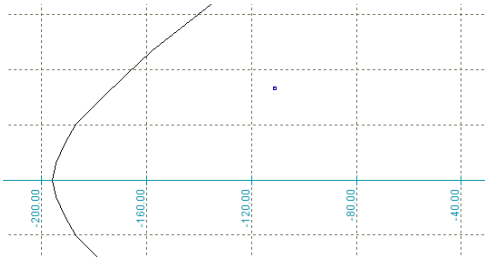
Brak dodatkowych punktów od mimośrodu po jednym z kierunków (linia zamiast krzyża)



Możliwe przyczyny:

- smukłość związana z wyboczeniem wokół osi –y– lub –z– jest niższa niż wartość graniczna λ_{lim}na swobodnym końcu lub na końcu z podporą przegubową moment drugiego rzędu wynosi zero,
- w przypadku zginania dwukierunkowego, jeżeli kryteria są spełnione, to mimośrody zostaną pokazane tylko w odpowiadającym kierunku,
- uwzględnienie mimośrodu drugiego rzędu wokół jednej z osi zostało wyłączone.

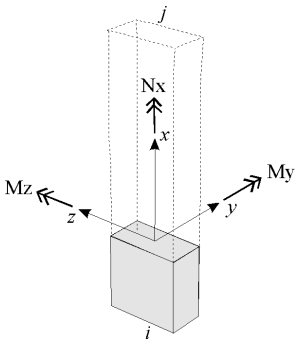
Brak dodatkowych punktów od mimośrodu po obu kierunkach (punkt zamiast krzyża)



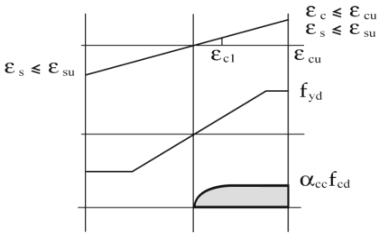
Możliwe przyczyny:

- smukłość związana z wyboczeniem wokół osi –y– oraz –z– jest niższa niż wartość graniczna λ_{lim}na swobodnym końcu lub na końcu z podporą przegubową moment drugiego rzędu wynosi zero,
- uwzględnienie mimośrodów drugiego rzędu wokół obu osi zostało wyłączone.

Na wykresach interakcji nośności N-M oraz na krzywych granicznych mimośrodu obciążenia punkty reprezentują poniższe siły obliczeniowe. Wartości dodatkowych sił i momentów mogą zostać zdefiniowane przez użytkownika w tabeli. Punkty te pojawią się na wykresie interakcji nośności N-M oraz na krzywych granicznych mimośrodu obciążenia. Znakowanie sił i momentów jest określane zgodnie z rysunkiem obok.



Obliczenia uwzględniają następujące założenia (wykres σ,ε):



☞ **Podłużne wkładki zbrojeniowe o średnicy mniejszej niż 1/15 rozstawu strzemion (zdefiniowanego w parametrach wymiarowania słupa) będą pomijane przy ściskaniu słupa.**

6.5.3.4 Weryfikacja słupów żelbetowych wg DIN1045-1 (zginanie z siłą osiową)

Momenty obliczeniowe w kierunkach zginania wynoszą $M_d = N_d \cdot e_d$ gdzie
N_d to siła normalna w słupie,
$e_d = e_0 + e_i + e_2$ to krytyczny mimośród w zadanym kierunku zginania. Minimalna wartość mimośrodu wynosi h/20.

e_0 to **mimośród początkowy** obliczony na podstawie siły i momentu zgodnie z teorią pierwszego rzędu.
Mimośrody początkowe na końcach analizowanego odcinka:

$$e_0 = \frac{M_I}{N_d}$$

Mimośrody początkowe w przekrojach pośrednich analizowanego odcinka (mimośród ekwiwalentny):

$$e_0 = \max\begin{Bmatrix} 0.6 \cdot e_a + 0.4 \cdot e_b \\ 0.4 \cdot e_a \end{Bmatrix} \text{ oraz } |e_a| \geq |e_b|,$$

gdzie e_a oraz e_b to mimośrody początkowe na końcach analizowanego odcinka.

e_i to **mimośród od imperfekcji geometrycznych**

$$e_a = \frac{\alpha_{a1} l_0}{2},$$

gdzie l_0 to długość wyboczeniowa,

$\alpha_{a1} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l}} \leq \frac{1}{200}$, gdzie l to wysokość słupa,

$\lambda_{max} = \max\left\{25; \frac{16}{\sqrt{\frac{N_d}{A_c f_{cd}}}}\right\}$, jeżeli $\lambda \geq \lambda_{\max}$ to należy rozpatrzyć mimośrody drugiego rzędu.

e_2 to **mimośród II-go rzędu**

$e_2 = K_1 \frac{1}{r} \frac{l_0^2}{10}$,

gdzie $\frac{1}{r} = K_2 \frac{2 \cdot f_{yd}}{E_s \cdot 0.9 \cdot d}$, $K_1 = \min\left\{\frac{\lambda}{10} - 2.5; 1.0\right\}$, $K_2 = \frac{N_{ud} - N_d}{N_{ud} - N_{bal}} \leq 1.0$

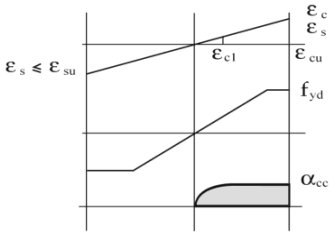
d to efektywna wysokość przekroju poprzecznego

Mimośrody wyznaczane są w obu płaszczyznach zginania. Program sprawdza następujące sytuacje obliczeniowe:

$$M_{dy,1} = N_d(e_{0z} + e_{az})$$
$$M_{dz,1} = -N_d(e_{0y} + e_{ay} \pm e_{2y})$$
$$M_{dy,2} = N_d(e_{0z} + e_{az} \pm e_{2z})$$
$$M_{dz,2} = -N_d(e_{0y} + e_{ay})$$

AxisVM sprawdza czy wyznaczone obciążenia obliczeniowe znajdują się wewnątrz interakcyjnego wykresu nośności N-M. Jeżeli nie spełnia on dowolnej sytuacji obliczeniowej, to słup o zadanym przekroju poprzecznym i zbrojeniu jest niewystarczający.

Obliczenia uwzględniają następujące założenia (wykres σ,ε):



☞ **Podłużne wkładki zbrojeniowe o średnicy mniejszej niż 1/15 rozstawu strzemion (zdefiniowanego w parametrach wymiarowania słupa) będą pomijane przy ściskaniu słupa.**

6.5.3.5 Weryfikacja słupów żelbetowych wg SIA 262 (zginanie z siłą osiową)

Momenty obliczeniowe w kierunkach zginania wynoszą $M_d = N_d \cdot e_d$ gdzie
N_d to siła normalna w słupie,
$e_d = e_{0d} + e_{1d} + e_{2d}$ to krytyczny mimośród w zadanym kierunku zginania.

e_{0d} to **mimośród od imperfekcji geometrycznych**
$e_{0d} = \max\left\{\alpha_i \frac{l_{cr}}{2}; \frac{d}{30}\right\}$
gdzie $\frac{1}{200} \geq \alpha_i = \frac{0.01}{\sqrt{l}} \geq \frac{1}{300}$
l_{cr} jest długością wyboczeniową, l długością rzeczywistą, d jest wysokością efektywną przekroju poprzecznego.

e_{1d} to **mimośród początkowy** obliczony na podstawie siły i momentu zgodnie z teorią pierwszego rzędu.
Mimośrody początkowe na końcach analizowanego odcinka:

$$e_{1d} = \frac{M_I}{N_d}$$

Mimośrody początkowe w przekrojach pośrednich analizowanego odcinka (mimośród ekwiwalentny):

$$e_{1d} = \max\begin{Bmatrix} 0.6 \cdot e_a + 0.4 \cdot e_b \\ 0.4 \cdot e_a \end{Bmatrix} \text{ oraz } |e_a| \geq |e_b|,$$

gdzie e_a oraz e_b to mimośrody początkowe na końcach analizowanego odcinka.

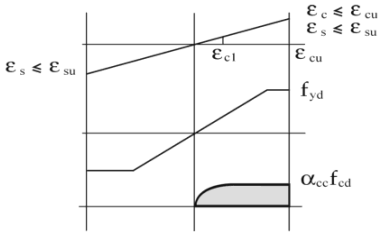
e_{2d} to **przyrost mimośrodu II-go rzędu**
$e_{2d} = \chi_d \frac{l_{cr}^2}{\pi^2}$, gdzie $\chi_d = \frac{2f_{sd}}{E_s(d-d')}$

Mimośrody wyznaczane są w obu płaszczyznach zginania. Program sprawdza następujące sytuacje obliczeniowe:

$$M_{dy,1} = N_d(e_{1z} + e_{0z})$$
$$M_{dz,1} = -N_d(e_{1y} + e_{0y} \pm e_{2y})$$
$$M_{dy,2} = N_d(e_{1z} + e_{0z} \pm e_{2z})$$
$$M_{dz,2} = -N_d(e_{1y} + e_{0y})$$

AxisVM sprawdza czy wyznaczone obciążenia obliczeniowe znajdują się wewnątrz interakcyjnego wykresu nośności N-M. Jeżeli nie spełnia on dowolnej sytuacji obliczeniowej, to słup o zadanym przekroju poprzecznym i zbrojeniu jest niewystarczający.

Obliczenia uwzględniają następujące założenia (wykres σ,ε):



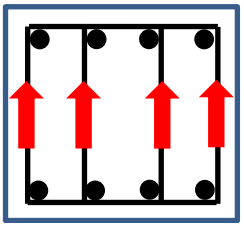
☞ **Podłużne wkładki zbrojeniowe nie zostaną uwzględnione w obliczeniach, jeżeli którykolwiek poniższy warunek zostanie spełniony (s to rozstaw strzemion):**
∅ < 8; s > 15 ∅; s > a_{min}; s > 300 mm

6.5.3.6 Sprawdzenie ścinania i skręcania w słupie żelbetowym

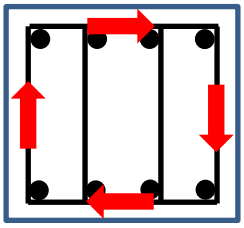
Współczynnik redukujący nośność na ścinanie strzemion ze względu na skręcanie (k_T)

Zgodnie z normami i wytycznymi do projektowania, zbrojenie poprzeczne nie może być w pełni wykorzystane przy ścinaniu i przy skręcaniu. Z tego powodu program wyznacza stopień wykorzystania strzemion tylko na oddziaływanie od skręcania (k_T) i oblicza zredukowaną nośność na ścinanie dla strzemion ze względu na siły poprzeczne. Współczynnik redukcyjny wynosi 1-k_T i wykorzystywany jest tylko dla zewnętrznych ramion strzemion. Ta zredukowana nośność na ścinanie wykorzystywana jest przy obliczaniu całkowitego stopnia wykorzystania dla interakcji ścinania i skręcania (η_{VyVzT}).

Poniżej przedstawione są siły od wpływu ścinania i skręcania:



Siła tnąca **V_z**



Moment skręcający **T_x**

Jeżeli wykorzystanie strzemion tylko na skręcanie (kT) przekracza wartość 1.0, to strzemiona nie mogą zostać uwzględnione przy nośności na ścinanie. W takim przypadku całkowity stopień wykorzystania na ścinanie i skręcanie η_{VyVzT} nie może zostać wyznaczony i jest oznaczony symbolami **???**.
Skręcanie przy weryfikacji słupa jest uwzględniane wtedy, gdy: moment skręcający znacznie wpływa na nośność na ścinanie (k_T > 0.01) lub moment skręcający przekracza 1% wartości rysującego momentu skręcającego lub spełniony jest poniższy warunek

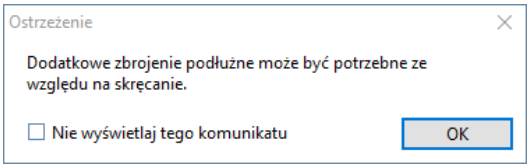
$$\frac{V_{y,E}}{V_{y,R,c}} + \frac{V_{z,E}}{V_{z,R,c}} + \frac{T_{x,E}}{T_{x,R,c}} > 1$$

gdzie ***Vy,R,c***, ***Vz,R,c*** oraz ***Tx,R,c*** są odpowiednio nośnością betonu na ścinanie w odniesieniu do lokalnej osi -y- oraz -z- oraz rysującym momentem skręcającym.
W innych niż przytoczono przypadkach nie uwzględnia się redukcji nośności strzemion na ścinanie ze względu na skręcanie (k_T=0).

Dodatkowe zbrojenie podłużne wymagane na skręcanie ($A_{sl,T}$)

W przypadku zbrojonej belki/słupa, gdy powyższe warunki są spełnione, to wymagane jest również dodatkowe zbrojenie podłużne na skręcanie. Zbrojenie to powinno zostać rozłożone na całej długości boku przekroju poprzecznego. Zbrojenia na zginanie nie można uwzględniać jako zbrojenia na skręcanie.
Oddziaływania skręcające zwykle nie są znaczące w słupach. W programie nie można zdefiniować podłużnego zbrojenia na skręcanie, ale program wyznacza wymaganą dodatkową powierzchnię zbrojenia podłużnego, która może być potrzebna ze względu na skręcanie.

☞ **Komunikat ostrzegawczy zwróci uwagę użytkownika na konieczność zastosowania dodatkowego zbrojenia podłużnego. Jeżeli opcja** *Nie wyświetlaj tego komunikatu* **zostanie zaznaczona, to komunikat ten nie będzie wyświetlany aż do ponownego otwarcia okna z wymiarowaniem słupa żelbetowego.**



Całkowity stopień wykorzystania na ścinanie bez skręcania (η_{VyVz})

Prostokątny przekrój poprzeczny słupa:

$$\eta_{VyVz} = \frac{V_{y,E}}{V_{y,R}} + \frac{V_{z,E}}{V_{z,R}} \leq 1$$

gdzie $V_{y,E}$ oraz $V_{z,E}$ są odpowiednio obliczeniowymi siłami tnącymi odpowiednio w kierunku lokalnej osi -y- oraz -z-, a $V_{y,R}$ oraz $V_{z,R}$ to obliczeniowa nośność na ścinanie w kierunku lokalnej osi -y- oraz -z-.

W przypadku okrągłego przekroju poprzecznego, program wyznacza wypadkową siłę tnącą z $V_{y,E}$ oraz $V_{z,E}$. Wypadkowa siła tnąca jest porównywana do nośności na ścinanie przekroju, wyznaczonego w kierunku działania wypadkowej.

$$\eta_{VyVz} = \frac{\sqrt{V_{y,E}^2 + V_{z,E}^2}}{V_R} \leq 1$$

Całkowity stopień wykorzystania ze względu na interakcję ścinania ze skręcaniem (η_{VyVzT})

Stopień wykorzystania η_{VyVzT} jest obliczany podobnie jak η_{VyVz}, ale w tym przypadku nośność zewnętrznych ramion strzemion jest redukowana za pomocą współczynnika (1-k_T), który powiązany jest ze stopniem wykorzystania na skręcanie.
Skręcanie jest uwzględniane przy weryfikacji tylko, gdy moment skręcający ma istotny wpływ na nośność na ścinanie (k_T > 0.01), moment skręcający przekracza 1% skręcającego momentu rysującego lub spełniony jest poniższy warunek

$$\frac{V_{y,E}}{V_{y,R,c}} + \frac{V_{z,E}}{V_{z,R,c}} + \frac{T_{x,E}}{T_{x,R,c}} > 1$$

Stopień wykorzystania betonowych krzyżulców ściskanych ($\eta_{VyVzT,max}$)

W przypadku sprawdzania zarówno ścinania jak i skręcania, nośność musi uwzględniać wyczerpanie nośności w betonowych krzyżulców ściskanych. Jeżeli siły tnące i momenty skręcające występują razem, należy rozpatrzyć łącznie ich interakcję przez obliczenie stopnia wykorzystania betonowych krzyżulców ściskanych.

Prostokątny przekrój poprzeczny słupa:

$\eta_{VyVzT,max} = \frac{V_{y,E}}{V_{y,R,max}} + \frac{V_{z,E}}{V_{z,R,max}} + \frac{T_{x,E}}{T_{x,R,max}} \leq 1$u okrągłego przekroju poprzecznego, program wyznacza wypadkową siłę tnącą z $V_{y,E}$ oraz $V_{z,E}$. Wypadkowa siła tnąca jest porównywana do nośności na ścinanie przekroju, wyznaczonego w kierunku działania wypadkowej. Wzór na stopień wykorzystania:

$\eta_{VyVzT,max} = \frac{\sqrt{V_{y,E}^2+V_{z,E}^2}}{V_{R,max}} + \frac{T_{x,E}}{T_{x,R,max}} \leq 1$wartość $\eta_{VyVzT,max}$ przekroczy wartość 1.0 to nośność przekroju może być zwiększona tylko przez zmianę klasy betonu lub zwiększenie wymiarów przekroju poprzecznego.

Nośność na ścinanie okrągłych przekrojów poprzecznych

Obliczenia nośności na ścinanie okrągłych słupów żelbetowych są w większości takie same jak w przypadku przekrojów prostokątnych. Dochodzi do tego tylko kilka modyfikacji. Więcej informacji można uzyskać z publikacji badań John Orr - *Shear Capacity of Circular Concrete Sections.*
Główne zmiany uwzględnione w obliczeniach:

a) W obliczeniach nośności na ścinanie betonu ($V_{y/z,R,c}$) i maksymalnej nośności na ścinanie ($V_{y/z,R,max}$) stosuje się mnożnika szerokości przekroju równy 0.8D (gdzie *D* to średnica przekroju),

b) W przypadku nośności strzemion okrągłych stosuje się współczynnik redukcyjny (λ_1) uwzględniający fakt, że strzemiona te nie są równoległe do siły tnącej. Współczynnik λ_1 jest obliczany w następujący sposób: [Turmo et. al (2008): *Shear truss analogy for concrete members of solid and hollow circular cross sections*] [J. Orr (2009): *Shear Capacity of Circular Concrete Sections*]

$$\lambda_1 = \int_0^1 \sqrt{1-((z_0 - zX)/r_s)^2}dX$$

gdzie z_0 to odległość środka ciężkości zbrojenia rozciąganego i środka ciężkości przekroju, *z* to ramię sił, a r_s jest odległością środka strzemienia od środka ciężkości przekroju poprzecznego.

c) W przypadku zbrojenia uzwojonego stosowany jest jeszcze współczynnik redukcyjny, który pozwala uwzględnić fakt, że pionowy składnik nośności nie jest równoległy do siły tnącej. Współczynnik λ_2 wyznaczany jest w następujący sposób [I. Feltham (2004): *Shear in reinforced concrete piles and circular columns*]:

$$\lambda_2 = \left(\left(\frac{p}{2\pi r_s}\right)^2 + 1\right)^{-0.5}$$

gdzie *p* to skok uzwojenia.

Ramię siły

Podczas obliczeń nośności na ścinanie przekroju zbrojonego, istotną rolę odgrywa ramię (*z*) sił wewnętrznych. Ramię siły interpretowane jest jako odległość środka ciężkości zbrojenia rozciąganego i środka ciężkości strefy ściskanej. W przypadku belek żelbetowych wartość *z* jest szacowana jako 0.9d (d to wysokość użyteczna przekroju). Gdy w przekroju obecna jest siła podłużna, to powyższego przybliżenia nie można zastosować. Program automatycznie wyznacza ramię sił wewnętrznych z uwzględnieniem w przekroju siły podłużnej.

☞ **Program sprawdza wyszczególnione w normie warunki dotyczące minimalnego/maksymalnego stopnia zbrojenia podłużnego, maksymalnego rozstawu strzemion oraz minimalnej średnicy strzemion. Gdy któryś z wymienionych warunków nie zostanie spełniony, to odpowiednia informacja pojawi się w oknie informacyjnym, a natychmiast po wykonaniu obliczeń wymiarujących pojawi się komunikat z ostrzeżeniem. Podczas definiowania parametrów można sprawdzić czy warunki odnośnie do strzemion (rozstaw i średnica) są spełnione poprzez kliknięcie w przycisk (patrz... *6.5.3.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste słupów (zginanie dwukierunkowe)*)**

6.5.3.7 Sprawdzenie ścinania i skręcania wg Eurokodu 2 oraz DIN 1045-1

Obliczeniowa nośność na ścinanie

$V_{Rd} = \min\left[\max\left[V_{Rd,c}, V_{Rd,s}\right], V_{Rd,max}\right]$zie $V_{Rd,c}$ jest nośnością na ścinanie betonu, $V_{Rd,s}$ jest nośnością na ścinanie strzemion, $V_{Rd,max}$ jest maksymalną nośnością na ścinanie przekroju ze względu na wyczerpanie nośności w betonowych krzyżulcach ściskanych.

Nośność na ścinanie betonu

$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}\right] b_w d \geq \left(v_{min} + k_1 \sigma_{cp}\right) b_w d$zie:

- ρ_{sl} stopień zbrojenia rozciąganego,
- b_w najmniejsza szerokość strefy przekroju rozciąganego (dla przekroju kołowego 0.8D),
- d wysokość użyteczna,
- σ_{cp} naprężenia normalne w przekroju od obciążenia lub sprężenia (ściskanie ze znakiem dodatnim) $<0.2 f_{cd}$,
- parametry $C_{Rd,c}$, v_{min} oraz k_1 podane są w załączniku krajowym. Ich wartości mogą być ustawione także przez użytkownika w oknie dialogowym Normy projektowe w zakładce Żelbet (**patrz...** *3.3.7 Normy projektowe*).

W przypadku normy DIN 1045-1:

$$V_{Rd,c} = \left[0.1 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + 0.12 \sigma_{cp}\right] b_w d$$

Nośność na ścinanie strzemion

Przekrój prostokątny:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot\theta$$

Przekrój okrągły:

$$V_{Rd,s} = \lambda_1 \lambda_2 \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot\theta$$

gdzie:

- A_{sw} to pole przekroju zbrojenia na ścinanie,
- s jest rozstawem strzemion lub skokiem zbrojenia uzwojonego,
- z jest ramieniem siły,
- f_{ywd} to obliczeniowa granica plastyczności zbrojenia na ścinanie,
- θ jest kątem rys od ścinania,
- λ_1 jest współczynnikiem redukcyjnym dla przekroju okrągłego,
- λ_2 jest współczynnikiem redukcyjnym dla zbrojenia uzwojonego.

Maksymalna obliczeniowa nośność na ścinanie

$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z \nu_1 f_{cd} \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta}$zie:

- α_{cw} jest współczynnikiem zależnym od stanu naprężeń w pasie ściskanym,
- ν_1 jest współczynnikiem redukcji wytrzymałości betonu zarysowanego przy ścinaniu,
- α jest kątem nachylenia zbrojenia ścinanego do osi podłużnej belki (w przypadku strzemion zwykłych α=90°).

W przypadku normy DIN 1045-1:

$$V_{Rd,max} = 0.75 b_w z f_{cd} \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta}$$

Skręcający moment rysujący – nośność betonu na skręcanie

$$T_{Rd,c} = 2A_k f_{ctd} t_{ef}$$

gdzie:

- A_k jest polem powierzchni wnętrza figury utworzonej przez linie środkowe ścianek,
- t_{ef} jest efektywną grubością ścianki.

Maksymalny obliczeniowy moment skręcający

Maksymalny moment skręcający w odniesieniu do nośności betonowych krzyżulców ściskanych jest obliczany wg następującego wzoru:

$$T_{Rd,max} = 2\nu\alpha_{cw} f_{cd} A_k t_{ef} \sin\theta \cos\theta$$

Wyznaczanie k_T

$$k_T = \frac{T_{Ed} s}{2A_{sw} A_k f_{ywd} \cot\theta}$$

gdzie:

- T_{Ed} jest obliczeniowym momentem skręcającym,
- A_{sw} to pole powierzchni ramienia strzemienia.

Wyznaczanie $A_{st,T}$

$$A_{sl,T} = \frac{T_{Ed} u_k \cot\theta}{2A_k f_{ywd}}$$

gdzie:

- u_k jest obwodem pola A_k.

6.5.3.8 Sprawdzenie ścinania i skręcania wg SIA 262

Nośność na ścinanie strzemion

Przekrój prostokątny:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{sd} \cot\alpha$$

Przekrój okrągły:

$$V_{Rd,s} = \lambda_1 \lambda_2 \frac{A_{sw}}{s} z f_{sd} \cot\alpha$$

gdzie:

- A_{sw} to pole przekroju zbrojenia na ścinanie,
- s jest rozstawem strzemion lub skokiem zbrojenia uzwojonego,
- z jest ramieniem siły,
- f_{sd} to obliczeniowa granica plastyczności zbrojenia na ścinanie,
- α jest kątem rys od ścinania,
- λ_1 jest współczynnikiem redukcyjnym dla przekroju okrągłego,
- λ_2 jest współczynnikiem redukcyjnym dla zbrojenia uzwojonego.

Maksymalna obliczeniowa nośność na ścinanie

$$V_{Rd,c} = b_w z k_c f_{cd} \sin\alpha \cos\alpha$$
$$k_c = \frac{1}{1.2 + 55\varepsilon_1} \leq 0.65$$
$$\varepsilon_1 = \varepsilon_x + (\varepsilon_1 + 0.002)\cot^2\alpha$$

gdzie:

- k_c jest współczynnikiem redukcji wytrzymałości betonu zarysowanego przy ścinaniu.

Maksymalny obliczeniowy moment skręcający

Maksymalny moment skręcający w odniesieniu do nośności betonowych krzyżulców ściskanych jest obliczany wg następującego wzoru:

$$T_{Rd,max} = 2k_c f_{cd} A_k t_k \sin\theta \cos\theta$$

Wyznaczanie k_T

$$k_T = \frac{T_{Ed} s}{2A_{sw} A_k f_{sd} \cot\theta}$$

gdzie:

- T_{Ed} jest obliczeniowym momentem skręcającym,
- A_{sw} to pole powierzchni ramienia strzemienia.

Wyznaczanie A_{st}

$$A_{st} = \frac{T_{Ed} u_k \cot\theta}{2A_k f_{sd}}$$

gdzie:

- u_k jest obwodem pola A_k..

6.5.3.9 Nośność w warunkach sejsmicznych – obliczeniowa siła tnąca wg Eurokod i SIA

W przypadku konstrukcji rozpraszających energię z klasą ciągliwości DCM lub DCH siły tnące do wymiarowania wyznaczane są zgodnie z regułami weryfikacji nośności na warunki sejsmiczne, w celu uniknięcia wyczerpania w słupach nośności na ścinanie. Weryfikacja odbywa się na podstawie równowagi momentów węzłów końcowych $M_{i,d}$ słupa.

Wyznaczanie $M_{i,d}$

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rc,i} \min\left\{1; \frac{\sum M_{RB}}{\sum M_{RC}}\right\}$$

gdzie

- i=1, 2 odnosi się do przekroju końcowego słupa
- γ_{Rd} to współczynnik uwzględniający większą nośność spowodowaną wzmocnieniem odkształceniowym stali oraz żelbetu w ściskanej strefie przekroju
- $M_{Rc,i}$ to obliczeniowa wartość momentu granicznego w węźle końcowym "i", rozumianego jako moment zginający od sił sejsmicznych w rozważanym działaniu sejsmicznym
- ΣM_{RB} oraz ΣM_{RC} to suma nośności na zginanie belek i słupów zbiegających się w tym samym węźle

Wyznaczanie $V_{E,d}$

$$V_{Ed} = V_{Ed,0} + V_{Ed,EQ}$$

gdzie

- $V_{Ed,0}$ oznacza siłę tnącą od oddziaływania niesejsmicznego (obciążenia stałe itd.)
- $V_{Ed,EQ}$ jest obliczeniową wartością sejsmicznej siły tnącej

Przeguby plastyczne na górze i na dole

$$V_{Ed,EQ} = \frac{M_{1,d} + M_{2,d}}{l_{cl}}$$

gdzie

- l_{cl} oznacza wysokość słupa w świetle kondygnacji (ustawiona domyślnie jako 90% długości słupa)

Przegub plastyczny na górze

Jeżeli przegub plastyczny może wytworzyć się tylko na górze słupa (np. z powodu jego przegubowego podparcia na dole), to należy zaznaczyć tylko parametr „Górne" w oknie dialogowym. W takim przypadku obliczeniowa wartość siły tnącej obliczana jest w następujący sposób:

$$V_{Ed,EQ} = \frac{\left(M_{1,Ed,0} + x \cdot M_{1,Ed,EQ}\right) + M_{2,d}}{l_{cl}}$$

gdzie

- $M_{1,Ed,0}$ oznacza wartość momentu zginającego od oddziaływania niesejsmicznego (np. obciążenia stałego) na dole słupa
- $M_{1,Ed,EQ}$ jest obliczeniową wartością momentu zginającego od oddziaływania sejsmicznego (z analizy sejsmicznej) na dole słupa
- x jest mnożnikiem sejsmicznego momentu zginającego, pozwalający osiągnąć nośność na zginanie przegubu plastycznego na górze słupa

Przegub plastyczny na dole

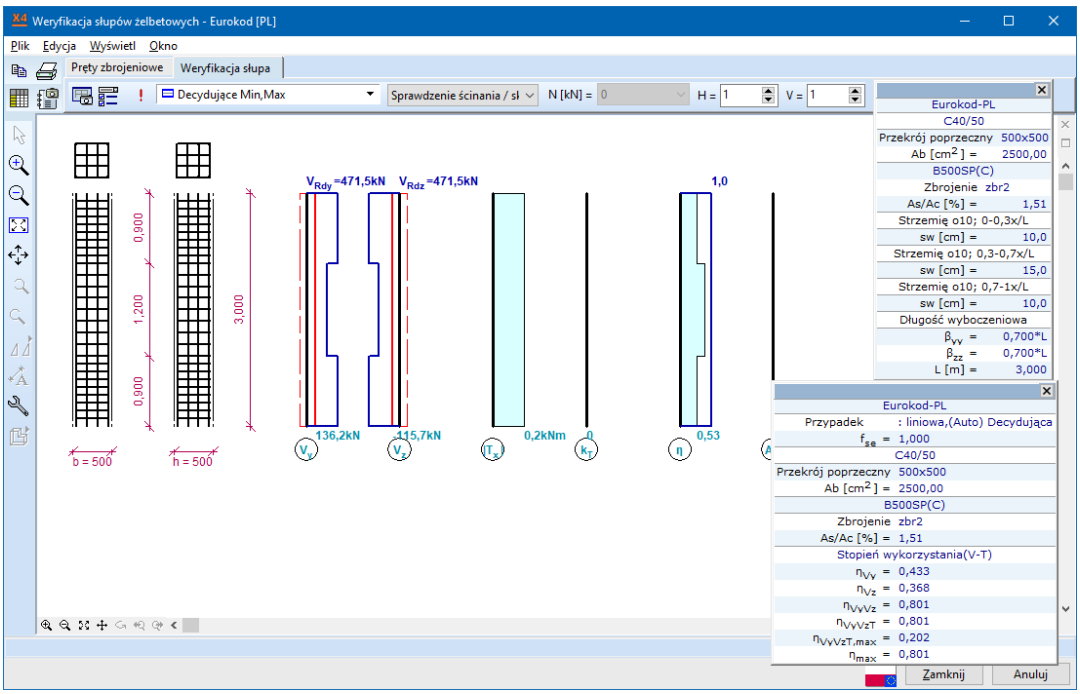
$$V_{Ed,EQ} = \frac{M_{1,d} + \left(M_{2,Ed,0} + x \cdot M_{2,Ed,EQ}\right)}{l_{cl}}$$

gdzie

- $M_{2,Ed,0}$ oznacza wartość momentu zginającego od oddziaływania niesejsmicznego (np. obciążenia stałego) na górze słupa
- $M_{2,Ed,EQ}$ jest obliczeniową wartością momentu zginającego od oddziaływania sejsmicznego (z analizy sejsmicznej) na górze słupa
- x jest mnożnikiem sejsmicznego momentu zginającego, pozwalający osiągnąć nośność na zginanie przegubu plastycznego na dole słupa

☞ **Jeżeli sejsmiczna siła tnąca z analizy sejsmicznej jest większa niż siła tnąca obliczona zgodnie z zasadami wymiarowania nośności w warunkach sejsmicznych, to jako $V_{Ed,EQ}$ brana jest siła tnąca z analizy sejsmicznej.**

Wyniki



Obliczanie sejsmicznej siły tnącej opisane powyżej przeprowadzane jest tylko, gdy wybrana kombinacja zawiera sejsmiczny przypadek obciążenia. Zgodnie z zasadami wymiarowania siła tnącą od oddziaływania sejsmicznego dodawana jest do standardowej siły tnącej (niesejsmicznej) w odpowiadającym kierunku -y- oraz -z-.
Obliczeniowa siła tnąca zawierająca sejsmiczną siłę tnącą pochodząca z wymiarowania na warunki sejsmiczne przedstawiana jest za pomocą czerwonej linii przerywanej oraz ciągłej.
Sejsmiczna siła tnąca musi być rozważana zarówno ze znakiem dodatnim jak i ujemnym, które to uwzględniają zmienne kierunki oddziaływania obciążenia sejsmicznego. Ciągła czerwona linia rysowana jest po stronie większej wartości bezwzględnej.

☞ **Program sprawdza wyszczególnione w normie warunki dotyczące minimalnego/maksymalnego stopnia zbrojenia podłużnego, maksymalnego rozstawu strzemion oraz minimalnej średnicy strzemion. Gdy któryś z wymienionych warunków nie zostanie spełniony, to odpowiednia informacja pojawi się w oknie informacyjnym, a natychmiast po wykonaniu obliczeń wymiarujących pojawi się komunikat z ostrzeżeniem. Podczas definiowania parametrów można sprawdzić czy warunki odnośnie do strzemion (rozstaw i średnica) są spełnione poprzez kliknięcie w przycisk** **(patrz...** *6.5.3.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste słupów (zginanie dwukierunkowe)*) **. Obowiązkiem użytkownika programu jest spełnienie pozostałych wymagań konstrukcyjnych zbrojenia zawartych w normie.**

6.5.4 Wymiarowanie belek i słupów żelbetowych na warunki pożarowe (moduł RC8-B)

Proces wymiarowania belek i słupów żelbetowych na warunki pożarowe może zostać przeprowadzony w programie wg normy Eurokod 2 oraz SIA 262, jeżeli w konfiguracji dostępny jest moduł RC8-B. Wymiarowanie na warunki pożarowe oparte jest na standardowej procedurze wymiarowania elementu żelbetowego, dlatego **posiadanie modułu RC2** (wymiarowanie belek i słupów żelbetowych) **jest warunkiem koniecznym, aby użyć modułu RC8-B**. W niniejszym opisie zawarte są tylko te części, zasady i procedury, które są różne lub niestosowane w trakcie standardowego wymiarowania elementu żelbetowego.
Wymiarowanie na warunki pożarowe belek i słupów żelbetowych jest możliwe w programie, jeżeli wybrana kombinacja zawiera przypadek obciążenia pożarem (*4.10.1 Przypadki obciążeń, grupy obciążeń*) oraz jeżeli oddziaływanie pożaru dla tego przypadku obciążenia zostało przypisane do jakiegokolwiek elementu (*6.5.4 Wymiarowanie belek i słupów żelbetowych na warunki pożarowe (moduł RC8-B)*). Jeżeli do wybranego elementu przypisano różnwe oddziaływania od pożaru, to pojawi się komunikat błędu i kontynuowanie wymiarowania nie będzie możliwe.
Aby powyższe wymiarowanie zostało przeprowadzone, w parametrach elementu musi zostać włączona odpowiednia opcja (patrz dalej).

Normy projektowe

Obliczenia mogą zostać przeprowadzone zgodnie z Eurokodem 2 oraz szwajcarską normą SIA 262. Lista obsługiwanych załączników krajowych do Eurokodu znajduje się w rozdziale *6.5.4 Wymiarowanie belek i słupów żelbetowych na warunki pożarowe (moduł RC8-B)*.

Analiza elementu

Norma EN 1992-1-2 omawia różne metody: analizę elementu, analizę części konstrukcji oraz analizę globalną (całej konstrukcji). Analiza elementu jest najbardziej rozpowszechnioną metodą weryfikacji ze względu na swoją prostotę. Analiza części lub całej konstrukcji wymaga zwykle złożonych modeli numerycznych z charakterystyką nieliniową oraz co się z tym wiąże, nieliniowej analizy statycznej.

Podstawowe założenia analizy elementu wg EN 1992-1-2:

- Siły wewnętrzne do wymiarowania elementu mogą zostać wyznaczone na podstawie liniowej analizy statycznej
- „Należy uwzględniać jedynie efekty deformacji termicznych powstałych w wyniku gradientów termicznych w przekroju poprzecznym. Efekty osiowych lub powierzchniowych rozszerzeń termicznych można pominąć." (EN1992-1-2, 2.4.2 (4))
- „Warunki brzegowe na podporach i końcach elementu, obowiązujące dla czasu t = 0, przyjmuje się za niezmienne w trakcie oddziaływania pożaru." (EN1992-1-2, 2.4.2 (5))

Moduł RC8-B wykonuje analizę elementu. Projektant musi jedank wcześniej sprawdzić warunki jej stosowalności dla danej konstrukcji lub jej fragmentu na podstawie wytycznych normowych.

W niektórych przypadkach możliwe jest również przeprowadzenie w AxisVM analizy części konstrukcji: 1) warunki brzegowe są dokładnie odwzorowane; 2) oddziaływanie pożaru jest uwzględnione jako obciążenie termiczne; 3) uwzględnione zostały wytyczne z rozdziału 2.4.3 EN1992-1-2.

Podstawowe założenia

Wymiarowanie na warunki pożaru w AxisVM bazuje na uproszczonej metodzie z EN1992-1-2. Metoda ta w połączeniu z analizą elementu pozwala wyznaczyć odporność ogniową elementu konstrukcyjnego narażonego na oddziaływania termiczne opisane za pomocą pożaru standardowego lub parametrycznego.
Obliczenia metody uproszczonej bazują na tzw. metodzie izotermy 500°C, w której strefy przekroju betonowego, których temperatura przekroczyła 500°C traktowane są jako zdegradowane i z tego powodu są pomijane w obliczeniach nośności tego przekroju. Część rdzenia betonowego, w którym temperatura nie przekroczyła 500°C uwzględniania jest z pełną wytrzymałością i sztywnością jak dla normalnej temperatury. Natomiast sztywność i wytrzymałość stali zbrojeniowej jest redukowana na podstawie ich temperatury.

Możliwe komunikaty błędów i ostrzeżeń

Wymiarowanie na warunki pożarowe żelbetowych belek i słupów może być przeprowadzone w AxisVM, jeżeli:
1) wybrana kombinacja zawiera przypadek obciążenia typu pożar oraz
2) oddziaływanie od ognia zostało przypisane do jakiegokolwiek elementu w tym przypadku obciążeń.
Co więcej, jeżeli do różne oddziaływania od ognia zostały przypisane do elementu, to analiza w warunkach pożaru nie będzie mogła zostać przeprowadzona. Jeżeli choć jeden z tych warunków nie zostanie spełniony, wyświetlony zostanie komunikat błędu.

W przypadku słupów żelbetowych wymiarowanie na warunki pożarowe może zostać przeprowadzone tylko dla jego pierwotnego przekroju poprzecznego.
Do błędu doprowadzi również sytuacja, gdy wybrane kombinacje (obwiednie lub kombinacje decydujące) pochodzą z różnych sytuacji obliczeniowych (np. wyjątkowe, trwałe, sejsmiczne), ponieważ ich współczynniki częściowe są różne, a nie można wtedy prawidłowo wyznaczyć powierzchni interakcji N-M.

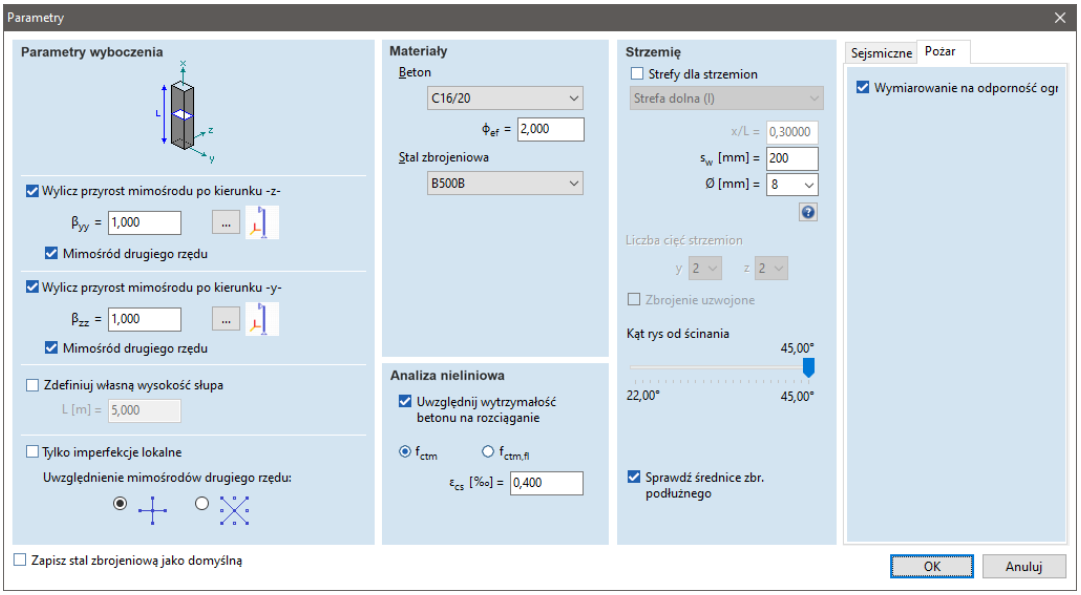
W przypadku belek żelbetowych występują również dodatkowe czynniki, przez które nie będzie można przeprowadzić wspomnianego wymiarowania. Są to:

- Odwrócona belka teowa: obciążenie typu pożar nie może zostać przypisanego do takiego przekroju poprzecznego;
- Belka teowa: jeżeli wybrano inną ekspozycję niż dla belki teowej w parametrach obciążenia pożarem;
- Belka teowa i odwrócona belka teowa: jeżeli wybrano w parametrach ich wymiarowania, wymiarowanie na zestaw sił wewnętrznych *Vy-Mz*.

Jeżeli program nie będzie mógł przeprowadzić procedury wymiarowania na warunki pożarowe, to usunie z listy kombinacje wyjątkowe z oddziaływaniem od pożaru i dopiero wtedy przeproadzi standardowe wymiarowanie słupa/belki dla pozostałych kombinacji decydujących lub pozostałych kombinacji w obwiedni.

Tak jak w przypadku elementów stalowych i drewnianych, opcja obliczeń na warunki pożarowe musi zostać włączona w oknie dialogowym z parametrami wymiarowania. Program wyświetli ostrzeżenia, jeżeli opcja ta nie została włączona, pomimo przypisania do elementu oddziaływania od pożaru.
Niektóre załączniki krajowe niez zezwalają na stosowanie załącznika D normy EN1992-1-2. Sprawdzenie warunków na ścinanie i skręcenie jest niedostępne dla tych załączników krajowych, ponieważ obliczenia dla ścinania i skręcania bazują na zaleceniach i wytycznych załącznika D. W takiej sytuacji program wyświetli ostrzeżenie. Należy zauważyć, że nie jest to jednoznaczne z faktem, że wpływ ścinania i skręcania jest nieistotny.

Słupy żelbetowe

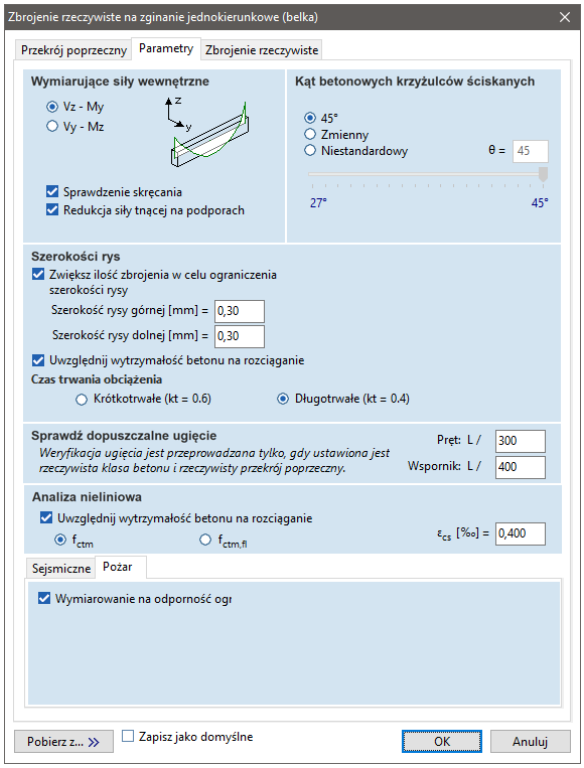


Weryfikacja zginania z lub bez siły osiowej

- Zalecenia i wytyczne Załącznika B normy EN1992-1-2 uwzględniane są przy obliczaniu pwoierzchni interakcji N_x-M_y-M_z.
- Mimośrody przypadkowe obliczane są zgodnie z EN 1992-1-1 oraz SIA 262, ale ze zredukowaną nośnością przekroju oraz sztywnością spowodowaną przez zniszczenie zewnętrznych warstw betonu oraz zmianę właściwości betonu i stali w podwyższonej temperaturze.

Sprawdzenie ścinania i skręcania

- Sprawdzenie ścinania i skręcania w podwyższonej temperaturze oparte jest na załączniku D normy EN1992-1-2
- Uwzględnia się podwyższoną temperaturę strzemion.
- Nośność na ścinanie i skręcanie bez zbrojenia na ścinanie jest pomijana w obliczeniach (EN1992-1-1: $V_{Rd,c}$ = 0 oraz $T_{Rd,c}$ = 0; SIA262: V_{Rd} = 0 oraz T_{Rd} = 0).



Weryfikacja na zginanie

- Zalecenia i wytyczne Załącznika B normy EN1992-1-2 uwzględniane są przy wymiarowaniu lub weryfikacji zbrojenia podłużnego
- Procedura wymiarowania oparta jest standardowych równaniach równowagi, ale z uwzględnieniem redukcji powierzchni przekroju poprzecznego. Uszkodzony w temperaturze ponad 500°C beton jest pomijany w obliczeniach. Na podstawie temperatury zbrojenia uwzględniana jest zmodyfikowana wytrzymałość każdego pręta zbrojeniowego.

Sprawdzenie ścinania i skręcania

- Sprawdzenie ścinania i skręcania w podwyższonej temperaturze oparte jest na załączniku D normy EN1992-1-2
- Uwzględnia się podwyższoną temperaturę strzemion.
- Nośność na ścinanie i skręcanie bez zbrojenia na ścinanie jest pomijana w obliczeniach (EN1992-1-1: $V_{Rd,c} = 0$ oraz $T_{Rd,c} = 0$; SIA262: $V_{Rd} = 0$ oraz $T_{Rd} = 0$).

6.5.5 Wymiarowanie słupa o profilu zespolonym (moduł RC2)

Weryfikacja nośności słupów o profilu zespolonym poddanych ściskaniu/rozciąganiu oraz dwukierunkowemu zginaniu może zostać przeprowadzona zgodnie z poniższymi normami:

Eurokod 4: EN 1994-1-1:2010
SIA : SIA 264:2014

W rozdziale *3.1.16.1 Edytor przekrojów poprzecznych* pokazane zostało, jak stworzyć w programie zespolony przekrój poprzeczny. Wymiarowanie w module RC2 takich przekrojów zgodnie z normami jest możliwe po spełnieniu poniższych warunków:

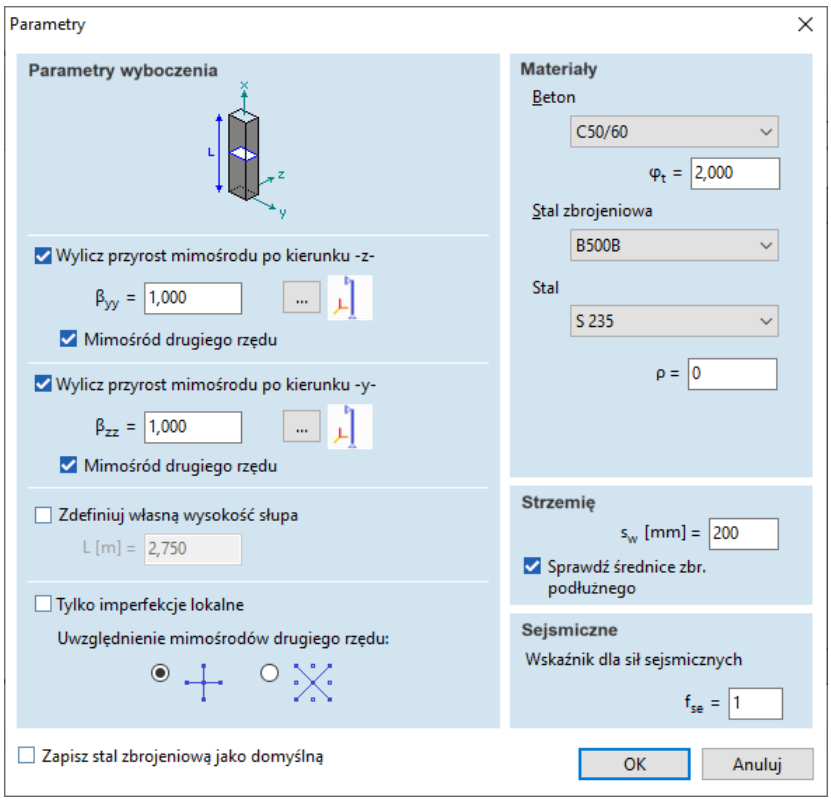
- klasa stali przypisana do profilu mieści się w zakresie S235 do S460;
- klasa betonu mieści się w zakresie C20/25 do C50/60;
- słup jest wyodrębniony i jest częścią konstrukcji ramowej, gdzie pozostałe elementy konstrukcyjne są zespolone lub stalowe;
- przekrój poprzeczny słupa jest bisymetryczny

Należy wspomnieć o tym, że zarówno norma Eurokod jak i SIA określa dalsze warunki, które powinny zostać zweryfikowane przez projektanta. Program wyświetla ostrzeżenia w następujących przypadkach:

- przypisana klasa stali lub betonu jest spoza dopuszczalnego zakresu
- wpływ lokalnego wyboczenia profilu nie może zostać pominięty (weryfikacja przeprowadzana przez program nie uwzględnia lokalnych wyboczeń profilu na długości elementu);
- stopień udziału stali w nośności (δ) jest poza dopuszczalnym zakresem.

Kroki weryfikacji zespolonych słupów są bardzo podobne lub miejscami identyczne z krokami weryfikacji standardowego przekroju słupa żelbetowego. Z tego powodu kroki opisane w rozdziale *6.5.3 Wymiarowanie słupa żelbetowego (moduł RC2)* nie są tutaj powtórzone, a jedynie zwrócono uwagę na różnice.

Parametry

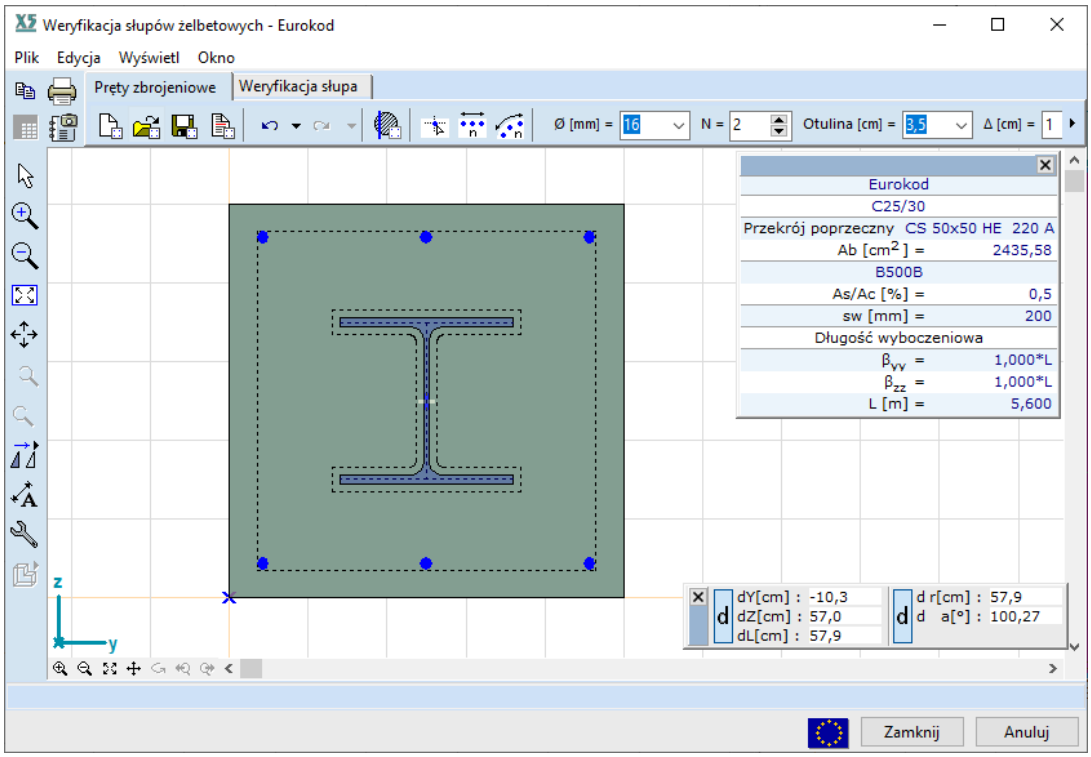


Okno to stosowane jest do przypisania parametrów do wymiarowania podobnie jak w przypadku standardowego słupa żelbetowego. Większość parametrów opisano w rozdziale *6.5.3.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste słupów (zginanie dwukierunkowe)*. Dodatkowo pojawia się tutaj parametr klasy stali dla profilu stalowego oraz współczynnik redukcyjny ρ, który uwzględnia wpływ siły tnącej na nośność przy zginaniu ze ściskaniem. Wspomniany współczynnik redukcyjny jest stosowany, gdy siła tnąca w profilu stalowym $V_{a,Ed}$ przekroczy 50% jego obliczeniowej nośności na ścinanie $V_{pl,a,Rd}$. Współczynnik ten redukuje granicę plastyczności w półce stalowego profilu:

$$(\mathbf{1}-\boldsymbol{\rho})\cdot \boldsymbol{f_{yd}}$$

Definicja zbrojenia

Zbrojenie w przekroju poprzecznym definiuje się w poniższym oknie i jest takie samo jak dla standardowego przekroju żelbetowego (**patrz...** *6.5.3.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste słupów (zginanie dwukierunkowe)*). Dla przekrojów zespolonych dodatkowo należy określić otulinę betonową profilu stalowego (Δ), która jest niezależna od otuliny zbrojenia.



Weryfikacja słupa

Program przeprowadza weryfikację słupa na dwukierunkowe zginanie z/bez siły podłużnej na podstawie zadanego przekroju poprzecznego, parametrów do wymiarowania i zadanego zbrojenia. Szczegóły analizy wykorzystania na zginanie wyjaśnione zostały w następnym rozdziale. Graficzna interpretacja wyników i tabele z wynikami zostały omówione w rozdziale *6.5.3 Wymiarowanie słupa żelbetowego (moduł RC2)*

Moduł RC8-B nie umożliwia wymiarowania na warunki pożarowe słupów zespolonych.

6.5.5.1 Weryfikacja słupów zespolonych wg Eurokodu i SIA

Wykorzystanie słupa poddanego jednokierunkowemu zginaniu momentami wokół osi y-y oraz z-z są wyznaczane w następujący sposób:

$$\eta_y = \frac{M_{y,Ed}}{\alpha_{M,y} * M_{y,N,Rd}} \leq 1.0$$

$$\eta_z = \frac{M_{z,Ed}}{\alpha_{M,z} * M_{z,N,Rd}} \leq 1.0$$

gdzie

- $M_{y,N,Rd}$ oraz $M_{z,N,Rd}$ to obliczeniowe wartości nośności na zginanie przekroju zespolonego uwzględniające ściskającą siłę podłużną,
- $\alpha_{M,y}$ oraz $\alpha_{M,z}$ to współczynniki odnoszące się do zginania słupa zespolonego odpowiednio wokół osi y-y oraz z-z (S235 – S355 α_M=0.9; S420 – S440 α_M=0.8).

Krzywe interakcji dla ściskania połączonego z jednokierunkowym zginaniem wokół osi y-y oraz z-z wyznaczane są oddzielnie. Stopień wykorzystania słupa poddanego dwukierunkowemu zginaniu obliczany jest ze wzoru:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,N,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,N,Rd}} \leq 1.0$$

☞ **Jeżeli w oknie z wynikami pojawi się symbol ??? zamiast wartości stopnia wykorzystania, to oznacza to, że stopień wykorzystania nie może zostać określony. W większości takich przypadków jest to spowodowane zbyt dużą siłą podłużną, która przekracza nośność na ściskanie/rozciąganie przekroju poprzecznego. To powoduje, że nie można wyznaczyć nośności na zginanie słupa.**

Obliczeniowe wartości momentów zginających

Momenty zginające $M_{y,Ed}$ oraz $M_{z,Ed}$ zawierają momenty zginające pierwszego rzędu, momenty zginające od imperfekcji oraz efekty drugiego rzędu. Efekty drugiego rzędu uwzględniane są za pomocą mnożnika *k*, który służy do przemnożenia sumy momentów zginających pierwszego rzędu i momentów od imperfekcji:

$$\boldsymbol{k = \frac{\beta}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,eff}}} \geq 1.0}$$

gdzie

- β to współczynnik momentu ekwiwalentnego,
- $N_{cr,eff}$ to krytyczna siła normalna dla odpowiadającej osi i odnosząca się do efektywnej sztywności giętnej obliczonej wg:

$$\boldsymbol{N_{cr,eff} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff,II}}{L_{cr}^2}}$$

$$\boldsymbol{(EI)_{eff,II} = 0.9 \cdot \left(E_a I_a + E_s I_s + 0.5 \cdot E_{cm} \frac{1}{1 + \varphi_t} I_c \right)}$$

gdzie

- $E_a I_a$ to sztywność giętna profilu stalowego,
- $E_s I_s$ to sztywność giętna zbrojenia,
- E_{cm}, φ oraz I_c to odpowiednio sieczny moduł sprężystości betonu, współczynnik pełzania oraz moment bezwładności niezarysowanego przekroju betonowego.

6.5.6 Nieliniowa analiza dla żelbetowych płyt i powłok

W przypadku liniowej analizy statycznej, ugięcie płyt obliczane jest zgodnie z teorią sprężystości. W rzeczywistości jednak odpowiedź płyt żelbetowych jest nieliniowa ze względu na dwa przeciwne oddziaływania.
Rzeczywiste zbrojenie zwiększa wytrzymałość na zginanie, ale zarysowania ją zmniejszają.
Nieliniowa analiza ugięcia płyt żelbetowych uwzględnia te dwa efekty, biorąc pod uwagę zbrojenie rzeczywiste lub zbrojenie wymagane.

☞ **Przedstawiona poniżej metoda uwzględniająca nieliniową charakterystykę materiału typu żelbet dla elementów powierzchniowych w statyce nieliniowej może zostać wykorzystana do obliczenia ugięcia przy weryfikacji SGU. Zastosowanie takiego modelu całkowania po włóknach przekroju do odwzorowania nieliniowości materiałowej nie jest zalecane do weryfikacji SGN.**
Ważny jest również fakt, że wyniki ze statycznej analizy nieliniowej nie mogą także zastąpić analizy typu pushover, ponieważ przedstawione modele materiałów nie oddają cyklicznego osłabiania wytrzymałości / sztywności dla betonu i stali, wyboczenia prętów zbrojeniowych itd. (patrz... *4.10.25 Obciążenie „pushover" (moduł SE2)*)

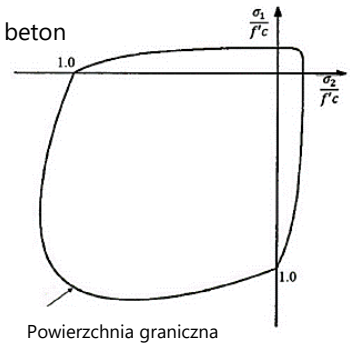
Normy projektowe

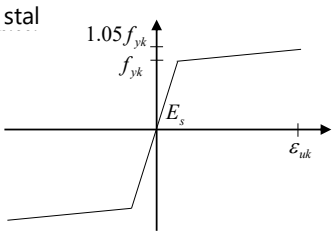
MSz:	MSz 15022-1:1986
Eurokod 2:	EN 1992-1-1:2010
SIA:	SIA 262:2013

Obliczenia

Nieliniowość ε-N; κ -M

Siły wewnętrzne odpowiadające odkształceniom obliczane są przez numeryczne całkowanie naprężeń „włókien" przekroju w punktach całkowania Gaussa na bazie odkształceń (ε_x, ε_y, ε_{xy}) i krzywizn (κ_x, κ_y, κ_{xy}). Betonowy przekrój dzielony jest na pewną liczbę „włókien" (w tym przypadku warstw), a dla prętów zbrojeniowych przypisane są niezależne „włókna", które mają kształt koła. Naprężenia w każdym „włóknie" wyznaczane są na bazie odkształceń w jego środku i zgodnie z nieliniowym modelem materiału beton/stal. W celu uniknięcia potencjalnych problemów ze zbieżnością, model materiału dla betonu został delikatnie zmodyfikowany w jego strefie rozciąganej (podobnie jak dla belek i słupów).





Nieliniowość ε-N (Ściana) W tym przypadku nieliniowa odpowiedź jest uwzględniana tylko w połączeniu między odkształceniami normalnymi i siłami tarczowymi. Momenty zginające są obliczane jako sprężyste i pozostają bez wpływu od sił tarczowych.

Nieliniowość κ -M (Płyta) W tym przypadku nieliniowa odpowiedź jest uwzględniana tylko w połączeniu między krzywizną odkształcenia i momentami zginającymi. Momenty zginające są niezależnie całkowane po kierunku –x- oraz –y-. Wpływ sił tarczowych na momenty zginające jest uwzględniany, ale same siły tarczowe są obliczane jako sprężyste.

☞ **Jeżeli płyta żelbetowa podlega znacznemu skręcaniu, to analiza nieliniowa oparta o κ_x -M_x oraz κ_y -M_y może niedoszacowywać ugięcia. W takim przypadku zaleca się stosować pierwszy, kompleksowy model ε-N; κ –M, który pozwala odwzorować nieliniową odpowiedź elementu w odniesieniu do sześciu składowych odkształcenia i sił wewn.**
W celu wyznaczenia bardziej realistycznych deformacji w przypadku nieliniowego modelu κ –M, przyjmuje się zredukowaną sztywność na skręcanie w macierzy sztywności, gdy element powierzchniowy jest zarysowany w obu głównych kierunkach -x- oraz -y-. Jeżeli w przekroju wysokość strefy zarysowanej jest znaczna (>0.5H) to sztywność na skręcanie jest przyjmowana na poziomie 15% pierwotnej wartości stanu sprężystego. Pomiędzy tym stanem a stanem niezarysowanym stosuje się interpolację liniową.

☞ **Nieliniowa analiza elementów powierzchniowych ze zbrojeniem ukośnym nie jest możliwa. Powierzchnie te są traktowane jako elementy z liniowym modelem materiału bez uwzględniania zarysowania i wpływu zbrojenia. Moduł Young'a jest wyznaczany z uwzględnieniem współczynnika pełzania.**

Powierzchnia zbrojenia Zbrojenie rzeczywiste lub wymagane (obliczone) może zostać uwzględnione w analizie nieliniowej, poprzez kliknięcie opcji *Uwzględnij zbrojenie w obliczeniach* w oknie dialogowym *Analizy nieliniowej* (**patrz...** *5.1 Analiza statyczna*). Zbieżność takich nieliniowych obliczeń jest bardzo wrażliwa na ilość zbrojenia. W celu uniknięcia ewentualnych problemów ze zbieżnością, AxisVM stosuje minimalne zbrojenie określone zgodnie z normą projektową, gdy zbrojenie rzeczywiste (górne lub dolne) jest zdefiniowane tylko w jednym kierunku. Lepsze warunki zbieżności zachodzą z reguły dla zbrojenia rzeczywistego, a gorsze dla zbrojenia wymaganego.
Zaleca się stosowanie w oknie dialogowym *Parametry zbrojenia powierzchniowego* opcji *Uwzględnij wymagane zbrojenie minimalne* (**patrz...** *6.5.1.1 Wymiarowanie zbrojenia (moduł RC1)*).

Oczka siatki wewnątrz konturu słupa Włączanie opcji *Dopasuj siatkę do głowicy słupa* w parametrach siatkowania powoduje, że nieliniowa odpowiedź elementów skończonych wewnątrz konturu słupa jest pomijana, w celu uniknięcia problemów ze zbieżnością.

Pełzanie i skurcz Uwzględnienie pełzania i skurczu w statycznej analizie nieliniowej, może być uwzględnione podczas ustawiania parametrów tej analizy (**patrz...** *5.1 Analiza statyczna*).
Pełzanie jest uwzględniane poprzez modyfikację modułu Young'a.
Skurcz jest rozpatrywany tylko przy deformacjach giętnych.

Nieliniowość ε-N; κ -M Dwie krzywizny (κ_x, κ_y) wywołane skurczem i obliczone na podstawie rozkładu i ilości zbrojenia są dodawane do odkształcenia obliczonego na podstawie podanego odkształcenia skurczowego.
Patrz... *6.5.1.1 Wymiarowanie zbrojenia (moduł RC1)*

Nieliniowość ε-N (Ściana) Zbrojenie ścian jest zwykle symetryczne, a zatem krzywizny od skurczu nie są w takim przypadku brane pod uwagę.

Nieliniowość κ -M (Płyta) Dwie krzywizny (κ_x, κ_y) wywołane skurczem i obliczone na podstawie rozkładu i ilości zbrojenia są dodawane do odkształcenia obliczonego na podstawie podanego odkształcenia skurczowego.

Ostrzeżenia

Po wykonaniu analizy nieliniowej ze zbrojeniem rzeczywistym mogą pojawić się następujące ostrzeżenia:

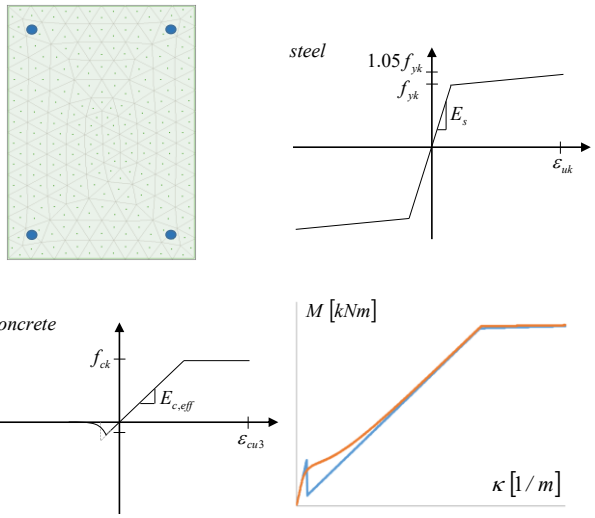
- Siła normalna przekracza wytrzymałość
- Odkształcenie rzeczywiste przekracza odkształcenie graniczne
  (Uwaga: W przypadku ściskania zbrojenia lub betonu)

6.5.7 Nieliniowa analiza żelbetowych belek i słupów

W przypadku nieliniowej analizy statycznej może zostać uwzględnione w obliczeniach zbrojenie rzeczywiste, parametry betonu oraz nieliniowa odpowiedź stali i betonu *(**Patrz...** 5.1 Analiza statyczna) dla* następujących norm

Eurokod 2: *EN 1992-1-1:2010*
SIA: *SIA 262:2013*

Siły wewnętrzne zgodne z odkształceniami obliczane są przez numeryczne scałkowanie naprężeń we „włóknach" przekroju w punktach całkowania Gaussa na podstawie odkształceń normalnych ε, krzywizny κ_y oraz κ_z. Przekrój betonowy dzielony jest na trójkątne „włókna", a zbrojenie przypisane jest do niezależnych elementów okrągłych. Naprężenia we włóknach obliczane są na podstawie naprężenia w ich środku i bazują na nieliniowym modelu materiału dla betonu i stali. W celu uniknięcia problemów ze zbieżnością, modelowy wykres dla materiału typu beton został zmieniony po stronie rozciąganej. Różnice pomiędzy wbudowanymi dla normy EC i SIA modelami materiałów zachodzą tylko w wytrzymałości i odkształceniach granicznych. Kształt ich charakterystyki jest taki sam.



W celu uniknięcia problemów ze zbieżnością, modelowy wykres dla materiału typu beton został zmieniony po stronie rozciąganej. Z przeprowadzonych testów weryfikacyjnych wynika, że obliczone przemieszczenia są bardzo podobne do wzoru normowego. Wartość błędu była poniżej 5% w każdym z badanych przypadków.

Naprężenia rozciągające w betonie obliczane są na podstawie poniższego wzoru, który pochodzi z uproszczonej metody z rozdziału 7.4.3 normy EN 1992-1-1:

$$\sigma = E\varepsilon(1-\zeta)$$

$$\zeta = \min\left[\max\left[1-\alpha\beta\left(\frac{f_t}{E\varepsilon}\right)^{\gamma};0\right];1\right]$$

Współczynniki α z γ (jako funkcja stosunku modułów Younga betonu i stali oraz jako funkcja stopnia zbrojenia) są dobrane zgodnie z wynikami badania parametrycznego w celu obliczenia odkształceń na poziomie zgodnym z obliczeniami z rozdziału 7.4.3 normy EN 1992-1-1.

☞ **β jest współczynnikiem uwzględniającym wpływ trwania obciążenia. Zgodnie z normą EN 1992-1-1, współczynnik β może wynosić 0.5 lub 1.0 (odpowiednio dla obciążeń długotrwałych i krótkotrwałych).**
Jeżeli pełzanie jest uwzględniane w analizie nieliniowej, to β=0.5. Jeżeli pełzanie nie jest uwzględniane w analizie nieliniowej, to można użyć zarówno β=0.5 jak i β=1.0. Wartości tego współczynnika w tym przypadku, może zostać określone w oknie dialogowym Normy projektowe (patrz... 3.3.7 Normy projektowe).

Pełzanie i skurcz

Uwzględnienie pełzania i skurczu betonu może zostać ustawione po kliknięciu w ikonę *Analiza nieliniowa* na zakładce *Statyka* (**patrz...** *5.1 Analiza statyczna*).
Pełzanie jest brane pod uwagę poprzez modyfikację modułu Younga materiału typu beton.
Dla skurczu dwie dodatkowe krzywizny (κ_x, κ_y) wywołane skurczem i obliczone na podstawie rozkładu i ilości zbrojenia są dodawane do odkształcenia obliczonego na podstawie podanego odkształcenia skurczowego.
Patrz... *6.5.2.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste belek (zginanie jednokierunkowe)*

☞ **Celem uwzględnienia zbrojenia rzeczywistego w analizie nieliniowej jest bardziej dokładne wyznaczenie ugięcia dla żelbetowych elementów prętowych w SGU przy uwzględnieniu nieliniowej odpowiedzi materiału i konstrukcji.**
Zastosowanie takiego modelu całkowania po włóknach przekroju do odwzorowania nieliniowości materiałowej nie jest zalecane do weryfikacji SGN.
Ważny jest również fakt, że wyniki ze statycznej analizy nieliniowej nie mogą także zastąpić analizy typu pushover, ponieważ przedstawione modele materiałów nie oddają cyklicznego osłabiania wytrzymałości / sztywności dla betonu i stali, wyboczenia prętów zbrojeniowych itd. (patrz... *4.10.25 Obciążenie „pushover" (moduł SE2)***)**

☞ **Nieliniowe właściwości elementów w analizie nie są uwzględniane w przypadku przekrojów zespolonych. Elementy takie traktowane są jako elementy o charakterystyce liniowej. Aby uwzględnić wpływ pełzania dla przekroju zespolonego, należy przypisać do niego materiał typu beton o odpowiednio zredukowanej wartości modułu Younga.**

Po ukończeniu obliczeń analizy nieliniowej ze zbrojeniem rzeczywistym, mogą pojawić się następujące błędy:

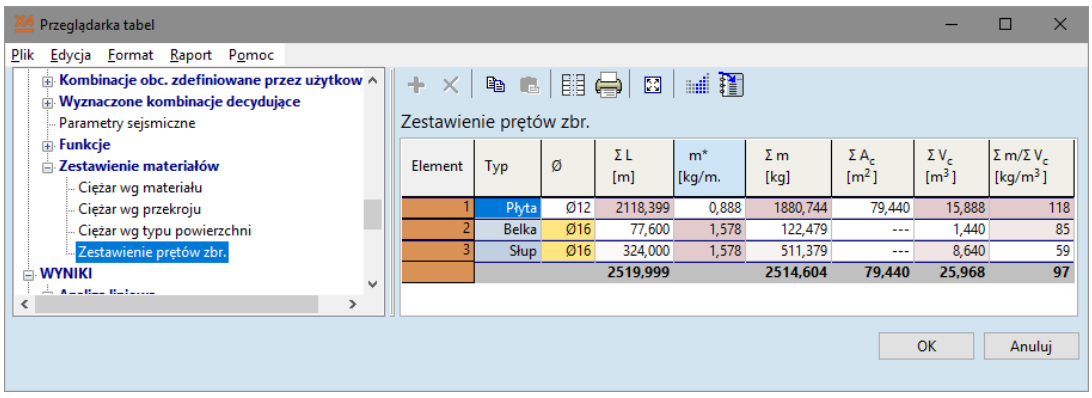
1. *„Przyrost X, Pręt Y: Siła normalna przekracza nośność na rozciąganie/ściskanie"*
   Siła normalna przekracza obliczeniową nośność na rozciąganie/ściskanie elementów obciążonych osiowo.
2. *„Przyrost X, Pręt Y: Moment zginający przekracza nośność na zginanie"*
   Moment zginający w przyroście X przekracza nośność na zginanie w niektórych przekrojach elementu.
3. *„Przyrost X, Pręt Y: Rozciągane zbrojenie podłużne jest niewystarczające"*
   Ilość zbrojenia podłużnego po stronie rozciąganej jest mniejsza niż minimalna wartość wg EC2. Z tego powodu spodziewane jest kruche pęknięcie z powodu nagłego i znacznego zarysowania, które może prowadzić na modelu do problemów ze zbieżnością.
4. *„Przyrost X, Pręt Y: Odkształcenie rzeczywiste przekracza wartość graniczną"*
   Odkształcenie w osi zbrojenia lub w skrajnym włóknie ściskanym przekracza wartość graniczną.

Komunikaty te pomagają wykryć i poprawić błędy powstałe podczas definiowania zbrojenia rzeczywistego.

6.5.8 Zestawienie zbrojenia rzeczywistego

Zestawienie prętów zbr.

Rzeczywiste (zastosowane) zbrojenie w elementach powierzchniowy, belkach i słupach można sprawdzić wyświetlając *Zestawienie prętów zbr.* w sekcji *Zestawienie materiałów* w *Przeglądarce tabel*. Ta tabela zawiera następujące wartości podane dla poszczególnych średnic prętów: całkowitą długość, masę prętów zbrojeniowych, całkowitą powierzchnię i objętość betonu jaką zajmuje zbrojenie.



6.5.9 Wymiarowanie fundamentów (moduł RC4)

6.5.9.1 Wymiarowanie stóp fundamentowych

AxisVM może określić wymaganą wielkość i zbrojenie prostokątnych i okrągłych stóp fundamentowych (z cokołem lub bez) i zweryfikować fundament ze względu na jego przesuw i przebicie zgodnie z Eurokodem 7 i MSZ. Osiadanie fundamentu jest również określane.

Wielkość fundamentu

Wielkość fundamentu można wprowadzić samemu lub pozwolić, aby AxisVM ją obliczył. Jeżeli program ma obliczyć wielkość, należy określić maksymalną wartość wymiarów.
Korzystając z profilu gruntowego i sił wewnętrznych, moduł określa wymaganą wielkość fundamentu w procesie iteracyjnym. Następnie oblicza efektywne pole powierzchni fundamentu dla przypadków i kombinacji obciążeń, wymiarujące siły, momenty i nośności oraz ustala osiadanie (dla przypadków obciążeń i kombinacji stanów granicznych użytkowalności [SGU]), stopnie wykorzystania i zbrojenie na ścinanie, jeżeli jest wymagane. Moduł weryfikuje także stabilność fundamentu.
Boki odsadzki nie mogą być większe niż poszczególne boki fundamentu.

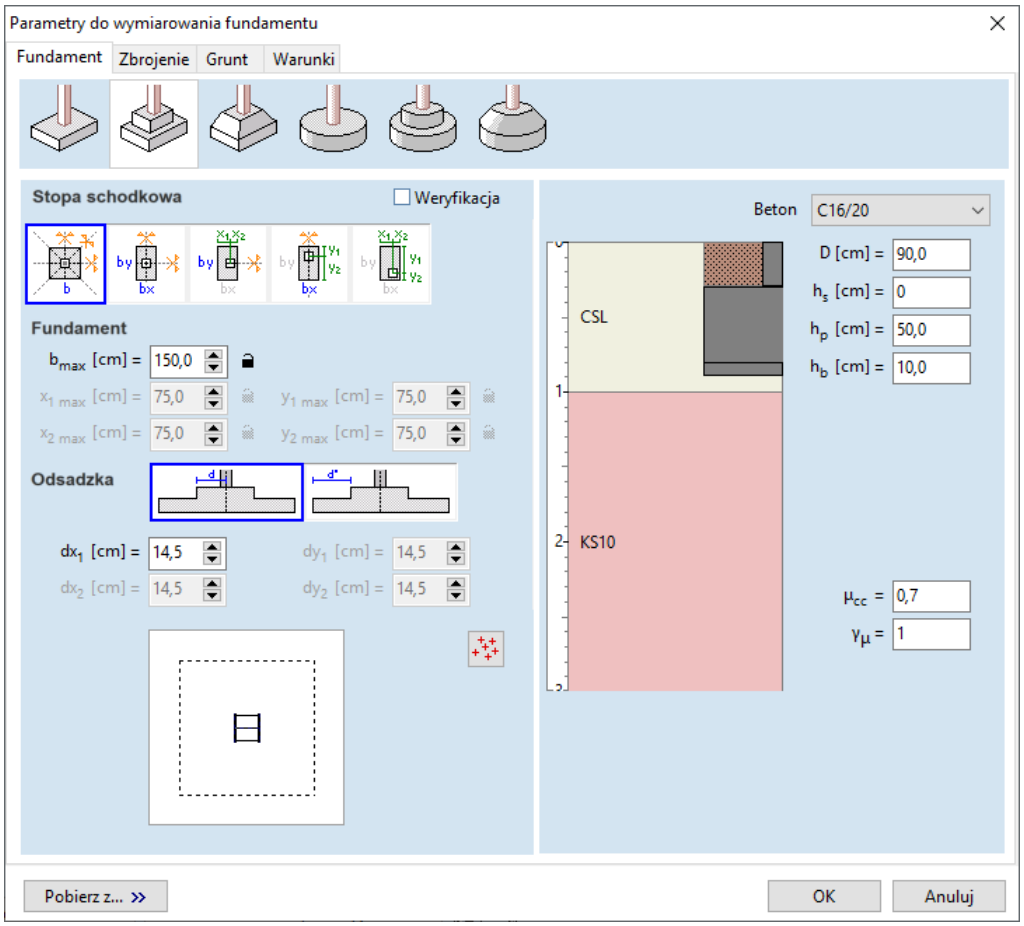
☞ **Układ współrzędnych wykorzystywany w obliczeniach fundamentów jest taki sam jak w układ współrzędnych podpór, jednak mimośrody obliczane są względem środka podstawy fundamentu.**

Parametry do wymiarowania fundamentu

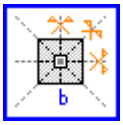
Należy kliknąć na ikonę *Wymiarowanie fundamentu* i wybrać jedną lub kilka podpór węzłowych ze słupem pionowym lub pochyłym (jeżeli wybrano podpory wcześniej, okno dialogowe pojawi się za pierwszym kliknięciem).
Parametry wymiarowania fundamentu należy ustawić w oknie dialogowym.

Fundament

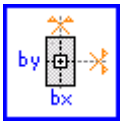
W zakładce *Fundament* należy wybrać typ fundamentu (prosty / schodkowy / trapezowy oraz prostokątny lub okrągły) oraz ustawić parametry geometryczne, współczynnik tarcia między fundamentem a podbetonem oraz współczynnik częściowy dla współczynnika tarcia.



Parametry stóp prostokątnych:



Stopa kwadratowa
b to długość boku,
słup jest usytuowany w środku,
należy wprowadzić wartość *b* lub jej górną granicę



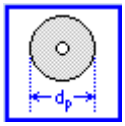
Stopa prostokątna
bx i *by* to boki,
słup jest usytuowany w środku,
należy wprowadzić wartości *bx* i *by* lub ich górną granicę

Pojedyncza mimośrodowo stopa prostokątna
słup jest usytuowany mimośrodowo w kierunku *x*, osiowo w kierunku *y*
x_1 i x_2 to odległości osi słupa od krawędzi fundamentu
należy wprowadzić wartości x_1, x_2 i *by* lub ich górną granicę

Pojedyncza mimośrodowo stopa prostokątna
słup jest usytuowany mimośrodowo w kierunku *y*, osiowo w kierunku *x*
y_1 i y_2 to odległości osi słupa od krawędzi fundamentu
należy wprowadzić wartości y_1, y_2 i *bx* lub ich górną granicę

Podwójna mimośrodowo stopa prostokątna
słup jest usytuowany mimośrodowo w obu kierunkach
x_1 i x_2 to odległości osi słupa od krawędzi fundamentu w kierunku *x*
y_1 i y_2 to odległości osi słupa od krawędzi fundamentu w kierunku *y*
należy wprowadzić wartości x_1, x_2, y_1, y_2 lub ich górną granicę

Parametry stóp kołowych:

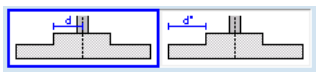


Stopa kołowa
słup ustawiony jest współśrodkowo
d_p to średnica stopy
Należy wprowadzić wartość d_p lub jej graniczną wartość ($d_{p,max}$)

Jeżeli przycisk blokady obok pola edycji jest wciśnięty (zablokowany), wprowadzona wartość jest zadana (jest ona weryfikowana). Jeżeli przycisk blokady nie jest wciśnięty (otwarty), to wprowadzona wartość jest wartością graniczną (wymagana, dokładna wartość będzie obliczona przez program). Jeżeli zaznaczona jest opcja *Weryfikacja*, wszystkie wartości zostaną zablokowane i nie będą mogły być odblokowane, dopóki opcja *Weryfikacja* nie zostanie wyłączona.

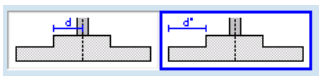
Stopy schodkowe i trapezowe

Istnieją dwie metody definicji schodka



dx_1 oraz dx_2 to odległość krawędzi odsadzki **do osi słupa** po kierunku *-x-*.
dy_1 oraz dy_2 na tej samej zasadzie odnoszą się do kierunku *-y-*.

Dla stóp kołowych: d_s jest średnicą współosiowej odsadzki cylindrycznej lub górnej podstawy ściętego stożka. Wartość promienia $d_s / 2$ musi zostać zdefiniowana.



dx^*_1 oraz dx^*_2 to odległość krawędzi odsadzki **do obwodu stopy** po kierunku *-x-*.
dy^*_1 oraz dy^*_2 na tej samej zasadzie odnoszą się do kierunku *-y-*.

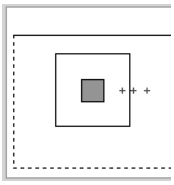
Dla stóp kołowych: d_s jest średnicą współosiowej odsadzki cylindrycznej lub górnej podstawy ściętego stożka. Wartość $d^*_s / 2 = (d_p - d_s) / 2$ musi zostać zdefiniowana.

W pierwszym przypadku wymiar schodka jest zawsze stały. W drugim przypadku będzie się on zmieniał wraz ze zmianami wielkości stopy, jeżeli wartość ta nie została zablokowana.

Pozostałe parametry:

Beton	Materiał przypisany do fundamentu
t	głębokość fundamentu (odległość między spodem podstawy i poziomem 0)
h_s	wysokość odsadzki (wysokość odsadzki lub ostrosłupa ściętego)
h_p	grubość płyty podstawy
h_b	grubość podbetonu
μ_{cc}	współczynnik tarcia między fundamentem a podbetonem
γ_μ	współczynnik częściowy dla wsp. tarcia

Wskaźnik dla sił sejsmicznych można znaleźć w rozdziale *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1).*

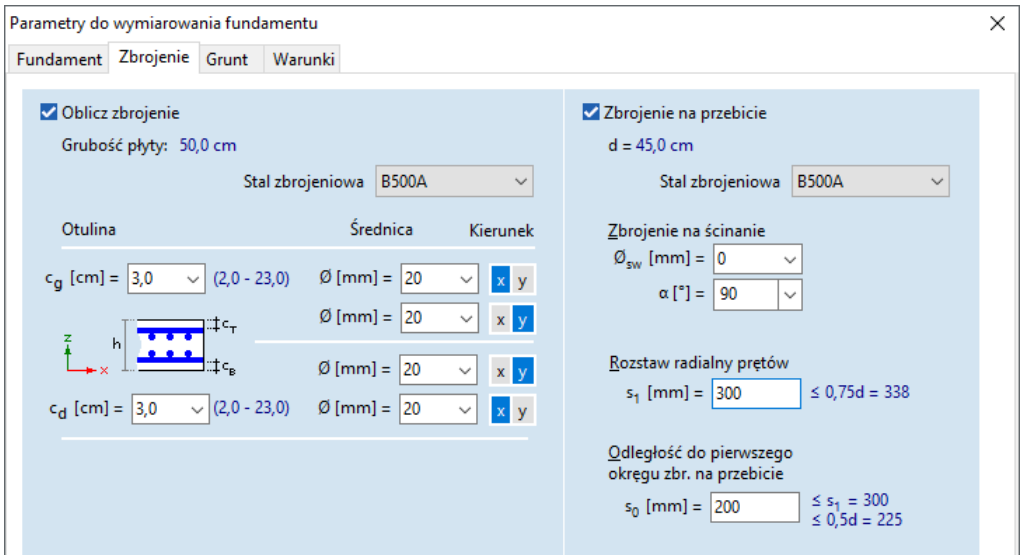


Pod polami edycyjnymi wyświetlany jest w widoku z góry fundament i słup. Zadane wielkości rysowane są za pomocą linii ciągłych, a wartości graniczne za pomocą linii przerywanych. Siły przedstawione są jako czerwone krzyżyki, umieszczone zgodnie z ich mimośrodami. Ten szkic służy tylko celom orientacyjnym, ponieważ rzeczywiste mimośrody obliczane są z uwzględnieniem ciężaru własnego fundamentu oraz gruntu zasypowego, redukujących mimośród.

Jeżeli przycisk *Pokaż wszystkie siły w podporze* jest wciśnięty, widok jest przeskalowany, aby wyświetlić wszystkie krzyżyki sił. Jeżeli nie wciśnięto przycisku, wyświetlone zostaną tylko krzyżyki znajdujące się w prostokątnym obrysie fundamentu. Siły oddziałują na wierzch fundamentu i nie zawierają ciężaru fundamentu, zasypki i podbetonu.

Zbrojenie

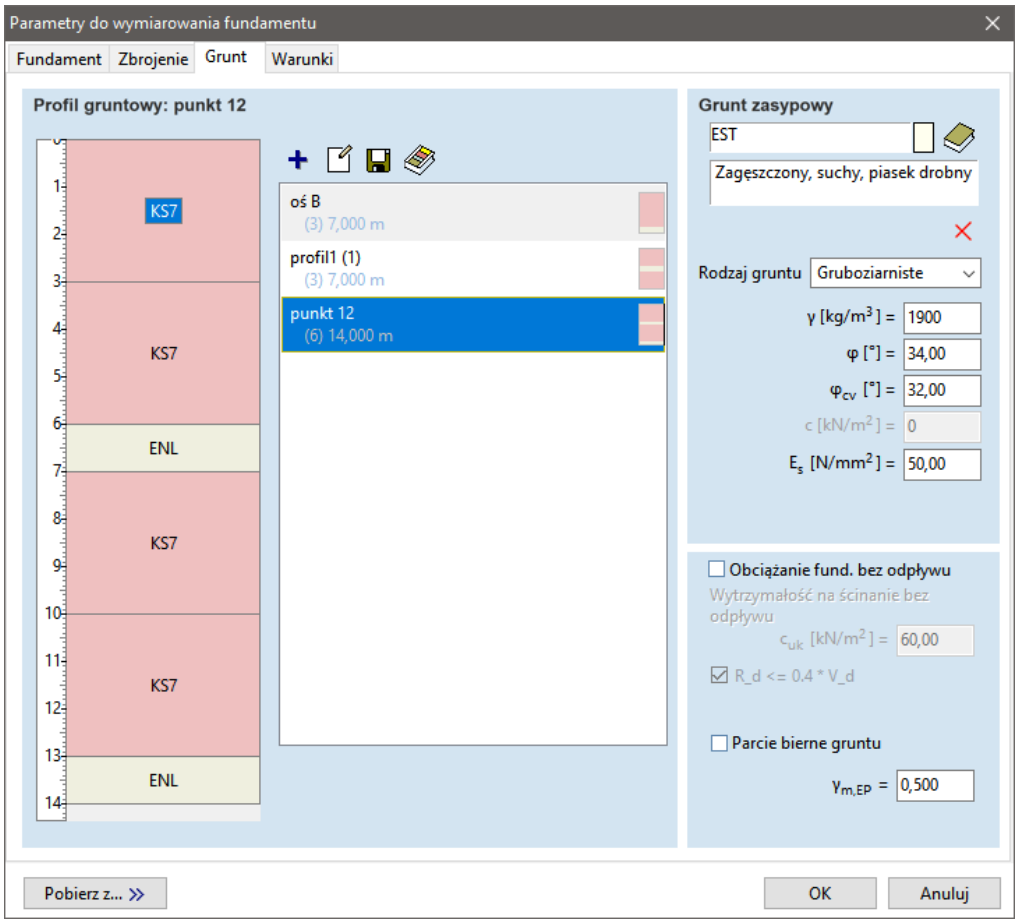
W zakładce *Zbrojenie* można włączyć obliczanie zbrojenia.



Należy określić klasę stali zbrojeniowej, otulinę górną i dolną c_T i c_B (najmniejsza odległość od powierzchni zbrojenia do powierzchni betonu).
Dwa górne wiersze pod *Średnicą* i *Kierunkiem* odnoszą się do górnych prętów (pierwszy rząd bliżej wierzchu płyty), a dolne dwa wiersze do prętów dolnych (czwarty rząd bliżej spodu płyty). Aktualny układ zbrojenia jest odpowiednio wyświetlany w lokalnym widoku *x-z*.
Obliczenie Zbrojenia na przebicie może zostać włączone tylko dla prostego typu stopy fundamentowej (nie schodkowej ani trapezowej). Opis parametrów w rozdziale *6.5.1.5 Sprawdzenie przebicia (moduł RC3).*

Grunt

W zakładce *Grunt* należy określić profil gruntowy i właściwości gruntu zasypowego. Profil gruntowy (jako podłoże uwarstwione) może zostać wybrany z listy w środkowej części okna, która zawiera profile zdefiniowane na bieżącym modelu, wczytane z biblioteki niezależnej od bieżącego zadania (*6.5.9.4 Biblioteka profili gruntowych*) lub utworzonej od podstaw (*6.5.9.3 Edytor profili gruntowych*).
Wybrany przez użytkownika profil gruntowy wyświetlany jest w lewej części okna dialogowego.
Właściwości gruntu zasypowego wyświetlane są w prawej części okna, w części *Grunt zasypowy*.



Utwórz nowy profil gruntowy
Otwiera okno *Edytora profili grutnowych*, gdzie można wprowadzić parametry podłoża uwarstwionego i dodać tak utworzony profil do profili dostępnych w bieżącym modelu.

Edytuj profil gruntowy
Wyświetla okno *Edytora profili gruntowych* z bieżącym profilem do edycji. Istniejący profil może zostać nadpisany lub jako zmodyfikowany profil może zostać dodany do listy.

Zapisz do biblioteki wybrane profile grutnowe
Wybrany profil zostaje zapisany do *biblioteki profili gruntowych* niezależnej od modelu (dostępnej po otwarciu pliku z innym zadaniem). Jeżeli w bibliotece istnieje już profil o takiej samej nazwie, to do tej nazwy zostanie dodany kolejny numer: (1), (2) itd.

Biblioteka profili gruntowych
Biblioteka ta dostępna jest po otwarciu dowolnego innego modelu AxisVM. W oknie biblioteki można zaznaczyć i wczytać za jednym razem wiele profili grutnowych.

Profile gruntowe z bieżącego zadania mogą zostać usunięte w *Przeglądarce tabel* po kliknięciu tabeli *DANE MODELU / Profile gruntowe*. Ponieważ usunięcie profilu gruntowego może usunąć również sprężynę Winkler i/lub zdefiniowany fundament, to nazwa profilu użytego na modelu jest oznaczona pogrubioną czcionką w tej tabeli. Polecenie usunięcia używanego profilu spowoduje wyświetlenie ostrzeżenia.

Grunt zasypowy

Służy do wprowadzenia parametrów zasypki.
Otwiera bazę gruntów, aby wskazać predefiniowany grunt.

Obciążanie fund. bez odpływu

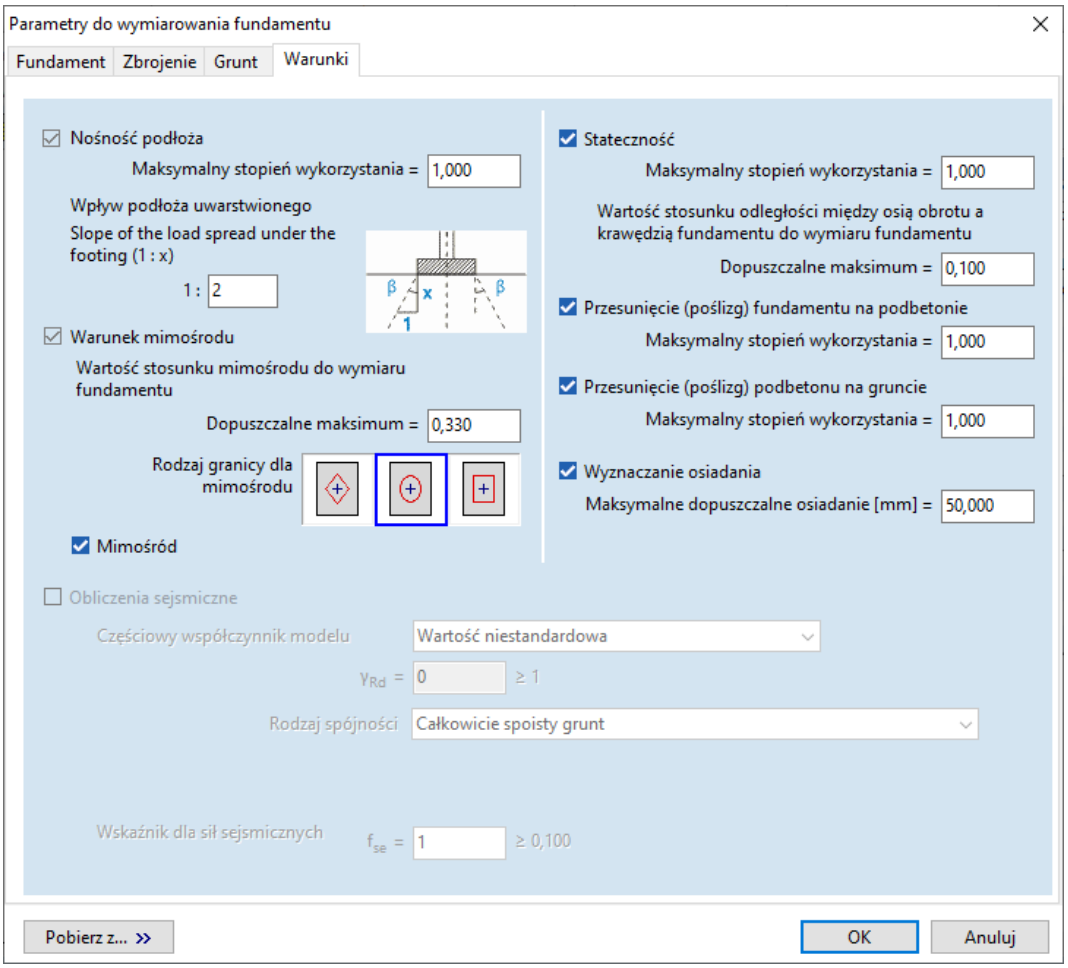
Pod obciążeniem fundamentu w warunkach bez odpływu nie dochodzi do zmiany objętości, ponieważ woda nie ma możliwości odpływu. Grunt jest w pełni przesiąknięty, wytrzymałość na ścinanie jest wartością stałą, która może być określona poprzez badania.
W tym przypadku użytkownik musi wprowadzić wytrzymałość na ścinanie c_{uk}.

Parcie bierne gruntu

Jeżeli ta opcja jest włączona, nośność na przesunięcie jest zwiększana poprzez uwzględnienie parcia biernego gruntu. Parcie czynne gruntu zwiększa siły poziome. Dla bezpieczeństwa te oddziaływania zazwyczaj nie są uwzględniane. Aktywując tę opcję należy zachować szczególną czujność.
$\gamma_{m,EP}$ jest współczynnikiem wzbudzenia odporu gruntu.

Warunki

Wymagane warunki wymiarujące i ich dopuszczalne wartości wykorzystania mogą zostać wybrane na zakładce *Warunki*.
Jeżeli wybrano *Oszacowanie osiadania*, to program sprawdzi czy obliczona wartość jest większa niż wprowadzona tu wartość graniczna, ale **nie zwiększy** wielkości stopy.
Warunek mimośrodu wraz z warunkiem *Stateczność* pozwala zweryfikować dopuszczalną wartość stosunku mimośrodu do długości stopy, w celu zapewnienia ściskania pod stopą i uniknięcia odrywania stopy.
Warunek nośności podłoża i mimośrodu nie może zostać wyłączony.



Nośność podłoża

Nośność podłoża obliczana jest wg PN-EN 1997-1 Załącznik D.
Warunki z odpływem:

$$R_{V,d} = \left(c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0{,}5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma\right) \cdot A'$$

Warunki bez odpływu:

$$R_{V,d} = \left((\pi + 2)c_u \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q\right) \cdot A'$$

Wpływ podłoża uwarstwionego:
W przypadku podłoża uwarstwionego (gdy warstwa „mocna" występuje na warstwie „słabej") nośność obliczana jest na wierzchu słabszej warstwy od obciążenia na fundament zastępczy. Wartość obciążenia wyznaczana jest ze wzoru:

$$q_{E,d,i} = \frac{V_d}{A_i'} + (q_i' - q')$$

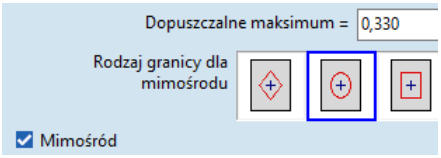
gdzie

$B_i' = B' + 2 \cdot ctg\beta \cdot (|z_i| - D)$ oraz $L_i' = L' + 2 \cdot ctg\beta \cdot (|z_i| - D)$

$|z_i| - D$ to odległość od spodu fundamentu do wierzchu analizowanej warstwy

Warunek mimośrodu

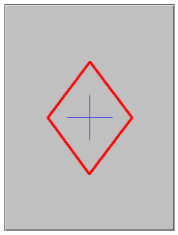
Wartość mimośrodu jest zawsze wyznaczana i sprawdzana.



W celu uwzględnienia tego warunku podczas automatycznego dobierania wielkości fundamentu, konieczne jest zaznaczenie opcji *Mimośród*. Program zwiększa wymiary fundamentu tak, aby współczynnik mimośrodu (γ_{ecc}) wyznaczony z kombinacji był mniejszy niż dopuszczalna wartość określona przez użytkownika $\gamma_{ecc} \leq \gamma_{ecc,lim}$.

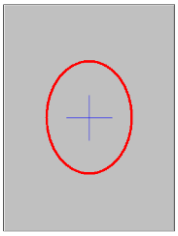
Dla stopy prostokątnej wartość współczynnika $\gamma_{ecc} = 0.5$ oznacza, że zakres mimośrodu opisanego prostokątem będzie miał wymiary $b_x/2$ oraz $b_y/2$, gdzie b_x oraz b_y to wymiary fundamentu. Współczynnik mimośrodu obliczany jest zgodnie z *rodzajem granicy mimośrodu*:

Liniowa (romb)



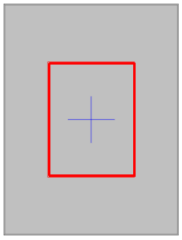
$$\gamma_{ecc} = \left|\frac{e_x}{b_x}\right| + \left|\frac{e_y}{b_y}\right|$$

Kwadratowa (elipsa)



$$\gamma_{ecc} = \sqrt{\left(\frac{e_x}{b_x}\right)^2 + \left(\frac{e_y}{b_y}\right)^2}$$

Oś obrotu (prostokąt)



$$\gamma_{ecc} = \max\left(\frac{|e_x|}{b_x}; \frac{|e_y|}{b_y}\right)$$

Dla stopy kołowej krzywa mimośrodu granicznego jest okręgiem $\gamma_{ecc} = e/r$, gdzie $r = d_p/2$

Stateczność

AxisVM oblicza moment oddziaływania wokół osi obrotu, sumując momenty utrzymujące i wywracające w celu sprawdzenia warunku:

$$\Delta_{EQU} = \left|\frac{M_{dst}}{M_{stb}}\right| \leq \Delta_{EQU,lim}$$

Warunek ten powinien zostać włączony również w przypadku weryfikacji fundamentu na całkowite odrywanie.

Przesunięcie (poślizg) fundamentu (lub podbetonu) na gruncie

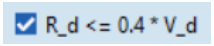
Warunek ten pozwala sprawdzić czy siły poziome przyłożone do fundamentu spowodują jego przesunięcie po gruncie. Sprawdzany warunek:

$$H_d \leq R_{d,Hs} + R_{p,d}$$

gdzie nośność na poślizg dana jest wzorem:

- w warunkach z odpływem: $R_{d,Hs} = V_d * tan * \delta_d$
  W przypadku fundamentu formowanego w gruncie wartość kąta tarcia między fundamentem a gruntem można przyjmować jako równy efektywnemu kątowi tarcia wewnętrznego w stanie krytycznym, tj. $\delta_d = \varphi_{cv,d}$

- w warunkach bez odpływu: $R_{d,Hs} = A' * c_{u,d}$ oraz $R_{d,Hs} \leq 0{,}4 * V_d$
  Jeżeli woda lub powietrze mogą dostać się pomiędzy fundament a niezdrenowane podłoże spoiste, norma w punkcie PN-EN 1997-1 6.5.3. (12)P wymaga sprawdzenia dodatkowego warunku, który można włączyć na zakładce *Grunt* w części związanej z definicją warunków bez odpływu:



Przesunięcie (poślizg) fundamentu na podbetonie

Warunek ten sprawdza, czy fundament przesunie się na po warstwie podbetonu. Sprawdzany warunek:

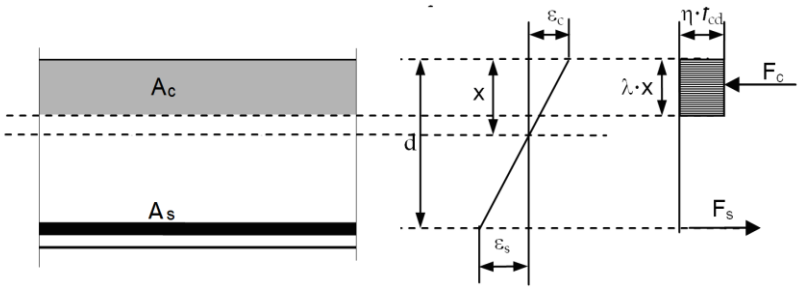
$$H_d \leq R_{d,Hb} + R_{p,d}$$

Nośność na poślizg wynosi $R_{d,Hb} = V_d \frac{\mu_{cc}}{\gamma_\mu}$

gdzie μ_{cc} to współczynnik tarcia między fundamentem a podbetonem, a γ_μ to częściowy współczynnik dla współczynnika tarcia.

Zbrojenie podstawy fundamentu

Jeżeli położenie prętów zbrojeniowych i ich średnica jest określona, moduł ustali wymaganą ilość górnego i dolnego zbrojenia w kierunku *x* i *y* zgodnie z poniższym wykresem.
Zawsze uwzględniane są wymogi minimum.



Wymagany rozstaw prętów obliczany jest ze średnicy pręta.

Ostrzeżenia i błędy:
Program wyświetli ostrzeżenie, jeżeli wymagane jest zbrojenie ściskane lub obliczona ilość jest większa niż maksymalna dozwolona ilość ($A_s > 0.04A_c$).

Obliczenia według Eurokodu 7

Eurokod 7 umożliwia wykorzystanie różnych podejść obliczeniowych (DA ang. Design Approaches). Są to pewne kombinacje współczynników częściowych dla oddziaływań, właściwości materiałowych i nośności. Zestawy współczynników częściowych zastosowane do oddziaływań określane są jako A1, A2, zestawy zastosowane do właściwości materiałowych to M1, M2, a zestawy zastosowane do nośności to R1, R2, R3. (Patrz *EN 1997-1:2004, Załącznik A*). Każde podejście obliczeniowe łączy odpowiednio te współczynniki częściowe.

Metoda wymiarowania		*Kombinacja*	*Oddziaływania*	*Charakterystyki materiałowe*	*Nośności*
DA1	*Kombinacja 1*	*SGN*	*A1*	*M1*	*R1*
	Kombinacja 2	*SGU*	*A2*	*M2*	*R1*
DA2		*SGN*	*A1*	*M1*	*R2*
DA3		*SGU*	*A2*	*M2*	*R3*

Program sprawdza A1+M1+R1 (DA1 / 1) i A1+M1+R2 (DA 2) dla decydujących kombinacji SGN, A2+M2+R1 (DA1 / 2) i A2+M2+R3 (DA3) dla decydujących kombinacji SGU.
Tak więc dla każdej kombinacji decydującej obliczane są dwa wyniki.
Jeżeli wymiarowanie przeprowadzone zostało dla kombinacji zdefiniowanej przez użytkownika, należy przypisać tę kombinację do SGN lub SGU, w przeciwnym wypadku fundament może zostać przewymiarowany.
Nośność podłoża to $q_{Rd} = s_\gamma \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot 0.5 + s_q \cdot q \cdot N_q \cdot i_q \cdot b_q + s_c \cdot c \cdot N_c \cdot i_c \cdot b_c$

Weryfikacja na poślizg sprawdza czy fundament spełnia następujące kryterium w warstwie fundament - podbeton oraz podbeton - grunt:

$$H_d \leq R_d + R_{p,d}$$

gdzie H_d to obliczeniowa wartość siły poziomej, R_d to obliczeniowa nośność na ścinanie, $R_{p,d}$ to obliczeniowa wartość siły utrzymującej wywołana przez parcie gruntu na boczną powierzchnię fundamentu.

Obliczeniową nośność na ścinanie otrzymuje się z poniższego wzoru

$$R_d = V_d \tan \delta_d$$

gdzie V_d to obliczeniowe oddziaływanie pionowe, δ_d to obliczeniowy kąt tarcia

$$\delta_d = \arctan\left(\frac{\tan \varphi}{\gamma_\varphi}\right)$$

gdzie φ to kąt tarcia na styku, γ_φ to współczynnik częściowy nośności na ścinanie, wskazany przez podejście obliczeniowe.

Weryfikacja przebicia

Moduł sprawdza nośność fundamentu na ścinanie $(v_{Rd,max})$ obwodzie słupa i określa potrzebną ilość zbrojenia na ścinanie.
W obliczeniach redukowana jest siła przebijającą według odporu podłoża w efektywnym polu (i w obrębie krytycznej linii przebicia).
Weryfikacja przebicia jest spełniona, jeżeli $v_{Ed} \leq v_{Rd}$

Bez zbrojenia na ścinanie $v_{Rd} = \min\left\{\begin{matrix} v_{Rd,c} \\ v_{Rd,max} \end{matrix}\right.$e zbrojeniem na ścinanie $v_{Rd} = \min\left\{\begin{matrix} v_{Rd,cs} \\ v_{Rd,max} \end{matrix}\right.$*trzeżenia i błędy:*
Jeżeli $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$, zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane.
Jeżeli $v_{Rd,max} > v_{Ed} > v_{Rd,c}$brojenie na ścinanie jest wymagane.
Jeżeli $v_{Ed} > v_{Rd,max}$łyta podstawy fundamentu jest niepoprawna ze względu na przebicie. Grubość fundamentu lub wymiar przekroju poprzecznego słupa powinny zostać zwiększone.

Jeżeli wymiarowany jest fundament schodkowy lub trapezowy, to zakłada się, że wielkość cokołu określana jest pod kątem przebicia, dlatego stopień wykorzystania dla przebicia nie jest obliczany.

Prognozowanie osiadania fundamentu

AxisVM oblicza sprężyste osiadanie spowodowane przez dodatkowe naprężenia w warstwach gruntu. Obciążenia powodują następujące naprężenie na głębokości *z* pod środkiem centralnie obciążonego prostokąta docisku (za *Boussinesqem i Steinbrennerem*):

$$\sigma_z = \frac{4\sigma_0}{2\pi}\left\{\arctan\left[\frac{b}{z}\cdot\frac{a(a^2+b^2)-2az(R-z)}{(a^2+b^2)(R-z)-z(R-z)^2}\right]+\frac{bz}{b^2+z^2}\cdot\frac{a(R^2+z^2)}{(a^2+z^2)R}\right\},$$

gdzie
odległość między punktem charakterystycznym a osią środkową wynosi *0,37B'* oraz *0,37L'*.
Wartości *a* oraz *b* są czterema wymiarami obciążonego prostokąta, zgodnie z poniższą tabelą:

	a	b
I.	$(0.5-0.37)\cdot L'$	$(0.5-0.37)\cdot B'$
II.	$(0.5+0.37)\cdot L'$	$(0.5-0.37)\cdot B'$
III.	$(0.5+0.37)\cdot L'$	$(0.5+0.37)\cdot B'$
IV.	$(0.5-0.37)\cdot L'$	$(0.5+0.37)\cdot B'$

Jeżeli *a* < *b*, to te dwie wartości są zamieniane.
σ_0 to naprężenie gruntu w płaszczyźnie podstawy fundamentu spowodowane przez obciążenia zewn. (wliczając ciężar własny fundamentu i gruntu zasypowego minus ciężar gruntu usuniętego powyżej płaszczyzny podstawy),
oraz $R = \sqrt{a^2+b^2+z^2}$.

Obliczenia tych naprężenia są miarodajne w przypadku homogenicznej półprzestrzeni. W przypadku podłoża uwarstwionego, należy obliczyć efektywną grubość warstwy:

$$h_{i,eq} = h_i \cdot \left(\frac{E_{s,i}}{E_{s,ref}}\cdot\frac{\rho_{s,ref}}{\rho_{s,i}}\right)^{2/5}$$

gdzie
$h_{i_{,eq}}$ to efektywna grubość warstwy *i* gruntu
h_i to grubość warstwy *i* gruntu
$E_{s,ref}$ to moduł Younga dla warstwy referencyjnej
E_{Si} to moduł Younga warstwy *i* gruntu
$\rho_{s,ref}$ to gęstość warstwy referencyjnej gruntu
$\rho_{s,i}$ to gęstość warstwy *i* gruntu

AxisVM dzieli warstwy gruntu zdefiniowane przez użytkownika na 10 centymetrowe podwarstwy i oblicza naprężenie spowodowane przez ciężar gruntu i naprężenie spowodowane przez obciążenie u dołu podwarstwy. Zmiana w grubości podwarstwy obliczana jest według następujących wzorów:

$$\Delta h_i = h_i\frac{\sigma_{ai}}{E_{si}};\ \ \sigma_{ai} = \frac{\sigma_{i-1}+\sigma_i}{2}$$

σ_{ai} to średnie naprężenie spowodowane przez obciążenie w podwarstwie *i*
σ_{i-1} to średnie naprężenie spowodowane przez obciążenie u góry podwarstwy *i*
σ_i to średnie naprężenie spowodowane przez obciążenie u dołu podwarstwy *i*
E_{si} to moduł Younga podwarstwy *i*

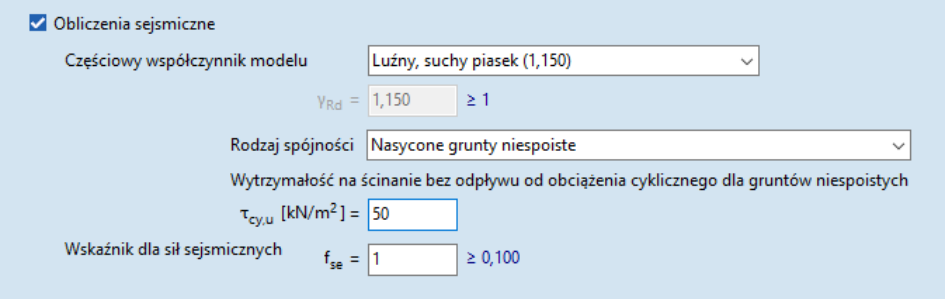
Prognozowane osiadanie na danej głębokości obliczane jest jako suma zmian grubości podwarstw dla podwarstw powyżej poziomu:

$$s_m = \sum_{i=0}^{m}\Delta h_i$$

AxisVM oblicza głębokość oddziaływania, gdzie $\sigma = 0.1 \cdot \sigma_{ob}$ (tzn. dodatkowe naprężenie spowodowane przez obciążenie spada poniżej 10% naprężenia spowodowanego przez ciężar własny gruntu).
Jeżeli warunek ten nie jest spełniony na dole struktury uwarstwionej, oszacowanie osiadania wykonane jest na podstawie osiadania w tym punkcie oraz obliczany jest stosunek naprężeń (> 0.1).
Jeżeli naprężenie spowodowane przez obciążenie w płaszczyźnie podstawy fundamentu jest mniejsze niż naprężenie pierwotne od warstw gruntowych, osiadanie nie jest obliczane.
Program AxisVM oblicza osiadanie dla wszystkich przypadków obciążeń oraz kombinacji SGU. Wykresy naprężeń i osiadania wyświetlane są dla wybranego przypadka obciążenia. Wykres osiadania *s(z)* to całkowite osiadanie dla warstw znajdujących się ponad *z*.

Obliczenia sejsmiczne

Jeżeli analiza modalna została przeprowadzona i utworzono przypadki obciążenia sejsmicznego, to można przeprowadzić weryfikację sejsmiczną fundamentów. W tym celu należy wprowadzić następujące parametry:



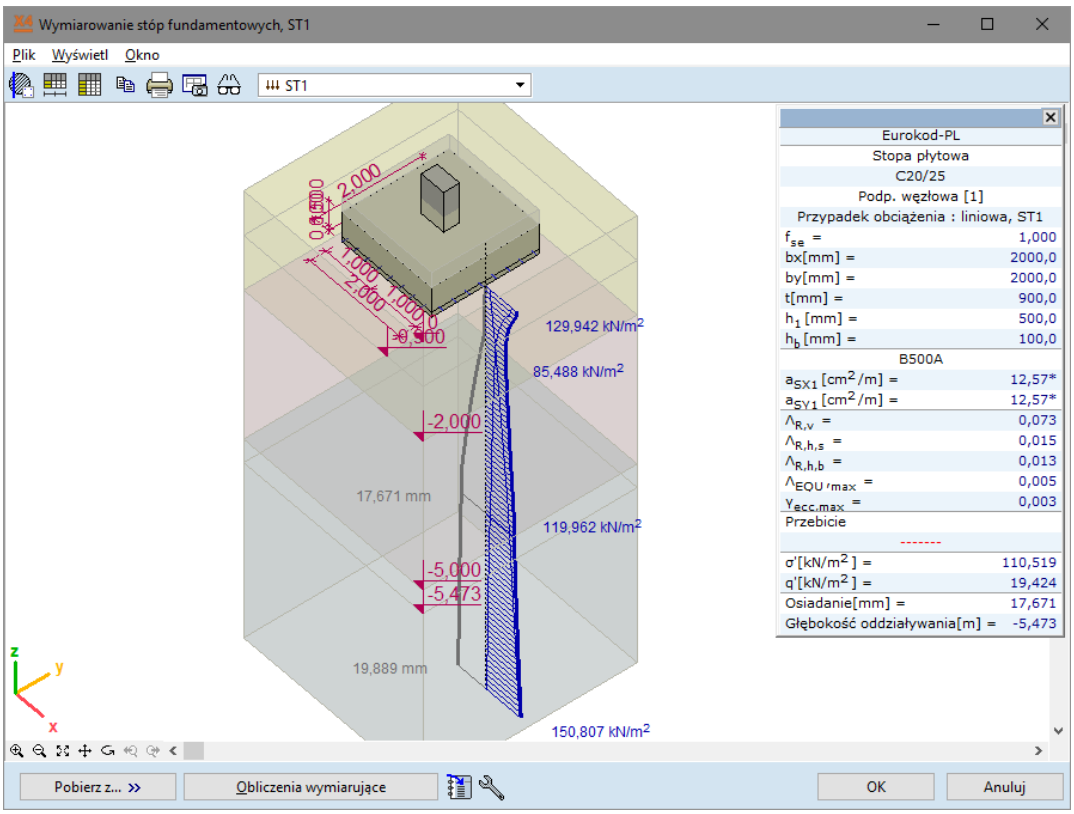
Nośność na warunki sejsmiczne fundamentu sprawdzana jest wg EN 1998-5 Załącznik F. Należy ostrożnie podejść do wyznaczenia wartości *Cyklicznej wytrzymałości na ścinanie gruntu niespoistego w warunkach bez odpływu* ($\tau_{cy,u}$).

Norma SIA

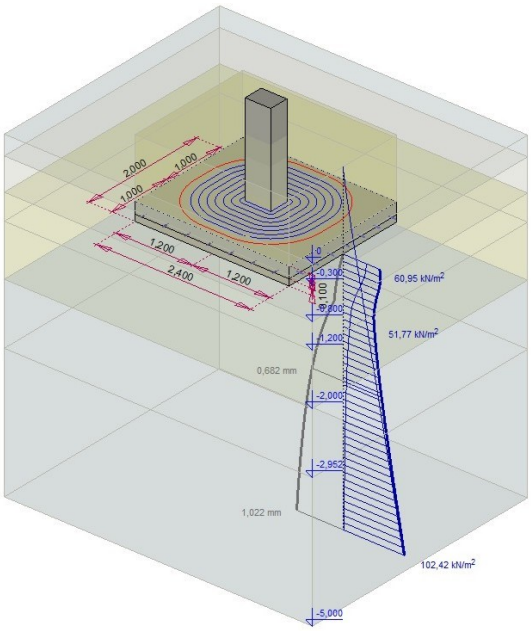
Obliczenia geotechniczne przeprowadzane są wg EN 1997-1 z wykorzystaniem współczynników bezpieczeństwa wg SIA. Obliczenia wymiarujące przebiegają wg SIA 262, a weryfikacja przebicia przeprowadzana jest zgodnie z opisem w *6.5.1.5 Sprawdzenie przebicia (moduł RC3).*

Wyniki

Zwymiarowany fundament wyświetlony zostanie w widoku z góry, z warstwami gruntu, okręgami związanymi z przebiciem i z automatycznie wstawionymi wymiarami. Model 3D można przybliżać i oddalać, przesuwać i obracać tak jak model główny.

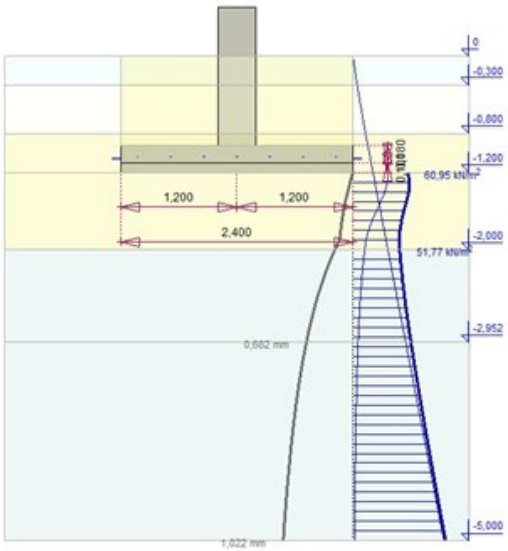


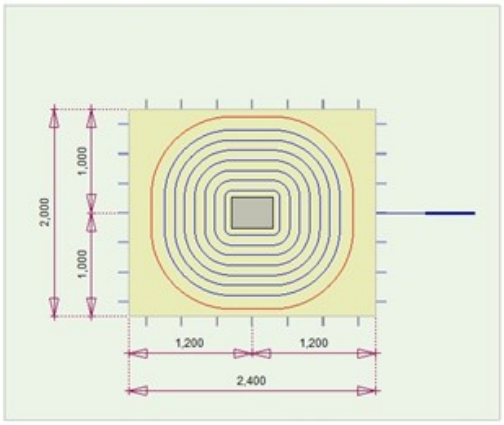
Jeżeli aktywowane jest wyświetlanie osiadania (patrz *Parametry wyświetlania)*, gruby niebieski wykres nakreśli całkowite naprężenie w gruncie w zależności od głębokości. Wykresy narysowane za pomocą cienkich linii prezentują naprężenie spowodowane przez obciążenie i ciężar własny gruntu. Pierwsze zmniejsza się, a drugie zwiększa się wraz z głębokością. Poziome linie pokazują podwarstwy. Szary wykres po drugiej stronie osi to wykres osiadania.



Osiadanie wyświetlone w oknie panelu informacyjnego to wartość osiadania na głębokości oddziaływania (gdzie naprężenie spowodowane przez obciążenie stanowi 10% naprężenia spowodowanego przez ciężar własny gruntu).

Jeżeli ten warunek nie jest spełniony na dole struktury uwarstwionej, oszacowanie osiadania dokonywane jest na podstawie osiadania w tym punkcie oraz obliczany jest stosunek naprężeń (> 0.1).





Jeżeli naprężenie spowodowane obciążaniem u dołu struktury uwarstwionej jest nadal większe niż 10% naprężenia spowodowanego przez ciężar własny gruntu, nie można określić głębokości oddziaływania, ponieważ dalsza struktura gruntu nie jest znana.

W takim przypadku okno panelu informacyjnego wyświetli wartość funkcji osiadania u dołu struktury uwarstwionej jako *>wartość.*

Aby polepszyć oszacowanie osiadania, należy dodać informacje na temat dalszych warstw gruntu.

Siły wewnętrzne w fundamencie

Ta tabela wyświetla siły wybranych podpór i najważniejsze wyniki, wliczając w to obliczoną geometrię. Ponieważ siły w podporze obliczane są w lokalnym układzie podpory, dlatego kierunki *x* oraz *y* to kierunki *x* oraz *y* podpory. Jeżeli kierunki podpory są globalne, to są to globalne kierunki X i Y.

Rx, Ry, Rz, Rxx, Ryy, Rzz	siły w podporze
q_{Ed}	obliczeniowy nacisk fundamentu
q_{Rd}	obliczeniowa nośność podłoża
q_{Ed}/q_{Rd}	stopień wykorzystania dla gruntu
ax(d)	zbrojenie dolne w kierunku x-lokalny (jeżeli jest obliczane)
ay(d)	zbrojenie dolne w kierunku y-lokalny (jeżeli jest obliczane)
ax(g)	zbrojenie górne w kierunku x-lokalny (jeżeli jest obliczane)
ay(g)	zbrojenie górne w kierunku y-lokalny (jeżeli jest obliczane)

τ_{Ed}/τ_{Rd}	stopień wykorzystania na podstawie przemieszczenia fundamentu względem podbetonu
τ_{Ed2}/τ_{Rd2}	stopień wykorzystania na podstawie przemieszczenia podbetonu względem gruntu
v_{Ed}/v_{Rd}	stopień wykorzystania na podstawie przebicia (dla fundamentów prostych)
Osiadanie	przewidywane osiadanie fundamentu
bx, by	wielkość podstawy fundamentu w kierunku *x* i *y*
dx, dy**	wielkość cokołu (odsadzka lub ostrosłup ścięty) w kierunku *x* i *y*
ex, ey**	mimośród środka ciężkości cokołu w kierunku *x* i *y*

Szczegółowe siły wewnętrzne

Wyświetla dane z tabeli *Siły wewnętrzne w fundamencie* oraz następujące wyniki:

Metoda wymiarowania	podejście obliczeniowe użyte do obliczeń
c_x, c_y	wielkość *x* i *y* efektywnego prostokąta
e_x, e_y	mimośród oddziaływania w kierunku *x* i *y*
Pręty zbr. xb	schemat zbrojenia dolnego kierunku *x* (jeżeli jest obliczane)
Pręty zbr. yb	schemat zbrojenia dolnego kierunku *y* (jeżeli jest obliczane)
Pręty zbr. xt	schemat zbrojenia górnego kierunku *x* (jeżeli jest obliczane)
Pręty zbr. yt	schemat zbrojenia górnego kierunku *y* (jeżeli jest obliczane)
τ_{Ed}	obliczeniowe naprężenia ścinające między fundamentem a podbetonem
τ_{Rd}	obliczeniowa nośność na ścinanie między fundamentem a podbetonem
τ_{Ed2}	obliczeniowe naprężenia ścinające między podbetonem a gruntem
τ_{Rd2}	obliczeniowa nośność na ścinanie między podbetonem a gruntem
V_{Rdc}	minimalna obliczeniowa nośność na ścinanie bez zbrojenia na przebicie
V_{Rdmax}	maksymalna obliczeniowa nośność na ścinanie bez zbrojenia na przebicie
V_{Rdcs}	obliczeniowa nośność na ścinanie ze zbrojeniem na przebicie
u_1	długość krytycznej linii przebicia
A_{sw}	zbrojenie ścinane wzdłuż linii przebicia
Stosunek naprężeń	stosunek naprężenia spowodowanego przez obciążenie do naprężenia ze względu na ciężar własny gruntu (jeżeli głębokość oddziaływania znajduje się poniżej struktury uwarstwionej, jego wartość określana jest w tym punkcie i jest większa niż 0.1, a przeciwnym wypadku wynosi 0.1)
Głębokość oddziaływania	głębokość, na której stosunek naprężeń wynosi 0.1 (jeżeli głębokość oddziaływania jest większa niż głębokość struktury uwarstwionej, wyświetlany jest symbol *?*)

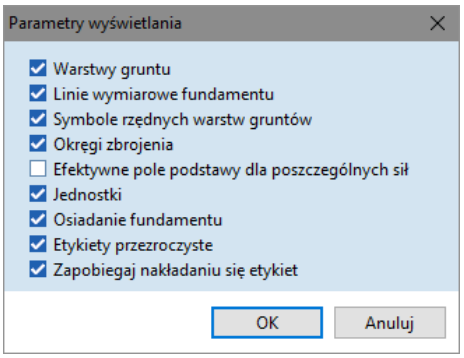
Kopiuje obraz do schowka

Drukuje obraz do schowka

Zapisuje rysunek w Bibliotece Rysunków

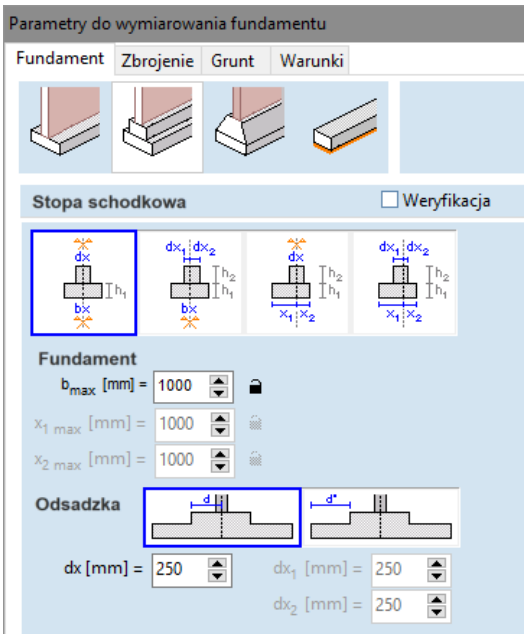
Parametry wyświetlania

Włącza i wyłącza symbole na rysunku.

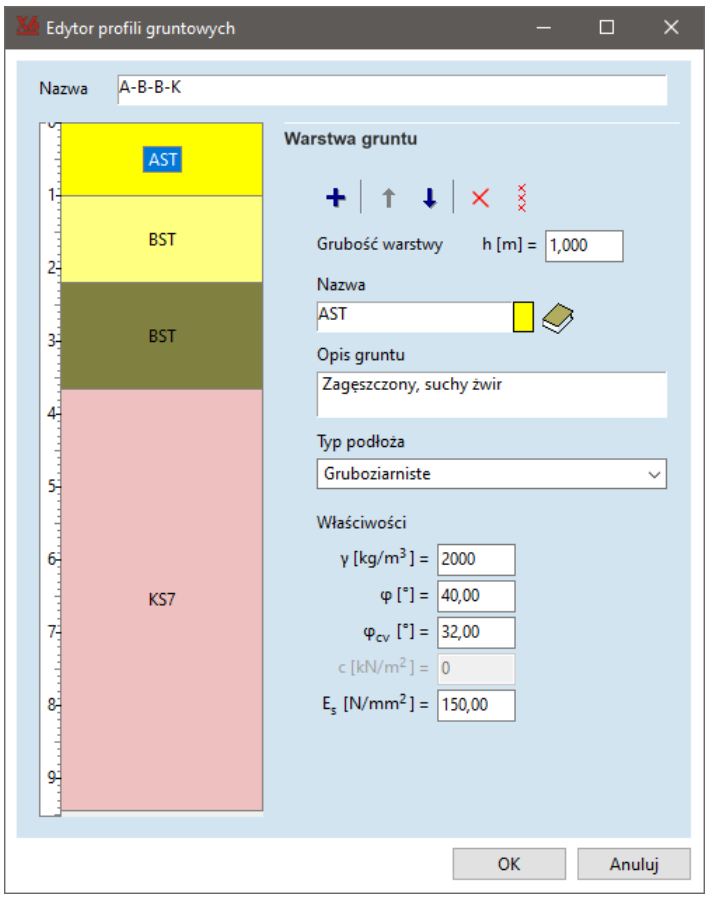


6.5.9.2 Wymiarowanie ław fundamentowych

AxisVM określa wymaganą wielkość i zbrojenie ław fundamentowych (z lub bez cokołu) oraz sprawdza fundament pod względem poślizgu i przebicia zgodnie z normą Eurokod 7 i MSz. Określa on również osiadanie fundamentu.
Wymiarowanie ław fundamentowych jest podobne do wymiarowania stóp fundamentowych. Należy wprowadzić kolejno parametry opisujące geometrię przekroju ław, zbrojenie, podłoże i warunki wymiarujące.



6.5.9.3 Edytor profili gruntowych



Edytor ten wykorzystywany jest do edycji jak i tworzenia profilu gruntowego.
Pole *Nazwa* służy również do zmiany istniejącej nazwy profilu. Po edycji parametrów profilu podłoża znajdującego się na modelu lub w bibliotece profili, można wskazać czy pierwotny profil ma zostać nadpisany czy dodany do modelu (lub do bilbioteki) jako nowy.

Aby wybrać poszczególną warstwę z profilu, należy kliknąć ją na grafice z profilem lub skorzystać ze strzałek (góra/dół) na klawiaturze. Parametry aktualnie wskazanej warstwy można edytować w prawej części okna.

Dodaj nową warstwę gruntu
Dodaje, poniżej aktualnie zaznaczonej, nową warstwę gruntu z określoną grubością i parametrami. Położenie aktualnie wybranej warstwy można zminic przy pomocy ikon ze strzałkami.

Przesuń w górę
Przesuwa aktywną warstwę na górę sąsiadującej powyżej warstwy.

Przesuń w dół
Przesuwa aktywną warstwę na dół sąsiadującej poniżej warstwy.

Usuń warstwę
Usuwa zaznaczoną warstwę z profilu gruntowego.

Usuń wszystkie
Usuwa wszystkie warstwy.

Właściwości warstwy gruntu

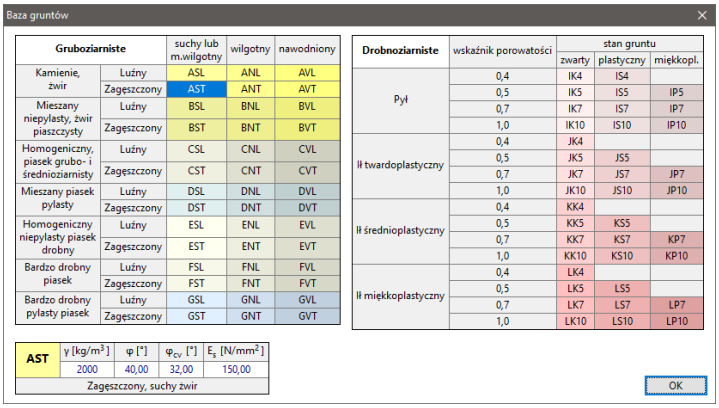
Warstwa gruntu musi mieć zdefiniowaną swoją *Grubość warstwy (h)*, skrótową nazwę, kolor (kliknięcie w zakolorowany prostokąt umożliwi jego edycję) oraz opis gruntu. Grafika profilu wyświetla tylko skróconą nazwę gruntu.

Parametry gruntu wykorzystywane w obliczeniach:

Typ podłoża	Gruboziarniste, Gruboziarniste pod wodą lub Drobnoziarniste
γ [kg/m3]	Ciężar objętościowy
φ [°]	Kąt tarcia wewnętrznego
φ_{cv} *[°]*	Kąt tarcia wewnętrznego w stanie krytycznym (używany podczas sprawdzania poślizgu)
c [kN/m2]	Spoistość (tylko dla gruntów drobnoziarnistych)
Es	Edometryczny moduł ściśliwości

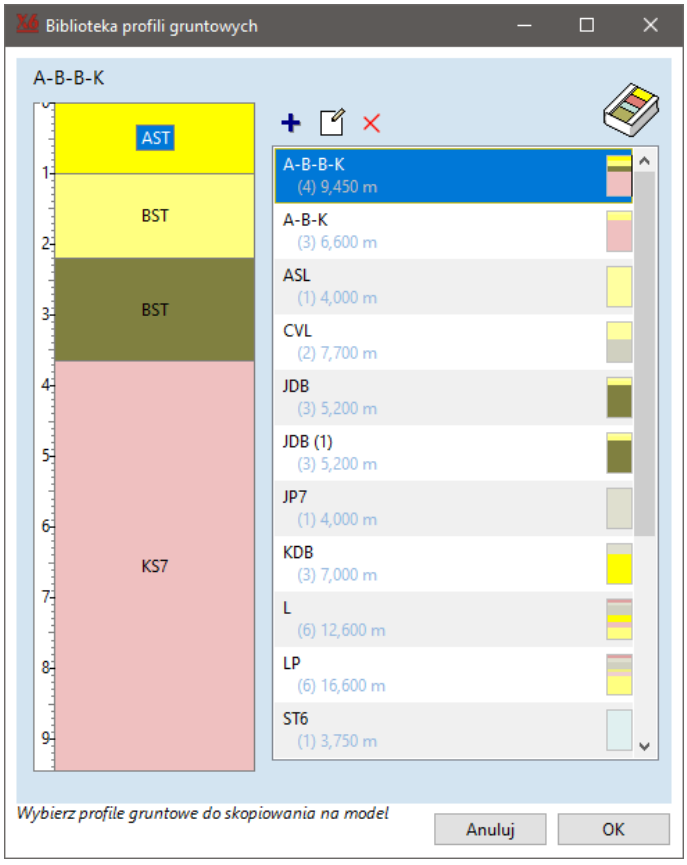
Baza gruntów

Kliknięcie na ikonę *Baza gruntów* wyświetli okno dialogowe z predefiniowanymi gruntami. Właściwości wybranego gruntu wyświetlane są w dolnej części okna.
Po wybraniu gruntu i dwukrotnym kliknięciu w jego komórkę lub kliknięciu na przycisk OK, dane gruntu zostaną zastosowane do bieżącej warstwy.



☞ **W parametrach opisujących grunt wg norm Eurokod i powiązanych nie istnieje żadna wprost zdefiniowana korelacja pomiędzy tymi parametrami. Z tego powodu, powyższa baza gruntów ma charakter jedynie pomocniczy, a skrótowe nazwy gruntów nie mają za zadanie odzwierciedlać nazw używanych w danym kraju. Wszystkie parametry wczytanego z biblioteki gruntu są edytowalne i niezależne od siebie, tak więc należy je zmodyfikować na podstawie odpowiedniej dokumentacji.**

6.5.9.4 Biblioteka profili gruntowych



Profile gruntowe zapisane w *Bibliotece profili gruntowych* dostępne są po otwarciu dowolnego pliku z zadaniem AxisVM.

Lista wyświetla profile w porządku alfabetycznym. Liczba warstw przedstawiona jest w nawiasie okrągłym, poniżej nazwy profilu. Tuż obok niej znajduje się informacja o głębokości zdefiniowanego profilu. Grafika z miniaturą profilu wyświetlana jest po prawej stronie jej nazwy.

Możliwa jest również wielokrotna selekcja elementów listy wg standardowych procedur:

- przeciągnięcie myszki z wciśniętym lewym przyciskiem przez składniki listy,
- CTRL oraz wskazanie pojedynczych składników,
- SHIFT oraz zaznaczenie skrajnych wybieranych elementów listy zaznaczy wszystkie pośrednie składniki, przeciągnięcie.

Utwórz nowy profil gruntowy

Otwiera okno *Edytora profili grutnowych*, gdzie można wprowadzić parametry podłoża uwarstwionego i dodać tak utworzony profil do bibliteki niezależnej od modelu (profil dostępny w każdym innym zadaniu).

Edytuj profil gruntowy

Wyświetla okno *Edytora profili gruntowych* z bieżącym profilem do edycji. Istniejący profil może zostać nadpisany lub jako zmodyfikowany może zostać dodany do biblioteki.

Usuń profil gruntowy z biblioteki

Usuwa wskazany profil z biblioteki.

6.5.10 Wymiarowanie żelbetowych trzonów i ścian (moduł RC5)

Moduł RC5 umożliwia przypisanie zbrojenia do żelbetowych trzonów i ścian oraz przeprowadzenie procedur wymiarujących dla tych elementów poddanych zginaniu z siłą podłużną.

Poprzez kliknięcie ikony tego modułu lub osi pręta / pasma wirtualnego można przejść do definicji zbrojenia, które nie jest standardowo definiowanym zbrojeniem powierzchniowym (**patrz...** *6.5.1 Wymiarowanie elementów powierzchniowych*). Ikona polecenia wymiarowania trzonów i ścian jest dostępna tylko, gdy:

1. model zawiera żelbetowe obszary,
2. model zawiera przynajmniej jeden pręt/pasmo wirtualne,
3. przeprowadzona została analiza statyczna lub dynamiczna.

Podczas uruchamiania polecenia należy wybrać istniejący wirtualny pręt lub wirtualne pasmo. Wybór nie jest prawidłowy, gdy:

- nie wybrano wirtualnego pręta ani wirtualnego pasma,
- wybrano więcej niż jeden wirtualny pręt lub pasmo,
- wybrany pręt/pasmo ma przypisany do obszaru(-ów) materiał inny niż beton,
- wybrany pręt/pasmo nie jest ciągły,
- przekrój poprzeczny wybranego pręta/pasma nie jest obsługiwany (np. zmienny przekrój),
- wybrany pręt/pasmo nie jest pionowe (dopuszcza się maks. 15° odchylenia),
- wybrany pręt/pasmo ma automatycznie przypisany przekrój poprzeczny, ale żebro wzdłuż jego jednego z obszarów nie jest betonowe.

Po wykonaniu sprawdzenia powyższych warunków, otwierane jest okno dialogowe *Weryfikacja żelbetowego trzonu/ściany*. Okno to służy do przypisania kondygnacji, do zdefiniowania zbrojenia w trzonie/ścianie oraz do przeprowadzenia wymiarowania.
Okno ma trzy zakładki: *Pręty wirtualne*, *Pasma wirtualne*, *Całkowite wykorzystanie*.

Pręty wirtualne

Pręty wirtualne mogą być używane do wymiarowania trzonów żelbetowych przy założeniu, że przekroje trzonu pozostaną w przybliżeniu płaskie przed i po obciążeniu. To założenie może nie być prawdziwe w przypadku dużych i krótkich trzonów oraz w przypadku występowania znacznego momentu skręcającego przy przekrojach podatnych na efekty spaczania.
Moduł ten może służyć do weryfikacji przekrojów ścian (pasma wirtualne) lub trzonów (pręty wirtualne) poddanych zginaniu z siłą podłużną (interakcja *N-M*). Weryfikacja nośności na ścinanie jest możliwa tylko dla pasma wirtualnego, a obliczony z niej stopień wykorzystania nie może być sumowany razem z wykorzystaniem od *N-M (zginanie z siłą podłużną)*. W przypadku rozbudowanych trzonów możliwe jest tylko sprawdzenie ścinania dla oddzielnych jego ścian (pasm wirtualnych).
Weryfikacja trzonów żelbetowych ze względu na mimośrodowe siły wewnętrzne (*N-M*) jest podobna do procedury weryfikacji słupów żelbetowych. Obliczany jest interakcyjny wykres nośności N_x–M_y–M_z przekroju, a następnie sprawdzane jest czy punkt działania sił obliczeniowych $N_{x,Ed}$, $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ znajduje się wewnątrz tego wykresu.
Procedura wymiarowania trzonu żelbetowego nie zezwala na definicję jego długości wyboczeniowej, ponieważ współczesne normy projektowe (np. EN 1992-1-1) zawierają metody uwzględniania wpływu **imperfekcji** oraz **efektów drugiego rzędu** na poziomie strukturalnym. **W przypadku trzonów żelbetowych zakłada się, że scałkowane obliczeniowe siły wewnętrzne zawierają już efekty imperfekcji oraz efekty drugiego rzędu.**

Pasma wirtualne

Pasma wirtualne mogą być używane do wymiarowania swobodnych zakończeń ścian lub innych odcinków ścian, uwzględniając możliwość wyboczenia ściany pomiędzy kondygnacjami. Program wyznacza dodatkowe mimośrody od imperfekcji i efektów drugiego rzędu w odniesieniu do kondygnacji. Następnie dodając je do mimośrodów początkowych (wyznaczonych poprzez całkowanie sił wewnętrznych) oblicza siły wymiarujące $N_{x,Ed}$, $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$.
Zakłada się, że scałkowane siły wewnętrzne do wymiarowania zawierają efekty od imperfekcji i efekty drugiego rzędu na poziomie strukturalnym.
Weryfikacja ścian żelbetowych jest podobna do procedury weryfikacji słupów żelbetowych. Obliczany jest interakcyjny wykres nośności N_x–M_y–M_z przekroju, a następnie sprawdzane jest czy punkt działania sił obliczeniowych $N_{x,Ed}$, $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ znajduje się wewnątrz tego wykresu.

Całkowite wykorzystanie

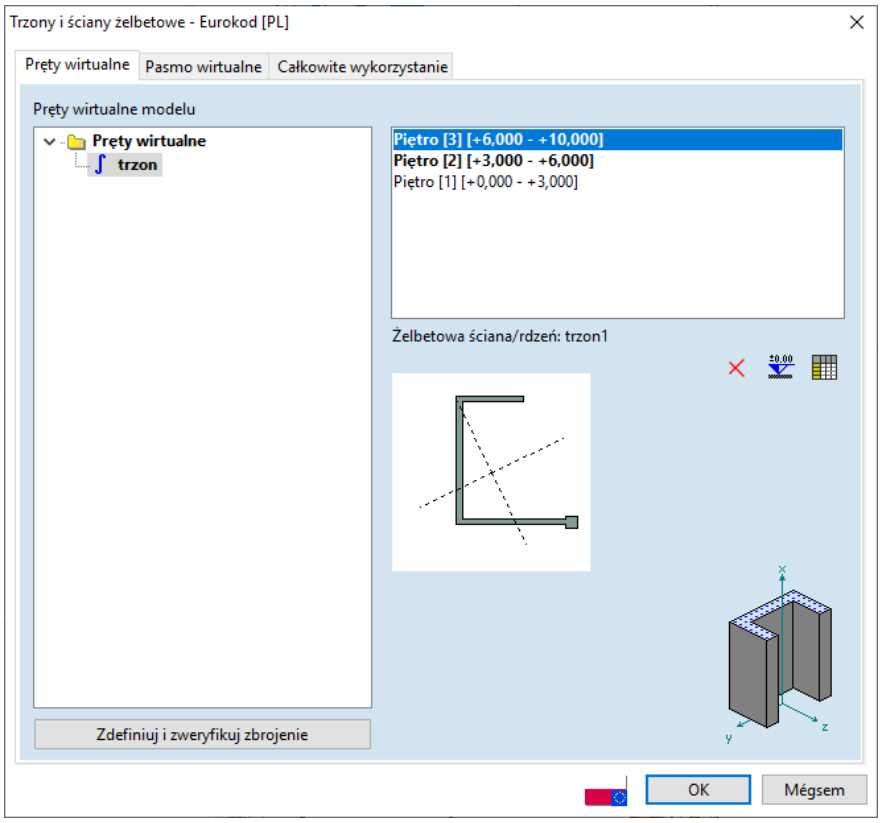
Zakłada *Całkowite wykorzystanie* służy do połączenia wartości stopnia wykorzystania uzyskanych dla trzonów liczonych jako pręty wirtualne i wartości stopnia wykorzystania uzyskanych dla ścian liczonych jako pasma wirtualne. Łączenie tych dwóch wartości (dla trzonu i dla ścian) jest konieczne, ponieważ interakcyjny wykres wytrzymałości N_x-M_y-M_z trzonów nie uwzględnia możliwości utraty stateczności (i wytrzymałości) jest poszczególnych ścian.

Aby zamodelować trzon żelbetowy, należy zdefiniować pręt wirtualny, a następnie przypisać dla całego trzonu zbrojenie i zweryfikować jego wykorzystanie. W następnym kroku trzeba zdefiniować pasma wirtualne dla poszczególnych odcinków jego ścian i obliczyć ich wykorzystanie z uwzględnieniem możliwości utraty stateczności. Program obsługuje różne metody wyznaczania całkowitego wykorzystania (czytaj poniżej).

☞ **W przypadku trzonów podatnych na spaczenie wraz ze znacznymi momentami skręcającymi, przekrój trzonu ulega spaczeniu (zwichrowaniu) i nie pozostaje płaski po obciążeniu. Zaleca się wtedy przeprowadzenie oddzielnego wymiarowania jego odcinków ścian, ponieważ przekrój trzonu nie może być zwymiarowany jako całość.**

Pręty wirtualne

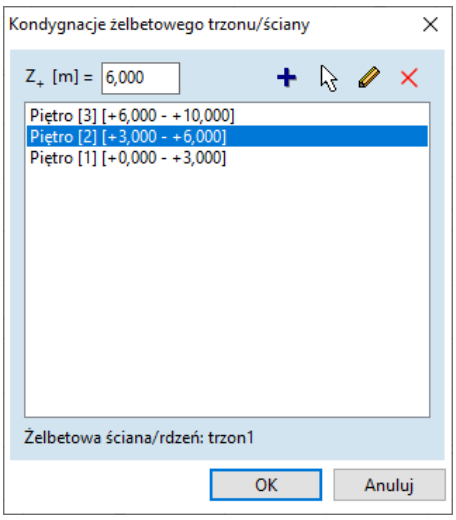
Pręty wirtualne modelu



Lista po lewej stronie wyświetla pręty wirtualne modelu. Jeżeli kondygnacje zostały przypisane do pręta wirtualnego, to jego nazwa będzie pogrubiona. Po wybraniu takiego pręta, lista przypisanych kondygnacji pojawi się w okienku po prawej stronie. Kondygnacje, na których zdefiniowano zbrojenie rzeczywiste w przekroju, zostaną pogrubione.

Jeżeli wybrano pręt wirtualny bez przypisanych kondygnacji, to lista po prawej będzie pusta i aktywna pozostanie jedynie środkowa ikonka po tą listą. Należy kliknąć tę ikonkę, aby przypisać kondygnacje do pręta wirtualnego.

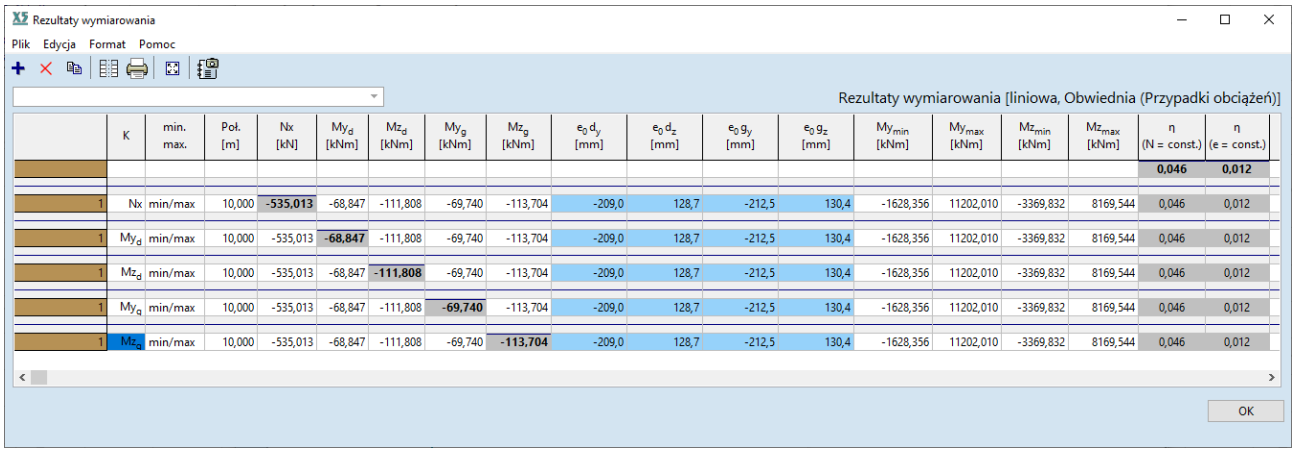
Przed definicją zbrojenia rzeczywistego, należy przypisać do prętów/pasm wirtualnych kondygnacje. Podzielenie pręta wirtualnego na kondygnacje pozwala uzyskać bardziej ekonomiczne zbrojenie, poprzez dopasowanie go do przebiegu na długości pręta wirtualnego sił wewnętrznych.
Kondygnacja musi przecinać oś wybranego pręta/pasma wirtualnego (musi leżeć pomiędzy jego punktami końcowymi). Istniejące kondygnacje modelu, które spełniają powyższy warunek są automatycznie dodawane do listy (**patrz...** *3.3.4 Kondygnacje*), choć nie muszą być one identyczne z kondygnacjami dla pręta/pasma wirtualnego (użytkownik może je dowolnie wyedytować).



Kondygnacje mogą być usuwane (ikona z czerwonym krzyżykiem), modyfikowane (ikona z ołówkiem) oraz dodawane nowe (ikonka + oraz strzałka). Kondygnacje zapisywane są w wirtualnym pręcie/paśmie. Jeżeli kondygnacje zostały przypisane do wirtualnego pręta/pasma, to przekrój tego pręta/pasma zostanie wyświetlony na jego osi wraz z kółeczkami oznaczającymi zakres danej kondygnacji pręta/pasma.

Za pomocą tego polecenia można usunąć zbrojenie z wybranej kondygnacji. Opcja ta jest dostępna tylko wtedy, gdy zbrojenie zostało wcześniej przypisane do kondygnacji.

Wyniki wymiarowania wybranej kondygnacji dla pręta wirtualnego mogą zostać wyświetlone jako wyniki tabelaryczne (patrz rysunek poniżej). Opcja ta jest dostępna tylko wtedy, gdy zbrojenie zostało wcześniej przypisane do kondygnacji.



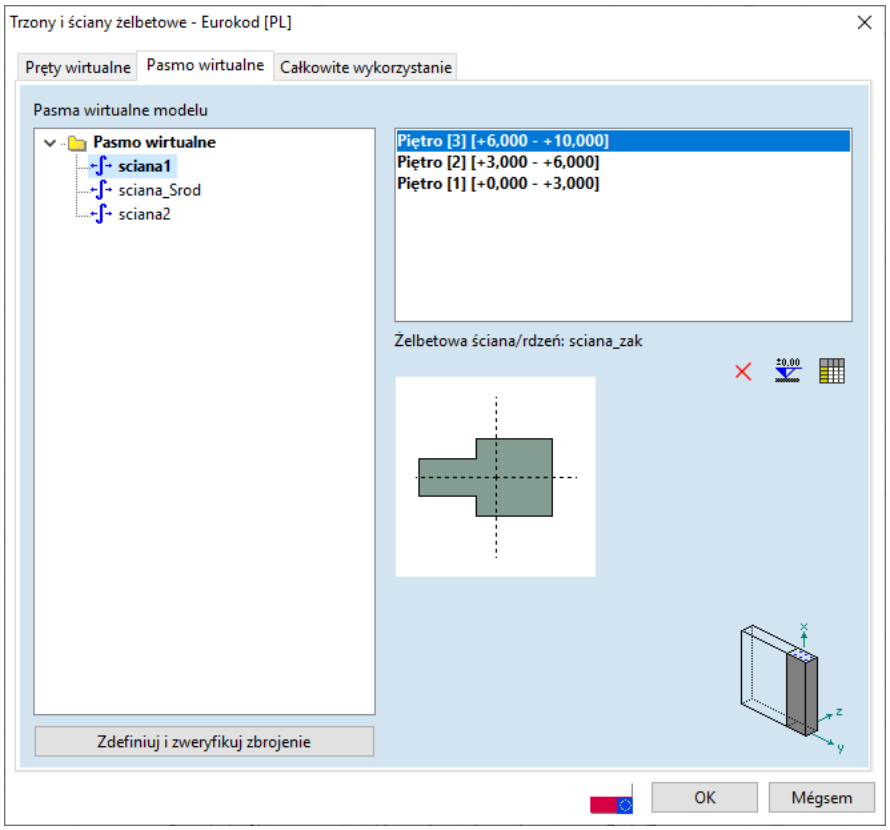
	K	min. max.	Poł. [m]	Nx [kN]	My_d [kNm]	Mz_d [kNm]	My_g [kNm]	Mz_g [kNm]	$e_0 d_y$ [mm]	$e_0 d_z$ [mm]	$e_0 g_y$ [mm]	$e_0 g_z$ [mm]	My_{min} [kNm]	My_{max} [kNm]	Mz_{min} [kNm]	Mz_{max} [kNm]	η (N = const.)	η (e = const.)
																	0,046	0,012
1	Nx	min/max	10,000	**-535,013**	-68,847	-111,808	-69,740	-113,704	-209,0	128,7	-212,5	130,4	-1628,356	11202,010	-3369,832	8169,544	0,046	0,012
1	My_d	min/max	10,000	-535,013	**-68,847**	-111,808	-69,740	-113,704	-209,0	128,7	-212,5	130,4	-1628,356	11202,010	-3369,832	8169,544	0,046	0,012
1	Mz_d	min/max	10,000	-535,013	-68,847	**-111,808**	-69,740	-113,704	-209,0	128,7	-212,5	130,4	-1628,356	11202,010	-3369,832	8169,544	0,046	0,012
1	My_g	min/max	10,000	-535,013	-68,847	-111,808	**-69,740**	-113,704	-209,0	128,7	-212,5	130,4	-1628,356	11202,010	-3369,832	8169,544	0,046	0,012
1	Mz_g	min/max	10,000	-535,013	-68,847	-111,808	-69,740	**-113,704**	-209,0	128,7	-212,5	130,4	-1628,356	11202,010	-3369,832	8169,544	0,046	0,012

Zdefiniuj i zweryfikuj zbrojenie

Po kliknięciu przycisku *Zdefiniuj i zweryfikuj zbrojenie* otworzy się nowe okno dialogowe (**patrz...** *6.5.10.1 Definiowanie zbrojenia trzonu/ściany*), gdzie do danej kondygnacji można przypisać nowe zbrojenie lub zmodyfikować istniejące.

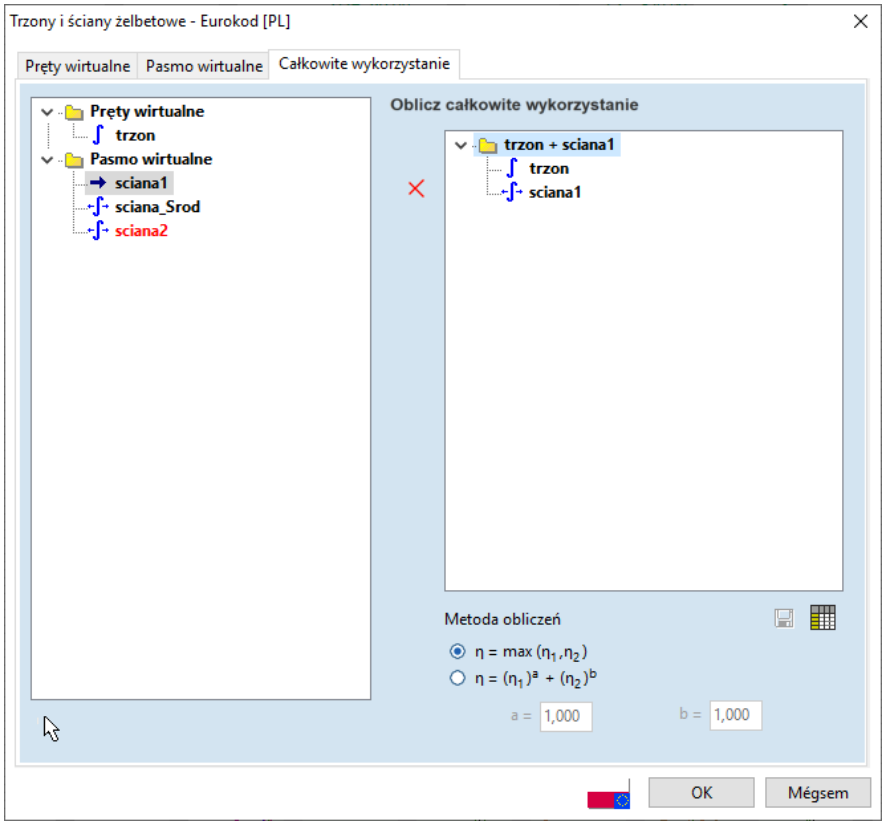
Zamiast kliknięcia w powyższy przycisk, można również otworzyć okno do definiowania i weryfikacji zbrojenia poprzez podwójne kliknięcie w wybraną kondygnację.

Pasma wirtualne



Na zakładce *Pasma wirtualne* występuje taka sama funkcjonalność jak na zakładce *Pręty wirtualne*. Kondygnacje i zbrojenie na tych kondygnacjach może być przypisane do pasm wirtualnych, które mogą być użyte do modelowania odcinków i zakończeń ścian.

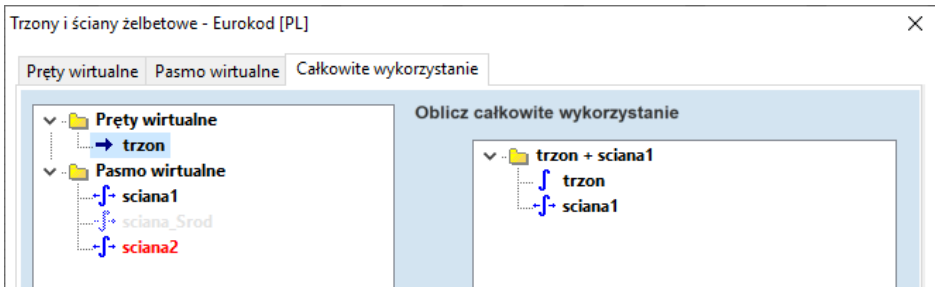
Całkowite wykorzystanie



W zakładce *Całkowite wykorzystanie* można tworzyć, usuwać i modyfikować zestawy pręt-pasma wirtualne, które wykorzystywane są do kompleksowego sprawdzenia żelbetowych trzonów i ich ścian.

Wirtualne pręty i pasma modelu

Na zakładce *Całkowite wykorzystanie* po lewej stronie wyświetlana jest lista prętów i pasm wirtualnych, które mają przypisane zbrojenie kondygnacyjne.
Pręty i pasma wirtualne z brakującym zbrojeniem na jednej lub większej liczbie kondygnacji wyświetlane są na czerwono. W takim przypadku całkowite wykorzystanie nie może zostać wyznaczone dla wszystkich kondygnacji.



Drzewko po lewej stronie obsługuje wielokrotną selekcję (pręt+pasmo). Aby ją wykonać, należy przytrzymać klawisz **[Ctrl]** podczas zaznaczania elementów kursorem.
Pręty wirtualne mogą zostać powiązane z pasmami tylko wtedy, gdy są kompatybilne. Jeżeli pręt wirtualny zostanie wybrany, to wszystkie niekompatybilne nazwy pasm wirtualnych zostaną wyświetlone jasnoszarym kolorem.

☞ **Pręty wirtualne są kompatybilne z pasmami wirtualnymi, jeżeli mają taką samą liczbę kondygnacji i kondygnacje te są tak samo zdefiniowane.**

Oblicz całkowite wykorzystanie

Wszystkie utworzone zestawy pręt-pasmo wirtualne wyświetlone są po prawej stronie.

Ten przycisk znajdujący się na środku okna dialogowego pomiędzy listami jest aktywny tylko wtedy, gdy kompatybilny pręt i pasmo zostało wybrane z listy po lewej stronie. Kliknięcie w ten przycisk spowoduje dodanie pary wirtualny pręt-pasmo do listy po prawej stronie. Nazwa pary tworzona jest z nazw pręta i pasma wirtualnego.

Ten przycisk służy do usuwania par wirtualny pręt-pasmo z listy po prawej stronie.

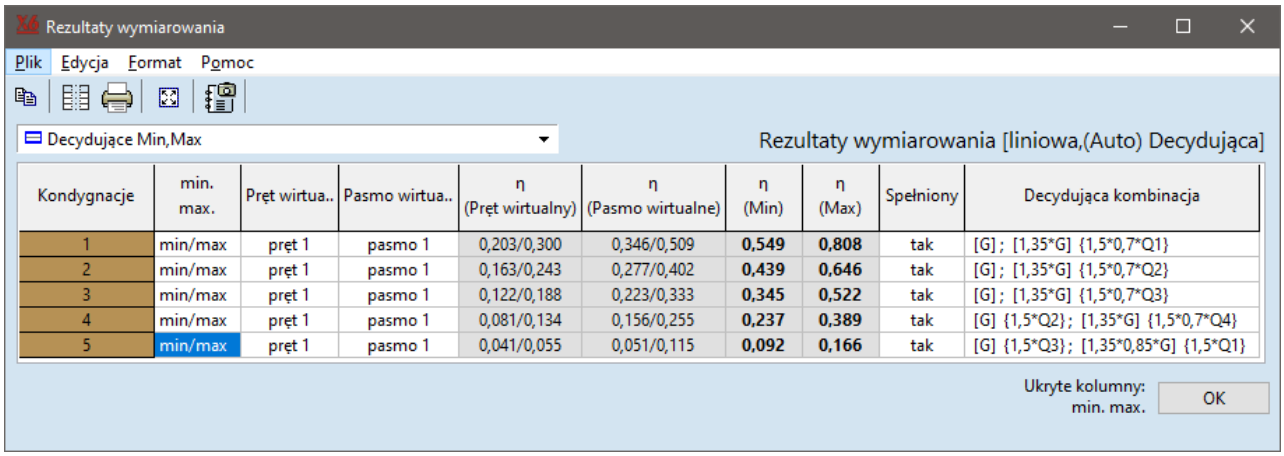
Metoda wyznaczania całkowitego wykorzystania wybranej pary pręt-pasmo wirtualne może zostać wybrana pod prawą listą. Dostępne są dwie metody:

$$\eta = \max(\eta_1, \eta_2) \quad \text{lub} \quad \eta = \eta_1^a + \eta_2^b$$

Pierwsza metoda jest metodą domyślną.

Aby zmienić metodę obliczania całkowitego wykorzystania, należy ją wybrać dla danej pary pręt-pasmo, a następnie kliknąć przycisk *Zapisz* (ikona dyskietki).

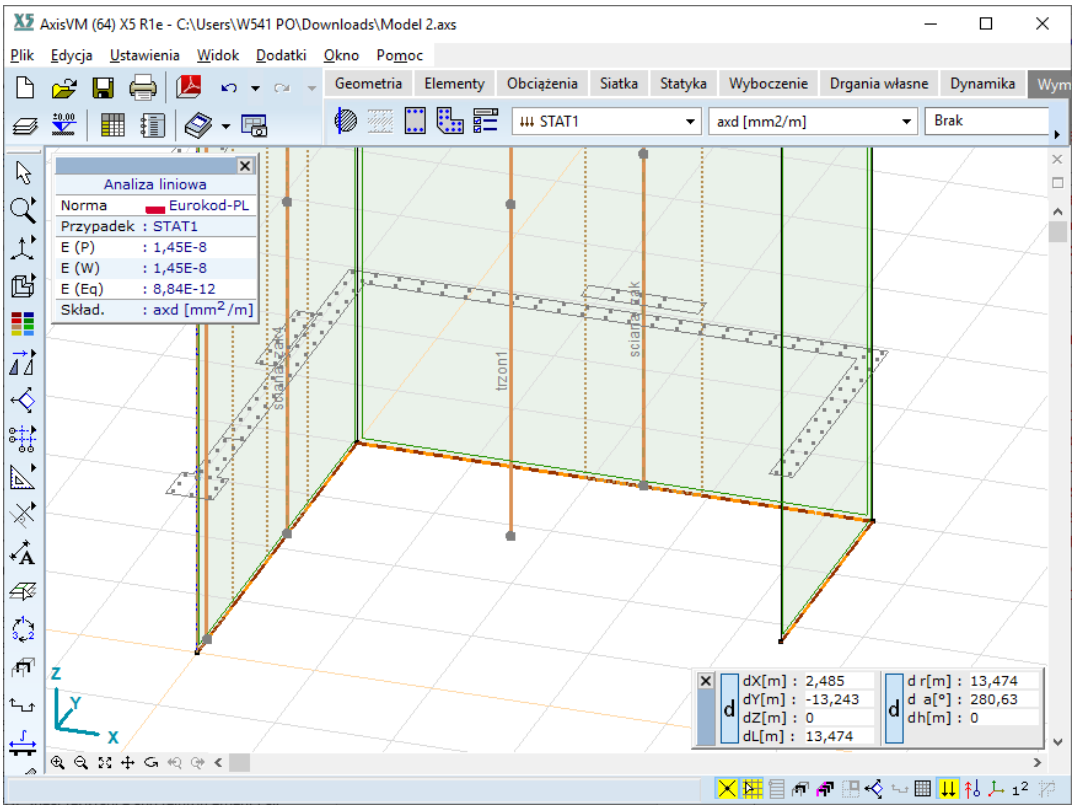
Kliknięcie w ikonkę tabeli wyświetli tabelaryczne wyniki wymiarowania wybranego zestawu pręt-pasmo wirtualne (patrz poniżej). Ikonka wyświetla się tylko po wcześniejszym zaznaczeniu zestawu pręt-pasmo.



Kondygnacje	min. max.	Pręt wirtua..	Pasmo wirtua..	η (Pręt wirtualny)	η (Pasmo wirtualne)	η (Min)	η (Max)	Spełniony	Decydująca kombinacja
1	min/max	pręt 1	pasmo 1	0,203/0,300	0,346/0,509	**0,549**	**0,808**	tak	[G] ; [1,35*G] {1,5*0,7*Q1}
2	min/max	pręt 1	pasmo 1	0,163/0,243	0,277/0,402	**0,439**	**0,646**	tak	[G] ; [1,35*G] {1,5*0,7*Q2}
3	min/max	pręt 1	pasmo 1	0,122/0,188	0,223/0,333	**0,345**	**0,522**	tak	[G] ; [1,35*G] {1,5*0,7*Q3}
4	min/max	pręt 1	pasmo 1	0,081/0,134	0,156/0,255	**0,237**	**0,389**	tak	[G] {1,5*Q2} ; [1,35*G] {1,5*0,7*Q4}
5	min/max	pręt 1	pasmo 1	0,041/0,055	0,051/0,115	**0,092**	**0,166**	tak	[G] {1,5*Q3} ; [1,35*0,85*G] {1,5*Q1}

Wyświetlanie

Jeżeli do wirtualnych prętów/pasm zostało przypisane zbrojenie, to kształt przekroju poprzecznego pręta/pasma ze zbrojeniem zostanie wyświetlony na modelu globalnym wraz z kółeczkami wskazującymi początek i koniec kondygnacji. Nazwa przypisanego do kondygnacji zbrojenia rzeczywistego wyświetlana jest blisko środka wysokości kondygnacji na osi pręta/pasma wirtualnego.



☞ **Powiązanie kondygnacji i zbrojenia rzeczywistego z wirtualnymi prętami i pasmami, w praktyce oznacza przypisanie zbrojenia do nieistniejących elementów (pręt i pasmo wirtualne). Działanie takie pozwala jednak przeprowadzić całkowanie w obszarach i powierzchniach oraz przeprowadzić proces wymiarowania na otrzymanych tak siłach wewnętrznych. A zadana szerokość pasma wirtualnego lub wysokość zdefiniowanej kondygnacji nie musi pokrywać się z konturem obszaru lub siatką elementów skończonych.**
Z tego powodu można powiedzieć, że zadane zbrojenie i jego parametry są niezależne od parametrów zbrojenia powierzchniowego (patrz... *6.5.1 Wymiarowanie elementów powierzchniowych*) **oraz powierzchniowego zbrojenia rzeczywistego (patrz...** *6.5.1.2 Zbrojenie rzeczywiste dla elementów powierzchniowych i obszarów*) **przypisanego do powierzchni.**
Zestawienie prętów w zestawieniu materiału (patrz... *3.2.13 Zestawienie materiałów*) **nie uwzględnia zbrojenia przypisanego do wirtualnych prętów i pasm.**

6.5.10.1 Definiowanie zbrojenia trzonu/ściany

Kliknij przycisk *Zdefiniuj i zweryfikuj zbrojenie* na zakładce *Pręt wirtualny* lub *Pasmo wirtualne*, aby określić parametry zbrojenia i jego rozkład w przekroju trzonu/ściany. Po kliknięciu otworzy się okno dialogowe *Weryfikacja żelbetowego trzonu/ściany*. Okno to jest bardzo podobne do okna weryfikacji zbrojenia w słupie żelbetowym (**patrz...** *6.5.3.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste słupów (zginanie dwukierunkowe)*).

Pręty zbrojeniowe

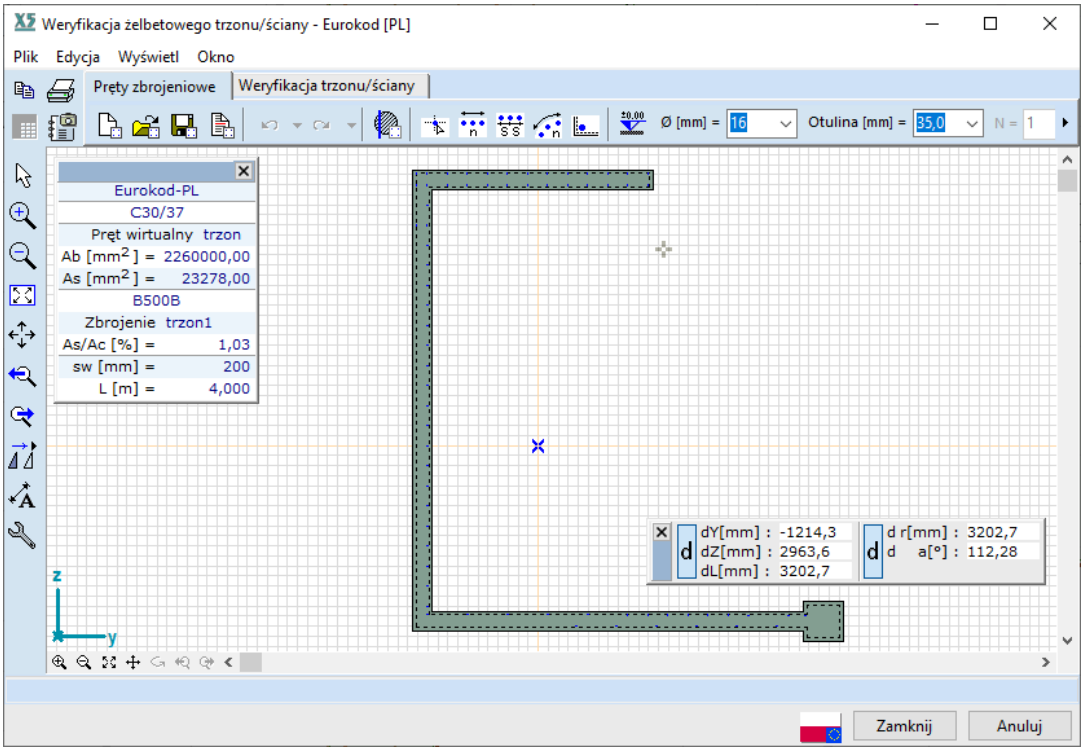
Na zakładce *Pręty zbrojeniowe* ustawia się klasę stali zbrojeniowej i betonu, parametry wyboczeniowe z płaszczyzny (tylko dla pasm wirtualnych) oraz rozmieszcza się pręty w przekroju poprzecznym ścian.

Przekrój poprzeczny

Okno główne pokazuje wymiarowany przekrój poprzeczny przypisany do wirtualnego pręta/pasma. Przekrój ten może być automatycznie określony przez program lub zdefiniowany przez użytkownika, ale na etapie definiowania pręta/pasma wirtualnego (**patrz...** *2.16.16 Pręt wirtualny*). Z tego powodu nie można go modyfikować w tym oknie, ponieważ jest on już wcześniej określoną charakterystyką pręta/pasma wirtualnego.

Lokalny układ współrzędnych

Układ lokalny pręta/pasma wirtualnego odgrywa ważną rolę podczas wymiarowania, ponieważ siły wewnętrzne są całkowane z naprężeń właśnie w tym układzie. Orientacja wyświetlanego przekroju poprzecznego w oknie *Weryfikacja żelbetowego trzonu/ściany* jest również zgodna z tym układem.



Dodaj obraz do Galerii

Zapisuje bieżący widok do Galerii obrazów.

Nowe zbrojenie

Definiuje nowe zbrojenie.

Otwórz

Otwiera wcześniej zdefiniowane zbrojenie

Zapisz

Zapisuje zbrojenie

Lista ze zbrojeniem

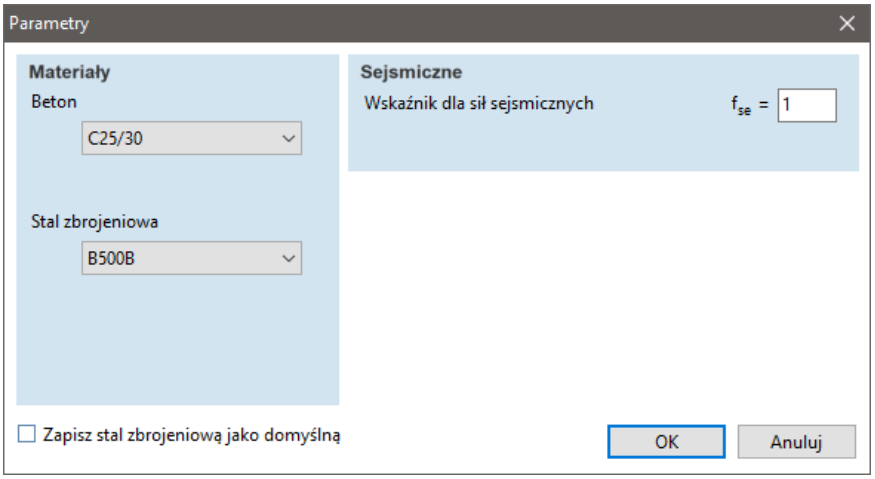
Lista zawierające zdefiniowane zbrojenie. W tym miejscu można zmienić nazwę zapisanego zbrojenia lub je usunąć z listy.

Parametry

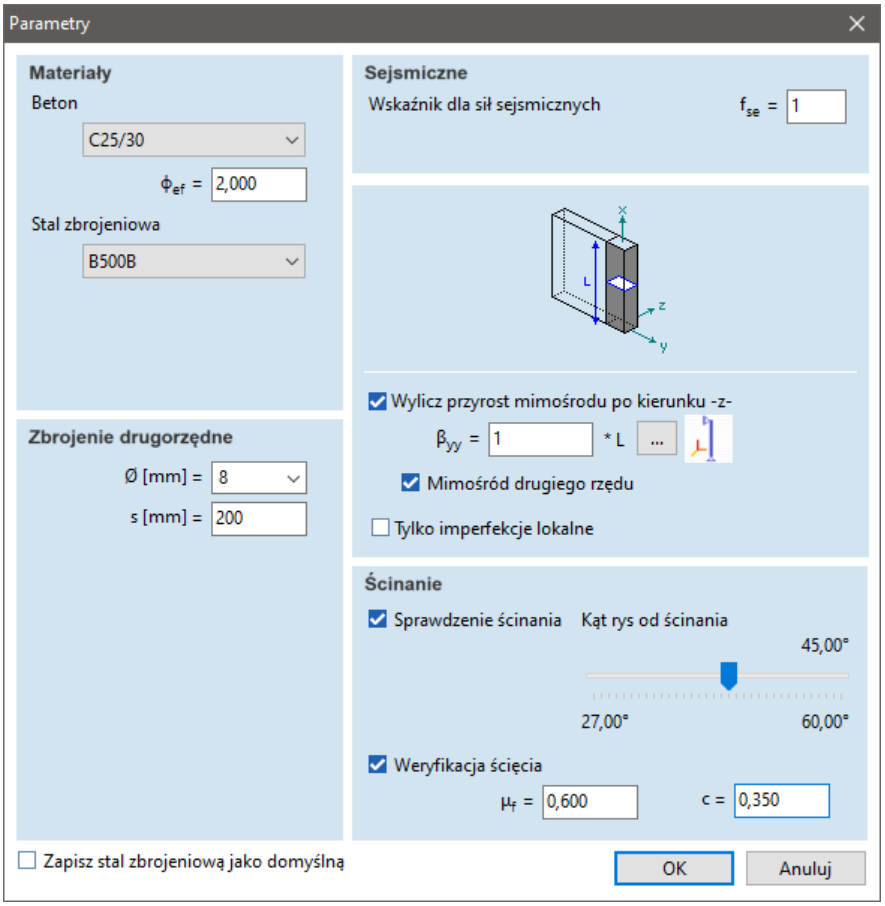
Pozwala określić parametry używane w trakcie wymiarowania.
W tym miejscu można określić m.in. współczynnik długości wyboczeniowej β_{yy} dla pasm wirtualnych (β_{yy} odnosi się do wyboczenia w lokalnej płaszczyźnie *x-z*) oraz wybrać postać wyboczenia.
Długość wyboczeniowa obliczana jest jako iloczyn wysokość ściany na danej kondygnacji oraz współczynnika długości wyboczeniowej.
Klasa betonu wykorzystana przy wymiarowaniu może być tutaj zmieniona i może być inna niż ta, która została przypisana do elementu. Pozwala to użytkownikowi sprawdzić nośność elementów z różnymi klasami betonu bez konieczności powtarzania całej analizy statycznej.
ϕ_{ef} to tzw. efektywny współczynnik pełzania wg normy EN 1992-1-1 rozdział 5.8.4.
Wskaźnik dla sił sejsmicznych opisany został w *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*.

Dla pasm wirtualnych oprócz powyższych parametrów, można jeszcze dodatkowo ustawić średnicę i rozstaw zbrojenia drugorzędnego oraz zaznaczyć weryfikacją ścinania. Dla weryfikacji ścinania w przekroju poprzecznym można także zaznaczyć opcję sprawdzenia jego ścięcia. W tej części okna można ustawić także kąt rys od ścinania oraz dla ścięcia dwa parametry (μ_f oraz c) zależne od szorstkości styku.

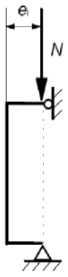
Parametry dla pręta wirtualnego



Parametry dla pasma wirtualnego

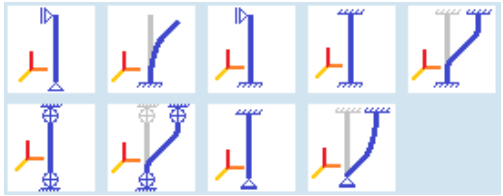


Jeżeli imperfekcje globalne uwzględniane są za pomocą dodatkowego obciążenia przyłożonego do konstrukcji, to imperfekcje te muszą być pominięte przy wymiarowaniu zbrojenia. W takim przypadku należy zaznaczyć opcję *Tylko imperfekcje lokalne*. Jeżeli wybrano przechyłową postać wyboczenia, to rozważana jest tylko stała na długości geometryczna imperfekcja lokalna (**patrz...** *6.5.10.3 Wyznaczanie mimośrodów*)



Postać wyboczenia

Mimośrody drugiego rzędu wyznaczane są na podstawie wybranej w parametrach postaci wyboczenia (**patrz...** *6.5.10.3 Wyznaczanie mimośrodów*).
Po kliknięciu w wybraną postać, zmienia się również w parametrach przypisany do niej współczynnik



długości wyboczeniowej, ale może on zostać nadpisany niestandardową wartością przez użytkownika.

Wg położenia/otuliny

Wstawia pręt zbrojeniowy o zadanej średnicy w miejsce określone za pomocą kursora lub poprzez wpisanie współrzędnych jego położenia. Jeżeli kursor zostanie umieszczony w narożniku przekroju lub na jego krawędzi, to pręt zostanie przesunięty maksymalnie do przerywanej linii oznaczającą zadaną otulinę.

Rozkład wg liczby podziałów

Równomierny rozkład *N+1* prętów pomiędzy dwoma wskazanymi punktami.

Rozkład ze stałym rozstawem

Wstawia pręty zbrojeniowe w rozstawie *s* pomiędzy dwoma wskazanymi punktami. Jeżeli długość wskazanego odcinka nie jest całkowitą wielokrotnością zadanego rozstawu *s*, to odległość pomiędzy prętem w punkcie końcowym odcinka rozkładu a przedostaniem prętem zostanie dopasowana.

Rozkład wg liczby podziałów na łuku

Równomierny rozkład *N+1* prętów na łuku kołowym pomiędzy dwoma wskazanymi punktami. Jeżeli rozkład odbywa się po całym okręgu, to program wstawia *N* prętów w równych odległościach na całym okręgu.

W narożnikach

Wstawia pręty w narożnikach wklęsłych i wypukłych (kąt > 5°) pod warunkiem, że w danym narożniku nie znajduje się już inny pręt.

Kondygnacje

Otwiera okno dialogowe z listą kondygnacji dla danego trzonu/ściany.

Średnica

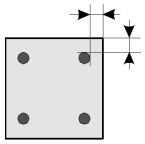
Ø [mm] = 16

Pozwala określić średnicę definiowanych lub modyfikowanych prętów zbrojeniowych. Aby zmodyfikować średnicę prętów, zaznacz je, a potem wprowadź nową wartość w pole lub wybierz wartość z rozwijanej listy.

Otulina

Betonf. [cm] = 3,5

Pozwala zdefiniować lub zmodyfikować otulinę betonu.



N (liczba podziałów)

N = 1

Liczba podziałów, która określa liczbę prętów (*N+1*) dla wybranych poleceń do rozkładu prętów zbrojeniowych

s (rozstaw prętów)

s [cm] = 20,0

Wartość ta używana jest do rozkładania prętów ze stałą wartością ich rozstawu.

Transformacje geometryczne

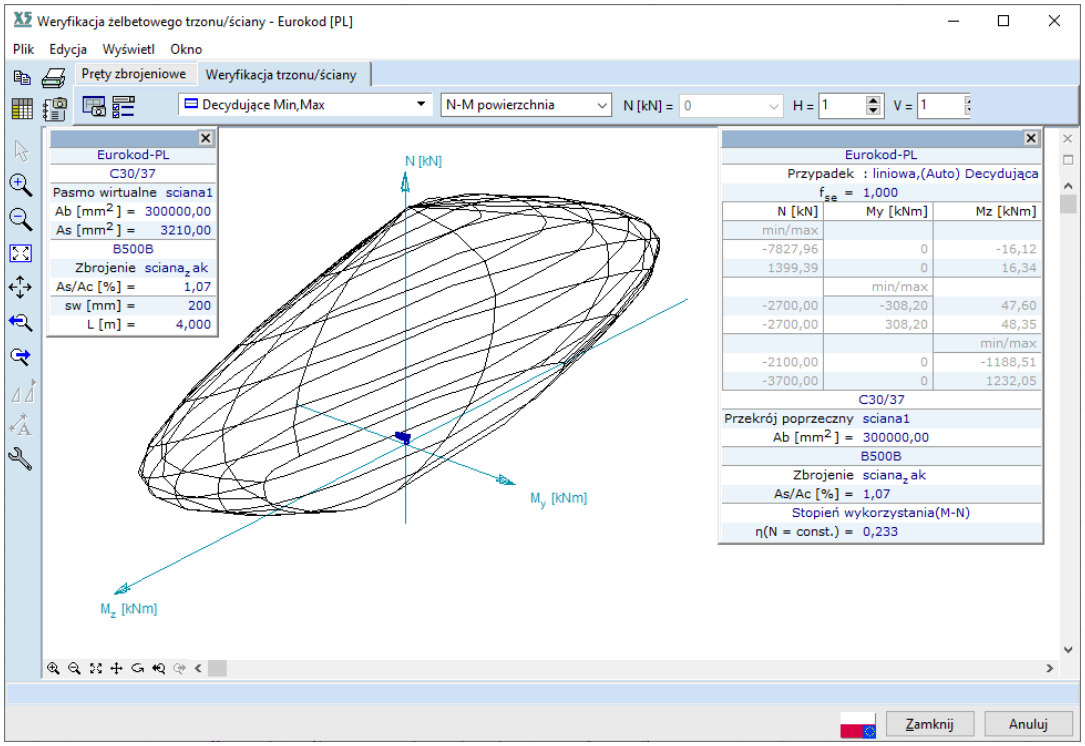
Przesuń/Kopiuj — Przesuwa lub tworzy określoną liczbę kopii przez przesunięcie wskazanych prętów.

Obróć/Kopiuj — Obraca lub tworzy określoną liczbę kopii przez obrót wskazanych prętów.

Lustro — Tworzy nowe pręty poprzez lustrzane odbicie istniejących prętów.

6.5.10.2 Weryfikacja trzonu/ściany

Wymiarowanie może zostać przeprowadzone na podstawie poniższych norm:
Eurokod 2: EN 1992-1-1:2010 z załącznikami krajowymi MSZ, DIN, SR, DS, NBN, BS, NEN, SFS, SS, NS, NTC, CSN, PN, ELOT.
SIA: SIA 262:2013



Weryfikacja trzonu/ściany

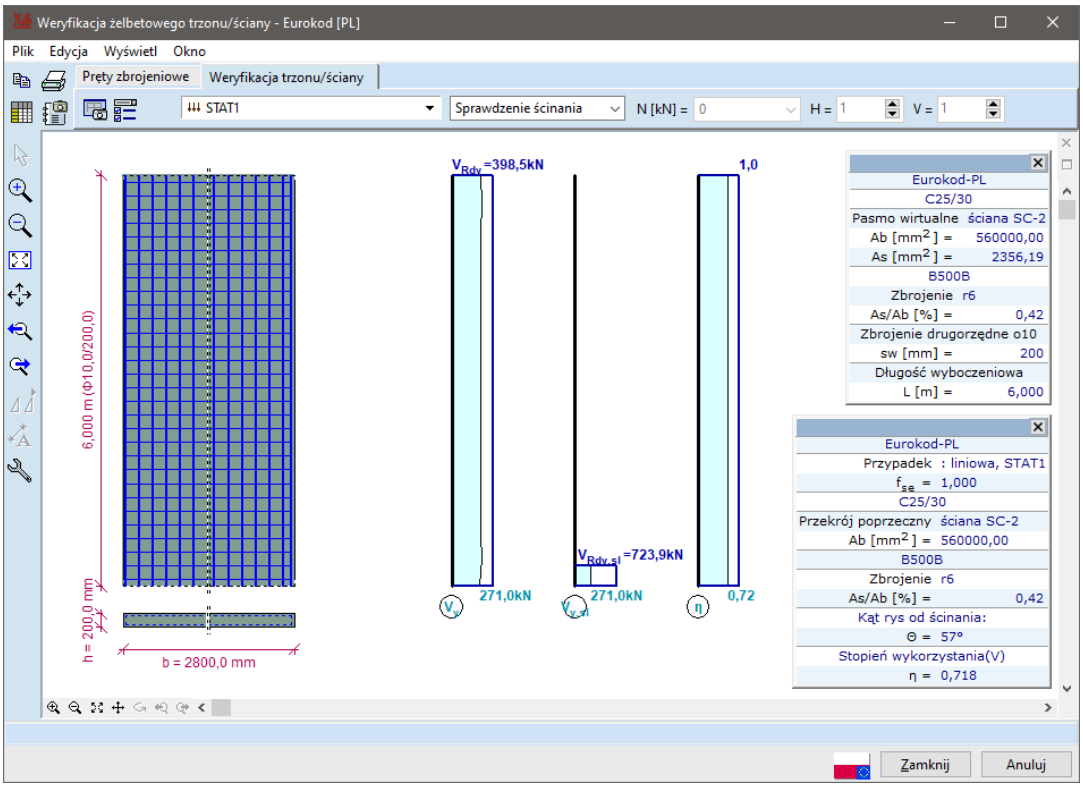
Po wybraniu zakładki *Weryfikacja trzonu/ściany* program wykonuje procedury sprawdzające weryfikowany element na dwukierunkowe zginanie z lub bez siły podłużnej lub na ścinanie dla zadanego przekroju i zdefiniowanego zbrojenia. W przypadku interakcji *N-M*, moduł wyznacza mimośrody od imperfekcji i efektów drugiego rzędu (w oparciu o parametry wyboczeniowe przypisane dla pasm wirtualnych) oraz pozostałe mimośrody zgodnie z wymaganiami bieżącej normy projektowej. Program wyznacza obliczeniowe siły wewnętrzne $N_{x,Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ (**patrz...** *6.5.10.3 Wyznaczanie mimośrodów*) i sprawdza czy punkty reprezentujące te siły znajdują się wewnątrz interakcyjnego wykresu nośności.
Wymiarowanie żelbetowych trzonów i ścian odbywa się bardzo podobnie do wymiarowania słupów żelbetowych, dlatego wykresy, funkcje i przyciski są bardzo podobne lub identyczne jak te opisane w tamtym rozdziale (**patrz...** *6.5.3 Wymiarowanie słupa żelbetowego (moduł RC2)*). Wyświetlane wykresy i ich właściwości mogą zostać ustawione w oknie *Parametry wyświetlania*.

Sprawdzenie ścinania dostępne jest tylko dla pasm wirtualnych, jeżeli stosowna opcja została zaznaczona w oknie dialogowym z parametrami dla pasma. Ściany weryfikowane są tylko na siły tnące równoległe do płaszczyzny ściany.
W oknie z wynikami wymiarowania dostępne są następujące wykresy i rysunki:

a) widok z boku na pasmo ścienne i jego zbrojenie (w przypadku szerszych ścian widoczne są tylko końcowe odcinki ściany),
b) obliczeniowa siła tnąca (V_y) oraz nośność na ścinanie (niebieska linia),
c) w przypadku sprawdzania ścięcia, obliczeniowa siła tnąca w dolnej części ściany oraz nośność przy ścięciu (niebieska linia),
d) maksymalne wykorzystanie (η) na wysokości ściany.

☞ **W przypadku obliczania nośności na ścinanie ścian użebrowanych uwzględniany jest tylko przekrój ściany i jego zbrojenia (bez żeber i ich zbrojenia).**

Wyniki sprawdzenia ścinania



Siły wewnętrzne

Tabela weryfikacyjna sił wewnętrznych zawiera maksymalne siły normalne oraz momenty zginające na górze i na dole kondygnacji wybranej trzonu/ściany. Siły wewnętrzne powstają poprzez całkowanie naprężeń i są powiązane z układem lokalnym wirtualnego pręta/pasma.

Reguły konstrukcyjne

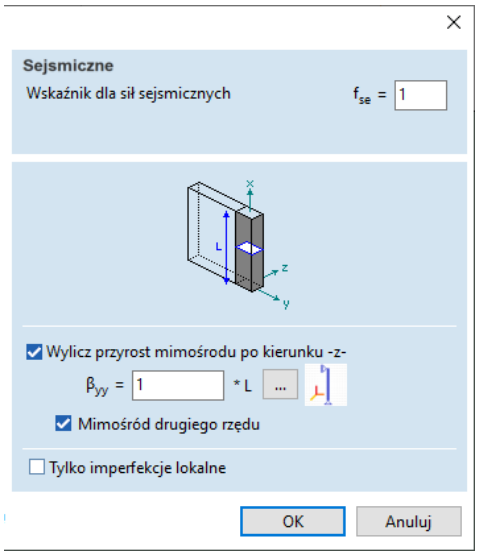
Oprogramowanie sprawdza najbardziej krytyczne reguły konstrukcyjne wg bieżącej normy. Jeżeli jakaś reguła nie zostanie spełniona, to wyświetlone zostanie odpowiednie.

6.5.10.3 Wyznaczanie mimośrodów

Mimośrody z płaszczyzny elementu od imperfekcji oraz mimośrody drugiego rzędu obliczane są tylko w trakcie weryfikacji zbrojenia przypisanego do pasm wirtualnych. Mimośrody te są sumowane z mimośrodami początkowymi wyznaczonymi na podstawie sił wewnętrznych.
W przypadku weryfikacji zbrojenia przypisanego do prętów wirtualnych, program nie oblicza mimośrodów od imperfekcji ani efektów drugiego rzędu, a mimośrody początkowe to całkowite mimośrody obliczeniowe. Jest to możliwe, ponieważ współczesne normy projektowe (np. EN 1992-1-1) zawierają metody pozwalające uwzględnić efekt imperfekcji i efekty drugiego rzędu na poziomie strukturalnym. Zakłada się wówczas, że efekty te są już reprezentowane w otrzymanych siłach wewnętrznych.

Wyznaczenie mimośrodów od imperfekcji oraz mimośrodów drugiego rzędu przy weryfikacji zbrojenia w pasmach wirtualnych jest przeprowadzane tak jak dla słupów żelbetowych (**patrz..** *6.5.3.2 Wyznaczanie mimośrodów*). Główna różnica polega na tym, że mimośrody wyznaczane są tylko w kierunku prostopadłym do płaszczyzny ściany (zakłada się, że kierunek ten odpowiada lokalnej osi -z-).

☞ **W przypadku weryfikacji zbrojenia w ścianie żelbetowej tj. dla pasma wirtualnego zakłada się, że lokalna oś -z- tego pasma jest prostopadła do płaszczyzny ściany. Z tego wynika, że lokalna oś -y- jest słabą osią. W parametrach wymiarowania użytkownik może określić długość wyboczeniową wokół słabej osi.**
Przed przeprowadzeniem wymiarowania zaleca się zweryfikowanie lokalnego układu współrzędnych pasma wirtualnego.



6.5.10.3.1 Weryfikacja zbrojenia trzonu/ściany wg Eurokodu 2 (zginanie z siłą podłużną)

Wartość momentu obliczeniowego wynosi $M_d = N_d \cdot e_d$,

gdzie N_d to obliczeniowa siła osiowa, a e_d to mimośród obliczeniowy.

Wartość mimośrodu obliczeniowego dla

- prętów wirtualnych: $e_d = e_e$
- pasm wirtualnych (wymiar mimośrodu równoległy do płaszczyzny ściany): $e_d = e_e$
- pasm wirtualnych (wymiar mimośrodu prostopadły do płaszczyzny ściany): $e_d = e_e + e_i + e_2$

Wartość minimalna mimośrodu: $\max\left(20mm; \frac{h}{30}\right)$.

Mimośród początkowy e_e obliczany jest na podstawie wartości siły osiowej i momentu zginającego uzyskanych z analizy pierwszego rzędu.

Mimośrody początkowe w przekroju na końcach badanego elementu:

$$e_e = \frac{M_I}{N_d}$$

Mimośrody początkowe w przekroju pośrednim badanego elementu (mimośród równoważny):

$$e_e = \max\begin{Bmatrix} 0.6 \cdot e_a + 0.4 \cdot e_b \\ 0.4 \cdot e_a \end{Bmatrix} \text{ oraz } |e_a| \geq |e_b|,$$

gdzie e_a oraz e_b są początkowymi mimośrodami przekroju na końcach badanego elementu

Mimośród od imperfekcji geometrycznych e_i

$$e_i = \alpha_h \Theta_0 \frac{l_0}{2}$$

gdzie l_0 to długość wyboczeniowa,
$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}}$ oraz $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$ (l to wysokość kondygnacji),
Θ_0 wg załącznika krajowego wybranej normy.

Mimośród drugiego rzędu e_2
Mimośród drugiego rzędu uwzględniany jest, gdy

$\lambda \geq \lambda_{lim} = 20\frac{ABC}{\sqrt{n}}$ gdzie $n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}}$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} \qquad A = \frac{1}{1+0.2\varphi_{ef}}, \qquad B = \sqrt{1+2\omega}, \qquad \omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}},$$

C to stała, która może zostać zmodyfikowana w oknie *Normy projektowe*.

☞ **Wyznaczanie λ_{lim}że różnić się w zależności od załącznika krajowego wybranej normy!**

Dla DIN EN 1992-1-1: $n < 0.41 \rightarrow \lambda_{lim} = \frac{16}{\sqrt{n}}$; $n > 0.41 \rightarrow \lambda_{lim} = 25.0$

Dla normy włoskiej: $\lambda_{lim} = 15.4\frac{c}{\sqrt{n}}$

Dla normy NS EN 1992-1-1 : $\lambda_n = \sqrt{\frac{n}{1+k_a\omega}} \geq \lambda_{n,lim} = 13A_\varphi$

Zalecaną metodą wyznaczania e_2 w zależności od załącznika krajowego wybranej normy, może być metoda nominalnej krzywizny lub nominalnej sztywności. Jeżeli załącznik krajowy dopuszcza obie metody, to stosowana jest metoda nominalnej krzywizny.

Metoda nominalnej krzywizny

$$e_2 = \frac{1}{r}\frac{l_0^2}{c}$$

gdzie $\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{f_{yd}}{E_s \cdot 0.45 \cdot d'}$

$8 \leq c \leq \pi^2$ na podstawie wykresu momentu zginającego pierwszego rzędu

$K_r = \min\left\{\frac{N_u' - N_{Ed}}{N_u' - N_{bal}}; 1.0\right\}$, $K_\varphi = \max\{1 + \beta\varphi_{ef}; 1.0\}$,

$\beta = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150}$, gdzie f_{ck} wyrażone jest w N/mm^2

$d' = \frac{h}{2} + i_s$, gdzie i_s to promień bezwładności zbrojenia podłużnego

Metoda nominalnej sztywności

$$e_2 = (e_e + e_i)\left[1 + \frac{\beta}{N_B/N_d - 1}\right],$$

gdzie $\beta = \frac{\pi^2}{c}$

N_B siła krytyczna na podstawie nominalnej sztywności

$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s$ to nominalna sztywność, gdzie

E_{cd} to obliczeniowa wartość modułu sprężystości betonu, patrz 5.8.6 (3)

I_c to moment bezwładności przekroju betonowego

E_s to obliczeniowa wartość modułu sprężystości zbrojenia, patrz 5.8.6 (3)

I_s to moment bezwładności zbrojenia względem środka ciężkości przekroju betonowego

K_c współczynnik zależny od wpływów zarysowania, pełzania itd., patrz 5.8.7.2. (2), (3)

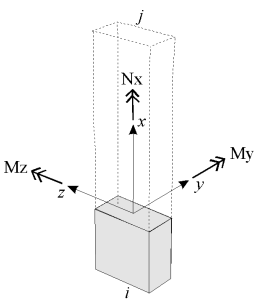
K_s współczynnik zależny od udziału zbrojenia, patrz 5.8.7.2. (2), (3)

Mimośrody wyznaczane są w obu płaszczyznach zginania. Program sprawdza następujące sytuacje obliczeniowe:

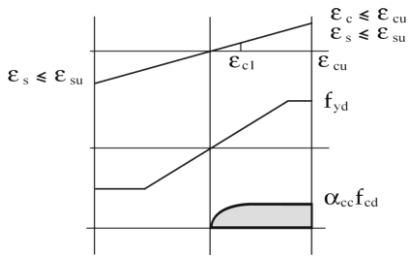
Pręty wirtualne	Pasma wirtualne
$M_{dy} = N_d e_{ez}$	$M_{dy} = N_d(e_{ez} + e_{iz} \pm e_{2z})$
$M_{dz} = -N_d e_{ey}$	$M_{dz} = -N_d e_{ey}$

AxisVM sprawdza czy obliczone siły obliczeniowe *(M_{dy}, M_{dz}, N_d)* znajdują się wewnątrz interakcyjnego wykresu nośności *N-M*. Jeżeli tak nie jest dla dowolnej sytuacji, to trzon/ściana o zadanym przekroju poprzecznym i zbrojeniu uważany jest za niewystarczający.

Na wykresach interakcji nośności *N-M_R* oraz na krzywych granicznych mimośrodu obciążenia punkty reprezentują poniższe siły obliczeniowe. Wartości tych sił i momentów mogą zostać również ręcznie zdefiniowane przez użytkownika w tabeli. Punkty te pojawią się na wykresie interakcji nośności *N-M_R* oraz na krzywych granicznych mimośrodu obciążenia. Znakowanie sił i momentów jest określane zgodnie z rysunkiem obok.



Modele materiałów Zależności σ, ε dla betonu i stali:



6.5.10.3.2 Weryfikacja zbrojenia trzonu/ściany wg SIA 262 (zginanie z siłą podłużną)

Wartość momentu obliczeniowego wynosi $M_d = N_d \cdot e_d$,

gdzie N_d to obliczeniowa siła osiowa, a e_d to mimośród obliczeniowy.

Wartość mimośrodu obliczeniowego dla

- prętów wirtualnych: $e_d = e_{1d}$
- pasm wirtualnych (wymiar mimośrodu równoległy do płaszczyzny ściany): $e_d = e_{1d}$
- pasm wirtualnych (wymiar mimośrodu prostopadły do pł. ściany): $e_d = e_{1d} + e_{0d} + e_{2d}$

e_{0d}: **przyrost mimośrodu wywołany przez imperfekcje geometryczne**

$e_{0d} = \max\left\{\alpha_i \frac{l_{cr}}{2}; \frac{d}{30}\right\}$

gdzie $\frac{1}{200} \geq \alpha_i = \frac{0.01}{\sqrt{l}} \geq \frac{1}{300}$

l_{cr} to długość wyboczeniowa,

l to długość rzeczywista,

d to efektywna wysokość przekroju poprzecznego.

e_{1d}: **mimośród początkowy** obliczany jest na podstawie wartości siły osiowej i momentu zginającego uzyskanych z analizy pierwszego rzędu.

Mimośrody początkowe w przekroju na końcach badanego elementu:

$$e_{1d} = \frac{M_I}{N_d}$$

Mimośrody początkowe w przekroju pośrednim badanego elementu (mimośród równoważny):

$$e_{1d} = \max\left\{\begin{matrix}0.6 \cdot e_a + 0.4 \cdot e_b \\ 0.4 \cdot e_a\end{matrix}\right\} \text{ oraz } |e_a| \geq |e_b|,$$

gdzie e_a oraz e_b są początkowymi mimośrodami przekroju na końcach badanego elementu

$e_{2d} = \chi_d \frac{l_{cr}^2}{\pi^2}$,

gdzie $\chi_d = \frac{2 f_{sd}}{E_s (d - d')}$ gdy wybrano opcję przybliżonej krzywizny.

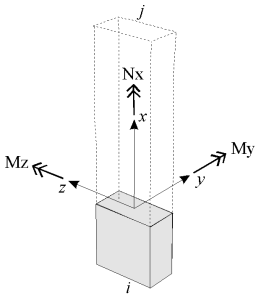
W przeciwnym razie $\chi_d = \frac{\varepsilon_{sd} - \varepsilon'_{sd}}{d - d'} + \frac{|\varepsilon_{c,\infty}|}{d}$.

Mimośrody wyznaczane są w obu płaszczyznach zginania. Program sprawdza następujące sytuacje obliczeniowe:

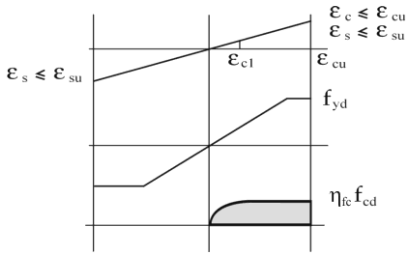
Pręty wirtualne	Pasma wirtualne
$M_{dy} = N_d e_{1z}$	$M_{dy} = N_d (e_{1z} + e_{0z} \pm e_{2z})$
$M_{dz} = -N_d e_{1y}$	$M_{dz} = -N_d e_{1y}$

AxisVM sprawdza czy obliczone siły obliczeniowe *(M_{dy}, M_{dz}, N_d)* znajdują się wewnątrz interakcyjnego wykresu nośności *N-M*. Jeżeli tak nie jest dla dowolnej sytuacji, to trzon/ściana o zadanym przekroju poprzecznym i zbrojeniu uważany jest za niewystarczający.

Na wykresach interakcji nośności *N-M_R* oraz na krzywych granicznych mimośrodu obciążenia punkty reprezentują poniższe siły obliczeniowe. Wartości tych sił i momentów mogą zostać również ręcznie zdefiniowane przez użytkownika w tabeli. Punkty te pojawią się na wykresie interakcji nośności *N-M_R* oraz na krzywych granicznych mimośrodu obciążenia. Znakowanie sił i momentów jest określane zgodnie z rysunkiem obok.



Modele materiałów Zależności σ, ε dla betonu i stali:



6.5.10.4 Sprawdzenie żelbetowych ścian na ścinanie

Główne założenia i ograniczenia Dla pasm wirtualnych program umożliwia obliczenie nośności na ścinanie i wyznaczenie odpowiadającego stopnia wykorzystania. Wykorzystanie od ścinania nie może być zsumowane z wykorzystaniem od interakcji *N-M*. W przypadku trzonów składających się z kilku ścian, ich pasma mogą być weryfikowane jedynie oddzielnie.
Do obliczeń zakłada się, że zbrojenie pionowe i poziome jest odpowiednio zakotwione.

Sprawdzenie ściany na ścinanie składa się z dwóch części:

1) Moduł oblicza wytrzymałość na ścinanie betonowego przekroju poprzecznego i zastosowanego zbrojenia, biorąc pod uwagę wartość kąta rys od ścinania ustawionego w parametrach wymiarujących. Powierzchnia ewentualnych żeber połączonych ze ścianami i ich zbrojenie nie są uwzględniane w obliczeniach.
   Analizę można stosować tylko dla ścian, dla których kąt zarysowania od ścinania uznawany jest za prawidłowy
2) Moduł oblicza nośność na ścięcie w dolnej części ściany, jeżeli w parametrach zaznaczony został ten typ sprawdzenia

Maksymalny stopień wykorzystania danej kondygnacji obliczany jest na podstawie wyników z powyższych sprawdzeń.

Ramię siły Ramię sił wewnętrznych (*z*) odgrywa ważną rolę, podczas obliczania nośności na ścinanie przekroju żelbetowego. Ramię interpretowane jest jako odległość między środkiem ciężkości zbrojenia rozciąganego a strefy ściskanej.
W przypadku belek wartość ramienia siły w przybliżeniu przyjmuje się jako 0.9*d*, gdzie *d* to wysokość użyteczna przekroju. Jednak w przypadku występowania siły podłużnej nie można stosować takiego uproszczenia, dlatego program automatycznie oblicza ramię sił wewnętrznych z uwzględnieniem siły podłużnej w danym przekroju.

6.5.10.4.1 Weryfikacja ścinania i ścięcia w styku wg Eurokodu 2

Nośność na ścinanie betonu

$$V_{Rd} = k_d \tau_{cd} b_w d$$

$$k_d = \frac{1}{1 + 3\varepsilon_v d}$$

$$\varepsilon_v = 1.5 \frac{f_{sd}}{E_s}$$

gdzie:

- τ_{cd} to graniczne naprężenie od ścinania ($\tau_{cd} = 0{,}3\sqrt{f_{ck}}/\gamma_c$),
- b_w to najmniejsza szerokość przekroju poprzecznego w strefie rozciąganej (dla przekroju kołowego 0.8*D*),
- *d* to wysokość użyteczna.

Nośność na ścinanie betonu

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c}k(100\rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1\sigma_{cp}\right]b_w d \geq \left(v_{min} + k_1\sigma_{cp}\right)b_w d$$

gdzie:

- ρ_{sl} to stopień zbrojenia rozciąganego,
- b_w to najmniejsza szerokość przekroju poprzecznego w strefie rozciąganej (dla przekroju kołowego 0.8*D*),
- d to wysokość użyteczna,
- σ_{cp} to naprężenia normalne w przekroju poprzecznym wywołane przez obciążenie lub sprężenie (wartość dodatnia przy ściskaniu), lecz nie więcej niż $0.2f_{cd}$,
- Parametry $C_{Rd,c}$, v_{min} oraz k_1 mogą być określone przez załącznik krajowy. Ich wartości mogą zostać określone w oknie *Normy projektowe* na zakładce *Żelbet* (**patrz...** *3.3.7 Normy projektowe*).

Nośność na ścinanie dla zbrojenia poziomego

Prostokątny przekrój poprzeczny:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot\theta$$

gdzie:

- A_{sw} to pole przekroju zbrojenia na ścinanie,
- s to rozstaw strzemion lub skok uzwojenia,
- z to ramię sił wewnętrznych,
- f_{ywd} to obliczeniowa granica plastyczności zbrojenia na ścinanie,
- θ to kąt zarysowania od ścinania (kąt między betonowymi krzyżulcami ściskanymi a osią podłużną belki), którego wartość ustawiana jest w parametrach wymiarowania ściany.

Maksymalna obliczeniowa nośność na ścinanie

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta}$$

gdzie:

- α_{cw} to współczynnik zależny od stanu naprężenia w pasie ściskanym,
- v_1 to współczynnik redukcji wytrzymałości betonu zarysowanego przy ścinaniu,
- α to kąt między zbrojeniem na ścinanie a osią podłużną belki (dla strzemion α=90°).

Nośność na ścięcie

Analiza tego warunku opiera się na zasadach opisanych w rozdziale 6.2.5 Eurokodu 1992-1-1 wg poniższych wzorów i parametrów.

Nośność na ścięcie w dolnej części ściany:

$$V_{Rd,sl} = A_w\left[c f_{ctd} + \mu\sigma_n + \rho f_{yd}(\mu\sin\alpha + \cos\alpha)\right] \leq 0.5\nu f_{cd}$$

gdzie:

- A_w to pole przekroju poprzecznego pasma wirtualnego obszaru (bez pola ew. żeber połączonych z danym obszarem),
- c oraz μ to współczynniki zależne od szorstkości płaszczyzny zespolenia,
- f_{ctd} to obliczeniowa wytrzymałość betonu na rozciąganie,
- σ_n to naprężenie na jednostkę powierzchni wywołane przez najmniejsze obciążenia zewnętrzne powierzchni zespolenia, które zawsze działa jednocześnie z siłą ścinającą styk. Wartość dodatnia przy ściskaniu, nie większa niż $0.6f_{cd}$ oraz gdy naprężenie σ_n jest rozciągając to $c \cdot f_{ctd}$ przyjmuje się równe zeru.
- $\rho = A_{s0}/A_i$,
  gdzie:
- A_{s0} to pole zbrojenia przecinającego płaszczyznę zespolenia odpowiednio zakotwionego po obu stronach styku (łącznie ze zbrojeniem ew. żeber połączonych z obszarem),
- A_i to pole złącza (łącznie z polem przekroju ew. żeber połączonych z obszarem),
- f_{yd} to obliczeniowa granica plastyczności zbrojenia, α = 90° (zbrojenie pionowe),
- ν to współczynnik redukcji wytrzymałości.

6.5.10.4.2 Weryfikacja ścinania i ścięcia w styku wg SIA 262

Nośność na ścinanie zbrojenia drugorzędnego

Prostokątny przekrój poprzeczny:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{sd} \cot \alpha$$

Okrągły przekrój poprzeczny:

$$V_{Rd,s} = \lambda_1 \lambda_2 \frac{A_{sw}}{s} z f_{sd} \cot \alpha$$

gdzie:

- A_{sw} to pole przekroju zbrojenia na ścinanie,
- s to rozstaw strzemion lub skok uzwojenia,
- z to ramię sił wewnętrznych,
- f_{sd} to obliczeniowa granica plastyczności zbrojenia na ścinanie,
- α to kąt zarysowania od ścinania,
- λ_1 to współczynnik redukcyjny dla strzemion okrągłych,
- λ_2 to współczynnik redukcyjny dla zbrojenia uzwojonego.

Maksymalna obliczeniowa nośność na ścinanie

$$V_{Rd,c} = b_w z k_c f_{cd} \sin \alpha \cos \alpha$$

$$k_c = \frac{1}{1.2 + 55\varepsilon_1} \leq 0.65$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_x + (\varepsilon_1 + 0.002) \cot^2 \alpha$$

gdzie:

k_c to współczynnik redukcji wytrzymałości betonu zarysowanego przy ścinaniu.

Nośność na ścięcie

Analiza tego warunku opiera się na zasadach opisanych w rozdziale 4.3.4.3.2 SIA 262 wg poniższych wzorów i parametrów.

Nośność na ścięcie w dolnej części ściany:

$$V_{Rd,sl} = b_w \cdot z(k_{c\tau} \tau_{cd} - k_{c\sigma} \sigma_d) \leq 0.15 f_{cd}$$

gdzie:

- b_w to grubość obszaru powiązanego z pasem wirtualnym (grubość ściany), przekrój ew. żeber nie jest uwzględniany,
- z to ramię sił wewnętrznych (uwzględniające przekrój poprzeczny pasma, ale bez ew. żeber),
- $k_{c\sigma}$ to współczynnik redukcyjny dla naprężeń normalnych,
- $k_{c\tau}$ to współczynnik redukcyjny granicznych naprężeń ścinających,
- τ_{cd} to obliczeniowa wartość granicznych naprężeń ścinających,
- f_{cd} to obliczeniowa wartość wytrzymałości betonu na ściskanie,
- σ_d to naprężenia normalne w powierzchni zespolenia, wyznaczone ze wzoru:

$$\sigma_d = \frac{-|V_d| \cot \alpha}{z \cdot b_w} + \frac{N_d}{l_w b_w}$$

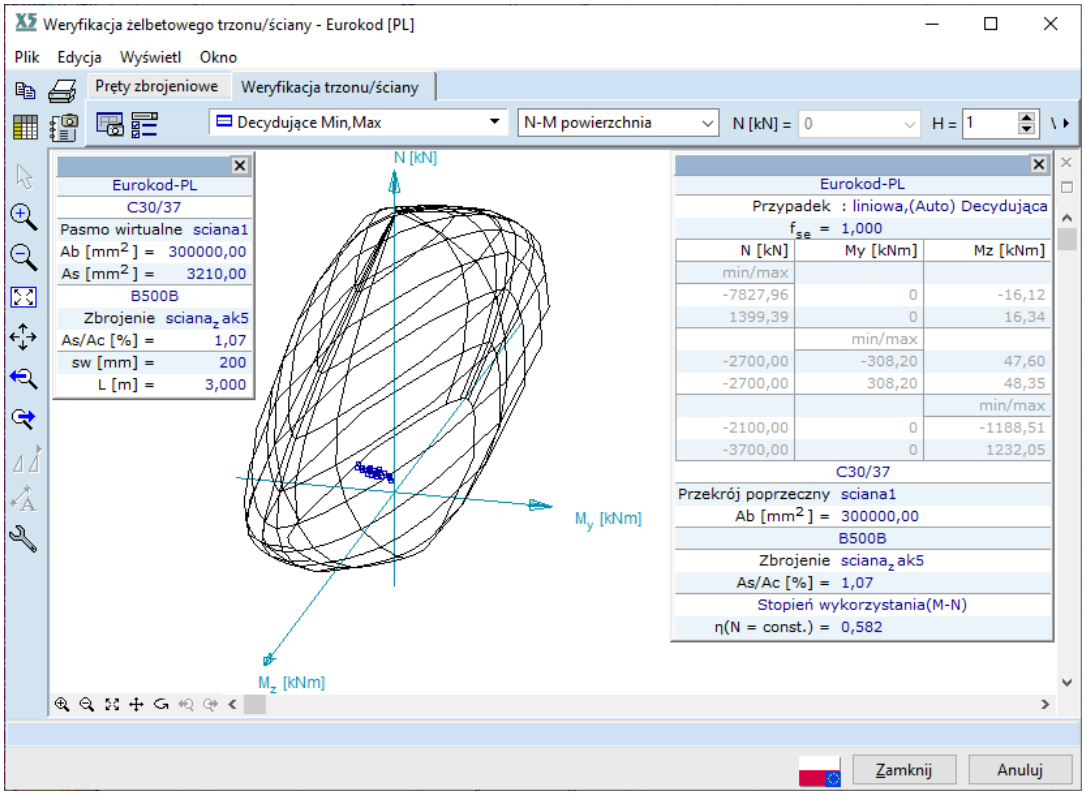
gdzie:

- N_d to obliczeniowa wartość siły normalnej oddziałującej w przekroju pasma wirtualnego, wartość ujemna przy ściskaniu,
- V_d to obliczeniowa siła tnąca,
- α to nachylenia pola ściskanego,
- l_w to długość ścinanej ściany (długość pasma wirtualnego).

6.5.10.5 Wyniki

Wyniki weryfikacji żelbetowych trzonów i ścian mogą zostać wyświetlone w programie na wiele sposobów.

Rysunki



Rysunki z wymiarowania (interakcyjne wykresy wytrzymałości N_x-M_y-M_z ; N_x-M_y, N_x-M_z oraz M_y-M_z czy graniczne krzywe mimośrodów, sprawdzenie ścinania) mogą zostać zapisane w Bibliotece rysunków poprzez kliknięcie w ikonę *Zapisz do Biblioteki rysunków* (**patrz...** *3.6.10 Biblioteka Rysunków*).

Tabele

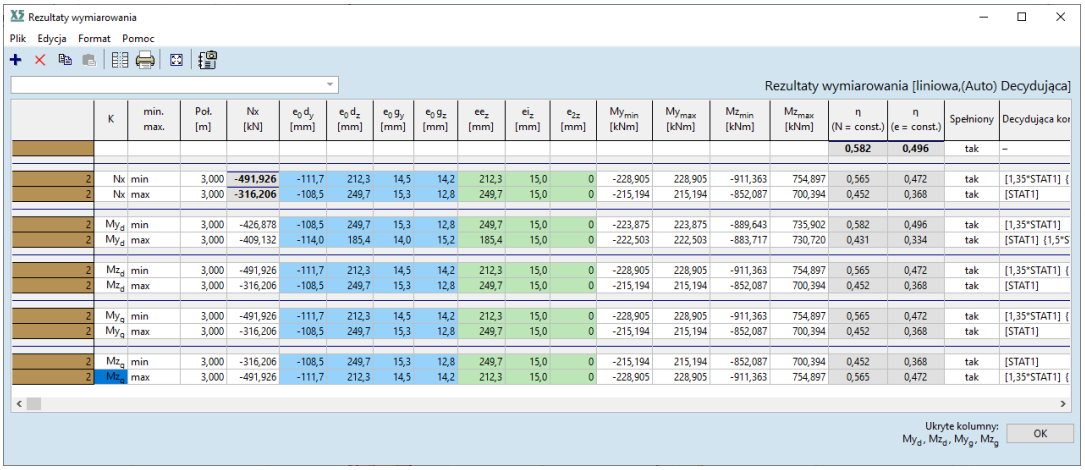
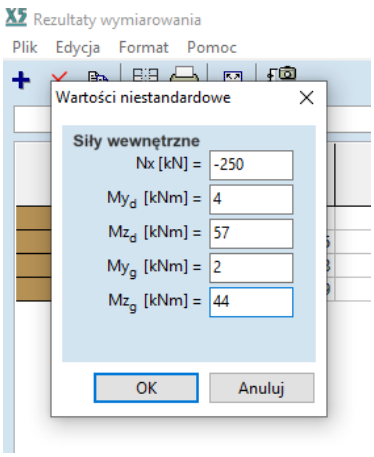


Tabela *Rezultaty wymiarowania* dostępna jest w oknie *Weryfikacja żelbetowego trzonu/ściany* lub bezpośrednio w oknie *Trzony i ściany żelbetowe*.

Jeżeli tabela została otwarta z okna *Weryfikacja trzonu/ściany*, to przedstawione w tabeli wyniki odpowiadają wyświetlonemu wcześniej rysunkowi, tj. dla wszystkich komponentów oprócz sprawdzenia ścinania pojawi podsumowanie interakcji *N-M*, a podsumowanie ścinania tylko dla komponentu *Sprawdzenie ścinania*.

Jeżeli tabela ta zostanie otwarta w oknie *Weryfikacja żelbetowego trzonu/ściany*, to jest ona wtedy edytowalna (poszczególne kolumny tabeli można włączyć/wyłączyć, a użytkownik może dodać własne wartości sił i momentów).



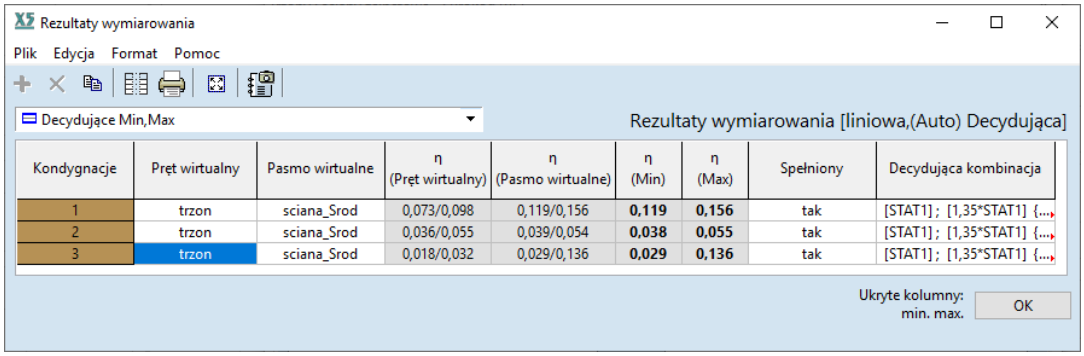
Jeżeli tabela ta została otwarta z okna *Trzony i ściany żelbetowe* to w takim przypadku nie jest edytowalna, ale można wybrać w niej przypadek/kombinację obciążeń, obwiednię lub obwiednie decydujące z rozwijanej listy. Po wybraniu jednego z powyższych elementów z listy, program automatycznie wykona obliczenia wymiarujące, co może zająć kilka/kilkanaście sekund.

Tabela *Rezultaty wymiarowania* dla całkowitego wykorzystania (dostępna tylko dla interakcji *N-M*) może zostać otwarta tylko w oknie *Trzony i ściany żelbetowe*. Tabela ta podsumowuje wyniki wymiarowania dla wirtualnego pręta i pasma i pokazuje również wykorzystanie całkowite (patrz rysunek poniżej).

Jeżeli stopień wykorzystania z jakiegoś powodu nie może zostać wyznaczony, to zostanie oznaczony w komórce tabeli symbolem *???*.

Jeżeli stopień wykorzystania przekracza wartość 1.0, to wartość ta przedstawiana jest kolorem czerwonym.

Całkowity stopień wykorzystania uwzględnia tylko interakcję *N-M*. Sprawdzenie ścinania pasma nie jest uwzględniane.

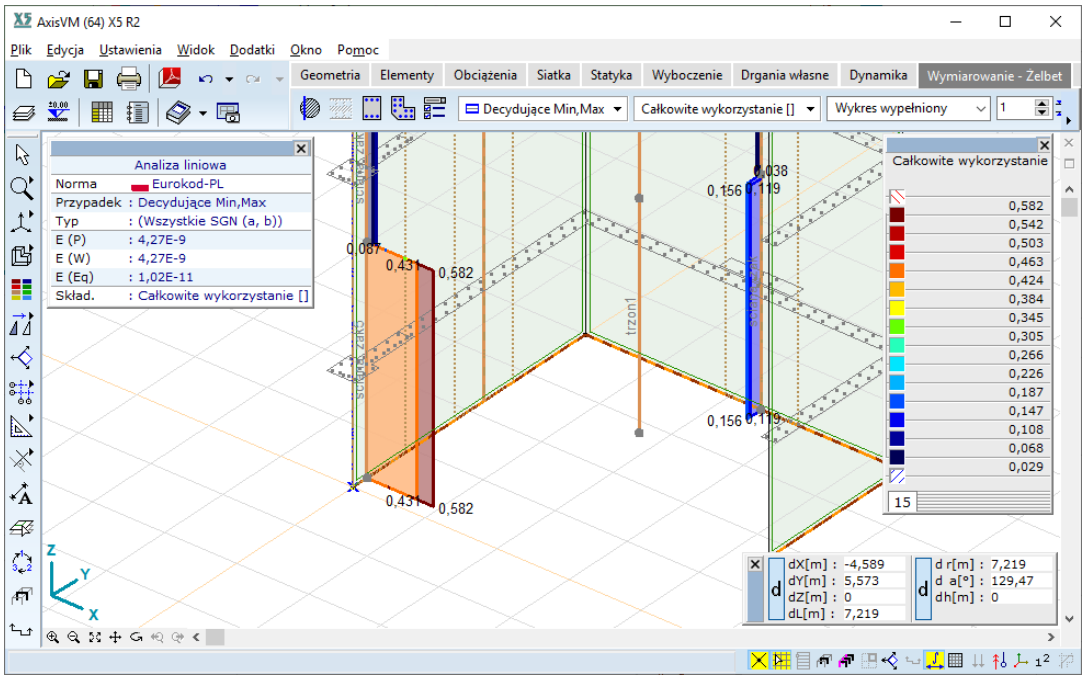


Kondygnacje	Pręt wirtualny	Pasmo wirtualne	η (Pręt wirtualny)	η (Pasmo wirtualne)	η (Min)	η (Max)	Spełniony	Decydująca kombinacja
1	trzon	sciana_Srod	0,073/0,098	0,119/0,156	**0,119**	**0,156**	tak	[STAT1] ; [1,35*STAT1] {...
2	trzon	sciana_Srod	0,036/0,055	0,039/0,054	**0,038**	**0,055**	tak	[STAT1] ; [1,35*STAT1] {...
3	trzon	sciana_Srod	0,018/0,032	0,029/0,136	**0,029**	**0,136**	tak	[STAT1] ; [1,35*STAT1] {...

Komponenty wyników

Jeżeli do wirtualnych prętów/pasm przypisane są kondygnacje i zbrojenie rzeczywiste oraz dostępne są wyniki analizy statycznej (liniowej lub nieliniowej) lub dynamicznej, to na zakładce *Wymiarowanie – Żelbet* na liście komponentów z wynikami pojawi się nowy składnik związany z wymiarowaniem ścian i trzonów żelbetowych:

- Wykorzystanie (pręt) – jeżeli na modelu zdefiniowano kondygnacje i zbrojenie rzeczywiste do prętów wirtualnych,
- Wykorzystanie (pasmo) – jeżeli na modelu zdefiniowano kondygnacje i zbrojenie rzeczywiste do pasm wirtualnych,
- Całkowite wykorzystanie – jeżeli zdefiniowano przynajmniej jedną parę wirtualny pręt – wirtualne pasmo w oknie *Trzony i ściany żelbetowe*. Wykorzystanie całkowite wyświetlane jest na wirtualnym paśmie pary pręt-pasmo. Całkowite wykorzystanie jest wykorzystaniem na bazie interakcji *N-M* i nie uwzględnia wyników od sprawdzenia ścinania.
- *Stopień wykorzystania N-M (Pasmo wirtualne)* – jeżeli na modelu do pasma wirtualnego przypisano kondygnacje i zbrojenie rzeczywiste,
- *Stopień wykorzystania V (Pasmo wirtualne)* - jeżeli na modelu do pasma wirtualnego przypisano kondygnacje i zbrojenie rzeczywiste oraz zaznaczono opcję *Sprawdzenie ścinania*.



Wyniki w Przeglądarce tabel

Wyniki wymiarowania dostępne są również w Przeglądarce tabel (**patrz...** *2.9 Przeglądarka tabel*), z wyszczególnieniem wyników dla poszczególnych ścian.

6.5.11 Analiza naprężenie-odkształcenie konstrukcji żelbetowych (moduł RC6)

Dokładna informacja o naprężeniach i odkształceniach w żelbetowym przekroju poprzecznym jest potrzebna w wielu sytuacjach (np. sprawdzenie stanów użytkowalności, analiza zmęczeniowa). Moduł RC6 daje możliwość przeprowadzenia analizy naprężenie-odkształcenie przekroju słupów, belek oraz elementów powierzchniowych ze zbrojeniem rzeczywistym na podstawie sił wewnętrznych. Analiza ta uwzględnia wpływ zbrojenia rzeczywistego, zarysowanie betonu oraz nieliniową odpowiedź materiałów.
Celem analizy jest uzyskanie odkształcenia i krzywizny w przekroju dla danego zestawu sił wewnętrznych. Ze względu na to, że rozwiązanie problemu jest nieciągłe i nieliniowe, konieczne jest zastosowanie iteracji w celu znalezienia równowagi w przekroju.

☞ **Powyższa analiza dla belek i słupów wymaga do działania podstawowego modułu wymiarującego te elementy (moduł RC2), ponieważ warunkiem koniecznym jej uruchomienia jest wcześniejsze przypisanie zbrojenia rzeczywistego do tych elementów (patrz...** *6.5.2.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste belek (zginanie jednokierunkowe)* **oraz** *6.5.3.1 Parametry i zbrojenie rzeczywiste słupów (zginanie dwukierunkowe)***).**

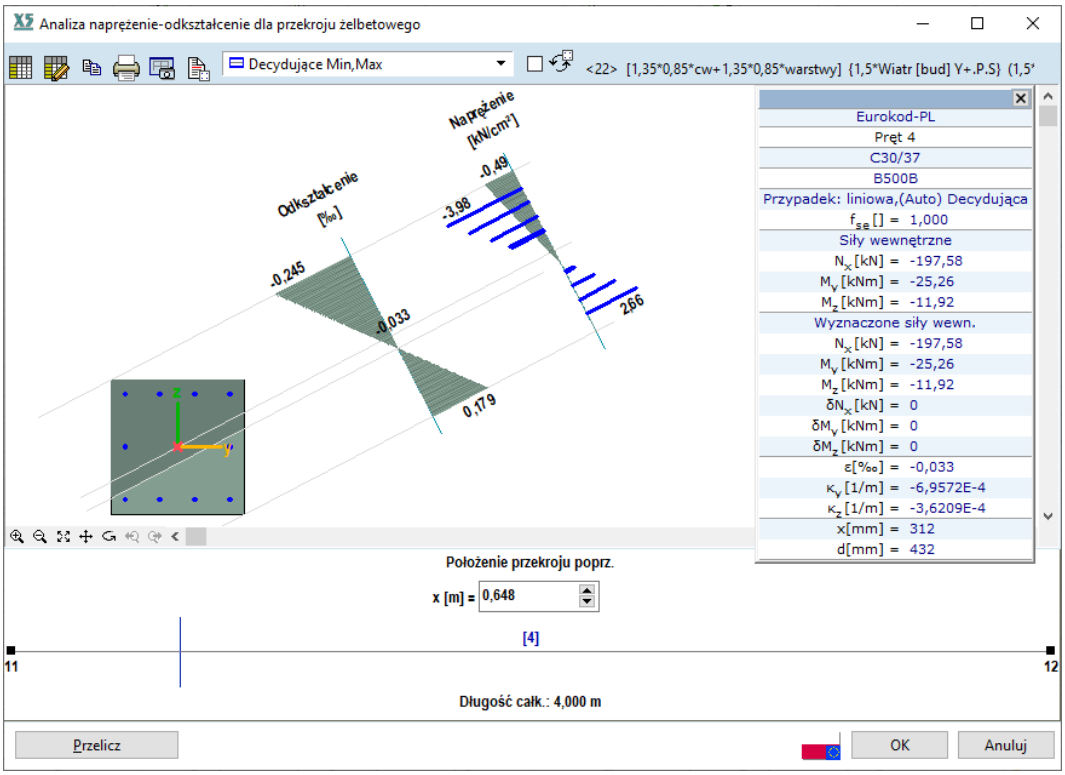
☞ **Powyższa analiza dla elementów powierzchniowych wymaga do działania podstawowego modułu wymiarującego te elementy (moduł RC1). Za pomocą tego modułu można analizować normalne obszary (płyty/ściany monolityczne), zespolone płyty użebrowane oraz obszary z niestandardową macierzą sztywności.**

6.5.11.1 Analiza naprężenie-odkształcenie belek i słupów

Kliknij w ikonę polecenia, a następnie wskaż jeden (tylko jeden) element żelbetowy (**patrz...** *2.16.1 Wybór elementów*). Ikona polecenia jest aktywna tylko wtedy, gdy na modelu występuję przynajmniej jeden element betonowy (pręt, żebro, pręt kratowy) z przypisanym zbrojeniem rzeczywistym. Poniżej wymieniono możliwe ostrzeżenia, które mogą pojawić się podczas selekcji elementu:

- Nie wybrano żadnego elementu
- Wybrano więcej niż jeden element
- Materiał wybranego elementu nie jest betonem lub brak przypisanego zbrojenia rzeczywistego
- Wybrany element jest profilem zespolonym.

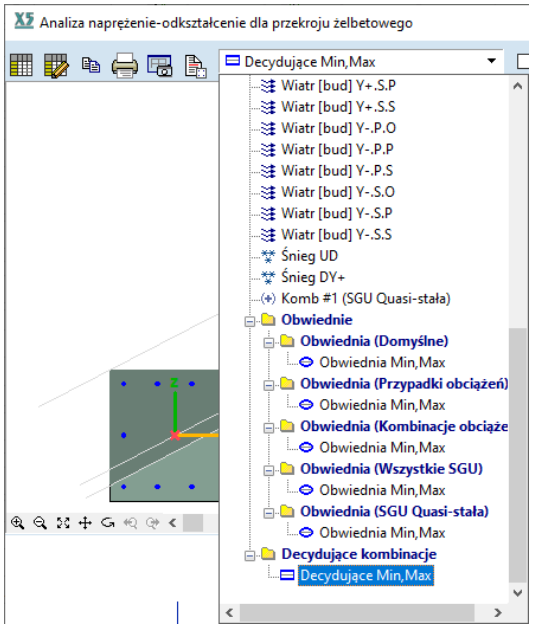
Jeżeli wybór elementu zostanie zaakceptowany, to otwarte zostanie okno *Analiza naprężenie-odkształcenie dla przekroju żelbetowego*, w którym można przeprowadzić wskazaną analizę w dowolnym przekroju na długości elementu.



Przypadek obciążenia, kombinacja, obwiednia lub kombinacja decydująca

Z rozwijanej listy użytkownik może wybrać odpowiednie obciążenie:

- przypadek lub kombinacja
- *i*-ty przyrost nieliniowej analizy
- obwiednia
- kombinacje decydujące



Położenie przekroju poprzecznego

Analiza naprężenie-odkształcenie przeprowadzana jest dla sił wewnętrznych w danym przekroju. Położenie przekroju może zostać ustawione za pomocą poziomego suwaka w dolnej części okna dialogowego.

Tabela z wynikami – **patrz...** *6.5.11.1.3 Wyniki*

Tabela z wynikami (własny zestaw sił) – **patrz...** *6.5.11.1.3 Wyniki*

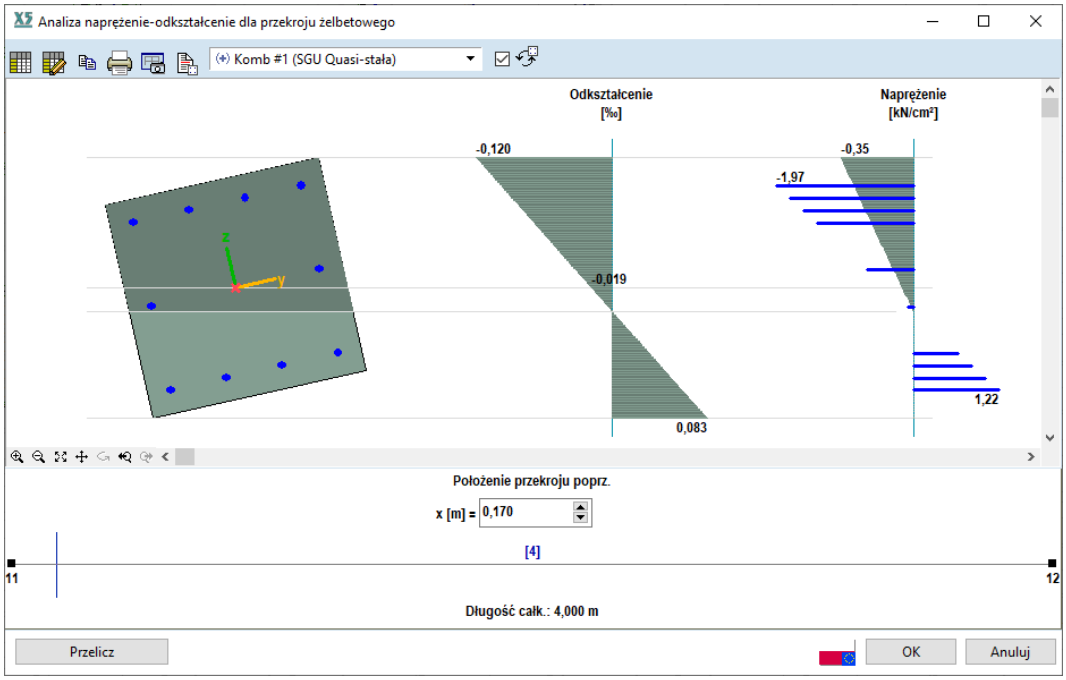
Kopiuje obraz do schowka

Drukuje obraz

Zapisuje obraz w Bibliotece rysunków (**patrz...** *3.6.10 Biblioteka Rysunków* oraz *3.6.11 Zapisz w Bibliotece rysunków*)

Parametry dla analizy naprężenie-odkształcenie – **patrz...** *6.5.11.1.1 Parametry analizy naprężenie-odkształcenie*.

Opcja obracająca w widoku analizy przekrój poprzeczny tak, aby jego oś obojętna przebiegała poziomo (patrz rysunek poniżej).



Przelicz Może zdarzyć się, że zastosowany algorytm heurystyczny nie znajdzie stanu równowagi w przekroju lub jego dokładność będzie niewystarczająca. W takich przypadkach można ponownie uruchomić analizę naprężenie-odkształcenie poprzez kliknięcie w przycisk *Przelicz*.

6.5.11.1.1 Parametry analizy naprężenie-odkształcenie

Zestaw parametrów, które wykorzystywane są podczas analizy naprężenie-odkształcenie, definiowane są w poniższym oknie dialogowym.

Materiały

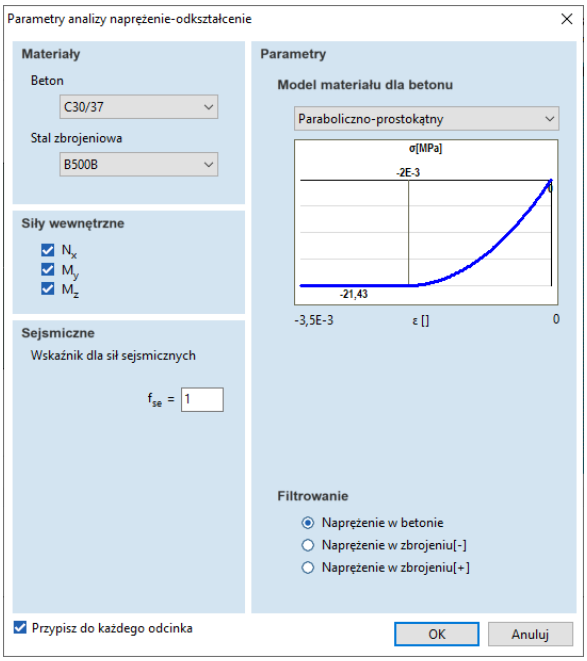
Definicja materiału dla betonu i stali zbrojeniowej. Na potrzeby analizy można wybrać inną klasę niż zadano do obliczeń na modelu globalnym.

Siły wewnętrzne

Poszczególne składniki sił wewnętrznych mogą być włączone/wyłączone przez użytkownika. Tylko zaznaczone komponenty uwzględniane są w analizie naprężenie-odkształcenie. Do przeprowadzenia analizy konieczne jest wybranie przynajmniej jednego rodzaju siły wewn.

Sejsmiczne

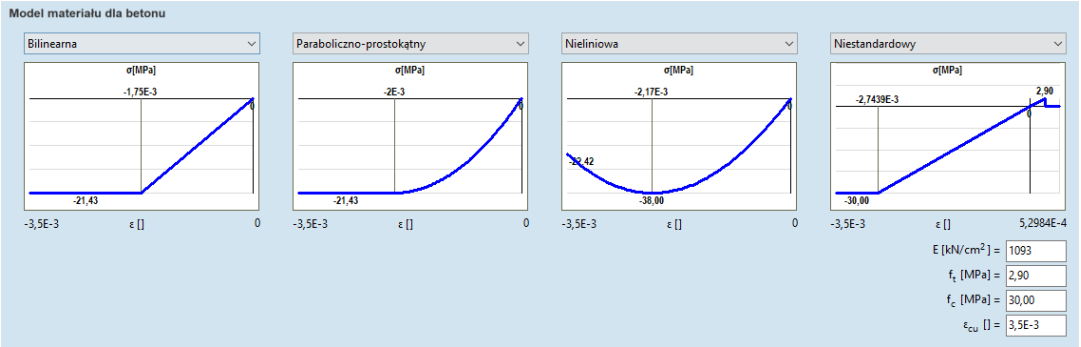
Więcej informacji o współczynniku sejsmicznym **patrz...** *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*



Model materiału dla betonu

Z rozwijanej listy można wybrać nieliniowy model materiału dla betonu, który zostanie wykorzystany w analizie naprężenie-odkształcenie. Dostępne modele mogą różnić się w zależności od wybranej normy (Eurokod lub SIA).

Eurokod



Bilinearny

Model materiału zgodnie z rozdziałem 3.1.7. (2) normy EN 1992-1-1

$\sigma = f_{cd}$ dla $\varepsilon < -\varepsilon_{c3}$

$\sigma = f_{cd}\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c3}}$ dla $0 \geq \varepsilon \geq -\varepsilon_{c3}$

Paraboliczno-prostokątny

Model materiału zgodnie z rozdziałem 3.1.7. (2) normy EN 1992-1-1

$\sigma = f_{cd}$ dla $\varepsilon < -\varepsilon_{c2}$

$\sigma = f_{cd}\left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c2}}\right)^n\right]$ dla $0 \geq \varepsilon \geq -\varepsilon_{c2}$

Nieliniowy

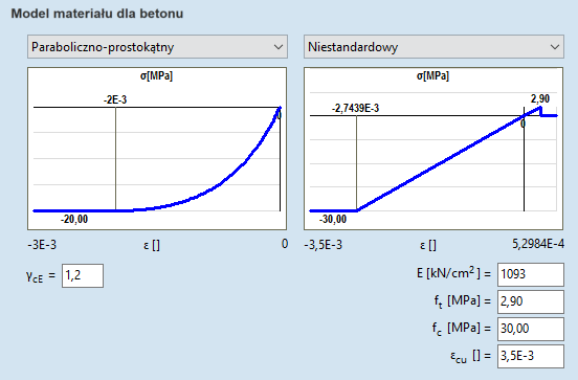
Model materiału zgodnie z rozdziałem 3.1.5 (1) normy EN 1992-1-1

$$\frac{\sigma}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}$$

Niestandardowy

Parametry materiału określone przez użytkownika. Model taki może zostać wykorzystany przy uwzględnianiu wytrzymałości betonu na rozciąganie lub wpływu pełzania na sztywność przekroju betonowego.

Norma SIA



Paraboliczno-prostokątny

Model materiału zgodnie z rozdziałem 4.2.1.6 normy SIA 262

$$\frac{\sigma_c}{f_{cd}} = \frac{k_\sigma \zeta - \zeta^2}{1 + (k_\sigma - 2)\zeta}$$

☞ **Modele bilinearne, paraboliczno-prostokątne i nieliniowe normy projektowe określają jako odpowiednie przede wszystkim do wymiarowania przekrojów poprzecznych belek i słupów. Z tego powodu sztywność przekroju betonowego niekoniecznie równa się sztywności stosowanej podczas ręcznych obliczeń.**
Dla niestandardowego modelu betonu można samodzielnie wprowadzić wartość modułu Younga. Taki model materiału może być wykorzystywany przy uwzględnianiu wytrzymałości betonu na rozciąganie czy wpływu pełzania.

☞ **Odpowiedź stali zbrojeniowej opisana jest za pomocą bilinearnego modelu materiału.**

Filtrowanie

Jeżeli do analizy naprężenie-odkształcenie wybrano wyniki z obwiedni lub kombinacji decydujących, to obliczenia prowadzone są dla wielu przypadków i kombinacji obciążeń. Wszystkie wyniki takiej analizy są widoczne w tabeli z wynikami, ale graficznie prezentowany jest tylko konkretny przypadek/kombinacja decydująca. Przedstawiony przypadek/kombinacja może być miarodajny w znaczeniu naprężeń w betonie lub naprężeń w zbrojeniu.
W części okna *Filtrowanie* można ustawić pożądane kryterium wyświetlania wyników.

6.5.11.1.2 Analiza naprężenie-odkształcenie

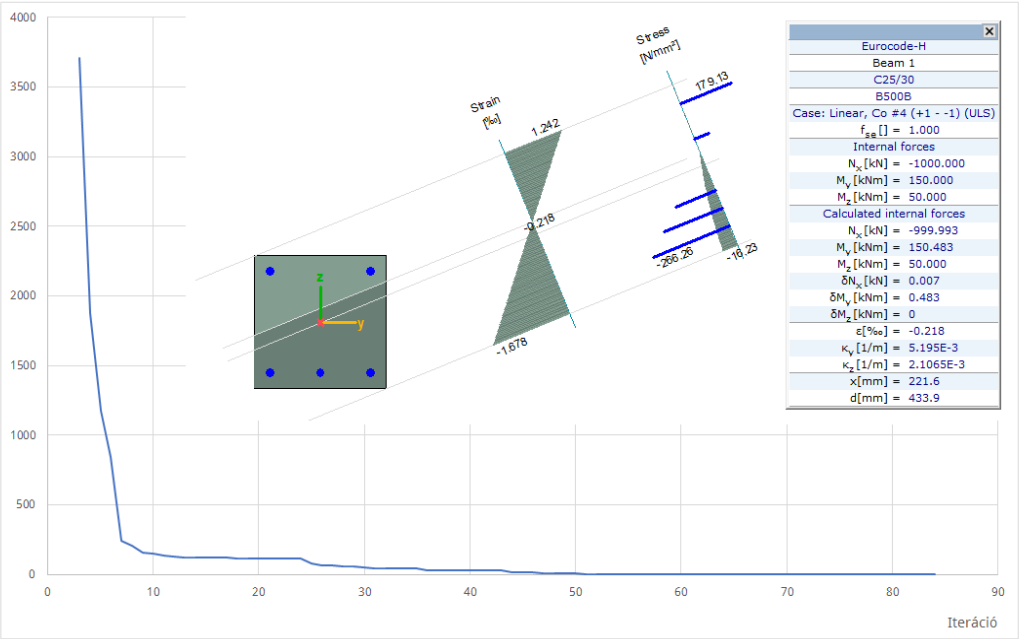
Podczas analizy wyznaczane jest odkształcenie i krzywizna przekroju dla zadanego zestawu sił wewnętrznych, uwzględniając nieliniowe właściwości materiału oraz zarysowanie w betonie. Obsługiwane normy projektowe:

Eurocode 2: EN 1992-1-1:2010
SIA: SIA 262:2013

☞ **Gdy wybrane zostały kombinacje decydujące lub obwiednia, to moduł RC6 może przeprowadzić obliczenia z wykorzystaniem wielowątkowości. Z tego powodu wskazane jest włączenie opcji używania wielu wątków w** *Ustawienia / Preferencje / Obliczenia***.**

Iteracje

Ze względu na to, że rozwiązanie problemu jest nieciągłe i nieliniowe, konieczne jest zastosowanie iteracji w celu znalezienia równowagi w przekroju. Moduł RC6 wykorzystuje heurystyczny algorytm oparty na algorytmie genetycznym.



☞ **W niektórych przypadkach może zdarzyć się sytuacja, że algorytm heurystyczny nie znajduje rozwiązania lub jego dokładność jest nieodpowiednia (dopuszczalne różnice dla sił osiowych wynoszą 1% lub 1kN, a dla momentów zginających 1kNm). W takich sytuacjach analiza naprężenie-odkształcenie może zostać powtórzona poprzez kliknięcie przycisku *Przelicz*.**

Całkowanie

Siły wewnętrzne zgodne z odkształceniami wyznaczane są przy pomocy specjalnego modelu tzw. fiber model (ang.), który polega na dyskretyzacji przekroju poprzecznego i numerycznym całkowaniu na podstawie odkształceń normalnych ε oraz krzywizny κy oraz κz.
Rozważany model materiału jak i klasa betonu oraz stali zbrojeniowej może zostać określona przez użytkownika.

6.5.11.1.3 Wyniki

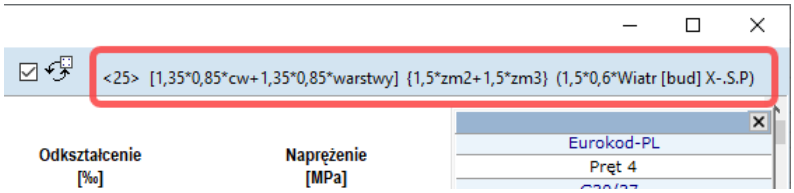
Wyniki

Wyniki z analizy naprężenie-odkształcenie prezentowane są w postaci tabelarycznej oraz jako wykresy w oknie głównym.
Możliwe błędy podczas tej analizy to:

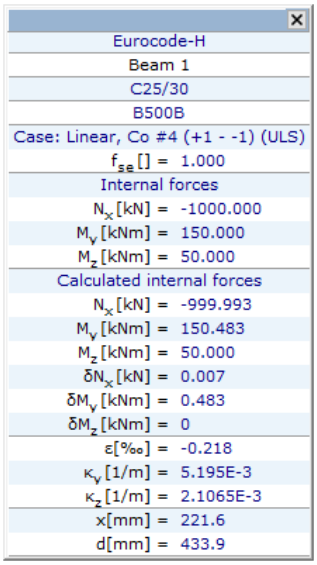
- Algorytm nie znalazł rozwiązania (równowagi w przekroju), a analiza naprężenie-odkształcenie powinna zostać powtórzona.
- Siły wewnętrzne przekraczają nośność przekroju, czyli ilość zbrojenia zadana podczas wymiarowania jest niewystarczająca.

Obwiednia i kombinacje decydujące

Jeżeli wybrano wyniki dla obwiedni lub kombinacji decydujących, to wyniki w postaci wykresu przedstawiane są dla konkretnego, miarodajnego przypadku lub kombinacji. Oznaczenie tego przypadku lub kombinacji z opisem formuły kombinacyjnej znajduje się nad rysunkiem w prawym narożniku.



Panel informacyjny



f_{se} współczynnik dla sił sejsmicznych

Siły wewnętrzne

N_x siła normalna

M_y moment zginający

M_z moment zginający

Wyznaczone siły wewnętrzne

N_x siła normalna (scałkowana)

M_y moment zginający (scałkowany)

M_z moment zginający (scałkowany)

δN_x różnica pomiędzy wprowadzoną siłą normalną, a siłą po scałkowaniu

δM_y różnica pomiędzy wprowadzonym momentem zginającym, a momentem po scałkowaniu

δM_z różnica pomiędzy wprowadzonym momentem zginającym, a momentem po scałkowaniu

ε odkształcenie w środku ciężkości przekroju

κ_y krzywizna (oś -*y*-)

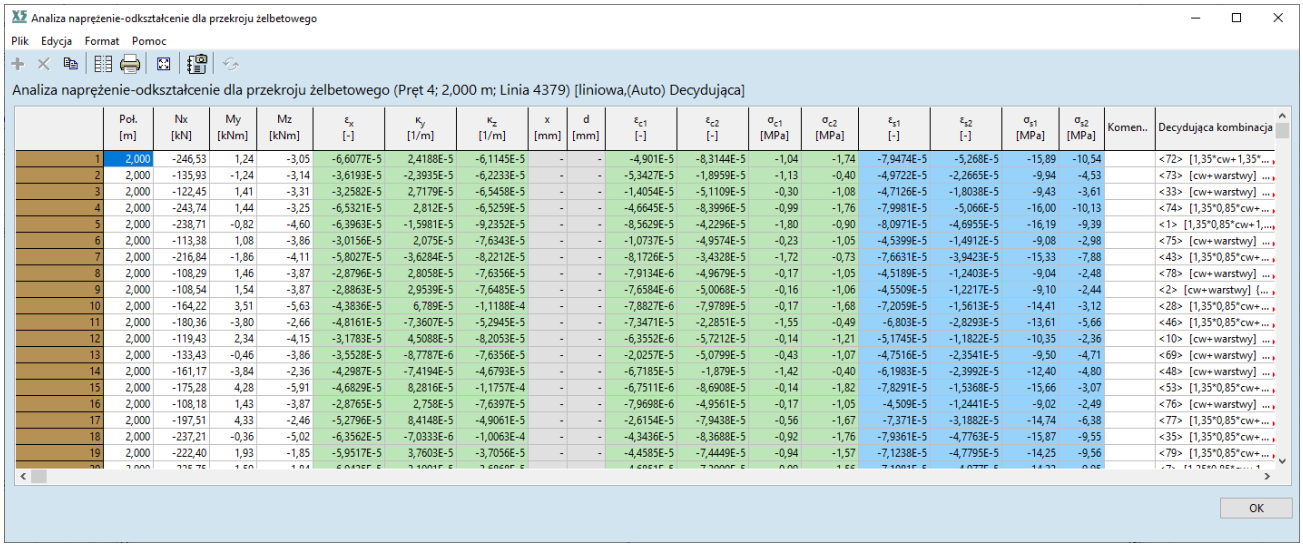
κ_z krzywizna (oś -z-)

x wysokość strefy ściskanej

d wysokość użyteczna

Tabele z wynikami

Kliknięcie w ikonę *Tabela z wynikami* spowoduje otwarcie tabeli ze szczegółowymi rezultatami analizy naprężenie-odkształcenie.



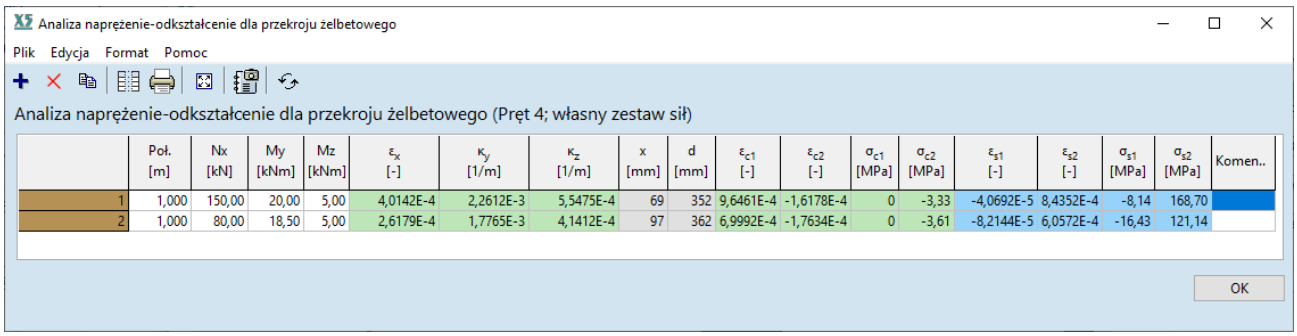
	Poł. [m]	Nx [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]	ε_y [-]	κ_y [1/m]	κ_z [1/m]	x [mm]	d [mm]	ε_{c1} [-]	ε_{c2} [-]	σ_{c1} [MPa]	σ_{c2} [MPa]	ε_{s1} [-]	ε_{s2} [-]	σ_{s1} [MPa]	σ_{s2} [MPa]	Komen..	Decydująca kombinacja
1	2,000	-246,53	1,24	-3,05	-6,6077E-5	2,4188E-5	-6,1145E-5	-	-	-4,901E-5	-8,3144E-5	-1,04	-1,74	-7,9474E-5	-5,268E-5	-15,89	-10,54		<72> [1,35*cw+1,35*...
2	2,000	-135,93	-1,24	-3,14	-3,6193E-5	-2,3935E-5	-6,2233E-5	-	-	-5,3427E-5	-1,8959E-5	-1,13	-0,40	-4,9722E-5	-2,2665E-5	-9,94	-4,53		<73> [cw+warstwy] ...
3	2,000	-122,45	1,41	-3,31	-3,2582E-5	2,7179E-5	-6,5458E-5	-	-	-1,4054E-5	-5,1109E-5	-0,30	-1,08	-4,7126E-5	-1,8038E-5	-9,43	-3,61		<33> [cw+warstwy] ...
4	2,000	-243,74	1,44	-3,25	-6,5321E-5	2,812E-5	-6,5259E-5	-	-	-4,6645E-5	-8,3996E-5	-0,99	-1,76	-7,9981E-5	-5,066E-5	-16,00	-10,13		<74> [1,35*0,85*cw+...
5	2,000	-238,71	-0,82	-4,60	-6,3963E-5	-1,5981E-5	-9,2352E-5	-	-	-8,5629E-5	-4,2296E-5	-1,80	-0,90	-8,0971E-5	-4,6955E-5	-16,19	-9,39		<1> [1,35*0,85*cw+1,...
6	2,000	-113,38	1,08	-3,86	-3,0156E-5	2,075E-5	-7,6343E-5	-	-	-1,0737E-5	-4,9574E-5	-0,23	-1,05	-4,5399E-5	-1,4912E-5	-9,08	-2,98		<75> [cw+warstwy] ...
7	2,000	-216,84	-1,86	-4,11	-5,8027E-5	-3,6284E-5	-8,2212E-5	-	-	-8,1726E-5	-3,4328E-5	-1,72	-0,73	-7,6631E-5	-3,9423E-5	-15,33	-7,88		<43> [1,35*0,85*cw+...
8	2,000	-108,29	1,46	-3,87	-2,8796E-5	2,8058E-5	-7,6356E-5	-	-	-7,9134E-6	-4,9679E-5	-0,17	-1,05	-4,5189E-5	-1,2403E-5	-9,04	-2,48		<78> [cw+warstwy] ...
9	2,000	-108,54	1,54	-3,87	-2,8863E-5	2,9539E-5	-7,6485E-5	-	-	-7,6584E-6	-5,0068E-5	-0,16	-1,06	-4,5509E-5	-1,2217E-5	-9,10	-2,44		<2> [cw+warstwy] {...
10	2,000	-164,22	3,51	-5,63	-4,3836E-5	6,789E-5	-1,1188E-4	-	-	-7,8827E-6	-7,9789E-5	-0,17	-1,68	-7,2059E-5	-1,5613E-5	-14,41	-3,12		<28> [1,35*0,85*cw+...
11	2,000	-180,36	-3,80	-2,66	-4,8161E-5	-7,3607E-5	-5,2945E-5	-	-	-7,3471E-5	-2,2851E-5	-1,55	-0,49	-6,803E-5	-2,8293E-5	-13,61	-5,66		<46> [1,35*0,85*cw+...
12	2,000	-119,43	2,34	-4,15	-3,1783E-5	4,5088E-5	-8,2053E-5	-	-	-6,3552E-6	-5,7212E-5	-0,14	-1,21	-5,1745E-5	-1,1822E-5	-10,35	-2,36		<10> [cw+warstwy] ...
13	2,000	-133,43	-0,46	-3,86	-3,5528E-5	-8,7787E-6	-7,6356E-5	-	-	-2,0257E-5	-5,0799E-5	-0,43	-1,07	-4,7516E-5	-2,3541E-5	-9,50	-4,71		<69> [cw+warstwy] ...
14	2,000	-161,17	-3,84	-2,36	-4,2987E-5	-7,4194E-5	-4,6793E-5	-	-	-6,7185E-5	-1,879E-5	-1,42	-0,40	-6,1983E-5	-2,3992E-5	-12,40	-4,80		<48> [cw+warstwy] ...
15	2,000	-175,28	4,28	-5,91	-4,6829E-5	8,2816E-5	-1,1757E-4	-	-	-6,7511E-6	-8,6908E-5	-0,14	-1,82	-7,8291E-5	-1,5368E-5	-15,66	-3,07		<53> [1,35*0,85*cw+...
16	2,000	-108,18	1,43	-3,87	-2,8765E-5	2,758E-5	-7,6397E-5	-	-	-7,9698E-6	-4,9561E-5	-0,17	-1,05	-4,509E-5	-1,2441E-5	-9,02	-2,49		<76> [cw+warstwy] ...
17	2,000	-197,51	4,33	-2,46	-5,2796E-5	8,4148E-5	-4,9061E-5	-	-	-2,6154E-5	-7,9438E-5	-0,56	-1,67	-7,371E-5	-3,1882E-5	-14,74	-6,38		<77> [1,35*0,85*cw+...
18	2,000	-237,21	-0,36	-5,02	-6,3562E-5	-7,0333E-6	-1,0063E-4	-	-	-4,3436E-5	-8,3688E-5	-0,92	-1,76	-7,9361E-5	-4,7763E-5	-15,87	-9,55		<35> [1,35*0,85*cw+...
19	2,000	-222,40	1,93	-1,85	-5,9517E-5	3,7603E-5	-3,7056E-5	-	-	-4,4585E-5	-7,4449E-5	-0,94	-1,57	-7,1238E-5	-4,7795E-5	-14,25	-9,56		<79> [1,35*0,85*cw+...

Własne wartości sił do analizy mogą zostać wprowadzone po kliknięciu *Tabela z wynikami (własny zestaw sił)* (**patrz...** *2.9 Przeglądarka tabel*). Wyniki dla analizy naprężenie-odkształcenie dla sił zdefiniowanych przez użytkownika dostępne są tylko w tej tabeli.

Nowy wiersz

Usuń wiersz

Przelicz



	Poł. [m]	Nx [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]	ε_x [-]	κ_y [1/m]	κ_z [1/m]	x [mm]	d [mm]	ε_{c1} [-]	ε_{c2} [-]	σ_{c1} [MPa]	σ_{c2} [MPa]	ε_{s1} [-]	ε_{s2} [-]	σ_{s1} [MPa]	σ_{s2} [MPa]	Komen..
1	1,000	150,00	20,00	5,00	4,0142E-4	2,2612E-3	5,5475E-4	69	352	9,6461E-4	-1,6178E-4	0	-3,33	-4,0692E-5	8,4352E-4	-8,14	168,70	
2	1,000	80,00	18,50	5,00	2,6179E-4	1,7765E-3	4,1412E-4	97	362	6,9992E-4	-1,7634E-4	0	-3,61	-8,2144E-5	6,0572E-4	-16,43	121,14	

6.5.11.2 Analiza naprężenie-odkształcenie elementów powierzchniowych

Analiza naprężenie-odkształcenie

Typy elementów powierzchniowych

Podstawowe zasady analizy i działania dla elementów powierzchniowych pozostają takie same, jak opisane w poprzednich rozdziałach dla belek i słupów. Poniżej opisano tylko główne cechy i różnice. Tylko następującej typy obszarów mogą być analizowane za pomocą tego modułu:

normalny typ obszaru
płyta użebrowana
zespolona płyta użebrowana
obszar z niestandardową macierzą sztywności

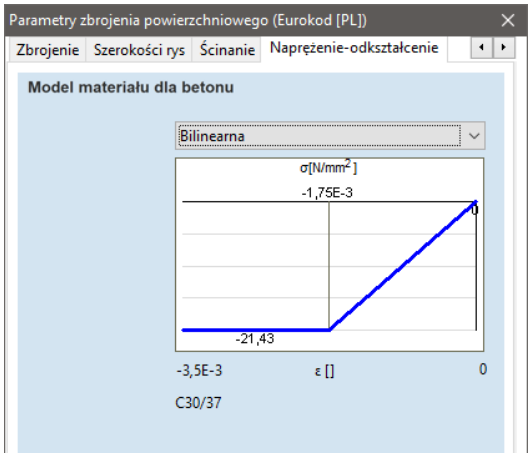
☞ **Płyta stropowa na blasze trapezowej, strop z wypełnieniem Airdeck oraz płyty kanałowe nie mogą być analizowane za pomocą tego modułu.**

☞ **Moduł może przeprowadzić analizę tylko dla płyt, do których przypisano zbrojenie rzeczywiste po lokalnych kierunkach x-y. Weryfikacji nie podlegają także obszary ze zbrojeniem o niestandardowych kierunkach ułożenia prętów.**

Parametry

Przyjęty do analizy naprężenie-odkształcenie model materiału dla betonu może zostać ustawiony na zakładce *Naprężenie-odkształcenie* w głównym oknie z *Parametram zbrojenia powierzchniowego* (**patrz...** *6.5.1.1 Wymiarowanie zbrojenia (moduł RC1)*). Automatyczny (standardowy) model używa parametrów betonu ustawionych na pierwszej zakładce okna, tj. *Materiały*.

Więcej informacji o dostępnych modelach materiału typu beton, **patrz...** *6.5.11.1.1 Parametry analizy naprężenie-odkształcenie*.

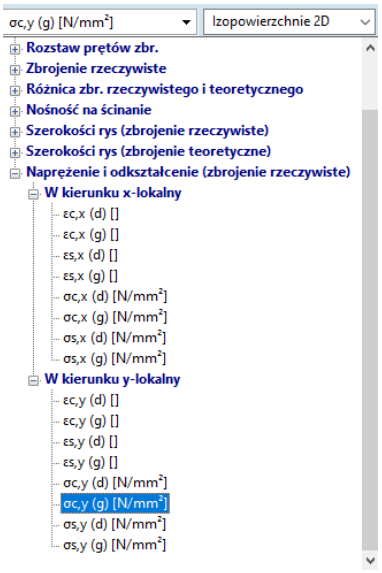


6.5.11.2.1 Wyniki

Komponenty wyników

Dostępne komponenty wyników analizy naprężenie-odkształcenie zgrupowane są na liście pod nazwą *Naprężenie i odkształcenie (zbrojenie rzeczywiste)*. Wyniki są przygotowywane dla aktualnego, widocznego w danym momencie modelu lub jego części. Ze względu na wymagany w analizie proces iteracyjny, obliczenia mogą być czasochłonne. Czas ten jest ściśle powiązany z liczbą elementów skończonych. Z tego powodu dzielenie modelu na części może być pomocne.

Powyższe komponenty wyników są dostępne tylko wtedy, gdy na modelu znajduje się odpowiedni żelbetowy element powierzchniowy z przypisanym zbrojeniem rzeczywistym.



Dostępne są następujące komponenty wyników w lokalnym kierunku *-x-* oraz *-y-*:

Odkształcenie

εc (d)	Odkształcenie betonu na spodzie przekroju
εc (g)	Odkształcenie betonu na wierzchu przekroju
εs (d)	Odkształcenie w środku ciężkości zastosowanego zbrojenia dolnego
εs (g)	Odkształcenie w środku ciężkości zastosowanego zbrojenia górnego

Naprężenie

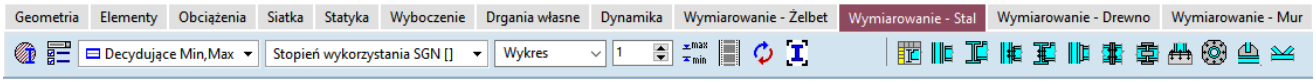
σc (d)	Naprężenie betonu na spodzie przekroju
σc (g)	Naprężenie betonu na wierzchu przekroju
σs (d)	Naprężenie w środku ciężkości zastosowanego zbrojenia dolnego
σs (g)	Naprężenie w środku ciężkości zastosowanego zbrojenia górnego

Wyniki te mogą zostać wyświetlone na elemencie powierzchniowym lub jego wycinku wg standardowych trybów wyświetlania wyników.

Tabele z wynikami

Wyniki dla elementów powierzchniowych i wycinków zebrane są w tabeli *Wymiarowanie żelbetu / Naprężenie-odkształcenie (zbrojenie rzeczywiste)*.

6.6 Wymiarowanie - Stal



6.6.1 Wymiarowanie prętów stalowych wg Eurokodu 3 (moduł SD1)

EUROKOD 3

Moduł wymiarowania prętów stalowych można stosować do następujących kształtowników:

Dwuteowniki walcowane	Teowniki
Dwuteowniki spawane	Prostokątne profile (pełne)
Rury prostokątne	Okrągłe profile (pełne)
Rury okrągłe	Kształtowniki dowolne (niektóre weryfikacje
Dwuteowniki monosymetryczne	nie zostaną przeprowadzone)

Spośród elementów o przekrojach poprzecznych klasy 4, mogą zostać zwymiarowane tym modułem profile dwuteowe mono- i bisymetryczne oraz prostokątne i skrzynkowe. Właściwości przekroju efektywnego obliczane są w przypadkach równomiernego ściskania i równomiernego zginania. Te właściwości można znaleźć w *Przeglądarce tabel* dla *Wymiarowanie-Stal*, w tabeli *Nośności obliczeniowe* lub w podręcznym oknie po kliknięciu na element:

A_{eff} pole efektywnego przekroju poprzecznego, gdy poddany jest równomiernemu ściskaniu

$e_{N,y}$ przesunięcie obojętnej osi y, gdy przekrój poddany jest równomiernemu ściskaniu (będzie wynosić zero, jeżeli przekrój jest symetryczny względem osi y). Ujemne przesunięcie spowoduje ujemny moment $\Delta My = N \cdot e_{N,y}$ w rzeczywistym przekroju.

$W_{eff,min}$ wskaźnik wytrzymałości przy zginaniu sprężystym (odpowiadający włóknu z maksymalnym naprężeniem sprężystym) efektywnego przekroju poprzecznego, gdy poddany jest on tylko momentowi wokół odpowiadającej osi.

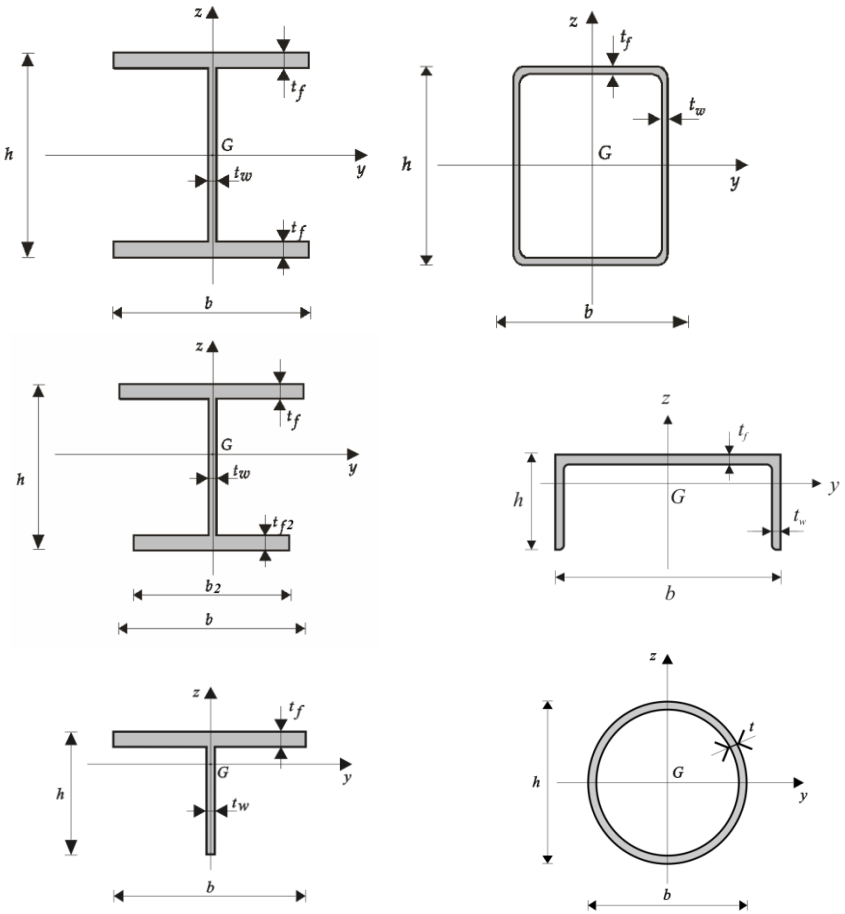
$W_{eff,(-),min}$ odnosi się do przekrojów, gdzie moment jest dodatni

$W_{eff,(+),min}$ odnosi się do przekrojów, gdzie moment jest ujemny

Ważne jest, aby wiedzieć, że te właściwości przekrojów obliczane są, gdy przekrój znajduje się w klasie 4. Może zdarzyć się, że nie będzie naprężenia powodującego wyboczenie ścianki, ale jej właściwości będą ciągle dostępne w *Przeglądarce tabel*. Elementy o zmiennym przekroju poprzecznym w klasie 4 wymiarowane są tylko wtedy, gdy kąt α nieprostokątnego panelu (środnika) jest nie większy niż 10° (EN 1993-1-5: 2.3).

Przyjmuje się, że przekroje poprzeczne nie posiadają otworów, a ich ścianki mają grubości mniejsze lub równe 40 mm.
Przekrój poprzeczny powinien być stały lub zmienny na wysokości. Przyjmuje się także, że obciążenia na przekrojach poprzecznych monosymetrycznych działają w płaszczyźnie symetrii, która jest płaszczyzną zginania. Dla ogólnych kształtowników bez płaszczyzny symetrii weryfikowane są tylko warunki Siła *Normalna-Zginanie-Ścinanie (N-M-V)* i *Ściskanie-Zginanie-Wyboczenie (N-M-wyboczenie)*.

☞ **AxisVM sprawdza tylko warunki wymienione poniżej. Wszystkie inne weryfikacje określone w normie projektowej takie jak skręcanie nieswobodne, siły stężające, połączenia itd. muszą zostać uzupełnione przez użytkownika.**
Osie główne dowolnego przekroju poprzecznego muszą być zgodne z lokalnymi osiami -y- oraz -z-.



Klasyfikacja przekrojów poprzecznych

Program wykonuje klasyfikację przekroju poprzecznego na podstawie tabeli 5.2 normy EN1993-1-1. Gdy tylko jest to możliwe, to określa klasę na podstawie rzeczywistego rozkładu naprężeń od złożonego stanu ściskania ze zginaniem. Ustalenie klasy następuje dla przekroju, w którym występuje maksymalne naprężenie ściskające. Jeżeli w żadnym punkcie przekroju poprzecznego nie występuje ściskanie, to automatycznie przyjmowana jest klasa 1 przekroju.

W przypadku obliczeń na podstawie obwiedni lub kombinacji decydujących, klasyfikacja przeprowadzana jest dla każdej kombinacji na podstawie wynikającego z niej rozkładu sił wewnętrznych. Podczas sprawdzania warunków dla przekroju 1 i 2 klasy program wyznaczą ją konserwatywnie przy założeniu całkowitego ściskania przekroju i dwukierunkowym zginaniu mono- lub bisymetrycznych profili (dwuteowych, teowych, ceowych lub rur prostokątnych). W przypadku jednokierunkowego zginania lub jednokierunkowego zginania z siłą normalną, program wyznacza położenie plastycznej osi obojętnej i wykonuje obliczenia na podstawie plastycznego rozkładu naprężeń.

Warunki wymiarujące	*Siła Normalna-Zginanie-Ścinanie [N-M-V]*	(EN 1993-1-1, 6.2.1, 6.2.8)
	Ściskanie-Zginanie-wyboczenie (giętne w płaszczyźnie lub skręcające) [N-M-wyboczenie]	(EN 1993-1-1, 6.3.3)
	Siła Normalna-Zginanie-Zwichrzenie [N-M-zwichrzenie.]	(EN 1993-1-1, 6.3.3)
	Ścinanie (y) [Vy]	(EN 1993-1-1, 6.2.6)
	Ścinanie (z) [Vz]	(EN 1993-1-1, 6.2.6)
	Ścinanie środnika-Zginanie-Siła Normalna [Vw-M-N]	(EN 1993-1-1, 6.2.1, 6.2.8)
Nośności	*Nośność plastyczna (przy sile podłużnej) [Npl,Rd]*	(EN 1993-1-1, 6.2.4)
	Nośność efektywna (gdy poddana równomiernemu ściskaniu) [Neff,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.4)
	Nośność przy ścinaniu sprężystym (y) [Vel,y,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.6)
	Nośność przy ścinaniu sprężystym (z) [Vel,z,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.6)
	Nośność plastyczna przy ścinaniu po osi y [Vpl,y,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.6)
	Nośność plastyczna przy ścinaniu po osi z [Vpl,z,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.6)
	Niestateczność środnika przy ścinaniu [Vb,Rd]	(EN 1993-1-5, 5.2-3)
	Nośność przy zginaniu w stanie sprężystym (yy) [Mel,y,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.5)
	Nośność przy zginaniu w stanie sprężystym (zz) [Mel,z,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.5)
	Nośność przy zginaniu w stanie plastycznym (yy) [Mpl,y, Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.5)
	Nośność przy zginaniu w stanie plastycznym (zz) [Mpl,z,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.5)
	Nośność przy zginaniu dla efektywnego przekroju poprzecznego poddanego zginaniu wokół osi y [Mpl,y, Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.5)
	Nośność przy zginaniu dla efektywnego przekroju poprzecznego poddanego zginaniu wokół osi z [Mpl,z,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.5)
	Minimalna nośność na wyboczenie (giętne w płaszczyźnie lub skrętne) [Nb,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.3.1)
	Nośność na zwichrzenie [Mb,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.3.2, ENV 1993-1-1, Zał. F1.2)

Powyższe wartości *Nośności* są udostępniane przez program jako wyniki pomocnicze. Weryfikacja przeważnie opiera się na formułach interakcyjnych. Definicja i szczegółowe warunki stosowania zmiennych zawartych w równaniach można znaleźć w normie projektowej.

W kolejnych wzorach przyjęto:
$N_{Rk} = f_y A$; $M_{y,Rk} = f_y W_y$ oraz $M_{z,Rk} = f_y W_z$
gdzie $W_y = W_{pl,y}$ oraz $W_z = W_{pl,z}$ dla przekrojów poprzecznych klasy 1 lub 2,
$W_y = W_{el,y}$ oraz $W_z = W_{el,z}$ dla przekrojów poprzecznych klasy 3
$W_y = W_{eff,y}$ oraz $W_z = W_{eff,z}$ dla przekrojów poprzecznych klasy 4.

Siła Normalna-Zginanie-Ścinanie

Element konstrukcyjny może być rozciągany lub ściskany. Sprawdzenie przeprowadzane jest na podstawie EN 1993-1-1, 6.2.1 (7).

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M_0}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M_0}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_0}} \leq 1$$

$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} \cdot e_{N,y}$ jest różne od zera tylko wtedy, gdy przekrój poprzeczny jest w klasie 4 a pierwotny przekrój poprzeczny jest asymetryczny względem osi y.

Znaczna siła tnąca

Jeżeli siła tnąca jest większa niż 50% nośności na ścinanie, oddziaływanie siły tnącej uwzględniane jest tak jak wyszczególniono to poniżej.

Dla przekrojów klasy 1 i 2 wyznacza się nośność przy zginaniu według normy EN 1993-1-1, 6.2.8.

Dla przekrojów klasy 3 i 4 obliczane są naprężenia oraz stosuje się ogólny i ostrożny wzór z EN 1993-1-1, 6.2.1 (5). Ma to miejsce dla następujących typów przekrojów: dwuteownik, teownik, ceownik oraz rura prostokątna i okrągła. Dla innych typów (kątowniki, pełne profile prostokątne i okrągłe oraz profile definiowane przez użytkownika) wpływ dużych sił tnących musi zostać obliczony przez użytkownika.

Sprawdzenie nośności plastycznej

Dla dwuteowników, rur okrągłych i prostokątnych będących w klasie 1 i 2, sprawdzenie nośności przeprowadzane jest według EN 1993-1-1 6.2.10. Wyznacza się również wpływ zarówno siły tnącej jak i siły normalnej na nośność przy zginaniu. Oprócz sprawdzenia nośności przy samej sile normalnej i samej sile tnącej, powinien zostać spełniony następujący warunek:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \leq 1;\ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \leq 1$$

gdzie $M_{N,y,Rd}, M_{N,z,Rd}$ to zredukowane nośności przy zginaniu wynikające z oddziaływania siły tnącej i siły normalnej (EN 1993-1-1 6.2.8. i 6.2.9.1). Dla przekrojów rurowych, moment zredukowany obliczany jest w sposób następujący:

$$M_{N,y,Rd} = 1.04 \cdot \left(1 - \rho - \frac{n^{1.7}}{(1-\rho)^{0.7}}\right);\ n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}};\ \rho = \left(2\frac{V_{Ed}}{V_{pl,z,Rd}} - 1\right)^2$$

$$M_{N,z,Rd} = 1.04 \cdot \left(1 - \rho - \frac{n^{1.7}}{(1-\rho)^{0.7}}\right);\ n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}};\ \rho = \left(2\frac{V_{Ed}}{V_{pl,y,Rd}} - 1\right)^2$$

Dla dwukierunkowego zginania powinien zostać spełniony warunek EN 1993-1-1 6.2.9.1. (6):

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^{\beta} \le 1$$

Dla prętów 7DoF o dwuteowym przekroju symetrycznym lub asymetrycznym lub przekroju ceowym wzór interakcyjny zawiera również efekt zginania półek (bimoment) wywołany od spaczenia wg wzorów [46; 3.1.1 oraz 3.1.2]:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M_0}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M_0}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_0}} + \frac{M_{w,Ed}}{M_{f,Rk}/\gamma_{M_0}} \le 1$$

$$\frac{M_{w,Ed}}{M_{N,f,Rd}} \le 1$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} + \frac{M_{w,Ed}}{M_{N,f,Rd}}\right]^{\beta} \le 1$$

gdzie $M_{f,Rk}$ oraz $M_{N,f,Rd}$ to nośność przy zginaniu słabszej półki, $M_{w,Ed}$ to dodatkowy moment zginający w półkach wywołany przez bimoment B_{Ed}:

$$M_{w,Ed} = \frac{B_{Ed}}{h - \frac{t_f}{2} - \frac{t_{f_2}}{2}}$$

Ściskanie-Zginanie-wyboczenie

Sprawdzenie bazuje na EN 1993-1-1, 6.3.3 (6.61) i (6.62):

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{yz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_1}} \le 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{zy}\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{zz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_1}} \le 1$$

$$(\chi_{LT} = 1.0)$$

$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} \cdot e_{N,y}$ jest różne od zera tylko wtedy, gdy przekrój poprzeczny jest w klasie 4 a pierwotny przekrój poprzeczny jest asymetryczny względem osi -y-.

Siła Normalna-Zginanie-Zwichrzenie

Podczas określania nośności na zwichrzenie przyjmuje się, że przekrój poprzeczny jest stały i symetryczny względem lokalnej osi -z-. Przyjmuje się również, że obciążenia działają w płaszczyźnie symetrii, która jest płaszczyzną zginania (z wyjątkiem profilu C oraz U, patrz poniżej). Wartość *k* (ENV 1993-1-1, F1.2) jest brana jako równa K_z (współczynnik długości wyboczenia). Słabą osią powinna być lokalna oś -z-.

Sprawdzenie bazuje na warunkach (6.61) i (6.62) z EN 1993-1-1, 6.3.3:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{yz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_1}} \le 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{zy}\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{zz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_1}} \le 1$$

$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} \cdot e_{N,y}$ jest różne od zera tylko wtedy, gdy przekrój poprzeczny jest w klasie 4 a pierwotny przekrój poprzeczny jest asymetryczny względem osi -y-.

χ_{LT} obliczane jest według EN 1993-1-1 6.3.2.2 lub 6.3.2.3.

Określenie współczynników interakcji $k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$ bazuje domyślnie załączniku B Metoda 2 (Tabela B.1 i B.2) EN 1993-1-1. Wykorzystanie Metody 1 wg załącznika A może zostać ustawione w oknie Normy projektowe.
Współczynniki równoważnego stałego momentu C_{my}, C_{mz}, C_{mLT} wymienione są w Tabeli B.3.

Wykres momentów na odcinku pomiędzy punktami podparcia wyznaczany jest na podstawie długości wyboczeniowej.

- Jeżeli $K > 1$ to oznacza to, że wykres momentów na analizowanym odcinku nie pokrywa się z długością samego elementu (jest on dłuższy od elementu), dlatego w tej sytuacji program przyjmuje konserwatywnie $C_{mz} = 1$.
- Jeżeli $0.5 < K \leq 1$ to program wykorzystuje aktualny przebieg momentu na długości wymiarowanego elementu.
- Jeżeli $K < 0.5$ to zakłada się, że znajduje się na elemencie przynajmniej jedna podpora pośrednia. W takiej sytuacji program uwzględnia wykres momentu na odcinku pomiędzy jego wartością maksymalną a minimalną. Długość tego odcinka to długość wyboczeniowa. Wyższa z tych dwóch wartości posłuży do wyznaczenia współczynnika C_m.
- Jeżeli $K = 0.5$ to wykorzystywana jest większa wartość C_m uzyskana z dwóch poprzednich metod.

Dla rozciągającej siły normalnej przeprowadza się sprawdzenie za pomocą momentów efektywnych w oparciu o ENV 1993-1-1, 5.5.3.

Weryfikacja nośności na zwichrzenie dla belek o przekroju ceowym (U/C) bazuje na metodzie Snijdera (*Design rules for lateral torsional buckling of channel sections subject to web loading*, Stahlbau, Vol. 77, 2008). Metoda ta zakłada, że mimośrodowe obciążenie jest równoległe do środnika i działa w jego płaszczyźnie. Metoda ta została opracowana dla belek o przekroju UPE, dla których stosunek rozpiętości do wysokości mieści się w zakresie 15 do 40.

Interakcyjny wzór stateczności obowiązuje dla belek, które mają oś symetrii w płaszczyźnie zginania, dlatego **wyniki dla profili ceowych podawane są tylko informacyjnie**.

☞ **Porównując do wcześniejszych wersji programu, zwichrzenie belek ceowych nie jest już sprawdzane w ich płaszczyźnie symetrii, ale jest teraz weryfikowane dla obciążenia mimośrodowego, które działa równolegle do środnika i przechodzi przez jego środek.**

Dla prętów 7DoF o dwuteowym przekroju symetrycznym lub asymetrycznym lub przekroju ceowym wzór interakcyjny zawiera również efekt zginania półek (bimoment) wywołany od spaczenia wg wzoru A.1 załącznika A normy EN1993-6 [47, 46; 3.2]:

$$\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M_1}} + C_{mz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{wLT}k_{zwLT}k_{\alpha LT}\frac{M_{w,Ed}}{M_{f,Rk}/\gamma_{M_1}} \leq 1$$

Ścinanie (y) Sprawdzenie przeprowadzane jest w oparciu o EN 1993-1-1, 6.2.6.

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} \leq 1$$

Nośność sprężysta:

$$V_{c,y,Rd} = \frac{I \cdot t}{S}\frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M_0}}$$

Przekroje obsługiwane:

Nośność plastyczna lub przekroje spoza powyższego typoszeregu:

$$V_{c,y,Rd} = A_v\frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M_0}}$$

Ścinanie (z) Sprawdzenie przeprowadzane jest w oparciu o EN 1993-1-1, 6.2.6.

$$\frac{V_{zEd}}{\min(V_{czRd}, V_{bRd})} \leq 1$$

$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd}$ Nośność obliczana jest z udziałem środnika, ale bez udziału pasów.

Nośność sprężysta:

$$V_{c,y,Rd} = \frac{I \cdot t}{S} \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M_0}}$$

Przekroje obsługiwane:

Nośność plastyczna lub przekroje spoza powyższego typoszeregu:

$$V_{c,y,Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M_0}}$$

Ścinanie środnika-Zginanie-Siła Normalna

Sprawdzenie przeprowadzane jest dla przekrojów poprzecznych ze środnikiem (dwuteowniki i rury prostokątne) w oparciu o EN 1993-1-5 7.1, 6.2.8, 6.2.9 zakładając, że środnik jest równoległy do lokalnej osi -z-.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{fRd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot \left(2\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} - 1\right)^2 \leq 1$$

W przypadku dużych sił tnących lub dużych sił normalnych stosowane są wzory zawarte w EN 1993-1-1 6.2.8, 6.2.9.

Podstawowe typy przekrojów

Typ przekroju		*N-M-V naprężenie*	*N-M-wyboczenie*	*N-M-zwichrzenie*	*Ścinanie Vy*	*Ścinanie Vz*	*Niestateczność środnika*	*Przekrój efektywny*
Dwuteownik		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dwuteownik monosymetryczny		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Teownik		✓	✓	✓	✓	✓	—	—
Skrzynkowy		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Spawany skrzynkowy		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Rura okrągła		✓	✓	✓	✓	✓	—	—
Kątownik		✓	✓	—	✓	✓	—	—
Kątownik równoramienny		✓	✓	*Jeżeli zginanie działa w płaszczyźnie symetrii + wymagana wartość Mcr*	✓	✓	—	—
Ceownik (U)		✓	✓	*przybliżone*	✓	✓	—	—
Ceownik (C)		✓	✓	*przybliżone*	✓	✓	—	—
Okrągły		✓	✓	✓	✓	✓	—	—
Prostokątny		✓	✓	✓	✓	✓	—	—

Przekroje podwójne

Typ przekroju		*N-M-V naprężenie*	*N-M-stateczność*	*N-M-zwichrzenie*	*Ścinanie Vy*	*Ścinanie Vz*	*Niestateczność środnika*	*Przekrój efektywny*
Podwójny dwuteownik (2I)		✓	✓	—	✓	✓	—	—
Podwójny dwuteownik (2I) jeżeli a=0 (*)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Podwójny kątownik (2L)		✓	✓	—	✓	✓	—	—
Podwójny kątownik (2L) jeżeli a=0 (*)		✓	✓	✓	✓	✓	—	—
Podwójny otwarty ceownik (2U][)		✓	✓	—	✓	✓	—	—
Podwójny otwarty ceownik (2U][) jeżeli a=0 (*)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Podwójny zamknięty ceownik (2U [])		✓	✓	—	✓	✓	—	—
Podwójny zamknięty ceownik (2U []) jeżeli a=0 (*)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Profil krzyżowy (2L)		✓	✓	—	✓	✓	—	—
Profil krzyżowy (4L) jeżeli a=0 to profil krzyżowy		✓	✓	—	✓	✓	—	—

Inne typy przekrojów

Typ przekroju		*N-M-V naprężenie*	*N-M-stateczność*	*N-M-zwichrzenie*	*Ścinanie Vy*	*Ścinanie Vz*	*Niestateczność środnika*	*Przekrój efektywny*
Z		✓	✓	—	✓	✓	—	—
J		—						
Asymetryczne C		—						
Asymetryczne Z		—						
S		—						
Profil krzyżowy		✓	✓	✓	✓	✓	—	—
Łukowy		✓	✓	—	✓	✓	—	—
Półokrąg		✓	✓	—	✓	✓	—	—
Regularny wielokąt		✓	✓	—	✓	✓	—	—
Dwuteownik ze wzmocnieniem (**)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dwuteownik z podwójnym wzmocnieniem (***)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Złożony/ Inny (***)		✓	✓	—	✓	✓	—	—

(*) Dla złożonych podwójnych przekrojów poprzecznych zakłada się, że połączenie pomiędzy ich elementami składowymi jest ciągłe (EN 1993-1-1 6.4.4: Elementy złożone bliskogałęziowe) i sprawdzane są na wyboczenie jako elementy jednolite. Jeżeli odległość między dwoma przekrojami składowymi wynosi zero, program uwzględniając powyższe założenie, zastąpi te dwa przekroje jednym

(dwuteownikiem, teownikiem, X lub profilem skrzynkowym). Połączenie między składowymi przekrojami musi zostać obliczone dodatkowo przez użytkownika.

(**) Obliczenia uwzględniają całkowitą wysokość przekroju, a usztywniający efekt półki pośredniej jest pomijany.

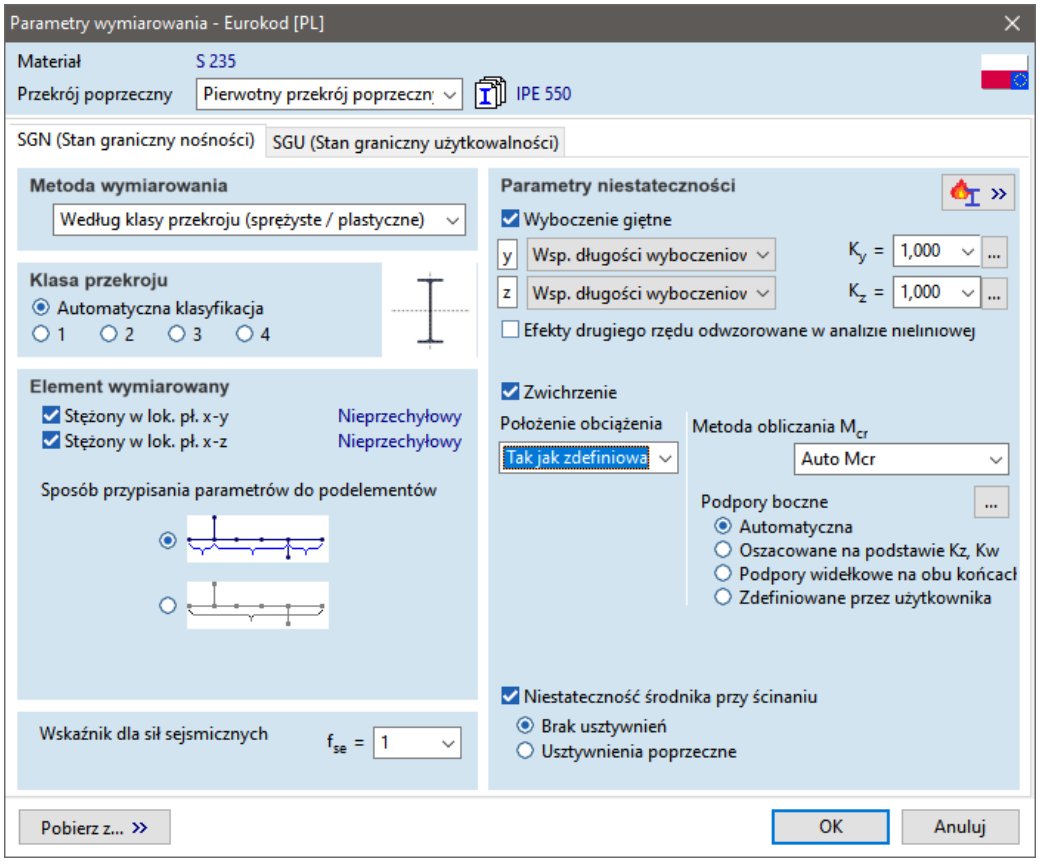
(***) Przekroje te są wymiarowane tylko w przypadku, gdy układy lokalne są takie same jak kierunki główne.

☞ **Jeżeli proces wytwarzania przekroju poprzecznego jest określony jako zimnogięty lub inny, element nie jest wymiarowany.**

6.6.1.1 SGN – parametry do wymiarowania

Parametry wymiarowania (SGN)

Dla wymiarowania SGN w oparciu o Eurokod 3, należy określić następujące parametry wymiarowania oraz przypisać je do elementów konstrukcyjnych:



Przekrój poprzeczny

Przy wymiarowaniu elementu stalowego, można określić do weryfikacji inny przekrój niż pierwotnie został zadany do obliczeń statycznych. Wyboru przekroju można dokonać w górnej części okna, wybierając z rozwijanej listy wczytane profile. Jeżeli przekrój poprzeczny zostanie zmieniony, to wymiarowanie zostanie przeprowadzone dla tego przekroju poprzecznego, ale na podstawie oryginalnych (istniejących wcześniej) sił wewnętrznych.

Podobnie wygląda sytuacja wymiarowania na warunki pożaru, gdzie zostaną wykorzystane pierwotne współczynniki redukcyjne.

Podczas przeglądania wyników, nazwa zmodyfikowanego przekroju, dla którego przeprowadzono wymiarowanie, oznaczona jest za pomocą sufiksu *, aby odróżnić ten przekrój od pierwotnie zadanego. Dostępne na modelu przekroje poprzeczne mogą zostać wybrane z rozwijanej listy, znajdującej się na górze okna dialogowego.

Kliknięcie w tę ikonę pozwoli na wczytanie innych przekrojów z biblioteki lub zdefiniowanie przekroju parametrycznego. Po prawej stronie ikony wyświetlana jest nazwa pierwotnego przekroju poprzecznego.

Kliknięcie w ikonę *Zastąp przekroje poprzeczne* znajdującą się w oknie głównym na zakładce *Wymiarowanie-Stal* spowoduje zastąpienie pierwotnych przekrojów poprzecznych na modelu globalnym za pomocą profili wybranych w oknie *Parametry wymiarowania*.

Metoda wymiarowania

Według klasy przekroju (sprężyste / plastyczne): dozwolone są metody wymiarowania zarówno w zakresie sprężystym jak i plastycznym, w zależności od klasy przekroju elementu konstrukcyjnego.
Wymiarowanie sprężyste: wszystkie weryfikacje przeprowadzane są przy wykorzystaniu metod wymiarowania w zakresie sprężystym. Nośności są obliczane z właściwości sprężystych przekrojów; w przypadku klasy 4 wykorzystane są właściwości przekroju efektywnego.

Klasa przekroju

Automatyczna klasyfikacja przekrojów poprzecznych klasyfikuje je według rzeczywistych wartości naprężeń.

Stężenie elementu konstrukcyjnego

Jeżeli wymiarowany element posiada przechyłową postać wyboczeniową w lokalnej płaszczyźnie *x-y* lub *x-z*, to odpowiadające im opcje stężenia należy wyłączyć. Ustawienia te wpływają na automatycznie wyznaczane długości przy wyboczeniu giętnym (AutoNcr) i w przypadku metody AutoMcr również na podpory boczne przy zwichrzeniu. Ponadto wpływają one również na pomocnicze współczynniki C_{my} i C_{mz} przy sprawdzaniu interakcyjnych formuł stateczności (*EN 1993-1-1: 2005 Załącznik B: Metoda 2: Tabela B.3*).

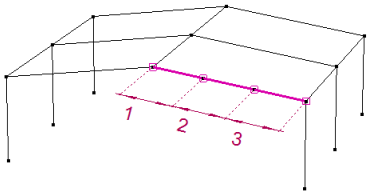
Sposób przypisania parametrów do podelementów

Przed wykonaniem obliczeń wymiarujących program może scalić wybrane podelementy w jeden element konstrukcyjny i zdefiniowane w tym oknie parametry przypisać do niego, jako do całości. Taki scalony element wymiarowany zawiera w sobie elementy skończone posiadające ten sam materiał, ten sam typ (pręt kratowy, pręt lub żebro) i orientację układ lokalnego. Scalony element wymiarowany musi mieć stały lub liniowo zmienny przekrój na całej swojej długości, a także stały lub zmienny liniowo mimośród (żebro). Elementy skończone muszą znajdować się na tej samej linii (może być zakrzywiona).

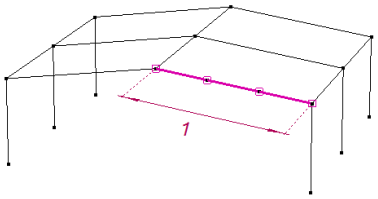
☞ **Element wymiarowany z przypisanymi parametrami do całego elementu (składającego się z podelementów) nie jest tożsamy ze scalonymi w modelu elementami konstrukcyjnymi (patrz... *3.2.14 Scalenie elementów konstrukcyjnych*).**

Program pozwala na przypisanie parametrów do elementów wymiarowanych na dwa sposoby:

Każdy węzeł z wybranych elementów skończonych, z którym połączony jest inny element skończony, stanie się punktem końcowym elementu wymiarowanego.



Elementy skończone w wybranego zestawu staną się tylko jednym elementem wymiarowanym, bez względu na inne elementy skończone dochodzące do ich węzłów.



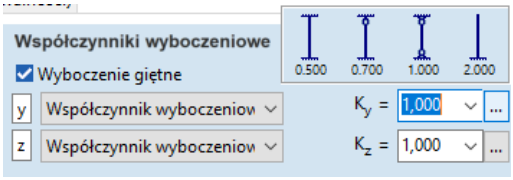
Współczynnik sejsmiczny – zobacz *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*

Warunki wymiarujące

AxisVM wykonuje sprawdzenie elementu na wyboczenie, zwichrzenie i niestateczność środnika przy ścinaniu. Każdy warunek może zostać włączony oddzielnie poprzez kliknięcie opcji przy nazwie warunku. Jeżeli na przykład użytkownik jest pewien, że nie ma potrzeby sprawdzania zwichrzenia, można wyłączyć tę opcję i nie trzeba definiować jego parametrów.

Wyboczenie giętne

Istnieją trzy sposoby określenia odpowiedzi elementu przy wyboczeniu.



Współczynniki wyboczeniowe K_y, K_z (współczynniki efektywnej długości)
Współczynnik wyboczeniowy zostanie przemnożony przez długość wymiarowanych elementów (czyli elementów, do których zostaną przypisane poszczególne parametry wymiarowania), a nie przez

całkowitą długość zaznaczonych elementów. Ważne jest to, że elementy dochodzące mogą doprowadzić do rozdzielenia na kilka elementów wybranego elementu do wymiarowania (patrz wyżej *Scalenie elementów wymiarowanych*).

Długości wyboczeniowe L_y, L_z
Wartości te zostaną bezpośrednio zastosowane (bez przemnażania i niezależnie od długości wymiarowanych elementów) we wzorach wymiarujących. Prowadzi to często do prostszego zadawania parametrów w przypadku złożonych konstrukcji.

Auto
Długość wyboczeniowa elementu wymiarowanego obliczana jest automatycznie. Tak zwana metoda *AutoNcr* wyznacza długość wyboczeniową na podstawie geometrii modelu i rozkładu w nim sił wewnętrznych. Długość wyboczeniowa każdego elementu wymiarowanego wyznaczana jest po przeanalizowaniu stabilizującego oddziaływania innych elementów przyłączonych. Metoda ta bazuje na zasadach zalecanych przez *European Convention for Constructional Steelwork (ECCS TC8: Rules for Member Stability in EN 1993-1-1: Background documentation and design guidelines)*.
Pierwotna metoda została rozwinięta dla pionowych słupów prostych ram. Ulepszony algorytm w AxisVM potrafi obsłużyć dowolną konstrukcję przestrzenną, ale dla pewnych układów błąd może być znaczny.
W takich przypadkach zalecana jest weryfikacja czy wartość obliczonego współczynnika długości wyboczeniowej mieści się w oczekiwanym zakresie. Dla złożonych konstrukcji wskazane jest również określenie współczynnika obciążenia krytycznego, poprzez rozwiązanie problemu własnego (**patrz...** *6.2 Wyboczenie*) lub wykonanie analizy nieliniowej z nieliniowością materiału i imperfekcjami geometrycznymi.
Wartość długości wyboczeniowej w znacznej mierze zależy od tego, czy wymiarowany element posiada przy wyboczeniu postać przechyłową. W zależności od jego wrażliwości na efekty drugiego rzędu, należy wybrać odpowiednią opcję dla *Stężony w płaszczyźnie lokalnej x-y/x-z*. Na przykład ważna jest świadomość, że słupy ramy portalowej w płaszczyźnie zwykle wybaczają się przechyłowo, w przeciwieństwie do rygli (ponieważ ich węzły końcowe są podparte na słupach).

AxisVM uwzględnia wpływ wszystkich elementów prętowych (wliczając w to pręty stalowe bez parametrów do wymiarowania i pręty z materiału innego niż stal). Aby pozostać po bezpiecznej stronie, wszystkie słupy ustawione są domyślnie jak dla postaci przechyłowej, a wszystkie belki jako stężone (nieprzechyłowe).

Algorytm uwzględnia przeguby, utwierdzenia i połączenia podatne. Nieliniowe połączenia reprezentowane są przez ich sztywność początkową. Podpory węzłowe oraz zablokowane węzłowe stopnie swobody również są uwzględniane. Z powodu zablokowanych węzłowych stopni swobody, układy płaskie mogą pokazywać bardzo małe długości wyboczeniowe dla wyboczenia z płaszczyzny układu. Nie jest to błąd, ale konsekwencja zablokowania swobody węzłów końcowych elementów skończonych. Dla płaskich konstrukcji zalecane jest podanie długości wyboczeniowej z płaszczyzny lub wymodelowanie rzeczywistych podpór zamiast zablokowanych węzłowych stopni swobody.

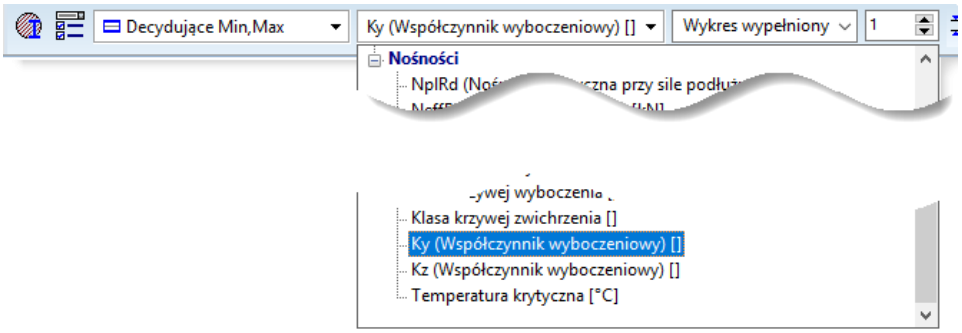
Wartość długości wyboczeniowej wymiarowanych elementów w dużej mierze zależy także od sił wewnętrznych. Ponieważ siły te są różne dla każdego przypadku i kombinacji obciążeń, to obliczone długości wyboczeniowe również zależą od przypadku i kombinacji! Szybkość obliczeń w fazie koncepcyjnej może zostać zwiększona poprzez pominięcie wpływu rozkładu sił wewnętrznych. Uzyskuje się to za pomocą wyłączenia opcji *Uwzględnij N* w oknie dialogowym parametrów wymiarowania. Przy nieuwzględnianiu rozkładu sił osiowych, program zakłada, że rozważany element posiada stały rozkład siły normalnej, podczas gdy pozostałe elementy traktowane są jako nieobciążone.

Ograniczenia
Ta metoda wyznaczania długości wyboczeniowych może określić krytyczny parametr obciążenia tylko dla konstrukcji złożonej z prętów kratowych, prętów lub żeber. Zakłada się, że elementy do wymiarowania mają stały przekrój poprzeczny. Obecnie metoda ta nie jest jeszcze dostępna dla profili o zmiennej wysokości. Oddziaływania od innych typów elementów konstrukcyjnych (np. płyt, sprężyn, elementów sztywnych lub podpór powierzchniowych) są ignorowane. Z podpór uwzględniane są tylko podpory węzłowe, wpływ podpór liniowych i powierzchniowych nie jest uwzględniany. Dodatkowe informacje o automatycznym obliczaniu współczynnika dla wyboczenia giętnego dostępne w menu *Pomoc / Przewodnik AutoNcr*.

Na zakładce *Wymiarowanie – Stal* można wyświetlić na modelu wyznaczone wartości mnożników długości wyboczeniowej *Ky* oraz *Kz* poprzez wybranie ich z rozwijanej listy komponentów z wynikami ze środkowej listy.

Efekty drugiego rzędu odwzorowane w analizie nieliniowej

Jeżeli siły wewnętrzne zawierają już wpływ efektów drugiego rzędu (czyli zdefiniowaliśmy odpowiednio imperfekcję geometryczną lub obciążenia od imperfekcji dla nieliniowej analizy z nieliniowością geometryczną), to wystarczające jest sprawdzenie samego przekroju poprzecznego (bez uwzględniania długości wyboczeniowych elementu). Jeżeli powyższa opcja została włączona, to warunki uwzględniające wyboczenie będą miały we wzorach wartość $\chi_x = \chi_y = 1$ (tylko dla wyników z analizy nieliniowej z włączoną opcją nieliniowości geometrycznej).



Analiza wyboczeniowa elementów wymiarowanych

Wyboczenie wymiarowanych elementów (Eurokod-PL) [Minimalne Ncr]

Element wymiarowany	Długość [m]	Przypadek	Postać	α_{cr}	N_{min} [kN]	N_{cr} [kN]	$L_{y,cr}$ [m]	$L_{z,cr}$ [m]	$K_{y,cr}$	$K_{z,cr}$	λ
1 (5–4)	5,000	Śnieg UD	1	7,250	-5,760	41,758	51,822	31,147	10,364	6,229	565,168
2 (3–4)	4,031	Śnieg UD	1	7,250	-1,410	10,221	154,486	39,977	38,323	9,917	1126,836
3 (2–3)	4,031	Śnieg UD	1	7,250	-2,124	15,401	125,855	32,568	31,221	8,079	918,000
4 (1–2)	5,000	Śnieg UD	1	7,250	-5,760	41,758	51,822	31,147	10,364	6,229	565,168
5 (10–9)	5,000	Śnieg UD	1	7,250	-11,520	83,516	37,601	22,298	7,520	4,460	440,234
6 (8–9)	4,031	Śnieg UD	1	7,250	-3,831	27,775	53,896	14,549	13,370	3,609	540,334
7 (7–8)	4,031	Śnieg UD	1	7,250	-5,260	38,134	45,997	12,416	11,410	3,080	461,141
8 (6–7)	5,000	Śnieg UD	1	7,250	-11,520	83,516	37,601	22,298	7,520	4,460	440,234
9 (15–14)	5,000	Śnieg UD	1	7,250	-11,520	83,516	37,601	22,298	7,520	4,460	440,234
10 (13–14)	4,031	Śnieg UD	1	7,250	-3,831	27,775	53,896	14,549	13,370	3,609	540,334
11 (12–13)	4,031	Śnieg UD	1	7,250	-5,260	38,134	45,997	12,416	11,410	3,080	461,141
12 (11–12)	5,000	Śnieg UD	1	7,250	-11,520	83,516	37,601	22,298	7,520	4,460	440,234
13 (20–19)	5,000	Śnieg UD	1	7,250	-11,520	83,516	37,601	22,298	7,520	4,460	440,234
14 (18–19)	4,031	Śnieg UD	1	7,250	-3,831	27,775	53,896	14,549	13,370	3,609	540,334
15 (17–18)	4,031	Śnieg UD	1	7,250	-5,260	38,134	45,997	12,416	11,410	3,080	461,141
16 (16–17)	5,000	Śnieg UD	1	7,250	-11,520	83,516	37,601	22,298	7,520	4,460	440,234

Po wykonaniu globalnej analizy wyboczeniowej konstrukcji możliwe jest wyświetlenie podsumowania tej analizy dla wymiarowanych elementów stalowych w *Przeglądarce tabel (WYNIKI / Analiza liniowa / Wymiarowanie – Stal / Wyboczenie / Przypadek lub kombinacja obciążenia / Numer postaci)*.

Wyniki z analizy nieliniowej są dostępne tylko przy wyłączonej opcji nieliniowości geometrycznej, a końcowy współczynnik przyrostu obciążenia wynosi 1.0.

Dostępna jest również tabela *Minimalne N_{cr}*, w której zebrane są najmniejsze wartości siły krytycznej dla poszczególnych elementów.

Jeżeli z jakichś powodów obliczenia wymiarujące nie zostaną przeprowadzone dla niektórych elementów, to przyczyna niepowodzenia wywołująca dany błąd jest również wyświetlana w kolumnie *Element wymiarowany* (tak jak w tabeli *Stopień wykorzystania*).

Siła krytyczna wyznaczana jest w równania Eulera

$$N_{cr} = \frac{\pi EI}{L_{cr}^{\ 2}} = N_{\min} \alpha_{cr}$$

Długość wyboczeniowa równoważnego pręta eulerowskiego wynosi $L_{cr} = K_{cr}L$, gdzie L to fizyczna długość wymiarowanego elementu, a *Kcr* to mnożnik długości wyboczeniowej.

α_{cr}	*mnożnik obciążenia krytycznego*
N_{min}	*najmniejsza wartość siły normalnej na długości pręta*
N_{cr}	*siła krytyczna*
$L_{y,cr}$	*długość wyboczeniowa wokół osi -y- (w kierunku -z-)*
$L_{z,cr}$	*długość wyboczeniowa wokół osi -z- (w kierunku -y-)*
$K_{y,cr}$	*mnożnik długości wyboczeniowej wokół osi -y-*
$K_{z,cr}$	*mnożnik długości wyboczeniowej wokół osi -z-*
λ	*smukłość*

Zwichrzenie

K_ω to współczynnik opisujący warunki przeciwdziałające spaczeniu. Jego wartość musi mieścić się między 0.5 a 1 (dla całego elementu):

- jeżeli pręt nie jest zabezpieczony przed spaczeniem to wsp. wynosi 1.0.
- jeżeli pręt jest zabezpieczony przed spaczeniem na obu końcach to wsp. wynosi 0.5.
- jeżeli pręt jest zabezpieczony przed spaczeniem na jednym końcu to wsp. wynosi 0.7.

Aby uzyskać szczegółowe informacje, patrz: Załącznik F1 do ENV 1993-1-1.

Położenie obciążenia Z_a na wysokości przekroju poprzecznego odnosi się do środka ciężkości przekroju.

Położenie z rozwijanej listy może zostać wybrane jako:

Tak jak zdefiniowano – położenie jest wyznaczone automatycznie na podstawie przyłożonej do pręta siły skupionej lub rozłożonej z zadanym mimośrodem. Obciążenia węzłowe przykładane są zawsze w środku ciężkości przekroju poprzecznego.

Niestandardowe – położenie obciążenia wybierane jest przez użytkownika poprzez wskazanie jednego z ustawień: *Górne*, *Środek ciężkości*, *Dolne*, *Niestandardowy* (poprzez wprowadzenie wartości Z_a).

Podczas obliczeń zakłada się, że lokalna oś *-z-* leży w płaszczyźnie symetrii przekroju, a siły wywołujące zwichrzenie działają równolegle do tej osi.

Obliczenie M_{cr} (moment krytyczny)

Dostępne są dwie metody obliczania momentu krytycznego przy zwichrzeniu *(M_{cr})*.

1.) C1 Wzór Lopeza (według wzoru)

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2}\left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + \left(C_2 z_g - C_3 z_j\right)^2} - \left(C_2 z_g - C_3 z_j\right)\right]$$

Znaczenie parametrów można znaleźć w literaturze lub w Załączniku F1.2 do ENV 1993-1-1. Wartości parametrów C_1, C_2, C_3 zależą od współczynników kształtu wykresu momentów i współczynnika *k*.

Aby wprowadzić te parametry, należy wybrać z rozwijanej listy *C1, C2, C3 użytkownika*.

W niektórych przypadkach wartość parametru C_1 może zostać obliczona automatycznie. Należy wybrać wtedy z rozwijanej listy *Metoda obliczania Mcr - C1 wzór Lopeza*. **Opcja ta jest nieaktywna**, jeżeli wymiarowany element jest wspornikiem lub $k > 1$.

Wartość C_2 musi zostać wprowadzona, jeżeli do elementu konstrukcyjnego zostały przyłożone obciążenia zewnętrzne oraz punkt przyłożenia nie pokrywa się ze środkiem ścinania przekroju.

W przypadku monosymetrycznego przekroju poprzecznego, należy wprowadzić także wartość C_3.

Odpowiednie wartości parametrów *C* można ustawić korzystając z ENV 1993-1-1, F1.2.

2.) Metoda Auto Mcr

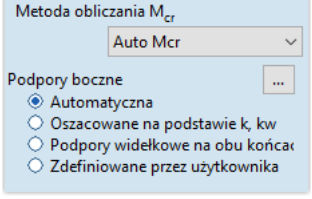
Ta metoda tworzy oddzielny model z elementów skończonych dla każdego wymiarowanego pręta i oblicza bezpośrednio M_{cr} dla każdej kombinacji obciążenia sprawiając, że C_1, C_2 i C_3 są niepotrzebne, jednak zwiększając czas obliczeń. Metoda ta może być wykorzystana także w przypadku zmiennych przekrojów poprzecznych oraz wsporników. Wyodrębniony model złożony z elementów skończonych pręta zawiera przynajmniej 30 elementów skończonych, gdzie każdy węzeł posiada cztery stopnie swobody konieczne do określenia zwichrzenia: 1) *v* - przesunięcie poprzeczne po kierunku lokalnym *y*, 2) ϑ_x - skręcanie, 3) ϑ_z - poprzeczny obrót, 4) *w* - zniekształcenie (wypaczenie).

Metoda ta tworzy dwie części dla postaci sztywności pręta: pierwsza jest liniowa, druga posiada geometryczną nieliniowość. Przykłada obciążenia z ich odpowiednim mimośrodem, a następnie redukuje obliczenia do problemu wartości własnej. Metoda ta została stworzona dla stałych przekrojów zginanych w swojej płaszczyźnie symetrii, więc dla zmiennych przekrojów poprzecznych program tworzy właściwą liczbę elementów skończonych. [patrz Yvan Galea: *Moment critique de deversement elastique de poutres flechies presentation du logiciel Itbeam,* CTICM, 2003]

Auto Mcr

Podpory boczne

AxisVM wyznacza automatycznie warunki podparć dla wyodrębnionego modelu elementu (opcja *Automatyczna*).



Alternatywnie można wybrać następujące metody:

- *Oszacowane na podstawie k, kw*

  położenie podpór jest szacowane podobnie jak w AxisVM 12,
- *Podpory widełkowe na obu końcach*,
- *Zdefiniowane przez użytkownika*

  użytkownik może wyedytować / zdefiniować podpory.

Cztery komponenty sztywności podpór bocznych to R_y, R_{xx}, R_{zz}, R_w.

Jeżeli wspomniana powyżej opcja została ustawiona na *Automatyczna*, to program wyznaczy warunki podparć w następujący sposób:

Podpora z modelu:
na podstawie podpór wzdłuż elementu zdefiniowanych przy tworzeniu modelu w zakładce *Elementy*; wartości R_y, R_{xx} oraz R_{zz} pobierane są bezpośrednio z wartości sztywności ustawionych dla podpór, a wartość $R_w = 0$.

Dochodzące elementy:
elementy liniowe i powierzchniowe połączone bezpośrednio z wymiarowanym elementem stanowią podpory boczne zabezpieczające przed zwichrzeniem. Oszacowane wartości sztywności podpór zostały przedstawione w *Przewodniku AutoMcr*. Zobacz w menu głównym *Pomoc / Przewodnik AutoMcr*.

Ograniczenia:
Wyodrębniony model elementu nie uwzględnia wpływu węzłowych stopni swobody.

Bez odpowiednich podpór, wydzielony model elementu nie posiada wystarczającej stabilności na zwichrzenie. Aby uniknąć tego rodzaju niestabilności, muszą zostać spełnione poniższe warunki:
1) sztywność R_y posiada wartość różną od 0 przynajmniej w jednym punkcie, a w innym punkcie różna od 0 jest wartość R_y lub R_{zz},
2) wartość R_{xx} jest różna od 0 przynajmniej w jednym punkcie.
Jeżeli pierwszy warunek nie jest spełniony, to zastosowane zostaną wartości domyślne: R_y oraz R_{zz} jako niepodatne na obu końcach. Jest to przybliżenie wartośc $k = k_w = 1$ i ze wzoru ENV. Dla wspornika domyślnym ustawieniem jest podpora na jednym końcu z niepodatnymi wartościami R_y, R_{xx} oraz R_{zz}.

Jeżeli drugi warunek nie jest spełniony (np. nie została zdefiniowana podpora przeciwskrętna), to na jednym z końców pręta przyjmowana jest domyślna wartość dla niepodatności R_{xx}.

Warunki podparć bocznych mogą zostać wyedytowane po kliknięciu przycisku [...].
Pojawi się wówczas okno dialogowe z tabelą podparć bocznych dla wymiarowanych elementów, utworzonych na podstawie selekcji.
Wymiarowane elementy wylistowane są po lewej stronie okna dialogowego. Tabela przedstawia podpory boczne wybranego elementu.
Ostatni składnik listy (w przypadku zaznaczenia kilku wymiarowanych elementów) to *Takie same podpory na wybranych elementach*. Wybranie tej opcji z listy spowoduje wyświetlenie w tabeli tylko wspólnych podpór dla wybranych elementów wymiarowanych. Dodanie lub usunięcie podpór zmieni konfigurację podparć dla wszystkich wybranych elementów wymiarowanych.

Dodaj nową podporę
Dodaje nowy wiersz do tabeli i umożliwia wprowadzenie właściwości podpory.

Usuń zaznaczone podpory
Usuwa zaznaczone wiersze tabeli.

Następujące właściwości mogą być edytowane: położenie podpory, mimośród podparcia po kierunku *z* względem środka ciężkości przekroju, komponenty sztywności. Ostatnia kolumna pokazuje typ podpory:
Dodatkowa podpora – zdefiniowana przez użytkownika
Podpora z modelu – odnosi się do podpory węzłowej połączonej z elementem wymiarowanym
Dochodzący element – odnosi się do pręta kratowego, pręta lub żebra dochodzącego do elementu wymiarowanego
Domyślna podpora – odnosi się podpory utworzonej automatycznie, gdy pierwszy warunek prawidłowego zabezpieczenia elementu nie został spełniony
Domyślna podpora na skręcanie - odnosi się podpory utworzonej automatycznie, gdy drugi warunek prawidłowego zabezpieczenia elementu nie został spełniony

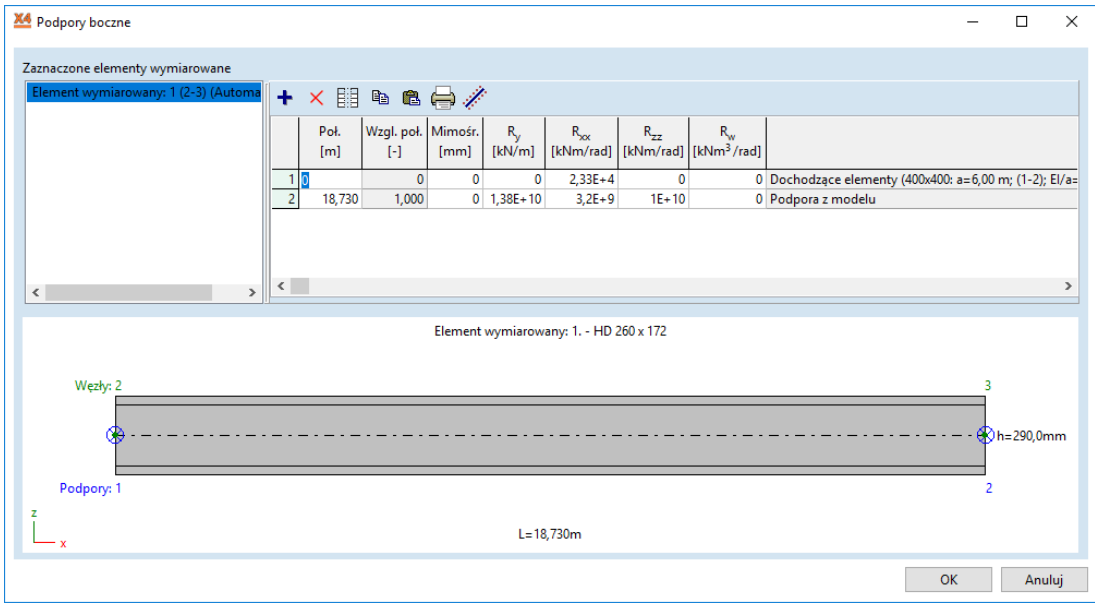


Tabela wyświetla elementy dochodzące, jeżeli kąt pomiędzy ich osią a osią elementu wymiarowanego jest większy niż 15°, a kierunek wektora dołączonego elementu posiada niezerową składową w lokalnym kierunku -y- wymiarowanego elementu (jest dla niego podporą boczną). Tak więc, jeżeli wymiarowany element jest poziomą belką, to pionowe słupy i inne poziome belki w linii wymiarowanego elementu nie pojawią się w tabeli.

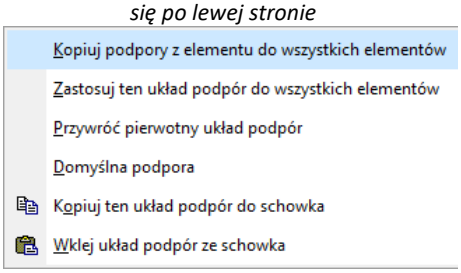
Komórki tabeli pozwalają na wprowadzanie liczb jak i pewnych wartości parametrycznych:

Poz. Wartość *L* przedstawia długość całego elementu wymiarowanego. Względne położenie może zostać wprowadzone za pomocą wyrażenia np. *L/2* lub *2*L/3*.

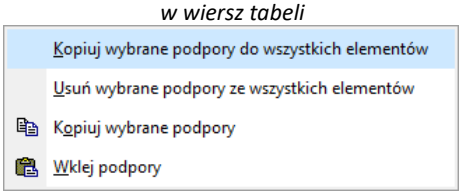
Mimośr. Wartość *h* przedstawia wysokość przekroju poprzecznego. Mimośród może zostać wprowadzony parametrycznie jako np. *h/2* lub *2*h/3*

R... Składowa sztywności: parametr *m* będzie interpretowany jako 1E+10. W przypadku elementu dochodzącego o długości *a* oraz sztywności *E*I* można wprowadzić 6**EI/a*.

Dodatkowe działania po kliknięciu prawym przyciskiem myszy na pozycji listy znajdującej się po lewej stronie

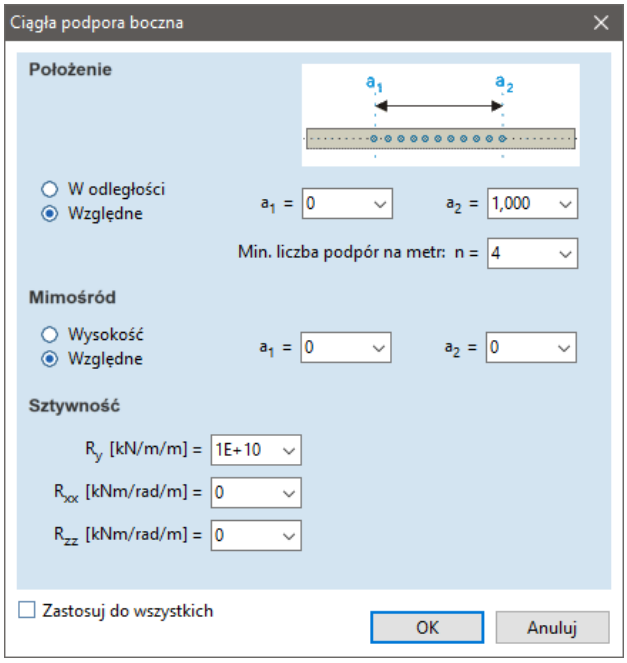


Dodatkowe działania po kliknięciu prawym przyciskiem myszy w wiersz tabeli



Ciągła podpora boczna

Jeżeli sztywna tarcza (np. dachowa blacha trapezowa) jest połączona z wymiarowanym elementem, to jej sztywność może zostać uwzględniona jako ciągła podpora boczna.



W oknie dialogowym *Ciągłej podpory bocznej* można zdefiniować jej położenie, mimośród i parametry opisujące sztywność. Poprzez zaznaczenie *Zastosuj do wszystkich* nastąpi przypisanie tych parametrów do wszystkich zaznaczonych elementów do wymiarowania. W przeciwnym razie przypisanie parametrów nastąpi tylko do elementu, który jest aktualnie wybrany w oknie *Podpory boczne*.

Podpora ciągła jest zamieniana przez program na pojedyncze podpory. Intensywność tych podpór na jednostkę długości może zostać określona przez użytkownika (*Min. Liczba podpór na metr*). Pojedyncza podpora na skraju definiowanego odcinka ma połowę wartości sztywności, względem podpór pośrednich na swojej długości.

☞ **Zmiana opcji** *Scalenie elementów wymiarowanych* **przedefiniuje elementy wymiarowane, tak że wartości zostaną zresetowane do domyślnych, a wszystkie zmiany zostaną utracone.**

AxisVM w wersji 12 obliczał przybliżone warunki podparć na podstawie wartości parametrów k_z oraz k_w. Modele utworzone w tej wersji będą posiadały *Metodę obliczania* M_{cr} ustawioną na *Oszacowane na podstawie kz, kw*.
W celu pomocy przy stosowaniu i lepszego zrozumienia metody AutoMcr oraz prawidłowego definiowania podparć bocznych, zalecane jest zapoznanie się z podręcznikiem i zadaniami w *Przewodniku AutoMcr*. Znaleźć go można w menu głównym *Pomoc / Przewodnik AutoMcr*.

Pozycja obciążenia

Z_a to współrzędna *z* punktu przyłożenia obciążenia poprzecznego (względem środka ciężkości przekroju) na podstawie ENV 1993-1-1, Rysunek F1.1. Jest to wartość oznaczana i musi zostać zdefiniowana jako stosunek tej odległości do wysokości przekroju poprzecznego. Położenie obciążenia jak dla środka ciężkości i góry lub dołu przekroju poprzecznego można wybrać za pomocą przełączników.

Niestateczność środnika przy ścinaniu

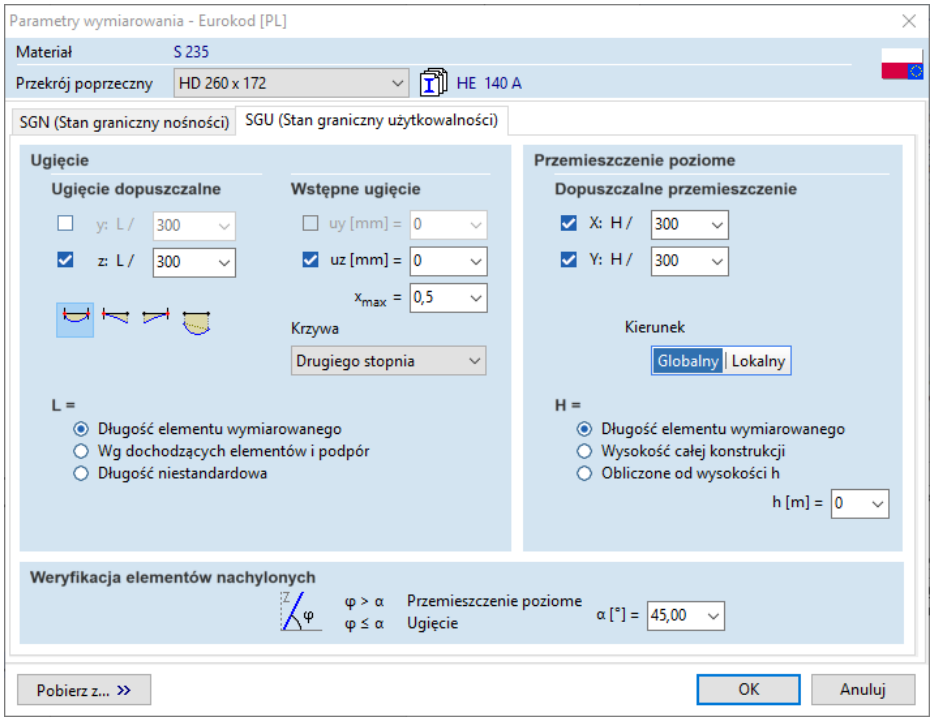
W przypadku profili ze środnikami, środnik może zostać wzmocniony lub nie za pomocą usztywnień:
Brak usztywnień: nie przyjmuje żadnych usztywnień poprzecznych wzdłuż elementu konstrukcyjnego
Usztywnienia poprzeczne: usztywnienia poprzeczne znajdują się w danym rozstawie wzdłuż elementu konstrukcyjnego.
W każdym przypadku program przyjmuje, że usztywnienia poprzeczne (żebra podatne) znajdują się na końcach elementów konstrukcyjnych (np. na podporach).

Wskaźnik dla sił sejsmicznych można znaleźć w rozdziale *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*

6.6.1.2 SGU – parametry do wymiarowania

Parametry wymiarowania (SGU)

Dla wymiarowania SGU w oparciu o Eurokod 3, należy określić następujące parametry znajdujące się na zakładce SGU oraz przypisać je do elementów konstrukcyjnych:



Program weryfikuje ugięcie belek oraz poziome przemieszczenia słupów. Nachylone elementy stalowe do wymiarowania są klasyfikowane poprzez kąt ich osi środkowej do płaszczyzny poziomej. Domyślna wartość kąta wynosi 45° i może zostać zmieniona. Jeżeli kąt dla analizowanego elementu jest większy niż 45°, to element jest traktowany jako słup, a jeżeli jest mniejszy niż 45° to jako belka.

☞ **Jeżeli kombinacje decydujące są utworzone dla trybie Automatycznym, to program wykona sprawdzenie SGU dla automatycznie wybranego typu kombinacji, w zależności od materiałów, które występują na modelu. W oknie informacyjnym wybrany typ kombinacji będzie opisany przy wyświetlaniu wyników dla SGU.**

Ugięcie dopuszczalne

Ugięcia mogą zostać sprawdzone wg kierunku lokalnej osi *z* lub *y* wymiarowanego elementu. Sprawdzenie w danym kierunku może zostać aktywowane/dezaktywowane przez zaznaczenie/odznaczenie pola wyboru obok warunku granicznego ugięcia. Warunek granicznego ugięcia powinien zostać ustawiony w zależności od przyjętej długości *L*, której opcję odpowiadającego wariantu można wybrać poniżej.

Ugięcia mogą być uwzględniane na kilka sposobów: na podstawie przemieszczeń względem obu punktów końcowych elementu (ugięcie od cięciwy), względem jednego lub drugiego punktu końcowego lub na podstawie rzeczywistych przemieszczeń.

6.6.1.3 Wykresy i obliczenia wymiarujące

Ugięcie elementu wymiarowanego i warunek graniczny (np. L/300) bazują na jednej z poniżej wybranych wartości długości L:

Długość elementu wymiarowanego:
L jest równe długości wymiarowanego elementu

Wg dochodzących elementów i podpór:
Jeżeli *Scalanie elementów konstrukcyjnych* na zakładce SGN ustawione jest na pierwszą opcję (czyli parametry są przypisane osobno do każdej części elementu wymiarowanego, podzielonego przez dochodzące elementy lub podpory), to wtedy długość ta jest równa długości elementu wymiarowanego (i jest dokładnie taka sama jak dla pierwszej opcji).
Jeżeli *Scalanie elementów konstrukcyjnych* na zakładce SGN ustawione jest na drugą opcję (traktuj wybrane pręty współliniowe jako jeden cały element konstrukcyjny) to wtedy program dla SGU sprawdzi czy na długości elementu po kierunku ugięcia znajdują się podpory lub dochodzące elementy zapobiegające ugięciu elementu wymiarowanego. Na tak wydzielonych odcinkach przeprowadzona zostanie weryfikacja ugięcia dla SGU.
Na przykład dla belki o długości 15m, na której końcach i w 1/3 znajdują się słupy podpierające, program sprawdzi warunki ugięcia oddzielnie dla pierwszego odcinka o długości 5m i dla drugiego o długości 10m (podczas gdy do sprawdzenia SGN będzie uwzględniana cała belka o długości 15).

Długość niestandardowa:
W tym przypadku może zostać zdefiniowana dowolna wartość długości elementu.

Wstępne ugięcie

Wstępne ugięcie może zostać zdefiniowane dla elementów wymiarowanych, gdzie wartości tego ugięcia (*uz* oraz *uy*) są interpretowane w lokalnym układzie współrzędnych elementu. Ugięcie wstępne jest ustawiany przez użytkownika za pomocą trzech parametrów: krzywej kształtu ugięcia (*Kwadratowa* lub *Liniowa*), wartości maksymalnej *u* oraz umiejscowienia maksimum na długości elementu (x_{max}). Wyjątkiem od tej sytuacji jest przypadek, gdy użytkownik wybrał rzeczywiste przemieszczenia, a nie ugięcie liczone względem punktów końcowych elementu (np. tylko odcinek belki został wybrany jako element wymiarowany). Wówczas zdefiniowana wartość ugięcia wstępnego jest stała na długości elementu.
Jeżeli długość *L* została ustawiona jako *Długość elementu wymiarowanego* lub *Długość niestandardowa* to wartość ugięcia wstępnego wynosi zero w punktach końcowych elementu. Jeżeli długość *L* została ustawiona jako *Wg dochodzących elementów i podpór* to ugięcie wstępne wynosi zero w punktach końcowych elementu oraz na podporach znalezionych przez program w odpowiednim kierunku.

☞ **Ważny jest fakt, że ustawiona wartość ugięcia wstępnego wpływa na weryfikację SGU tylko przez zmniejszenie wcześniej wyliczonego ugięcia opartego na pierwotnym kształcie.**

Przemieszczenia poziome

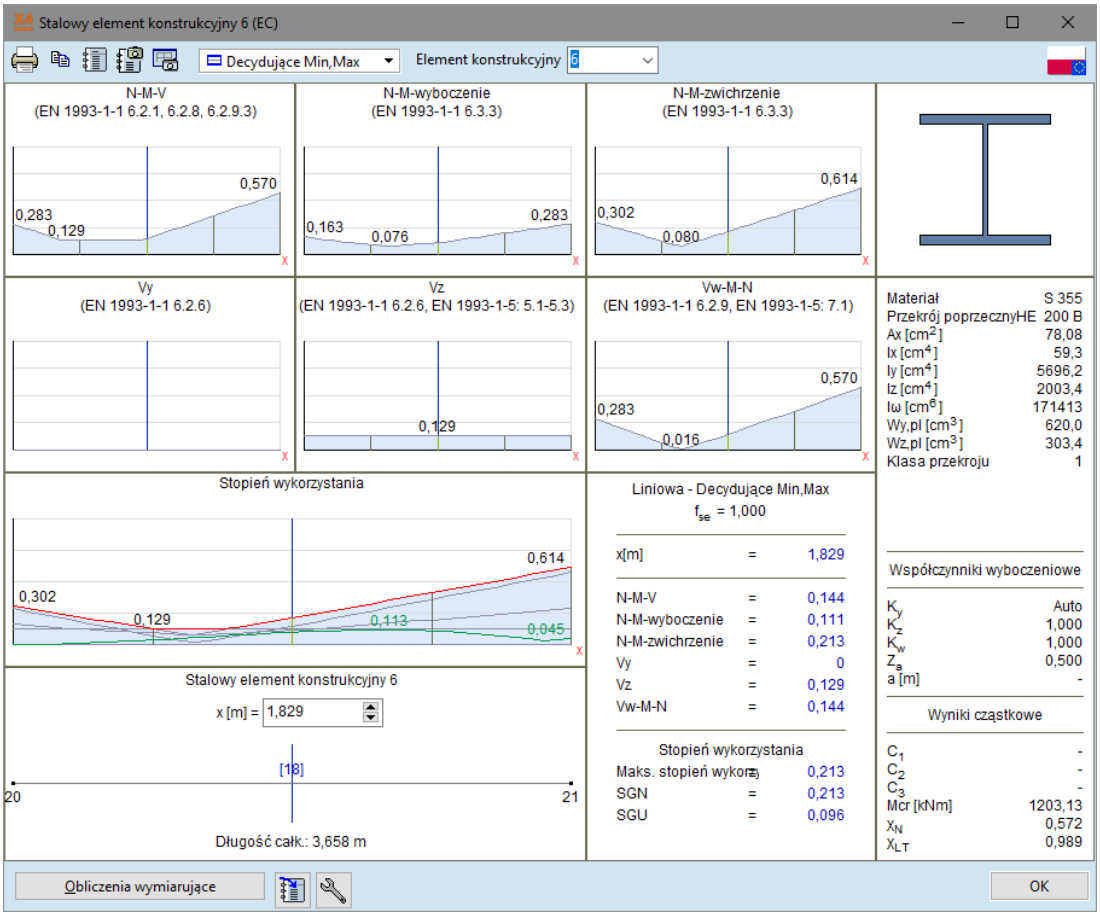
Przemieszczenia poziome mogą być sprawdzane w dwóch kierunkach jednocześnie w odniesieniu do układu globalnego lub lokalnego. Jeżeli wybrany został globalny układ współrzędnych, to program zweryfikuje przemieszczenia poziome w kierunku osi X oraz Y. Jeżeli wybrany został lokalny układ elementu, to składnik przemieszczenia poziomego (*wx* oraz *wy*) jest weryfikowany w lokalnym kierunku *-z-* oraz *-y-* wymiarowanego elementu.
Wysokość *H*, w odniesieniu do której program sprawdza przemieszczenia może być: wysokością całej konstrukcji, wysokością tylko wymiarowanego elementu lub odmierzona od zdefiniowanego poziomu. W pierwszym przypadku analizowane są rzeczywiste przemieszczenia elementu, podczas gdy w pozostałych przypadkach sprawdzane są tylko przemieszczenia względne wzdłuż rozpatrywanej wysokości. Dla elementów nachylonych, wysokość elementu jest definiowana jako składowa pionowa długości elementu wymiarowanego.

Dostępne opcje:

- *Długość elementu wymiarowanego* (względne przemieszczenia poziome)
- *Wysokość całej konstrukcji* (rzeczywiste przemieszczenia poziome)
- *Obliczone od wysokości h* (względne przemieszczenia poziome)

Wykresy

Wykresy mogą być wyświetlone w odniesieniu do wszystkich oddzielnych warunków wymiarujących i ich obwiedni, poprzez kliknięcie na stalowy element konstrukcyjny. Wyniki dla dowolnej pozycji na każdym stalowym elemencie konstrukcyjnym, w dowolnym przypadku lub kombinacji obciążeń, mogą być uzyskane przez ustawienie przypadku obciążenia w polu kombi i przeciągnięcie suwaka na długości elementu. Jeżeli dla bieżącego przekroju poprzecznego nie jest możliwe przeprowadzenie weryfikacji danego warunku wymiarującego, odpowiedni wykres zostanie zastąpiony krzyżykiem.



Obliczenia wymiarujące

Kliknięcie na przycisk *Obliczenia wymiarujące* wyświetli raport ze szczegółami obliczeń. Każde sprawdzenie dotyczące wytrzymałości i stateczności pojawi się jako wzory, uzupełnione o podstawione aktualne wartości i odniesienie do normy projektowej.

Raport składa się z sześciu podstawowych warunków interakcyjnych wymienionych wyżej oraz kilku wyników cząstkowych, które ułatwiają prześledzenie obliczeń i dostarczają przydatne informacje szczegółowe do optymalizacji przekroju poprzecznego.

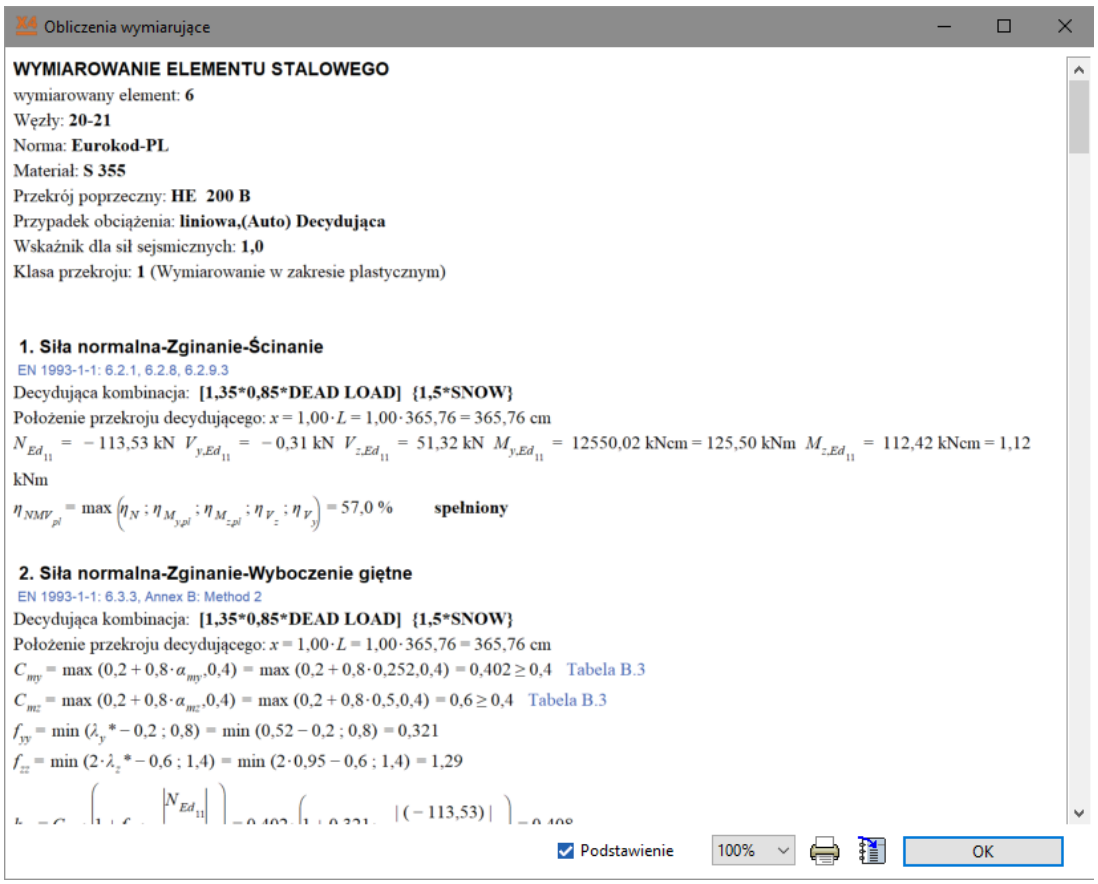
Wyniki cząstkowe to:

1. *Nośność plastyczna przy sile podłużnej*
2. *Nośność plastyczna przy zginaniu wokół osi y*
3. *Nośność plastyczna przy zginaniu wokół osi z*
4. *Nośność plastyczna na ścinanie w kierunku z*
5. *Sprawdzenie interakcji zginania ze ścinaniem*
6. *Sprawdzenie interakcji zginania z siłą normalną*
7. *Nośność na wyboczenie przy ściskaniu*
8. *Nośność na zwichrzenie*

Kliknięcie na ikonę *Ustawienia* obok przycisku *Obliczenia wymiarujące* umożliwia ustawienie podstawowych jednostek dla sił i długości użytych w obliczeniach. Istotne wyniki są także konwertowane do standardowych jednostek programu AxisVM (**Patrz...** *3.3.8 Jednostki i formaty*).

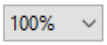
Obliczenia wymiarujące

Szczegóły obliczeń wg bieżącej normy projektowej wyświetlane są jako wielostronicowy dokument. Odniesienia do rozdziałów i wzorów normy projektowej wyświetlane są na niebiesko.



Rozmiar tego okna może być zmieniany.

Podstawienie Podstawienie do wzorów może zostać włączone lub wyłączone. Wyeliminowanie podstawienia nieznacznie skraca raport.



Wybiera wielkość czcionki dla raportu.

Drukuje obliczenia wymiarujące.

Kliknięcie na tę ikonę dodaje obliczenia wymiarujące do bieżącego raportu.

6.6.1.4 Optymalizacja stalowego przekroju poprzecznego (moduł SD9)

Optymalizacja przekroju poprzecznego konstrukcji stalowych sprawia, że wcześniej zdefiniowane i zwymiarowane elementy stalowe stają się bardziej efektywne poprzez precyzyjnie dopasowanie wymiarów przekroju poprzecznego i redukcję ciężaru własnego.

☞ **Optymalizacja weryfikuje elementy konstrukcyjne pod względem tych samych sił wewnętrznych (wyliczonych wcześniej), nie uwzględniając zmian sztywności spowodowanych zmianą wymiarów przekroju. Ponowne obliczenia modelu dla niektórych konstrukcji mogą wykazać znaczne zmiany w schemacie sił wewnętrznych. W takich przypadkach przeprowadzenie kilku kolejnych optymalizacji prawdopodobnie pozwoli znaleźć bardziej efektywną konstrukcję.**

Optymalizacja korzysta z parametrów wymiarowania dla stali przypisanych wcześniej do elementów wymiarowanych.

Typy przekrojów, które można poddać optymalizacji to: dwuteownik, asymetryczny dwuteownik, 2I, profile prostokątne, teowniki, ceowniki, podwójne ceowniki (2U) i profile rurowe. Zmienne przekroje nie mogą być optymalizowane.

Grupy optymalizacji Pierwszym etapem optymalizacji jest stworzenie grup optymalizacji z istniejących konstrukcyjnych elementów stalowych. Każdy element grupy musi posiadać taki sam przekrój poprzeczny, a optymalizacja przypisze taki sam przekrój poprzeczny do elementów grupy.

Lista grup optymalizacji (po lewej stronie na zakładce *Grupy optymalizacji*) wyświetla wspólny przekrój poprzeczny i liczbę wymiarowanych elementów w grupie (<*n*>). Należy wybrać grupę i ustawić parametry optymalizacji po prawej stronie (patrz rysunek poniżej).

Cel optymalizacji

Celem optymalizacji może być (1) minimalny ciężar, (2) minimalna wysokość lub (3) minimalna szerokość.

Ta opcja definiuje funkcję celu. Procedura wyszuka przekrój poprzeczny ze stopniem wykorzystania < 1 dla wszystkich elementów grupy i najbliższy względem celu. Taki przekrój poprzeczny nazywany jest *zoptymalizowanym przekrojem poprzecznym*. Cel zostaje osiągany osobno dla każdej grupy.

Maksymalny stopień wykorzystania może zostać również określony. Ograniczenie stopnia wykorzystania ułatwia optymalizowanie konstrukcji statycznie niewyznaczalnych, w których modyfikacje przekroju mogą spowodować duże zmiany w siłach wewnętrznych.

Weryfikacje optymalizacji

Podczas procesu optymalizacji możliwe jest wykluczenie niektórych warunków wymiarujących. Każdorazowo sprawdzane są wszystkie warunki wytrzymałościowe, ale sprawdzenie wyboczenia giętnego, zwichrzenia, niestateczności środnika oraz SGU może zostać wyłączone.

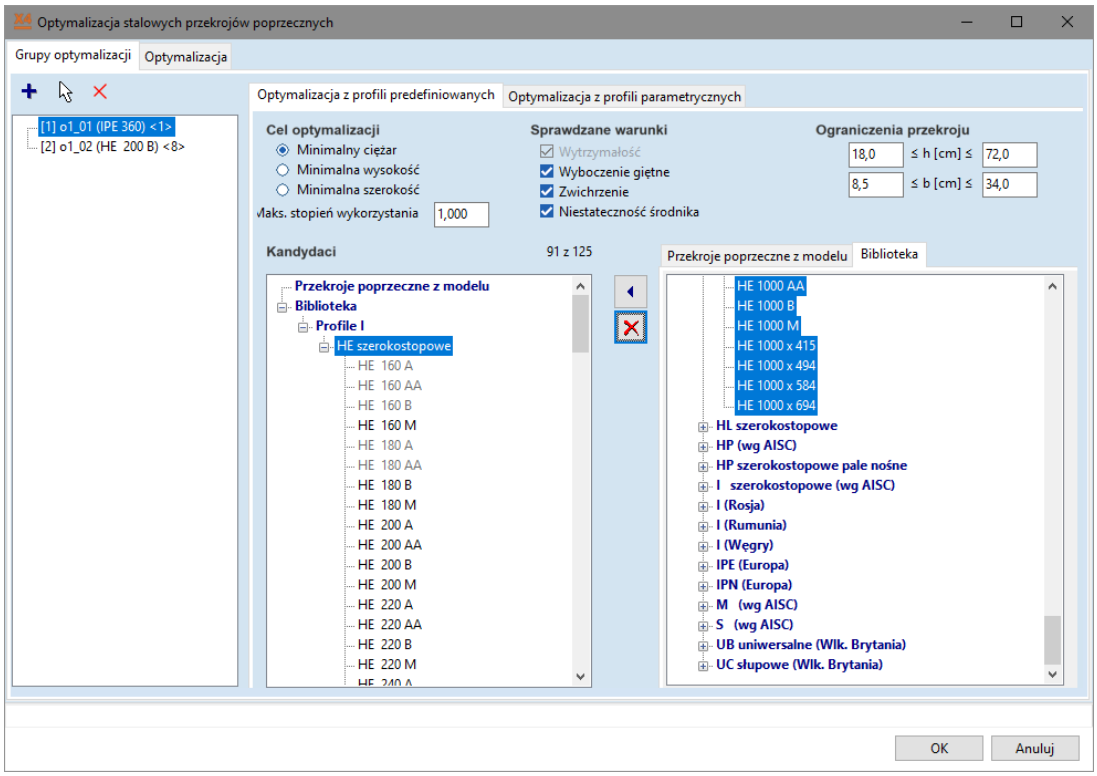
Typy optymalizacji

Istnieją dwa sposoby zdefiniowania zakresu przekrojów poprzecznych, który ma zostać sprawdzony. Opcja *Optymalizacja z profili bibliotecznych* odnosi się do zadanej liczby przekrojów poprzecznych, podczas gdy opcja *Optymalizacja parametryczna* wyszukuje optymalny profil w różnych zakresach parametrów geometrycznych.

Optymalizacja z profili bibliotecznych

Ta metoda znajduje optymalny przekrój poprzeczny z podanej liczby predefiniowanych profili. Kandydatów można wybierać z przekrojów wykorzystanych w modelu oraz z biblioteki. Kandydaci muszą posiadać ten sam typ przekroju poprzecznego jak oryginalny przekrój przypisany do danej grupy.

Zakres kandydatów może zostać zmniejszony przez ustawienie *Ograniczenia.* Jako kandydaci zostaną wówczas użyte tylko przekroje poprzeczne znajdujące się w podanych zakresach dla ich wysokości i szerokości (pozostałe przekroje zostaną wyszarzone).



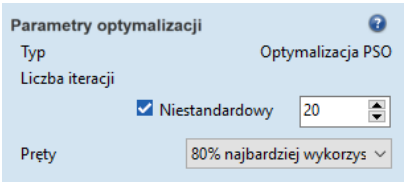
Jeżeli grupa zawiera więcej niż jeden element konstrukcyjny, wszystkie elementy zostaną zweryfikowane. Elementy są sprawdzane na całej długości. Nie wszystkie przekroje kandydujące zostaną zweryfikowane. Program analizuje tylko te, które są konieczne, aby odnaleźć globalne optimum.

Optymalizacja parametryczna

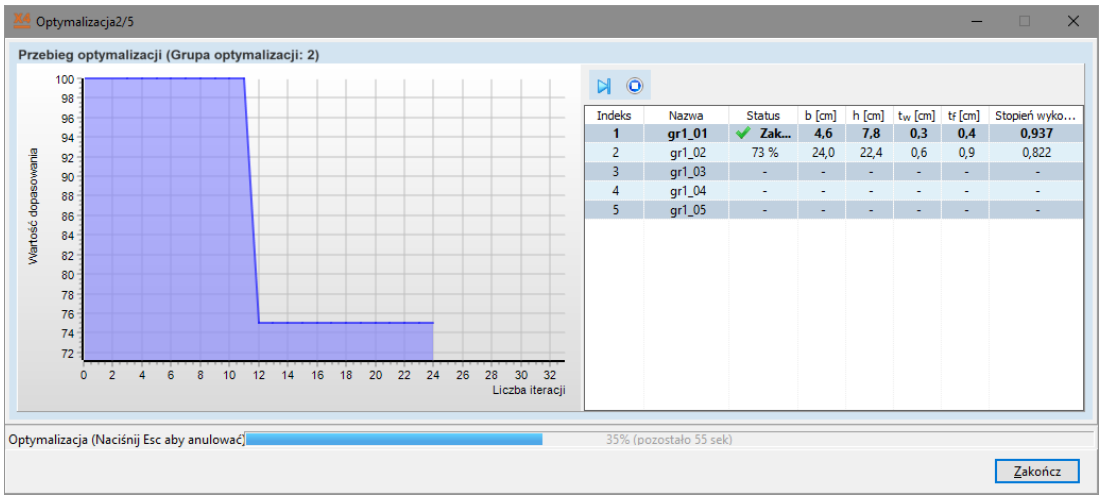
Ta metoda znajduje optymalny przekrój poprzeczny pośród różnych zakresów parametrów geometrycznych.
Znanych jest wiele różnych algorytmów wyszukujących optimum, które z powodzeniem stosowane są do optymalizacji konstrukcji ramowych. Ze względu na nieliniowość problemu i duża liczbę lokalnych optimów, znalezienie globalnego optimum przy pomocy samej matematyki jest skomplikowane. Sytuacja jest dodatkowo utrudniona, jeżeli optymalizacja musi sprawdzić nie tylko warunki wytrzymałościowe, ale również analizę stateczności.

AxisVM wykorzystuje tak zwaną Optymalizację Stadną Cząsteczek (ang. Particle Swarm Optimization - PSO), losową metodę obliczeniową znajdowania optimum. Jest to rozwojowy algorytm opracowany w latach 90-tych XX wieku.
Proces optymalizacji PSO przeprowadza daną ilość iteracji i ze względu na swoją stochastyczną naturę może znaleźć kilka wartości optimum lokalnego. Liczba iteracji określana jest przez program, który stara się zbalansować czas trwania i możliwie najpełniejsze mapowanie przestrzeni wyszukiwania. Ponadto, jeżeli algorytm nie znajdzie żadnych zmian dla wyniku w dłuższym okresie, zakłada, że jest to globalne optimum i przerywa działanie. W trybie wielowątkowym przestrzeń wyszukiwania dzielona jest pomiędzy wątki.

Algorytm szacuje potrzebną liczbę iteracji i wybiera metodę optymalizacji. Może to być albo zwykłe wyszukiwanie liniowe albo optymalizacja PSO. Wybór zależy od następujących parametrów: (1) wielkość obszaru wyszukiwania, (2) wielkość kroku iteracji, (3) liczba stałych parametrów, (4) cel optymalizacji, (5) tryb jedno- lub wielowątkowy (zobacz *Ustawienia / Preferencje / Obliczenia*), (6) zakres uwzględnionych prętów (wszystkich lub *x%* najbardziej wykorzystanych). Zmniejszenie liczby uwzględnianych prętów spowoduje, że obliczenia będą trwały krócej, ale zmniejszy się też dokładność. Przydaje się to wtedy, gdy grupy optymalizacji zawierają wiele elementów o różnym stopniu wykorzystania, który obliczany jest w procesie optymalizacji.
W przypadku optymalizacji PSO użytkownik może ustawić własną *liczbę iteracji*, zaznaczając opcję *Niestandardowa*.



Obliczenia potrafią uruchomić równoległe procesy wyszukiwania, wykorzystując wszystkie rdzenie procesora. Typowy wykres dla procesu optymalizacji przedstawiono poniżej.



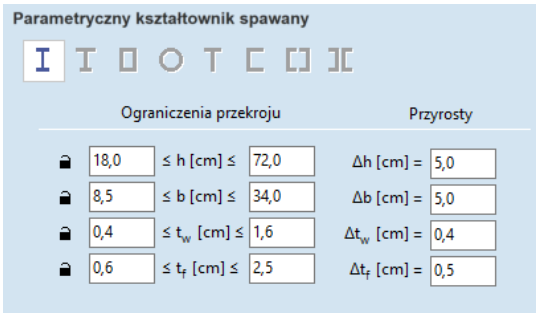
Niebieska linia pokazuje malejące zróżnicowanie populacji na odwróconej skali. Wypełniony wykres wyświetla wartość dopasowania w procentach względem początku (im mniej tym lepiej). Jeżeli wartość dopasowania nie zmienia się przez wiele iteracji i zróżnicowanie populacji jest małe, możemy zaakceptować bieżący wynik poprzez przejście do optymalizacji następnej grupy lub naciskając **[Esc]**, aby wyjść z optymalizacji.

Przeskocz do następnej grupy – zatrzymuje optymalizację bieżącej grupy i przechodzi do następnej. Bieżący stan optymalizacji dla analizowanej grupy traktowany jest jako jej wynik.

Zatrzymaj optymalizację – zatrzymuje całą optymalizację. Bieżący stan optymalizacji dla każdej grupy traktowany jest jako jej wynik. Ten sam efekty spowoduje wciśniecie **[Esc]**.

Zaletą i wadą tego algorytmu jest jego stochastyczna (losowa) natura. Przeprowadzenie optymalizacji kilkakrotnie dla tego samego problemu może prowadzić do otrzymania nieznacznie różniących się wyników. Ta tendencja jest większa w przypadku dużych przestrzeni wyszukiwania. Dla małych przestrzeni wyszukiwania takich jak rury o wąskim zakresie wielkości, przeprowadzane jest proste wyszukiwanie liniowe (analizując wszystkich kandydatów, aby znaleźć najlepszego).

Parametry ograniczeń przekrojów poprzecznych oraz przyrosty mogą być definiowane. Kliknięcie na ikonę kłódki zablokuje parametr na jego oryginalnej wartości. Aby ustawić dowolny parametr do jednej żądanej wartości, należy ustawić jego górną i dolną wartość graniczną na tę samą wartość.



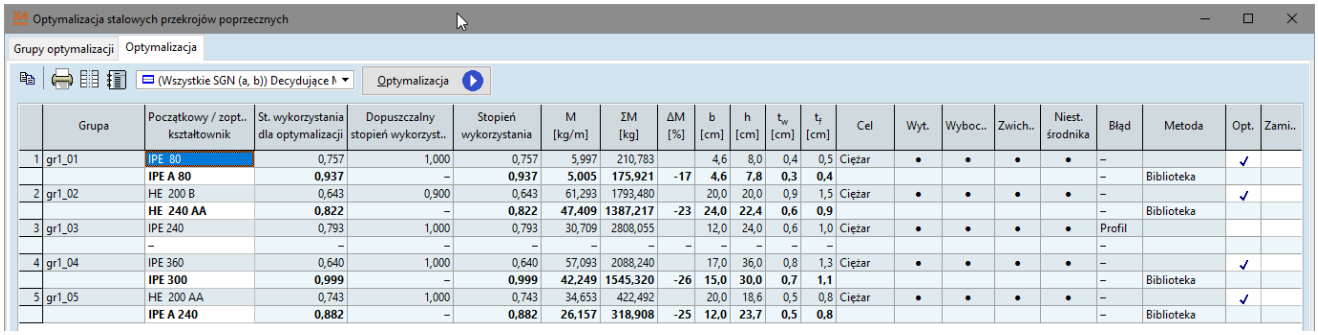
Algorytm stara się wyszukać przekrój poprzeczny, który będzie najbliższy maksymalnemu stopniowi wykorzystania jak to tylko możliwie oraz będzie najbliższy wybranemu celowi optymalizacji.

Zbyt duże przedziały i / lub zbyt małe przyrosty sprawiają, że przestrzeń wyszukiwania będzie ogromna i w rezultacie zwiększony zostanie czas obliczeń i / lub zbieżność zostanie spowolniona. Ważne jest więc ustawienie zakresów blisko szacunkowego optimum.

Jeżeli optymalizowana grupa zawiera większą liczbę elementów konstrukcyjnych, to całkowity stopień wykorzystania będzie najwyższym stopniem wykorzystania spośród elementów. Dlatego też nie zaleca się umieszczania elementów o bardzo zróżnicowanych długościach lub siłach wewnętrznych w tej samej grupie optymalizacji.

Optymalizacja

Po ustawieniu parametrów należy przejść do zakładki *Optymalizacja*, aby uruchomić optymalizację dla wybranego przypadku obciążenia, kombinacji, obwiedni lub kombinacji decydującej.



	Grupa	Początkowy / zopt.. kształtownik	St. wykorzystania dla optymalizacji	Dopuszczalny stopień wykorzyst..	Stopień wykorzystania	M [kg/m]	ΣM [kg]	ΔM [%]	b [cm]	h [cm]	t_w [cm]	t_f [cm]	Cel	Wyt.	Wyboc..	Zwich..	Niest. środnika	Błąd	Metoda	Opt.	Zami..
1	gr1_01	IPE 80	0,757	1,000	0,757	5,997	210,783		4,6	8,0	0,4	0,5	Ciężar	•	•	•	•	–		✓	
		IPE A 80	**0,937**	–	**0,937**	**5,005**	**175,921**	**-17**	**4,6**	**7,8**	**0,3**	**0,4**						–	Biblioteka		
2	gr1_02	HE 200 B	0,643	0,900	0,643	61,293	1793,480		20,0	20,0	0,9	1,5	Ciężar	•	•	•	•	–		✓	
		HE 240 AA	**0,822**	–	**0,822**	**47,409**	**1387,217**	**-23**	**24,0**	**22,4**	**0,6**	**0,9**						–	Biblioteka		
3	gr1_03	IPE 240	0,793	1,000	0,793	30,709	2808,055		12,0	24,0	0,6	1,0	Ciężar	•	•	•	•	Profil			
		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–						–			
4	gr1_04	IPE 360	0,640	1,000	0,640	57,093	2088,240		17,0	36,0	0,8	1,3	Ciężar	•	•	•	•	–		✓	
		IPE 300	**0,999**	–	**0,999**	**42,249**	**1545,320**	**-26**	**15,0**	**30,0**	**0,7**	**1,1**						–	Biblioteka		
5	gr1_05	HE 200 AA	0,743	1,000	0,743	34,653	422,492		20,0	18,6	0,5	0,8	Ciężar	•	•	•	•	–		✓	
		IPE A 240	**0,882**	–	**0,882**	**26,157**	**318,908**	**-25**	**12,0**	**23,7**	**0,5**	**0,8**						–	Biblioteka		

Tabela wyświetla parametry grupy i wyniki optymalizacji (ciężar na jednostkę długości, redukcję ciężaru, szerokość i wysokość.) Kolumna *Opt.* może być wykorzystana do sterowania, która grupa będzie optymalizowana.

Jeżeli optymalizacja oparta była na profilach bibliotecznych, można otworzyć rozwijaną listę ze wszystkimi użytymi zweryfikowanymi przekrojami poprzecznymi, posortowanymi od najwyższego stopnia wykorzystania do najniższego.

Kolumna *Zamień* steruje, które przekroje poprzeczne zostaną zamienione. Kliknięcie na przycisk *Zamień przekroje poprzeczne* fizycznie zamieni przekroje poprzeczne w wybranych grupach.

☞ **Optymalizacja przekrojów poprzecznych może być czasochłonnym zadaniem, w zależności od zakresu kandydatów i wielkości grup. Dlatego w przypadku dużej przestrzeni wyszukiwania (np. przy optymalizacji parametrycznej) do obliczeń zwichrzenia nie zaleca się wybierać wolniejszej metody AutoMcr.**

6.6.2 Wymiarowanie konstrukcji stalowych w warunkach pożaru zgodnie z Eurokod 3 (moduł SD8)

Normy projektowe

AxisVM wykonuje obliczenia konstrukcji stalowej w warunkach pożaru zgodnie z różnymi załącznikami krajowymi. W przypadku załącznika krajowego niewymienionego poniżej, stosuje się zasady ogólne EN 1993-1-2.

Eurokod	*EN 1993-1-2* *Eurocode 3: Design of steel structures* *Part 1-2: Structural fire design*
niemiecki EC	*DIN EN 1993-1-2:2010-12 NA*
węgierski EC	*SZ EN 1993-1-2:2013 NA*
rumuński EC	*SR EN 1993-1-2:2006/NB:2008*
słowacki EC	*STN EN 1993-1-2/NA:2008*
polski EC	*PN EN 1993-1-2 NA*
brytyjski EC	*BS EN 1993-1-2:2005 NA*
fiński EC	*SFS-EN 1993-1-2:2005 NA*

Wymiarowanie na warunki pożarowe zgodnie z EN 1993-1-2

Wymiarowanie stali na warunki pożarowe (moduł SD8) oparte jest na „zwykłym" wymiarowaniu elementu stalowego (**patrz...** *6.6.1 Wymiarowanie prętów stalowych wg Eurokodu 3 (moduł SD1)*), dlatego obecność modułu SD1 w konfiguracji jest warunkiem koniecznym, aby korzystać z modułu SD8.
Norma EN 1993-1-2 (EC3-1-2) omawia wymiarowanie konstrukcji stalowych na warunki pożarowe. Ponieważ jest ona zbliżona do EN 1993-1-1, to poniżej wyszczególniono tylko różnice.
Wymiarowanie stali na warunki pożarowe może zostać przeprowadzone w AxisVM, jeżeli

1) wybrana kombinacja obciążeń zawiera przypadek obciążenia pożarem (*4.10.1 Przypadki obciążeń, grupy obciążeń*)
2) oddziaływanie od pożaru zostało przypisane do jakiegokolwiek wybranego elementu (*4.10.31 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy stalowe (moduł SD8)*) dla przypadku obciążenia pożarem. Jeżeli do poszczególnych części wymiarowanego elementu konstrukcyjnego zostały przypisane różne oddziaływania od pożaru, wyświetlony zostanie komunikat błędu, a wymiarowanie na warunki pożarowe nie zostanie przeprowadzone. Jeżeli zaznaczone elementy do wymiarowania nie mają przypisanego oddziaływania od pożaru, to zostanie dla nich przeprowadzone wymiarowanie standardowe.

Do wymiarowanego elementu należy również przypisać pewne parametry związane z wymiarowanie na warunki pożarowe (patrz poniżej).

Analiza elementu

EC3-1-2 omawia różne metody analizy: analizę wydzielonego elementu, analizę wydzielonego podukładu konstrukcji i globalną analizę całej konstrukcji. Ze względu na swoją prostotę, analiza elementu jest najbardziej rozpowszechnioną analizą weryfikacyjną. Analiza podukładu lub całej konstrukcji wymaga zwykle złożonych, nieliniowych modeli numerycznych i nieliniowej analizy statycznej.

Główne zasady analizy wyodrębnionego elementu zgodnie z EC3-1-2:

- Siły wewnętrzne wymiarowanego elementu mogą zostać wyznaczone za pomocą liniowej analizy statycznej;
- „Uwzględnia się wyłącznie efekty odkształceń termicznych wynikające z gradientu temperatury w przekroju. Efekty związane z podłużną (tarczową) rozszerzalnością termiczną mogą być pominięte." (EC3-1-2, 2.4.2 (4));
- „Warunki brzegowe w punktach podparcia i na końcach elementu mogą być przyjmowane jako niezmienne w całym okresie ekspozycji pożarowej." (EC3-1-2, 2.4.2 (5)).

Moduł SD8 przeprowadza wspomnianą analizę elementu. Należy sprawdzić, czy konstrukcja lub jej część może zostać zweryfikowana za pomocą analizy elementu, zgodnie z wytycznymi EC3-1-2.

W niektórych przypadkach analiza podukładu konstrukcji może zostać również przeprowadzona w AxisVM. Jest to możliwe, jeżeli: 1) warunki brzegowe zostały zadane rozważnie, 2) oddziaływanie od pożaru jest uwzględnione jako obciążenie termiczne, 3) wzięto pod uwagę wytyczne rozdziału 2.4.3 w EC3-1-2.

$k_{y,\theta}$, k_E, $k_{y,\theta,4}$

W AxisVM uwzględnia się następujące współczynniki redukcyjne dla mechanicznych właściwości stali węglowych przy wymiarowaniu na warunki pożarowe, zgodnie z EC3-1-2:

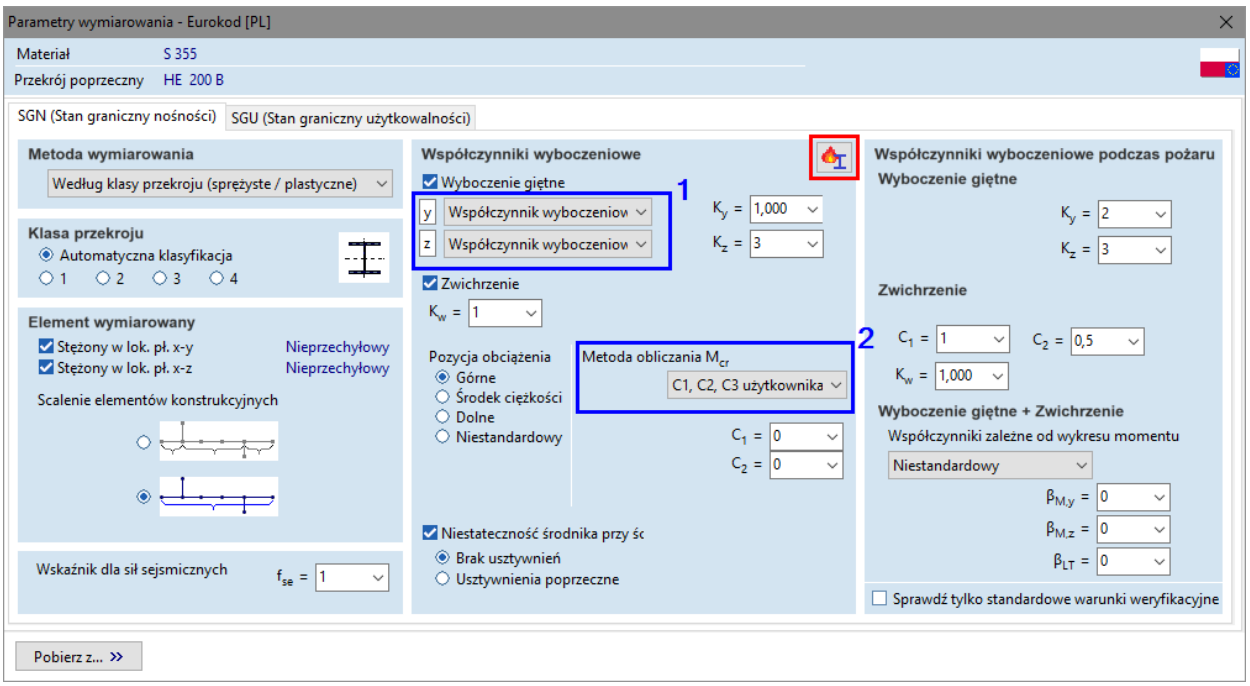
- *$k_{y,\theta}$ – współczynnik redukcyjny efektywnej granicy plastyczności (przekroje klasy 1, 2 i 3) w stosunku do f_y w temperaturze 20°;*
- *$k_{y,\theta,4}$ – współczynnik redukcyjny efektywnej granicy plastyczności (przekroje klasy 4) w stosunku do f_y w temperaturze 20°;*
- *k_E – współczynnik redukcyjny modułu sprężystości liniowej w stosunku do E_a w temperaturze 20°;*

Należy mieć na uwadze, że w przypadku wymiarowania ze stali nierdzewnej muszą zostać użyte inne współczynniki redukcyjne.

ϑs [°C]	*ky,ϑ*	*ky,ϑ,4*	*kE*
20	1.000	1.000	1.000
100	1.000	1.000	1.000
200	1.000	0.890	0.900
300	1.000	0.780	0.800
400	1.000	0.650	0.700
500	0.780	0.530	0.600
600	0.470	0.300	0.310
700	0.230	0.130	0.130
800	0.110	0.070	0.090
900	0.060	0.050	0.0675
1000	0.040	0.030	0.045
1100	0.020	0.020	0.0225
1200	0.000	0.000	0.000

Parametry wymiarowania stali na warunki pożarowe

Parametry wymiarowania w warunkach pożaru należy zdefiniować i przypisać do elementu konstrukcyjnego. W tym celu należy kliknąć przycisk symbolizujący ogień w oknie dialogowym parametrów do wymiarowania stali (zaznaczony czerwonym kwadratem na rysunku poniżej). Przycisk ten jest widoczny tylko, jeżeli 1) konfiguracja AxisVM zawiera moduł SD8 oraz 2) wymiarowanie konstrukcji stalowych w warunkach pożaru jest dostępne wg aktualnie wybranej normy projektowej. Wspomniany przycisk rozszerza standardowe okno parametrów wymiarowania o dodatkowy panel po prawej stronie. Jeżeli panel pozostanie zwinięty, to obliczenia pożarowe elementu nie będą przeprowadzane.



Współczynniki wyboczeniowe podczas pożaru

Wyboczenie giętne

Dla przypadku standardowego wymiarowania oraz wymiarowania na warunki pożarowe istnieje możliwość zdefiniowania różnych wartości *Długości wyboczeniowej* i *Współczynnika wyboczeniowego* do obliczeń nośności na wyboczenie wokół osi -y- oraz -z-. Zróżnicowanie tych współczynników pozwala odzwierciedlić różna pracę elementu w różnych sytuacjach obliczeniowych. Na przykład przemieszczenia elementu są często zabezpieczone przez smukłe elementy (jak płatwie), które w podwyższonej temperaturze bardzo szybko tracą swoją sztywność.

Sposób definicji długości wyboczeniowej elementu wybierany jest w części okna odpowiedzialnej za standardowe parametry wymiarowania (niebieski prostokąt nr 1). Wartości zaś dla obliczeń w temperaturze normalnej i pożarowej mogą zostać określone niezależnie.

Jeżeli wybrana została opcja Auto, to moduł wymiarowania pożarowego użyje tej samej długości wyboczeniowej jak dla obliczeń w temperaturze standardowej.

Jeżeli pole wyboru *Wyboczenie giętne* zostało zaznaczone, to obliczenia i weryfikacja nośności na wyboczenie giętne przeprowadzane są zarówno w normalnej jak i podwyższonej temperaturze.

Zwichrzenie

K_ω to współczynnik odnoszący się do zabezpieczenia przed wypaczeniem, który może być inny dla podwyższonej temperatury.

Jeżeli pole wyboru *Zwichrzenie* zostało zaznaczone, to odpowiednie obliczenia i weryfikacja nośności przeprowadzane są zarówno w normalnej jak i podwyższonej temperaturze.

M_{cr} – moment krytyczny

Dla uwzględnienia i obliczenia momentu krytycznego mogą zostać zdefiniowane różne parametry. Sposób obliczenia momentu krytycznego (niebieski prostokąt nr 2) i położenia obciążenia są takie same jak dla wymiarowania w normalnej temperaturze.

Jeżeli wybrana została opcja AutoMcr, to automatycznie wyznaczone lub zdefiniowane przez użytkownika podpory boczne są uwzględniane przy obliczaniu M_{cr}.

Wyboczenie giętne + Zwichrzenie

Weryfikacja na wyboczenie giętno-skrętne jest przeprowadzana, jeżeli zaznaczone zostały pola wyboru *Wyboczenie giętne* i *Zwichrzenie* oraz zostały zdefiniowane ich parametry. Metoda weryfikacji została wyjaśniona poniżej. Współczynniki równoważnego stałego momentu ($\beta_{M,y}$, $\beta_{M,z}$ oraz $\beta_{M,LT}$ wg EC3-1-2; Rys. 4.2) muszą zostać zdefiniowane. Możliwe jest wyznaczenie tych współczynników automatycznie przez AxisVM na podstawie wykresu momentu zginającego.

Sprawdź tylko standardowe warunki weryfikacyjne

Normy EN 1993-1-1 oraz EN 1993-1-2 są zbliżone do siebie, ale norma EN 1993-1-2 nie opisuje weryfikacji w kilku trybach zniszczenia (np. wyczerpanie nośności ze względu na interakcję sił wewnętrznych lub utratę stateczności środnika przy ścinaniu). Zgodnie z odnośnymi publikacjami, wzory weryfikacyjne z EN 1993-1-1 mogą zostać użyte również w takich przypadkach, ale ze zredukowaną granicą plastyczności i modułem Younga. Niemniej jednak, weryfikacje te nie są przytoczone przez normę projektową.

Jeżeli zaznaczona zostanie opcja *Sprawdź tylko standardowe warunki weryfikacyjne* to przeprowadzone zostaną tylko weryfikacje przedstawione w EC3-1-2.

Klasyfikacja przekroju poprzecznego

AxisVM klasyfikuje przekrój poprzeczny zgodnie z Tabelą 5.2 normy EN 1993-1-1. W przypadku wymiarowania pożarowego, parametr ε obliczany jest wg EC3-1-2:

$$\varepsilon = 0.85\sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Weryfikacje wymiarujące w warunkach pożaru

Moduł SD8 sprawdza następujące warunki wymiarujące:

Sprawdź tylko standardowe warunki weryfikacyjne (opcja włączona)

Siła normalna-Zginanie-Ścinanie [N-M-V]	(EN 1993-1-1, 6.2.1, 6.2.9.3) (EN 1993-1-2, 4.2.1-4.2.3, Zał. E)
Ściskanie-Zginanie-Wyboczenie (giętne w płaszcz. lub skrętne) [N-M-Wyb.]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.5, Zał. E)
Siła normalna-Zginanie-Zwichrzenie [N-M-Zwich.]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.5, Zał. E)
Ścinanie /y [Vy]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E)
Ścinanie /z [Vz]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E)

Sprawdź tylko standardowe warunki weryfikacyjne (opcja wyłączona)

Siła normalna-Zginanie-Ścinanie [N-M-V]	(EN 1993-1-1, 6.2.1, 6.2.8, 6.2.9.3) (EN 1993-1-2, 4.2.1-4.2.3, Zał. E)
Ściskanie-Zginanie-Wyboczenie (giętne w płaszcz. lub skrętne) [N-M-Wyb.]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.5, Zał. E)
Siła normalna-Zginanie-Zwichrzenie [N-M-Zwich.]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.5, Zał. E)
Ścinanie /y [Vy]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E)
Ścinanie /z [Vz]	(EN 1993-1-5, 5.1-5.3) (EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E)
Ścinanie środnika-Zginanie-Siła normalna [Vw-M-N]	(EN 1993-1-1, 6.2.1, 6.2.8, 6.2.9) (EN 1993-1-5, 5.1-5.3, 7.1) (EN 1993-1-2, 4.2.1-4.2.3, Zał. E)

Nośności

Nośność plastyczna (przy sile podłużnej) [Npl,fi,Rd]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.1, Zał. E)
Nośność efektywna (gdy poddana równomiernemu ściskaniu) [Neff, fi,Rd]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.1, Zał. E)
Nośność sprężysta przy ścinaniu po osi y [Vel,fi,y,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.6, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E)
Nośność sprężysta przy ścinaniu po osi z [Vel,fi,z,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.6, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E)
Nośność plastyczna przy ścinaniu po osi y [Vpl,fi,y,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.6, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E)
Nośność plastyczna przy ścinaniu po osi z [Vpl,fi,z,Rd]	(EN 1993-1-1, 6.2.6, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E)
Niestateczność środnika przy ścinaniu [Vb,fi,Rd]	(EN 1993-1-5, 5.1-5.3, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E)
Nośność przy zginaniu w stanie sprężystym (yy) [Mel,fi,y,Rd]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.4, Zał. E)
Nośność przy zginaniu w stanie sprężystym (zz) [Mel,fi,z,Rd]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.4, Zał. E)
Nośność przy zginaniu w stanie plastycznym (yy) [Mpl,fi,y,Rd]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.3, Zał. E)
Nośność przy zginaniu w stanie plastycznym (zz) [Mpl,fi,z,Rd]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.3, Zał. E)
Nośność przy zginaniu dla efektywnego przekroju poprzecznego poddanego zginaniu wokół osi y [Meff,fi,y,Rd]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E)
Nośność przy zginaniu dla efektywnego przekroju poprzecznego poddanego zginaniu wokół osi z [Meff,fi,z,Rd]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E)
Minimalna nośność na wyboczenie (giętne w płaszczyźnie lub skrętne) [Nb,fi,Rd]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.2, Zał. E)
Nośność na zwichrzenie [Mb,fi,Rd]	(EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E)
Temperatura krytyczna [θ_{cr}]	(EN 1993-1-2)

Siła normalna-Zginanie-Ścinanie

*Sprawdź tylko standardowe warunki weryfikacyjne **(opcja wyłączona)***

Sprawdzenie przy wymiarowaniu sprężystym (przekrój klasy 3)

Wzór ogólny:

$$\frac{N_{Ed}}{A\frac{f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}\frac{f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}\frac{f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}} \le 1$$

Jeżeli siła tnąca przekracza 50% nośności na ścinanie lub występuje moment skręcający, to sprawdzany jest następujący warunek uplastycznienia (tylko dla przekrojów I, T, C oraz rur prostokątnych i okrągłych):

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y k_{y,\theta}/\gamma_{M_{fi}}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y k_{y,\theta}/\gamma_{M_{fi}}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y k_{y,\theta}/\gamma_{M_{fi}}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y k_{y,\theta}/\gamma_{M_{fi}}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y k_{y,\theta}/\gamma_{M_{fi}}}\right)^2 \le 1$$

Sprawdzenie przy wymiarowaniu sprężystym (przekrój klasy 4)
Wzór ogólny:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff}\frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\gamma_{M_{fi}}}}+\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{W_{eff,y}\frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\gamma_{M_{fi}}}}+\frac{M_{z,Ed}}{W_{eff,z}\frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\gamma_{M_{fi}}}}\le 1$$

Jeżeli siła tnąca przekracza 50% nośności na ścinanie lub występuje moment skręcający, to sprawdzany jest następujący warunek uplastycznienia (tylko dla przekrojów I, T, C oraz rur prostokątnych i okrągłych):

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y k_{y,\theta,4}/\gamma_{M_{fi}}}\right)^2+\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y k_{y,\theta,4}/\gamma_{M_{fi}}}\right)^2-\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y k_{y,\theta,4}/\gamma_{M_{fi}}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y k_{y,\theta,4}/\gamma_{M_{fi}}}\right)+3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y k_{y,\theta,4}/\gamma_{M_{fi}}}\right)^2\le 1$$

$\Delta M_{y,Ed}=N_{Ed}\cdot e_{N,y}$: jest różne od zera tylko, gdy przekrój jest klasy 4, a przekrój pierwotny jest asymetryczny względem osi *y*.

Sprawdzenie przy wymiarowaniu plastycznym

Dla dwuteowników, rur prostokątnych i okrągłych klasy 1 oraz 2 sprawdzanie nośności jest przeprowadzane zgodnie z EN 1993-1-1 pkt.6.2.10 oraz EC3-1-2. Przy nośności na zginanie dopuszcza się oddziaływanie zarówno siły tnącej jak i podłużnej. Oprócz sprawdzenia nośności dla samej siły podłużnej lub tnącej musi zostać spełnione również poniższe kryterium:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,fi,y,Rd}}\le 1;\ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,fi,z,Rd}}\le 1$$

gdzie $M_{N,fi,y,Rd}$, $M_{N,fi,z,Rd}$ to zredukowane nośności plastyczne przy zginaniu uwzględniające oddziaływanie siły podłużnej oraz tnącej (EN 1993-1-1 6.2.8. oraz 6.2.9.1). Dla przekrojów rur okrągłych moment zredukowany jest wyznaczany następująco:

$$M_{N,fi,y,Rd}=1.04\cdot\left(1-\rho-\frac{n^{1.7}}{(1-\rho)^{0.7}}\right);\ n=\frac{N_{Ed}}{N_{pl,fi,Rd}};\ \rho=\left(2\frac{V_{Ed}}{V_{pl,fi,z,Rd}}-1\right)^2$$

$$M_{N,fi,z,Rd}=1.04\cdot\left(1-\rho-\frac{n^{1.7}}{(1-\rho)^{0.7}}\right);\ n=\frac{N_{Ed}}{N_{pl,fi,Rd}};\ \rho=\left(2\frac{V_{Ed}}{V_{pl,fi,y,Rd}}-1\right)^2$$

Dla dwukierunkowego zginania przekrojów dwuteowych, skrzynkowych i rur okrągłych, warunek z EN 1993-1-1 6.2.9.1 (6) musi zostać spełniony:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,fi,y,Rd}}\right]^{\alpha}+\left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,fi,z,Rd}}\right]^{\beta}\le 1$$

Przekroje innych typów:

$$N_{pl,fi,Rd}=\frac{Af_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}};\ M_{pl,fi,y,Rd}=\frac{W_{pl,y}f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}};\ M_{pl,fi,z,Rd}=\frac{W_{pl,z}f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,fi,Rd}}+\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,fi,y,Rd}}+\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,fi,z,Rd}}\le 1$$

Jeżeli siła tnąca przekracza 50% nośności na ścinanie, to nośność przy zginaniu jest redukowana z uwzględnieniem oddziaływania siły tnącej zgodnie z EN 1993-1-1 6.2.8. oraz EC3-1-2 ($M_{V,fi,y,Rd}$, $M_{V,fi,z,Rd}$).

*Sprawdź tylko standardowe warunki weryfikacyjne (**opcja włączona**)*

Sprawdzenie przy wymiarowaniu sprężystym (przekrój klasy 3)

$$\frac{N_{Ed}}{A\frac{f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}}+\frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}\frac{f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}}+\frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}\frac{f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}}\le 1$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{el,fi,y,Rd}}\le 1;\ \frac{V_{z,Ed}}{V_{el,fi,z,Rd}}\le 1$$

Sprawdzenie przy wymiarowaniu sprężystym (przekrój klasy 4)

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff}\frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\gamma_{M_{fi}}}}+\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{W_{eff,y}\frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\gamma_{M_{fi}}}}+\frac{M_{z,Ed}}{W_{eff,z}\frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\gamma_{M_{fi}}}}\le 1$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{el,fi,y,Rd}}\le 1;\ \frac{V_{z,Ed}}{V_{el,fi,z,Rd}}\le 1$$

Sprawdzenie przy wymiarowaniu plastycznym

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,fi,Rd}}+\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,fi,y,Rd}}+\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,fi,z,Rd}}\le 1$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,fi,y,Rd}}\le 1;\ \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,fi,z,Rd}}\le 1$$

Ściskanie-Zginanie-Wyboczenie

Zgodnie z EN 1993-1-2, 4.2.3.5 (4.21a, c):

Sprawdzenie przy wymiarowaniu sprężystym (przekrój klasy 3)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{min,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_y\frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_z\frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\le 1_y$$

$$=1-(\mu_y\ N_Ed)/(\chi_(y,fi)\ Ak_(y,\theta)\ \ f_y/\gamma_(M_fi)\ )\le 3;\ k_z$$

$$=1-(\mu_z\ N_Ed)/(\chi_(z,fi)\ Ak_(y,\theta)\ \ f_y/\gamma_(M_fi)\ )\le 3$$

Sprawdzenie przy wymiarowaniu sprężystym (przekrój klasy 4)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{min,fi}A_{eff}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_y\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{W_{eff,y}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_z\frac{M_{z,Ed}}{W_{eff,z}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\le 1_y$$

$$=1-(\mu_y\ N_Ed)/(\chi_(y,fi)\ A_eff\ k_(y,\theta,4)\ \ f_y/\gamma_(M_fi)\ )\le 3;\ k_z$$

$$=1-(\mu_z\ N_Ed)/(\chi_(z,fi)\ A_eff\ k_(y,\theta,4)\ \ f_y/\gamma_(M_fi)\ )\le 3$$

Sprawdzenie przy wymiarowaniu plastycznym

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{min,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_y\frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_z\frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\le 1_y$$

$$=1-(\mu_y\ N_Ed)/(\chi_(y,fi)\ Ak_(y,\theta)\ \ f_y/\gamma_(M_fi)\ )\le 3;\ k_z$$

$$=1-(\mu_z\ N_Ed)/(\chi_(z,fi)\ Ak_(y,\theta)\ \ f_y/\gamma_(M_fi)\ )\le 3$$

gdzie

$$\mu_y=\left(2\beta_{M,y}-5\right)\bar{\lambda}_{y,\theta}+0.44\beta_{M,y}+0.29\le 0.8$$

$$\mu_z=\left(1.2\beta_{M,y}-3\right)\bar{\lambda}_{z,\theta}+0.71\beta_{M,z}-0.29\le 0.8$$

Wyznaczanie współczynników redukcyjnych $\chi_{y,fi}$ oraz $\chi_{z,fi}$ odbywa się zgodnie z EC3-1-2 4.2.3.2.

Siła normalna-Zginanie-Zwichrzenie

Zgodnie z EN 1993-1-2, 4.2.3.5 (4.21b, d):

Sprawdzenie przy wymiarowaniu sprężystym (przekrój klasy 3)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{z,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_{LT}\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT,fi}W_{el,y}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_z\frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\le 1$$

$$k_{LT}=1-\frac{\mu_{LT}N_{Ed}}{\chi_{z,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\le 3;\ k_z=1-\frac{\mu_zN_{Ed}}{\chi_{z,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\le 3$$

Sprawdzenie przy wymiarowaniu sprężystym (przekrój klasy 4)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{z,fi}A_{eff}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_{LT}\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT,fi}W_{eff,y}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_z\frac{M_{z,Ed}}{W_{eff,z}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\le 1$$

$$k_{LT}=1-\frac{\mu_{LT}N_{Ed}}{\chi_{z,fi}A_{eff}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\le 3;\ k_z=1-\frac{\mu_zN_{Ed}}{\chi_{z,fi}A_{eff}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\le 3$$

Sprawdzenie przy wymiarowaniu plastycznym

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{z,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_{LT}\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT,fi}W_{pl,y}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_z\frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\le 1$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 3;\ k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 3$$

gdzie

$$\mu_{LT} = 0.15 \bar{\lambda}_{z,\theta} \beta_{M,LT} - 0.15 \leq 0.9$$

$$\mu_z = \left(1.2 \beta_{M,y} - 3\right) \bar{\lambda}_{z,\theta} + 0.71 \beta_{M,z} - 0.29 \leq 0.8$$

Wyznaczanie współczynników redukcyjnych $\chi_{LT,fi}$ oraz $\chi_{z,fi}$ odbywa się zgodnie z EC3-1-2 4.2.3.2 oraz 4.2.3.3.

Ścinanie (y) [Vy]

Zgodnie z EN 1993-1-1, 6.2.6, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E:

Sprawdzenie przy wymiarowaniu sprężystym (przekrój klasy 3)

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{el,fi,y,Rd}} \leq 1;\ V_{el,fi,y,Rd} = \frac{I_z \cdot t}{S_z} \frac{f_y k_{y,\theta}}{\sqrt{3} \gamma_{M_{fi}}}$$

Sprawdzenie przy wymiarowaniu sprężystym (przekrój klasy 4)

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{el,fi,y,Rd}} \leq 1;\ V_{el,fi,y,Rd} = \frac{I_z \cdot t}{S_z} \frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\sqrt{3} \gamma_{M_{fi}}}$$

Obsługiwane przekroje:

Nieobsługiwane typy przekrojów lub wymiarowanie plastyczne:

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,fi,y,Rd}} \leq 1;\ \ V_{pl,fi,y,Rd} = A_v \frac{f_y k_{y,\theta}}{\sqrt{3} \gamma_{M_{fi}}}$$

Ścinanie (z) [Vz]

*Sprawdź tylko standardowe warunki weryfikacyjne (**opcja wyłączona**)*

AxisVM sprawdza następujące warunki wymiarujące:

$$\frac{V_{zEd}}{\min\left(V_{z,fi,Rd}, V_{b,fi,Rd}\right)} \leq 1$$

$V_{b,fi,Rd}$ nośność uwzględniająca niestateczności środnika przy ścinania (przekroje dwuteowe i skrzynkowe) na podstawie nośności środnika przy ścinaniu. Obliczenia dla $V_{z,fi,Rd}$ przedstawiono poniżej.

W EC3-1-2 nie zamieszczono żadnych wskazówek do weryfikacji ze względu na niestateczność środnika przy ścinaniu w warunkach pożaru. W związku z tym weryfikacja jest przeprowadzana zgodnie z rozdziałami 5.1-5.3 EN 1993-1-5 z uwzględnieniem zredukowanej granicy plastyczności i modułu Younga ze względu na podwyższoną temperaturę stali (EC3-1-2). Ponadto, przy tej weryfikacji uwzględniono także wyniki badań André Reis, Nuno Lopes, Paulo Vila Real (A. Reis, N. Lopes and P. Vila Real: *Numerical study of steel plate girders under shear loading at elevated temperatures,* Journal of Constructional Steel Research, 117 (2006) 1-12).

Przekroje klasy 1, 2 oraz 3:

$$V_{b,fi,Rd} = \chi_{w,\theta} h_w t_w \frac{f_y k_{y,\theta}}{\sqrt{3} \gamma_{M_{fi}}}$$

Przekroje klasy 4:

$$V_{b,fi,Rd} = \chi_{w,\theta} h_w t_w \frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\sqrt{3} \gamma_{M_{fi}}}$$

gdzie

$$\chi_{w,\theta} = 1.2 \quad \bar{\lambda}_{w,\theta} < \frac{0.61}{1.2}$$

$$\chi_{w,\theta} = 0.1 + \frac{0.55}{\bar{\lambda}_{w,\theta}} \quad \bar{\lambda}_{w,\theta} \geq \frac{0.61}{1.2}$$

$$\bar{\lambda}_{w,\theta} = \frac{h_w}{37.4 t_w \varepsilon \sqrt{k_\tau}};\ \varepsilon = 0.85 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Sprawdź tylko standardowe warunki weryfikacyjne (**opcja włączona**)

Zgodnie z EN 1993-1-1, 6.2.6, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Zał. E:

Sprawdzenie przy wymiarowaniu sprężystym (przekrój klasy 3)

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{el,fi,z,Rd}} \leq 1;\ V_{el,fi,z,Rd} = \frac{I_y \cdot t}{S_y} \frac{f_y k_{y,\theta}}{\sqrt{3}\gamma_{M_{fi}}}$$

Sprawdzenie przy wymiarowaniu sprężystym (przekrój klasy 4)

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{el,fi,z,Rd}} \leq 1;\ V_{el,fi,z,Rd} = \frac{I_y \cdot t}{S_y} \frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\sqrt{3}\gamma_{M_{fi}}}$$

Obsługiwane przekroje:

Nieobsługiwane typy przekrojów lub wymiarowanie plastyczne:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,fi,z,Rd}} \leq 1;\ V_{pl,fi,z,Rd} = A_v \frac{f_y k_{y,\theta}}{\sqrt{3}\gamma_{M_{fi}}}$$

Ścinanie środnika-Zginanie-Siła podłużna

Sprawdź tylko standardowe warunki weryfikacyjne ***(opcja włączona)***

W przypadku przekroju dwuteowego i skrzynkowego, sprawdzany jest również interakcyjny warunek wymiarujący, zgodnie z rozdziałem 7.1 EN 1993-1-5 oraz rozdziałami 6.2.8, 6.2.9 EN 1993-1-1 ze zredukowaną granicą plastyczności i modułem Younga ze względu na podwyższoną temperaturę stali (EC3-1-2).

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,fi,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{f,fi,Rd}}{M_{pl,fi,Rd}}\right) \cdot \left(2\frac{V_{Ed}}{V_{b,fi,,Rd}} - 1\right)^2 \leq 1$$

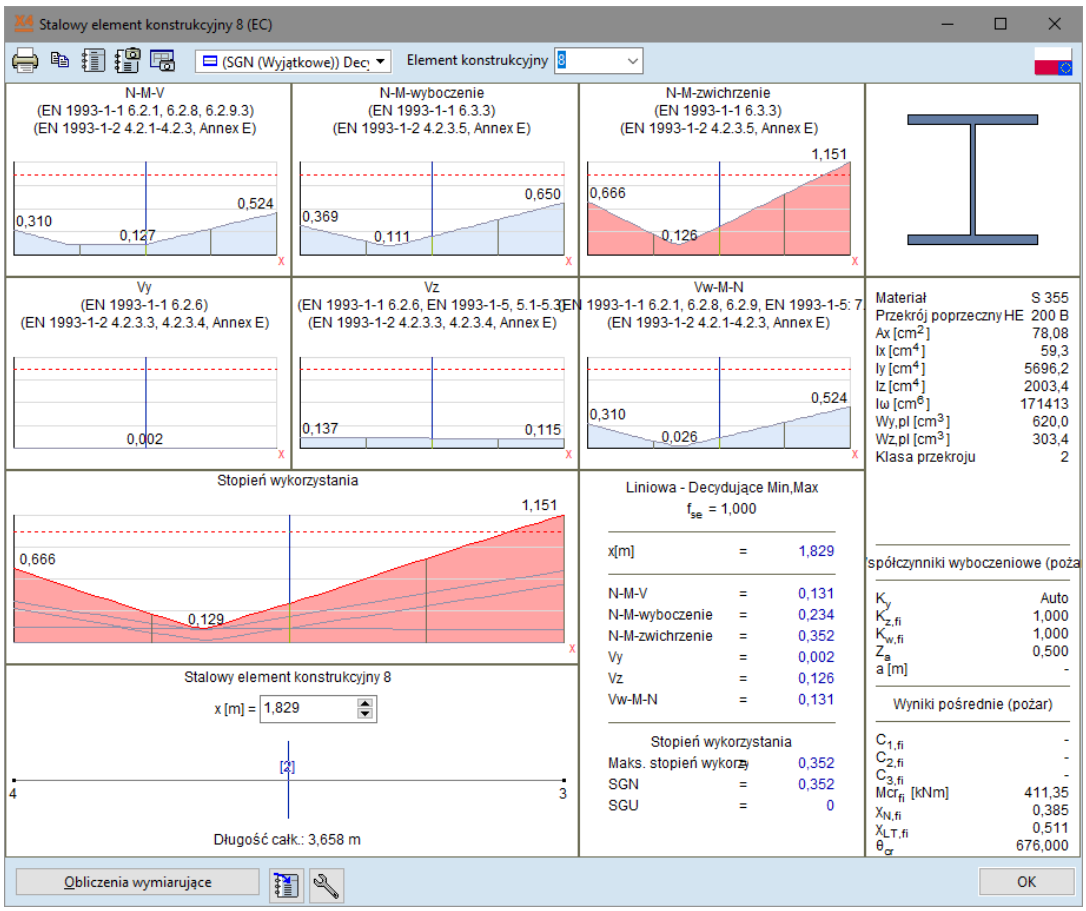
gdzie $M_{f,fi,Rd}$ jest plastyczną nośnością półek przy zginaniu.
Jeżeli pole wyboru opcji *Sprawdź tylko standardowe warunki weryfikacyjne* jest odznaczone, to sprawdzenie tego warunku interakcyjnego nie jest przeprowadzane.

Temperatura krytyczna

W wielu przypadkach musi być również określona temperatura krytyczna (temperatura stali, dla której element przestaje spełniać swoją rolę konstrukcyjną). Na przykład grubość powłoki ogniochronnej dobierana jest na podstawie współczynnika przekroju (A/V) i temperatury krytycznej.
AxisVM może wyznaczyć temperaturę krytyczną dla wymienionych wyżej typów utraty nośności. Temperatura krytyczna jest wartością minimalną z wartości temperatur krytycznych odpowiadających różnym typom utraty nośności. Analizowany zakres mieści się w przedziale 20 – 1000 °C.
Jeżeli AxisVM wyświetli 20 °C jako temperaturę krytyczną dla elementu oznacza to, że jego stopień wykorzystania jest bardzo wysoki i nie ma wystarczającego zapasu bezpieczeństwa, nawet w temperaturze pokojowej dla wyjątkowej sytuacji obliczeniowej zgodnie z EC3-1-2. W takim przypadku jest bardzo prawdopodobne, że nośność elementu jest niewystarczająca również w trwałej sytuacji obliczeniowej.
Jeżeli AxisVM wyświetli 1001 °C jako temperaturę krytyczną dla elementu oznacza to, że jego wykorzystanie jest bardzo niskie, a temperatura krytyczna przekracza 1000 °C.

Wykresy

Kliknięcie w stalowy element do zwymiarowania wyświetli wykresy wszystkich pojedynczych warunków i ich obwiednię. Wyniki dla dowolnego przypadku lub kombinacji obciążeń w dowolnym położeniu na długości elementu można uzyskać poprzez ustawienie wartości x lub przesunięcia linii śledzenia na długości elementu (pionowa niebieska linia na wykresach). Jeżeli jakiś warunek nie może zostać sprawdzony dla bieżącego przekroju poprzecznego, to odpowiadający mu wykres zostanie zastąpione przez czerwony krzyż.
Jeżeli wybrana kombinacja lub kombinacje decydujące zawierają przypadek obciążenia od pożaru i wymiarowanie w warunkach pożaru dla elementu stalowego zostało przeprowadzone, to współczynniki wyboczeniowe w warunkach pożaru i temperatura krytyczna zostaną wyświetlone w prawym dolnym rogu okna.



Obliczenia wymiarujące

Kliknięcie w Obliczenia wymiarujące powoduje wyświetlenie szczegółów przebiegu wymiarowania. Obliczenia te mogą zostać zapisane w raporcie z obliczeń. W przypadku wymiarowania na warunki pożarowe, typ krzywej pożaru, temperatura obliczeniowa i temperatura krytyczna są również wyświetlane.

4. Ścinanie(y) (weryfikacja nośności):

EN 1993-1-1: 6.2.6, EN 1993-1-2: 4.2.3.3, 4.2.3.4

Decydująca kombinacja: **[DEAD LOAD] {POŻAR} {0,5*SNOW}**

Krzywa pożaru: **Krzywa ISO**

Temperatura obliczeniowa θ = 834,84 °C

Położenie przekroju decydującego: $x = 0{,}00 \cdot L = 0{,}00 \cdot 365{,}76 = 0$ cm

$$V_{pl,fi,Rd,y} = \frac{A_{V,y} \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{MFi}} = \frac{60{,}00 \cdot 35{,}50 \cdot 0{,}093}{\sqrt{3} \cdot 1} = 113{,}85 \text{ kN} \quad (6.18, 4.16)$$

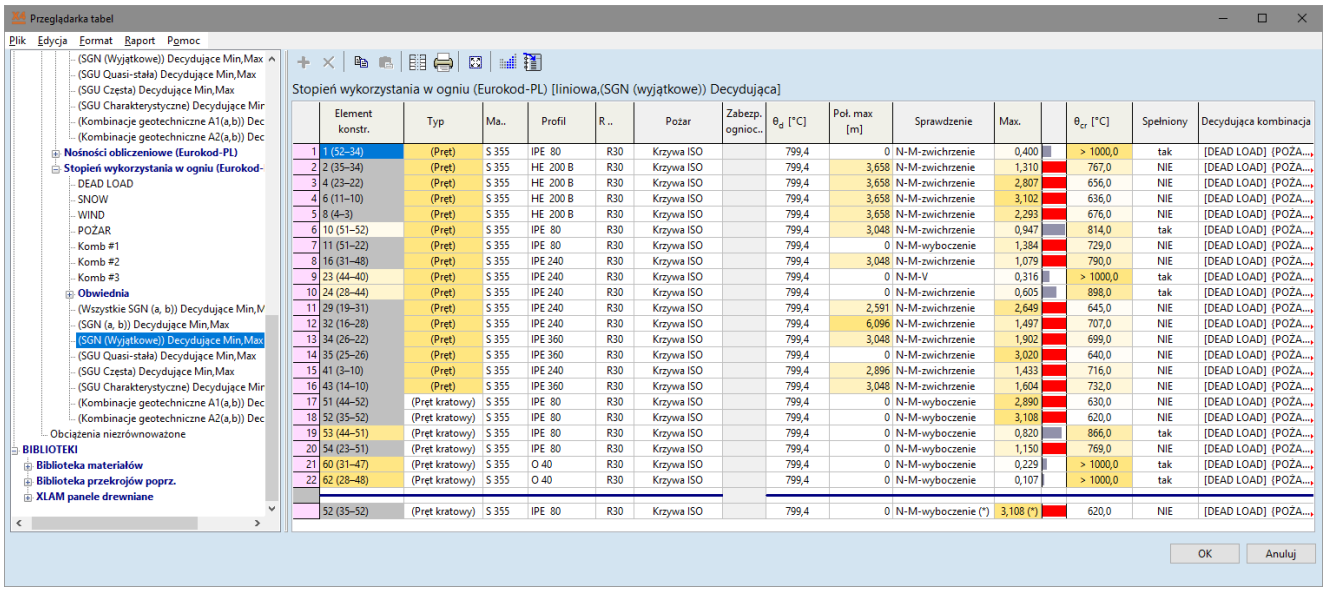
$$\eta_{V_{y,fi}} = \frac{\left|V_{y,Ed_1}\right|}{V_{pl,fi,Rd,y}} = \frac{|0{,}62|}{113{,}85} = 0{,}5\ \% \quad (6.17)$$

Temperatura krytyczna > 1000 °C

spełniony

Tabela z wynikami

Pośród wyników wymiarowania stali, w tabeli w *Stopień wykorzystania w ogniu* znajduje się podsumowane wymiarowania w warunkach pożaru, które to może być pomocne przy kontaktach z osobami odpowiedzialnymi za ochronę p. poż.



Poza podstawowymi parametrami początkowymi wymieniono następujące parametry: wymagany czas odporności ogniowej (np. R30), typ wybranej krzywej pożarowej, obliczeniowa temperatura stali, powód wyczerpania nośności, stopień wykorzystania i temperatura krytyczna.

Optymalizacja przekrojów poprzecznych

Jeżeli konfiguracja programu zawiera moduł SD9, to optymalizacja stalowego przekroju poprzecznego może zostać przeprowadzona dla kombinacji zawierającej przypadek obciążenia pożarem w odniesieniu do zasad wymiarowania konstrukcji stalowej w warunkach pożaru. Podczas optymalizacji, temperatura obliczeniowa dla stali nie jest ponownie obliczana. Z tego powodu, stopień wykorzystania przekroju może się trochę różnić po wykonaniu analizy konstrukcji ze zoptymalizowanymi przekrojami.

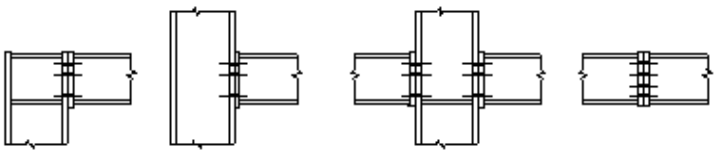
6.6.3 Wymiarowanie połączeń śrubowych elementów stalowych

☞ **Informacje w tym rozdziale dotyczą nierozwijanego już modułu SD2 do śrubowych połączeń doczołowych. Obecnie wymiarowanie węzłów stalowych w AxisVM realizowane jest przez aplikację Steel Connections SC1. W razie pytań skontaktuj się z nami na biuro@gammacad.pl.**
Informacje w tym rozdziale dotyczą nierozwijanego już modułu SD2 do śrubowych połączeń doczołowych. Wymiarowanie węzłów stalowych w AxisVM możliwe jest przez aplikację Steel Connections SC1. W razie pytań skontaktuj się z nami na biuro@gammacad.pl.
Program AxisVM oblicza wykres moment–krzywizna, nośność przy zginaniu i początkową wytrzymałość połączeń śrubowych stalowych belek do słupów w oparciu o Eurokod 3 (część 1.8 Projektowanie połączeń).

Typy połączeń

Poniższe typy połączeń mogą zostać obliczone:

1. połączenie belka-słup
2. połączenie belka-belka



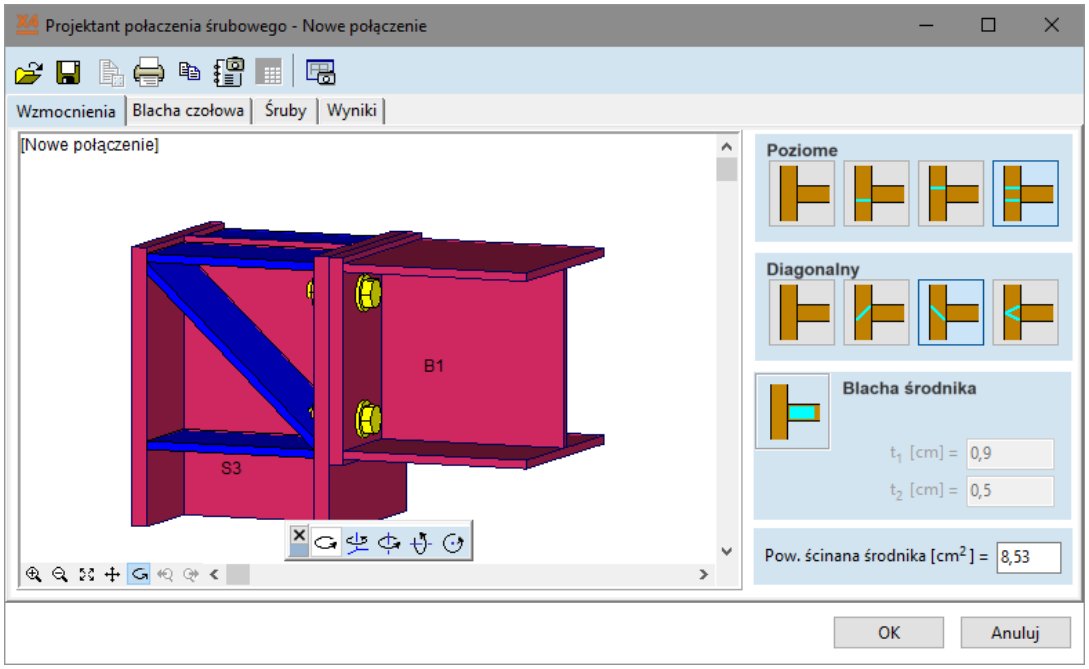
☞ **Założenia:**
- Przekroje poprzeczne belek i słupów są dwuteownikami walcowanymi lub spawanymi.
- Blacha czołowa belki łączy się z półką słupa.
- Zakres nachylenia belki jest między ± 30°.
- Przekrój poprzeczny znajduje się w klasie 1, 2 lub 3.
- Siła normalna w belce jest mniejsza niż 0.05* Npl,Rd

Program sprawdza, czy powyższe wymagania zostały spełnione.

Etapy wymiarowania

Należy wybrać belkę i jeden z jej węzłów końcowych.
(Można wybrać kilka belek podczas jednej operacji, jeżeli wybrane belki posiadają te same właściwości materiałów i przekrojów poprzecznych, a połączone słupy również posiadają te same właściwości materiałów i przekrojów poprzecznych.)

Kliknij na ikonę Wymiarowanie połączenia.
Wyświetlony zostanie Projektant połączenia śrubowego:

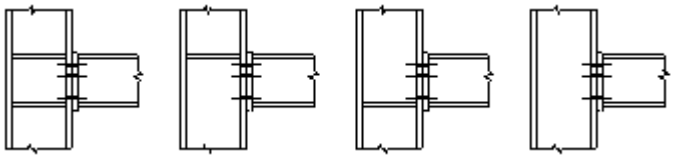


Powyższe okno dialogowe umożliwia przypisanie parametrów połączenia w trzech krokach.

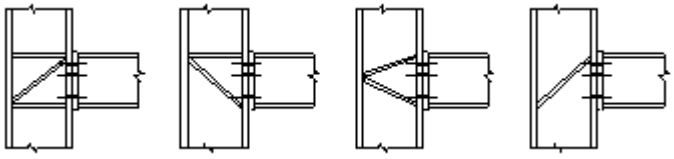
Wzmocnienia

Można przypisać poziome i ukośne blachy usztywniające oraz blachy pogrubiające środnik, aby zwiększyć wytrzymałość połączenia.

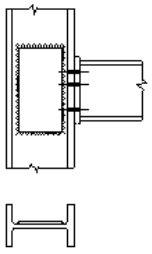
Wzmocnienia poziome



Wzmocnienia diagonalne



Blacha środnika

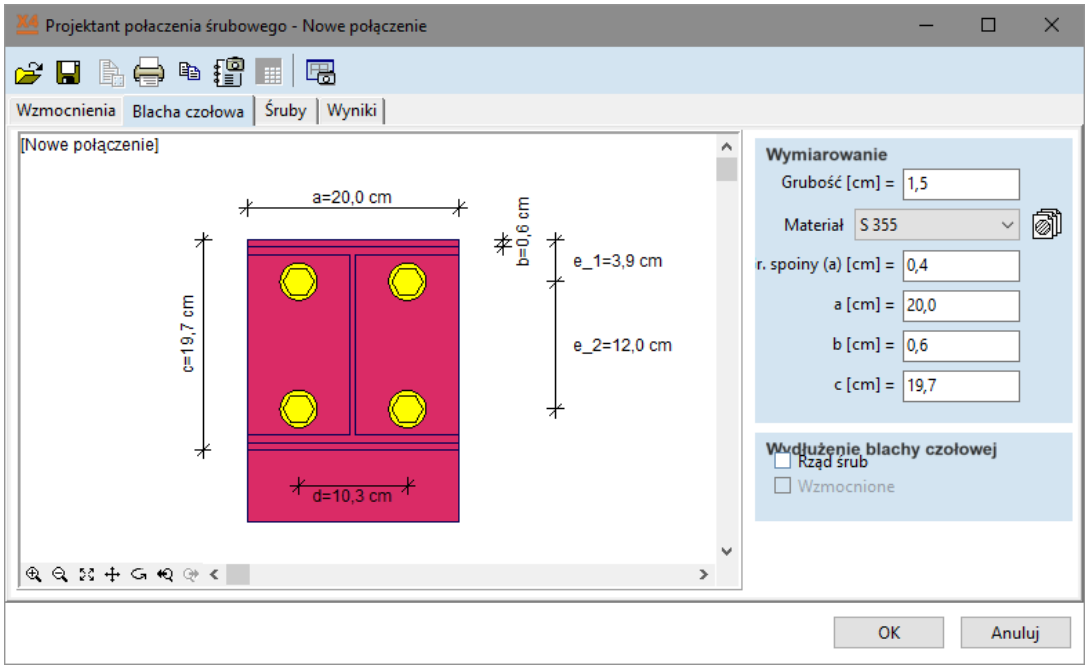


t1: blacha pogrubiająca na środniku słupa
t2: blacha pogrubiająca na środniku belki

Powierzchnia ścinania środnika

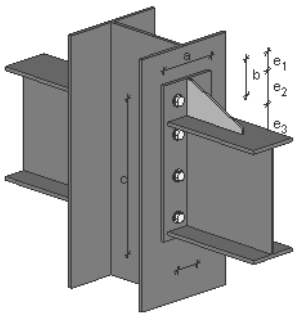
Program oblicza powierzchnię ścinania środnika wliczając powierzchnię blachy pogrubiającej. Jeżeli w środniku blisko połączenia znajduje się otwór, można zmniejszyć tę wartość w polu danych w zależności od wielkości otworu.

Blacha czołowa



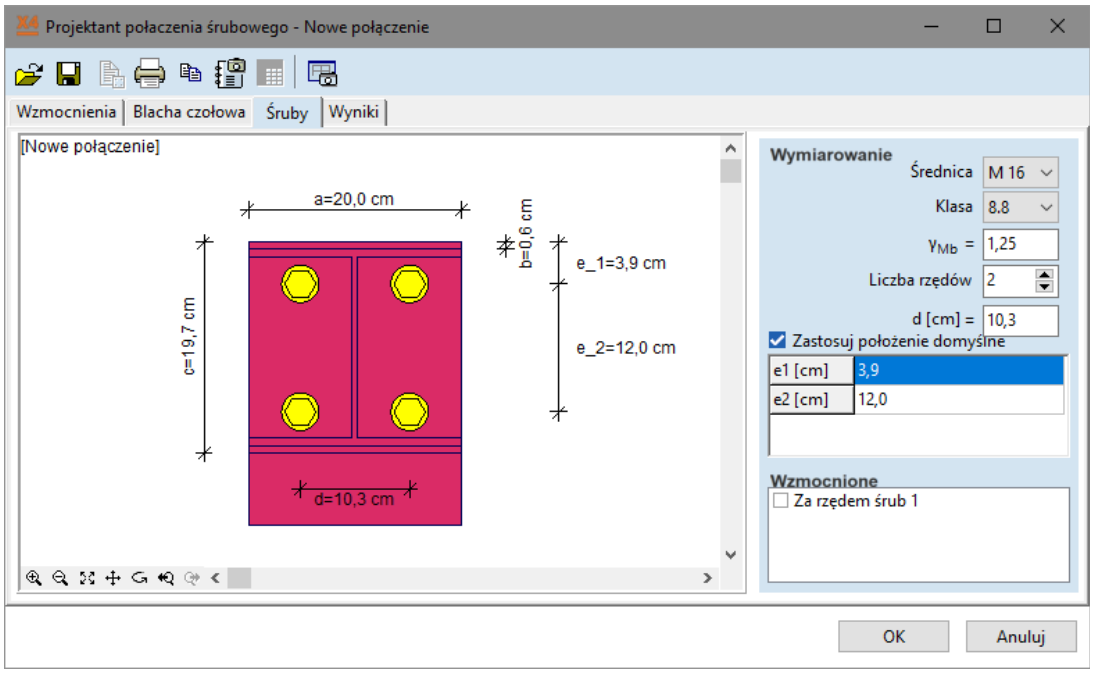
Parametry blachy czołowej:

- *grubość*
- *materiał*
- *grubość spoiny*
- *szerokość blachy czołowej (a)*
- *wysokość blachy czołowej (c)*
- *odległość między górną półką belki a górną krawędzią blachy czołowej (b)*
- *śruby na przedłużeniu blachy czołowej*



Rzędy śrub mogą być przypisane do rozciąganej części blachy czołowej.

Śruby



Program umieszcza śruby w dwóch kolumnach symetrycznych do środnika belki. W połączeniu użyte są śruby tego samego rodzaju.

Parametry śrub: *wielkość, materiał, ilość rzędów, odległość kolumn śrub (d).*

W przypadku automatycznego rozmieszczania śrub, program umieszcza rzędy śrub w równych odległościach. Weryfikuje również wymagane minimalne odległości pomiędzy śrubami i od krawędzi blachy.
Aby samodzielnie rozmieścić rzędy śrub, należy wyłączyć opcję *Zastosuj położenie domyślne*.

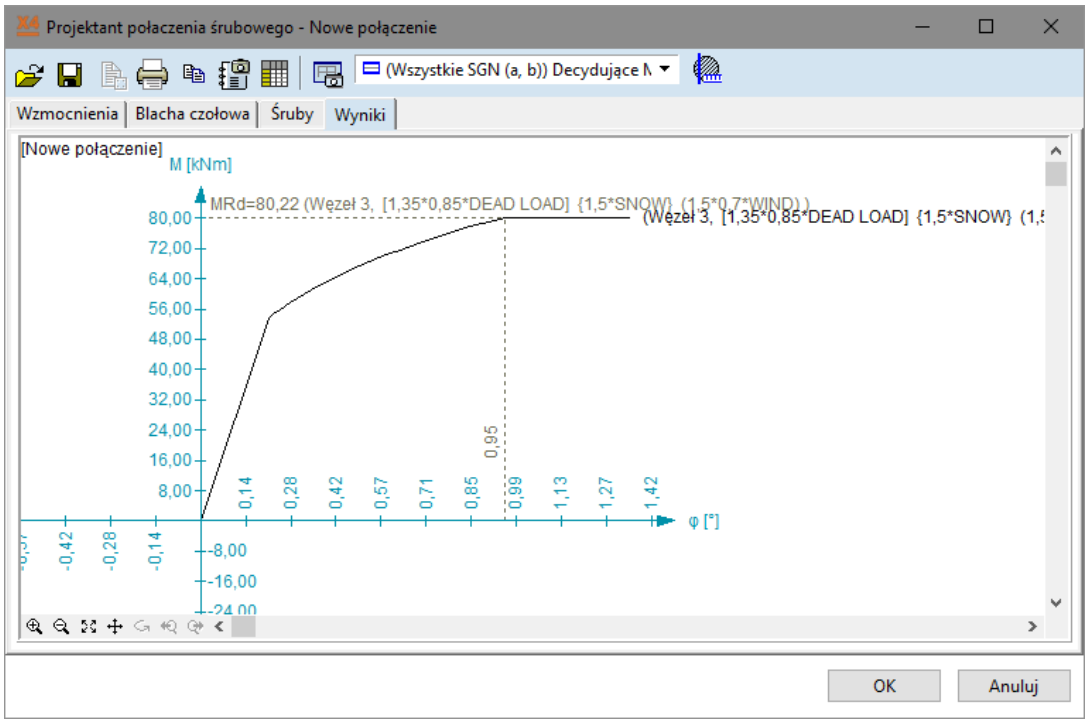
☞ **Jeżeli odległości śrub nie spełniają wymagań, wyświetlony zostanie komunikat o błędzie.**

Minimalne odległości śrub weryfikowane są na podstawie EC3:

1. Pomiędzy śrubami: 2,2 d
2. Od krawędzi blachy 1,2 d
3. W kierunku prostopadłym do siły 1,2 d

Wyniki

Kliknięcie na zakładkę *Wyniki* spowoduje obliczenie przez AxisVM wykresu moment-krzywizna, nośności przy zginaniu (M_{Rd}) i początkową wytrzymałość połączenia ($S_{j,init}$).



☞ **Jeżeli nośność przy zginaniu będzie mniejsza niż moment obliczeniowy, zostanie wyświetlony komunikat z ostrzeżeniem. Metoda obliczeń uwzględnia siły tnące i siły normalne razem z momentami. W rezultacie można otrzymać różne nośności przy zginaniu (M_{Rd}) dla tego samego połączenia w zależności od przypadków (lub kombinacji) obciążeń. Dlatego AxisVM sprawdza warunek $M_{Rd} \geq M_{Sd}$ we wszystkich przypadkach obciążeń.**

Pasek Ikon

Wczytuje parametry połączenia.

Zapisuje parametry połączenia. Zapisane parametry mogą być wczytane i przypisane później do innych zakończeń belek.

Lista istniejących połączeń

Drukuje wyświetlany wykres. **Patrz...** *3.1.12 Drukuj*

Kopiuje wykres do schowka

Zapisuje wykres do Galerii

Tabela wyników zawiera następujące informacje:
- numer węzła
- numer belki
- nazwa przypadku lub kombinacji obciążeń
- moment obliczeniowy (M_{Sd})
- obliczeniowa nośność na zginanie (M_{Rd})
- zestawienie wyników obliczeń oraz wyników pośrednich

Zapisywanie z Bibliotece Rysunków

Dodatkowe parametry (f_{se} wskaźnik dla sił sejsmicznych, **patrz...** *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*

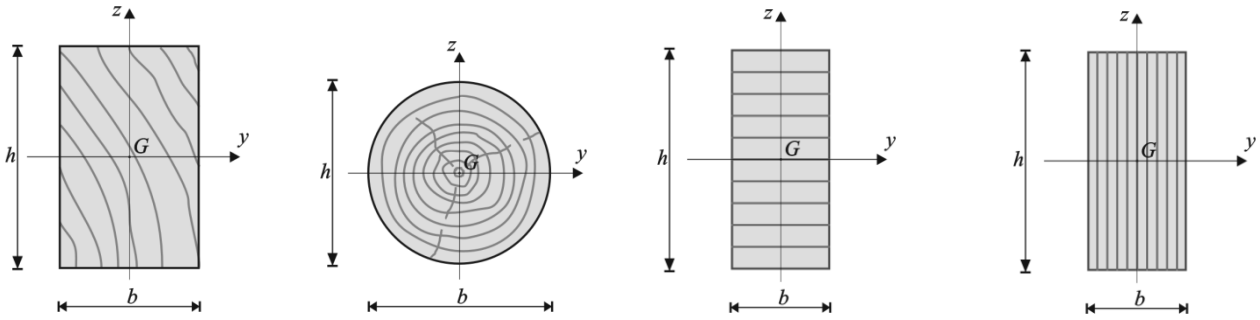
6.7 Wymiarowanie – Drewno

6.7.1 Wymiarowanie prętów drewnianych (moduł TD1)

EUROKOD 5
(EN 1995-1-1:2004)

Moduł wymiarowania drewnianych konstrukcji prętowych może być zastosowany do następujących przekrojów poprzecznych oraz materiałów z drewna:

a) Prostokątny dla drewna litego, drewna klejonego (Glulam) i fornirowego drewna warstwowego (LVL)
b) Okrągły dla drewna litego



Drewno lite (miękkie, twarde) *Drewno klejone warstwowo* *LVL*

Charakterystyki materiałowe

Baza danych z materiałami zawiera właściwości drewna litego, klejonego warstwowo i LVL wg powiązanych norm EN. (Drewno lite: EN338, Glulam: EN 1194)

Charakterystyczna wytrzymałość	*Symbol*
Wytrzymałość na zginanie	$f_{m,k}$
Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien	$f_{t,0,k}$
Wytrzymałość na rozciąganie w poprzek włókien	$f_{t,90,k}$
Wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien	$f_{c,0,k}$
Wytrzymałość na ściskanie w poprzek włókien w kierunku *y**	$f_{c,90,k,y}$
Wytrzymałość na ściskanie w poprzek włókien w kierunku *z**	$f_{c,90,k,z}$
Wytrzymałość na ścinanie w poprzek włókien w kierunku y*	$f_{v,k,y}$
Wytrzymałość na ścinanie w poprzek włókien w kierunku z*	$f_{v,k,z}$

**W przypadku drewna litego i klejonego typu Glulam* $f_{v,k,z} = f_{v,k,y} = f_{v,k}$ *z* $f_{c90,k,z} = f_{c90,k,y} = f_{c90,k}$

Moduł sprężystości	*Symbol*
Średnia wartość wzdłuż włókien	$E_{0,mean}$
Średnia wartość w poprzek włókien	$E_{90,mean}$
5% kwantyl modułu wzdłuż włókien	$E_{0,05}$
Średnia wartość modułu odkształcenia postaciowego	G_{mean}

Gęstość	*Symbol*
Charakterystyczna wartość gęstości	ρ_k
Średnia wartość gęstości	ρ_{mean}

Współczynnik częściowy	*Symbol*
Współczynnik częściowy dla materiału	γ_M

Współczynnik wpływu wymiaru	*Symbol*
dla drewna LVL	*s*

Klasy użytkowania

Elementy drewniane muszą posiadać klasę użytkowania. Klasę użytkowania można ustawić w oknie dialogowym definiowania elementów liniowych, w polu Klasa użytkowania. **Patrz...** *4.9.8 Elementy liniowe*

Klasy użytkowania (EN 1995-1-1, 2.3.1.3):

Klasa użytkowania 1 – gdzie średnia zawartość wilgoci w większości przypadków drewna miękkiego nie przekroczy 12%. Wilgotność materiału odpowiadająca temperaturze 20°C i wilgotność względna otaczającego powietrza przekraczającą 65% tylko przez kilka tygodni w roku.

Klasa użytkowania 2 **–** gdzie średnia zawartość wilgoci w większości przypadków drewna miękkiego nie przekroczy 20%. Wilgotność materiału odpowiadająca temperaturze 20°C i wilgotność względna otaczającego powietrza przekraczająca 85% tylko przez kilka tygodni w roku.

Klasa użytkowania 3 **–** gdzie średnia zawartość wilgoci w większości przypadków drewna miękkiego przekracza 20%.

Wytrzymałości obliczeniowe i inne właściwości obliczeniowe materiałów drewnianych zależą od klasy użytkowania.

Klasy trwania obciążenia

Moduł wymiarowania drewna wymaga informacji dotyczących trwania obciążenia. Jeżeli więc w modelu zdefiniowano materiał drewniany, należy wprowadzić klasę trwania obciążenia.
Patrz... *4.10.1 Przypadki obciążeń, grupy obciążeń*

Komponenty wytrzymałości obliczeniowej

Wartość obliczeniowej wytrzymałości obliczana jest na podstawie wartości wytrzymałości charakterystycznej według następujących wzorów:

W przypadku $f_{t,90,d}$, $f_{c,0,d}$, $f_{c,90,d}$, $f_{v,d}$ (drewno lite, klejone warstwowo, LVL):

$$f_d = k_{mod} f_k / \gamma_M$$

W przypadku $f_{m,d}$ (drewno lite, klejone warstwowo, LVL):

$$f_d = k_{mod} k_h f_k / \gamma_M$$

W przypadku $f_{t,0,d}$ (drewno lite i klejone warstwowo):

$$f_d = \frac{k_{mod} k_h f_k}{\gamma_M}$$

W przypadku $f_{t,0,d}$ (LVL):

$$f_d = \frac{k_{mod} k_l f_k}{\gamma_M}$$

gdzie

k_{mod} współczynnik modyfikujący (EN 1995-1-1, 3.1.3)
k_h współczynnik wysokości (EN 1995-1-1, 3.2, 3.3, 3.4)
k_l współczynnik długości dla LVL (EN 1995-1-1, 3.4)
f_k wytrzymałość charakterystyczna
γ_M współczynnik częściowy materiału (EN 1995-1-1, Tabela 2.3)

Współczynnik k_h

Wartości $f_{m,k}$ i $f_{t,0,k}$ wytrzymałości charakterystycznej określane są dla referencyjnej wysokości belki. W przypadku drewna litego i klejonego warstwowo, jeżeli wysokość (h) przekroju poprzecznego jest mniejsza niż wartość referencyjna, wytrzymałość obliczeniowa jest przemnożona przez następujący współczynnik:

Drewno lite: $k_h = \min\left\{\left(\frac{150}{h}\right)^{0.2}; 1.3\right\}$ (jeżeli $\rho_k \leq$700 kg/m^3)

Drewno klejone warstwowo: $k_h = \min\left\{\left(\frac{600}{h}\right)^{0.1}; 1.1\right\}$

W przypadku drewna LVL, jeżeli wysokość (*h*) przekroju poprzecznego jest różna od wartości referencyjnej, wytrzymałość obliczeniowa jest przemnożona przez następujący współczynnik:

LVL: $k_h = \min\left\{\left(\frac{300}{h}\right)^s; 1.2\right\}$

gdzie
s to współczynnik wpływu wymiaru
h to wysokość przekroju poprzecznego w mm.
Wysokości referencyjne są następujące:
- drewno lite: 150 mm
- drewno klejone warstwowo: 600 mm
- LVL: 300 mm

Współczynnik k_l

Wartość $f_{t,0,k}$ wytrzymałości charakterystycznej dla LVL określana jest dla długości referencyjnej belki. Jeżeli długość (*l*) belki nie jest równa długości referencyjnej, wytrzymałość obliczeniowa jest przemnożona przez następujący współczynnik:

$k_l = \min\left\{\left(\frac{3000}{l}\right)^{\frac{s}{2}}; 1.1\right\}$

gdzie
s to współczynnik wpływu wymiaru
l to długość belki w mm. Długość referencyjna: 3000 mm.

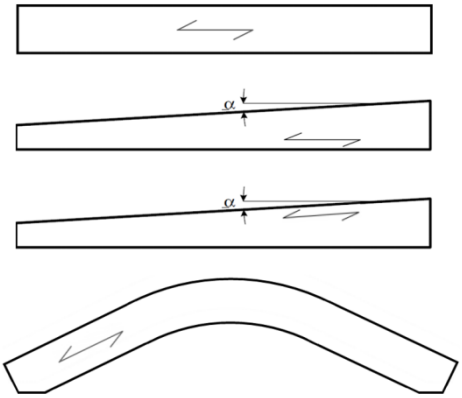
Moduły dla analizy

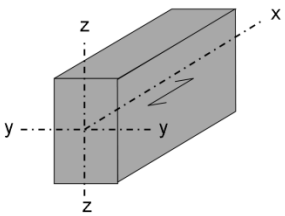
Typ analizy	*Moduł (SGU)*	*Moduł (SGN)*
Pierwszego rzędu, liniowo- sprężysta	$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{1+k_{\text{def}}}$	$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{1+\psi_2 k_{\text{def}}}$
	$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{1+k_{\text{def}}}$	$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{1+\psi_2 k_{\text{def}}}$
Drugiego rzędu, liniowo- sprężysta	$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}$	$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}$
	$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}$	$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}$
Częstości własne	E_{mean}, G_{mean}	E_{mean}, G_{mean}

Przyjęta jest zachowawcza wartość ψ_2 = 1,0.

Założenia do wymiarowania

- W belkach nie ma otworów ani innych osłabień.
- Przekrój poprzeczny jest stały (prostokątny, okrągły) lub liniowo zmienny na wysokości wzdłuż belki.
- Typy elementów belkowych, które mogą zostać zweryfikowane w modue są zestawione na poniższym rysunku.
- Włókna są równoległe do osi *x* belki.
- W przypadku belki o zmiennej wysokości, włókna są równoległe do jednej z podłużnych krawędzi.
- Dominująca płaszczyzna zginania to płaszczyzna *x-z* belki (moment wokół osi *y*).
- $I_y \geq I_z$
- W przypadku drewna klejonego warstwowo laminaty są równoległe do osi *y* przekroju poprzecznego.
- W przypadku LVL laminaty są równoległe do osi *z* przekroju poprzecznego.





Warunki wymiarujące

Siła Normalna-Zginanie [N-M]	(EN 1995-1-1, 6.2.3, 6.2.4)
Ściskanie-Zginanie-Wyboczenie (w płaszczyźnie) [N-M-wyboczenie]	(EN 1995-1-1, 6.3.2)
Siła Normalna-Zginanie-Zwichrzenie[N-M-zwichrzenie]	(EN 1995-1-1, 6.3.3)
Ścinanie (y) - Skręcanie (x) [Vy-Tx]	(EN 1995-1-1, 6.1.7, 6.1.8)
Ścinanie (y) - Ścinanie (z) - Skręcanie (x) [Vy - Vz - Tx]	(EN 1995-1-1, 6.1.7, 6.1.8)
Moment (y) - Ścinanie (z) (naprężenie rozciągające w poprzek włókien) [My-V z]	(EN 1995-1-1, 6.4.3)

Parametry obliczane

$\lambda_{rel,y}$	smukłość względna (*y*) (w płaszczyźnie *z-x* belki) []	
$\lambda_{rel,z}$	smukłość względna (*z*) (w płaszczyźnie *y-x* belki) []	
$k_{c,y}$	współczynnik wyboczeniowy (*y*) (w płaszczyźnie *z-x* belki) []	(EN 1995-1-1, 6.3.2)
$k_{c,z}$	współczynnik wyboczeniowy (*z*) (w płaszczyźnie *x-y* belki) []	(EN 1995-1-1, 6.3.2)
k_{crit}	współczynnik zwichrzeniowy []	(EN 1995-1-1, 6.3.3)
k_h	współczynnik wysokości []	(EN 1995-1-1, 3.2, 3.3, 3.4)
k_{mod}	współczynnik modyfikujący []	(EN 1995-1-1, 3.1.3)
$\sigma_{t,90,d}$	naprężenie rozciągające w poprzek włókien [N/mm^2]	(EN 1995-1-1, 6.4.3)

☞ **AxisVM przeprowadza tylko wymienione weryfikacje warunków wymiarujących. Wszystkie inne weryfikacje określone w normie projektowej takie jak podpory, połączenia itd. muszą zostać uzupełnione przez użytkownika.**

Siła Normalna-Zginanie

Wartość obliczeniowa siły normalnej może być rozciągająca lub ściskająca.
Rozciąganie i moment (EN 1995-1-1, 6.2.3)

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1$$
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1$$

Ściskanie i moment (EN 1995-1-1, 6.2.4)

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1$$
$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1$$

gdzie
$k_m = 0.7$ w przypadku prostokątnego przekroju poprzecznego
$k_m = 1.0$ w pozostałych przypadkach

Ściskanie-Moment-wyboczenie

(EN 1995-1-1, 6.3.2)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1$$
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1$$

gdzie
$k_{c,y}$ to współczynnik wyboczeniowy (*y*) (w płaszczyźnie *z-x* belki) (EN 1995-1-1, 6.3.2)
$k_{c,z}$ to współczynnik wyboczeniowy (*z*) (w płaszczyźnie *x-y* belki) (EN 1995-1-1, 6.3.2)
W przypadku siły rozciągającej $f_{c,0,d}$ zamieniane jest na $f_{t,0,d}$, a $k_{c,y} = k_{c,z} = 1.0$

Siła Normalna-Zginanie-Zwichrzenie

Dla sprawdzenia zwichrzenia, program zakłada, że belka zgina się w płaszczyźnie *z-x* (wokół osi *y*). Jeżeli w pręcie równocześnie występuje moment M_z, a naprężenie ściskające od M_z osiągnie 3% wartości $f_{c,0,d}$ to wyświetlone zostanie ostrzeżenie.

Tylko zginanie (EN 1995-1-1, 6.3.3)

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \le 1$$

Ściskanie i moment (EN 1995-1-1, 6.3.3)

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{cd}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \le 1$$

Rozciąganie i zginanie

W EC5 nie ma wytycznych opisujących przypadek małej siły rozciągającej i zginania, które mogłoby wywołać zwichrzenie.

AxisVM wykorzystuje poniższą ostrożną weryfikację:

$$\frac{|\sigma_{mt,d}|}{k_{crit} f_{m,d}} \leq 1;$$

gdzie $\sigma_{mt,d} = \frac{M_d}{W_y} + \frac{N_d}{A} < 0$

k_{crit} to współczynnik zwichrzenia zgodnie z poniższą tabelą:

$\lambda_{rel,m} \leq 0.75$	$k_{crit} = 1$
$0.75 < \lambda_{rel,m} \leq 1.4$	$k_{crit} = 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m}$
$1.4 < \lambda_{rel,m}$	$k_{crit} = \frac{1}{\lambda^2}$

Ścinanie-Skręcanie

W EC5 nie ma wytycznych dla przypadku równoczesnego działania siły tnącej i momentu skręcającego. W tym przypadku program wykorzystuje wzór interakcyjny zgodnie z DIN EN 1995-1-1/NA: 2010.
Ścinanie (y), ścinanie (z) i skręcanie

$$\max\left[\frac{\tau_{v,y,d}}{f_{v,d}}; \frac{\tau_{v,z,d}}{f_{v,d}}; \frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} f_{v,d}} + \left(\frac{\tau_{v,y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{v,z,d}}{f_{v,d}}\right)^2\right] \leq 1$$

gdzie

k_{shape} to współczynnik kształtu przekroju poprzecznego:

- okrągły przekrój poprzeczny: $k_{shape} = 1.2$
- prostokątny przekrój poprzeczny: $k_{shape} = \min\{1 + 0.15 \cdot h/b\,; 2.0\}$

Moment-Ścinanie

W przypadku zakrzywionych prętów program weryfikuje naprężenie rozciągające w poprzek włókien z sił M_y i V_z. (EN 1995-1-1, 6.4.3.)
Moment (y) – Ścinanie (z)

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1$$

gdzie

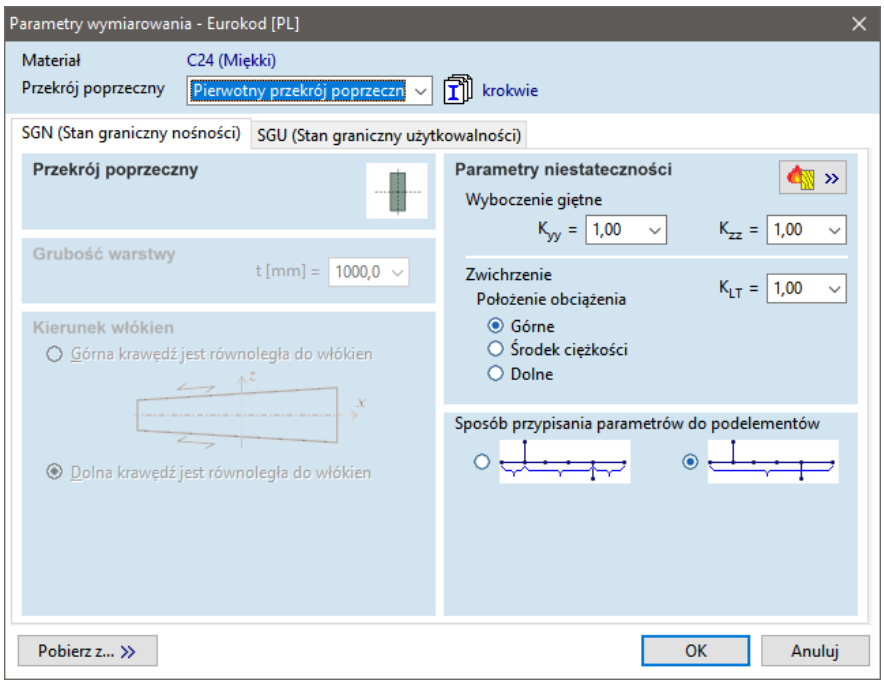
k_{dis} to współczynnik, który uwzględnia oddziaływanie rozkładu naprężeń w strefie największych wartości ($k_{dis} = 1.4$ dla zakrzywionych prętów)

k_{vol} to współczynnik objętości ($k_{vol} = [V_0/V]^{0.2}$)

6.7.1.1 SGN – parametry do wymiarowania

Parametry wymiarowania

W przypadku wymiarowania wg Eurokodu 5 należy zdefiniować następujące parametry wymiarowania i przypisać je do elementów konstrukcyjnych:



Przekrój poprzeczny

Przy wymiarowaniu elementu z drewna, można określić do weryfikacji inny przekrój niż pierwotnie został zadany do obliczeń statycznych. Wyboru przekroju można dokonać w górnej części okna, wybierając z rozwijanej listy wczytane profile.

Jeżeli przekrój poprzeczny zostanie zmieniony, to wymiarowanie zostanie przeprowadzone dla tego przekroju poprzecznego, ale na podstawie oryginalnych (istniejących wcześniej) sił wewnętrznych. Podobnie wygląda sytuacja wymiarowania na warunki pożaru, gdzie zostaną wykorzystane pierwotne współczynniki redukcyjne (**patrz...** *6.7.2 Wymiarowanie konstrukcji drewnianych w warunkach pożaru (moduł TD8)*). Podczas przeglądania wyników, nazwa zmodyfikowanego przekroju, dla którego przeprowadzono wymiarowanie, oznaczona jest za pomocą sufiksu *, aby odróżnić ten przekrój od pierwotnie zadanego. Dostępne na modelu przekroje poprzeczne mogą zostać wybrane z rozwijanej listy, znajdującej się na górze okna dialogowego.

Kliknięcie w tę ikonę pozwoli na wczytanie innych przekrojów z biblioteki lub zdefiniowanie przekroju parametrycznego. Po prawej stronie ikony wyświetlana jest nazwa pierwotnego przekroju poprzecznego.

Kliknięcie w ikonę *Zastąp przekroje poprzeczne* znajdującą się w widoku głównym na zakładce *Wymiarowanie-Drewno* spowoduje zastąpienie pierwotnych przekrojów poprzecznych na modelu globalnym za pomocą profili wybranych w oknie *Parametry wymiarowania*.

Grubość warstwy

W przypadku drewna klejonego warstwowo (Glulam) należy zdefiniować grubość jednej warstwy.

Kierunek włókien

Ustawia kierunek włókien w przypadku belki o zmiennej wysokości przekroju. Kierunek włókien może być równoległy do górnej lub dolnej krawędzi. Górna krawędź znajduje się w kierunku $+z$ przekroju poprzecznego.

Parametry stateczności

Wyboczenie

K_y, K_z: współczynniki długości wyboczeniowej odnoszące się odpowiednio do osi *y* i *z*.

$$K_y = l_{ef,y}/l\,; \quad K_z = \frac{l_{ef,z}}{l}$$

gdzie
l to długość elementu
$l_{ef,y}$ to długość wyboczeniowa w płaszczyźnie *x-z* elementu
$l_{ef,z}$ to długość wyboczeniowa w płaszczyźnie *x-y* elementu

Zwichrzenie

K_{LT}: współczynnik długości zwichrzeniowej odnoszący się do osi *z*.

$$K_{LT} = \frac{l_{ef}}{l}$$

gdzie

l to długość elementu

l_{ef} to współczynnik długości zwichrzeniowej odnoszący się do osi *z*.

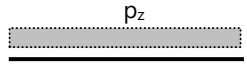
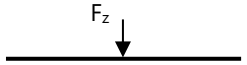
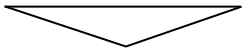
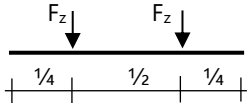
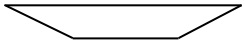
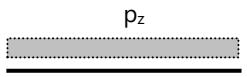
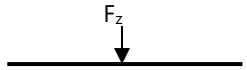
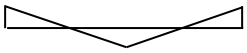
Jeżeli obciążenie nie jest przyłożone w środku ciężkości przekroju poprzecznego, program modyfikuje długość zwichrzeniową w następujący sposób:

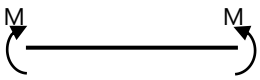
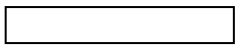
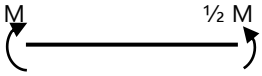
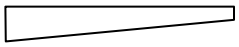
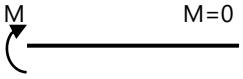
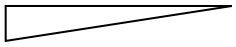
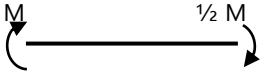
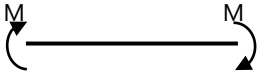
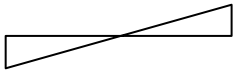
-jeżeli obciążenie przyłożone jest do ściskanej krawędzi elementu, l_{ef} zostaje zwiększone o $2h$

-jeżeli obciążenie przyłożone jest do rozciąganej krawędzi elementu, l_{ef} zostaje zmniejszone o $0.5h$

Informacyjne wartości współczynnika K_{LT}.

(Niektóre z tych wartości można znaleźć w EN 1995-1-1, Tabela 6.1)

Rodzaj obciążenia (obciążenie bezpośrednie)	*Rozkład momentu My między podporami poprzecznymi*	*Warunek podpory poprzecznej (w płaszczyźnie x-y)*
		0,9
		0,8
		0,96
		0,42
		0,64

Rodzaj obciążenia (brak obciążenia bezpośredniego)	*Rozkład momentu My między podporami poprzecznymi*	*Warunek podpory poprzecznej (w płaszczyźnie x-y)*
		1,0
		0,76
		0,53
		0,37
		0,36

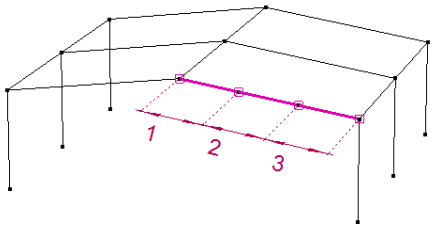
Rodzaj obciążenia	*Rozkład momentu My*	*Warunek podpory poprzecznej (w płaszczyźnie x-y)*

(wspornik)		
p_z		0,5
F_z		0,8

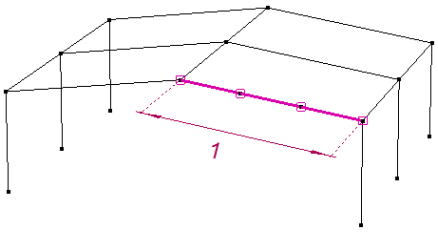
Elementy wymiarowane

Wymiarowanie przeprowadzane jest na tzw. elementach wymiarowanych, które składają się z jednego lub większej liczby elementów skończonych (prętów i / lub żeber). Grupa elementów skończonych może stać się elementem wymiarowanym tylko wtedy, gdy elementy skończone w grupie spełnią pewne wymagania, które są weryfikowane przez program: muszą być zlokalizowane na tej samej linii prostej lub łuku, mieć ten sam materiał i przekrój poprzeczny oraz lokalne układy współrzędnych.
Program umożliwia dwie metody definiowania elementów wymiarowanych:

Każdy węzeł z wybranych elementów skończonych, z którym połączony jest inny element skończony, stanie się punktem końcowym elementu wymiarowanego.



Elementy skończone w wybranego zestawu staną się tylko jednym elementem wymiarowanym, bez względu na inne elementy skończone dochodzące do ich węzłów.

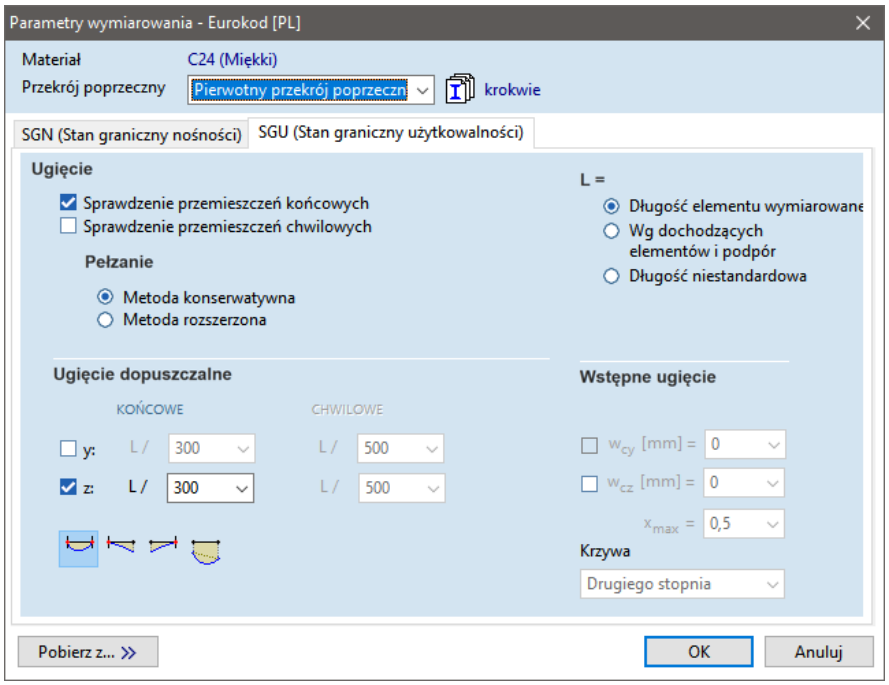


6.7.1.2 SGU – parametry do wymiarowania

SGU (Stan graniczny użytkowalności)

Parametry dla stanu granicznej użytkowalności mogą zostać wybrane na zakładce *SGU (Stan granicznej użytkowalności)* w oknie dialogowym *Parametry wymiarowania*. Program sprawdza ugięcia drewnianych elementów prętowych.
Wymagane parametry oraz typy weryfikacji SGU wg Eurokodu i szwajcarskiej normy SIA są różne.

Parametry (Eurokod)



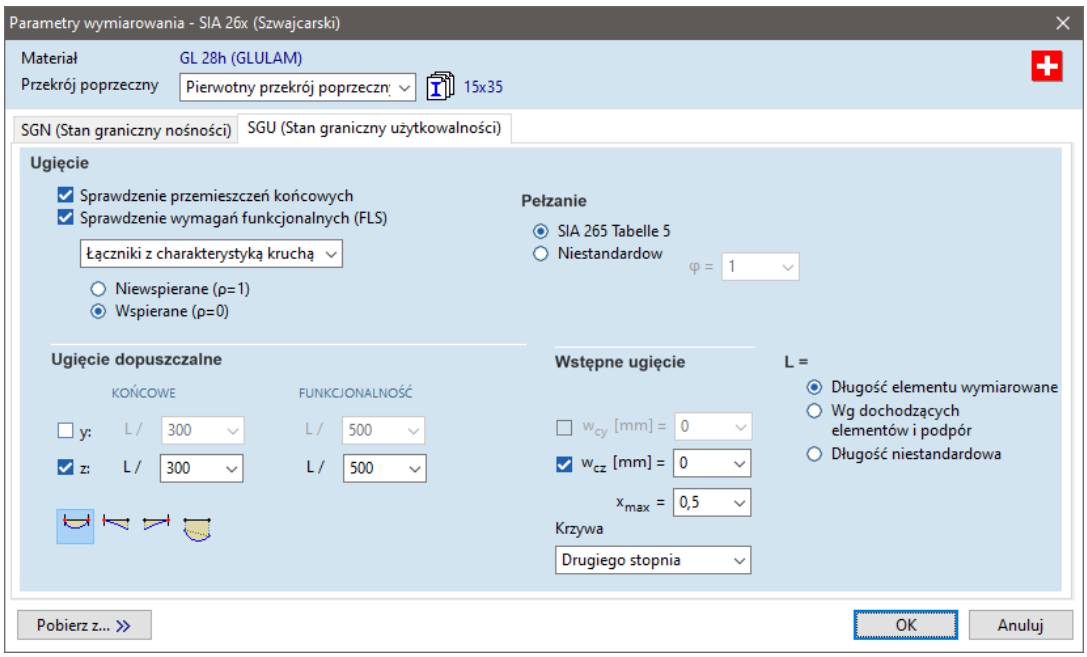
Dla weryfikacji przeprowadzanej wg Eurokodu, moduł może sprawdzić przemieszczenia końcowe (u_{fin}) i chwilowe. Sprawdzenie to jest dostępne tylko dla wyników uzyskanych z liniowej analizy statycznej.
W analizie statycznej program redukuje wartości modułów sprężystości materiału typu drewno (dzieląc je przez wartość $1+k_{def}$) uwzględniając wpływ pełzania. SGU weryfikowane są na bazie wyników analizy statycznej, ale wartości przemieszczeń wyznaczane są zgodnie z poniższymi zasadami:

- Przemieszczenia chwilowe: wyniki te przygotowane są na bazie analizy statycznej poprzez podzielenie ich przez (1+kdef) (nie jest wykonywana kolejna analiza z krótkotrwałymi wartościami modułów sprężystości).
- Wyznaczenie dokładnej wartości przemieszczenia końcowego (uwzględniającego różne wartości pełzania i ich wpływ na połączone elementy konstrukcji) w wielu przypadkach zbytnio komplikowałby rozwiązanie problemu. Wymagałoby to wtedy przeprowadzenia dwóch różnych analiz statycznych (uwzględniających krótkotrwały i długotrwały wpływ pełzania), aby odpowiednio połączyć tak otrzymane rezultaty przemieszczeń. Jako praktyczne przybliżenie rozwiązania dla tego zagadnienia, program oferuje dwa tryby opisane poniżej:

  a) *Metoda konserwatywna* – w tej metodzie przemieszczenia końcowe określane są przez charakterystyczne kombinacje SGU, a wyniki z analizy statycznej (z obniżonymi wartościami modułów sprężystości) są wartościami końcowymi obliczeń. Metoda ta opiera się na zaleceniach z książki *Jack Porteous: Structural Timber Design to Eurocode 5*. Podejście takie bezpiecznie przybliża wynik dokładny przemieszczenia, ze względu na zastosowanie kombinacji charakterystycznej.

  b) *Metoda rozszerzona* – w tej metodzie konieczne jest ponowne przeliczenie przemieszczeń końcowych. Program przeprowadza korektę obliczeń wykorzystując istniejące wyniki ze statyki, ale uwzględnia krótko- i długotrwały wpływ obciążeń. Wartość wynikowa obliczana jest poprzez zsumowanie przemieszczeń uzyskanych dla każdego przypadku obciążenia z uwzględnieniem odpowiadających im współczynników kombinacyjnych. Przeliczenie takie wykonywane jest dla każdego elementu oddzielnie, bez ponownego przeprowadzania analizy statycznej. Z tego powodu metoda ta jest również pewnym przybliżeniem, ale bardziej dokładnym niż uzyskanym *metodą konserwatywną*.
  Przeliczenie może zostać przeprowadzone tylko na kombinacjach z charakterystycznymi wartościami obciążeń lub na prostych przypadkach obciążeń. Współczynnik ψ_0 dla kombinacji zdefiniowanych przez użytkownika, pochodzi od współczynnika obciążeniowego danej kombinacji dla obciążeń zmiennych (oznacza to, że jego wartość powinna być z zakresu 0 oraz 1). Współczynnik ψ_2 jest pomijany z właściwości grupy obciążeń zmiennych.

Parametry (SIA)



Dla weryfikacji przeprowadzanej zgodnie z normą szwajcarską (SIA), moduł może sprawdzić przemieszczenie końcowe (u_{fin}) i warunki użyteczności podane poniżej. Sprawdzenie to jest możliwe tylko dla liniowej analizy statycznej. Dla każdego sprawdzenia można ustawić różne kryteria ugięć.

- Aby uzyskać wartość przemieszczenia końcowego, jego wartość z obliczeń analizy statycznej przemnażana jest przez współczynnik 1+φ. Sprawdzenie to jest interpretowane w opaciu o kombinacje quasi-stałe.
- W programie można wybrać jeden z trzech warunków użyteczności. Sprawdzenie jest zgodne z wymaganiami wyszczególnionymi w Tabeli 3 normy SIA 260:2013. Wynik przemieszczenia obliczany jest poprzez zsumowanie przemieszczeń od poszczególnych przypadków obciążeń z uwzględnieniem współczynników kombinacyjnych. Przeliczenie takie przeprowadzane jest niezależnie dla każdego wymiarowanego elementu, bez potrzeby ponownego uruchamiania globalnej analizy statycznej. Z tego powodu metodę tę należy traktować jako przybliżoną.

- *Łączniki z charakterystyką kruchą:*

  Sprawdzenie to jest dostępne tylko dla kombinacji charakterystycznych. Konstrukcja może zostać uznana za podpartą lub niepodpartą. Dla konstrukcji podpartej przemieszczenia wywołane przez obciążenia stałe pojawią się po zamocowaniu łączników. (Konstrukcja niepodparta oznacza, że przemieszczenia te pojawią się przed zamontowaniem łączników).

- *Łączniki z charakterystyką ciągliwą*

  Sprawdzenie to jest dostępne tylko dla kombinacji częstej SGU. Konstrukcja może zostać uznana za podpartą lub niepodpartą. Dla konstrukcji podpartej przemieszczenia wywołane przez obciążenia stałe pojawią się po zamocowaniu łączników. (Konstrukcja niepodparta oznacza, że przemieszczenia te pojawią się przed zamontowaniem łączników).

- *Łączniki z charakterystyką ciągliwą*

  Sprawdzenie to jest dostępne tylko dla kombinacji charakterystycznych. Konstrukcja może zostać uznana za podpartą lub niepodpartą. Dla konstrukcji podpartej przemieszczenia wywołane przez obciążenia stałe pojawią się po zamocowaniu łączników. (Konstrukcja niepodparta oznacza, że przemieszczenia te pojawią się przed zamontowaniem łączników).

- *Użytkowanie i obsługa*

  Sprawdzenie to jest dostępne tylko dla kombinacji częstej.

☞ **Jeżeli kombinacje miarodajne generowane są automatycznie (kombinacje Decydujące), to sprawdzenie SGU jest przeprowadzane na podstawie wymaganej przez daną normę projektową kombinacji SGU.**

Ugięcia mogą być sprawdzane po kierunku lokalnej osi *-z-* lub *-y-* wymiarowanego elementu drewnianego. Sprawdzenie dla każdej osi może być włączone niezależnie poprzez zaznaczenie opcji przy wartości odpowiadającego ugięcia dopuszczalnego. Graniczny warunek ugięcia powinien zostać określony względem odpowiednio przyjętej długości (*L*) elementu (patrz opis poniżej).

Ugięcia mogą zostać wyznaczone na kilka sposobów: względem cięciwy, lewej / prawej podpory lub na podstawie przemieszczeń rzeczywistych.

Długość elementu (L)

Ugięcia wymiarowanego elementu i ugięcia dopuszczalne (np. L/300) bazują na określeniu długości elementu wg jednej z poniższych opcji:

Długość elementu wymiarowanego: L jest równe długości całkowitej wymiarowanego elementu (czyli do elementu, do którego zostały przypisane parametry do wymiarowania);

Wg dochodzących elementów i podpór: Jeżeli na zakładce SGN wybrano pierwszą opcję dla *Podział elementów wymiarowanych* to długość ta jest wtedy taka sama jak dla wariantu powyżej. Jeżeli natomiast wybrana została druga opcja (scalenie) dla *Podział elementów wymiarowanych* to program będzie wyszukiwał na długości elementu podpór lub innych elementów dochodzących w płaszczyźnie badanego ugięcia, które to utworzą poszczególne segmenty pomiędzy tymi podporami. Sprawdzenie warunków SGU będzie przeprowadzone dla każdego takiego segmentu. Dla przykładu, jeżeli belka 15m długości oparta jest na słupach w węzłach końcowych oraz w 1/3 długości, to program przeprowadzi weryfikację warunków SGU oddzielnie dla segmentu 5m i dla segmentu 10m.

Długość niestandardowa: Do warunku granicznego można określić dowolną wartość *L* zdefiniowaną przez użytkownika.

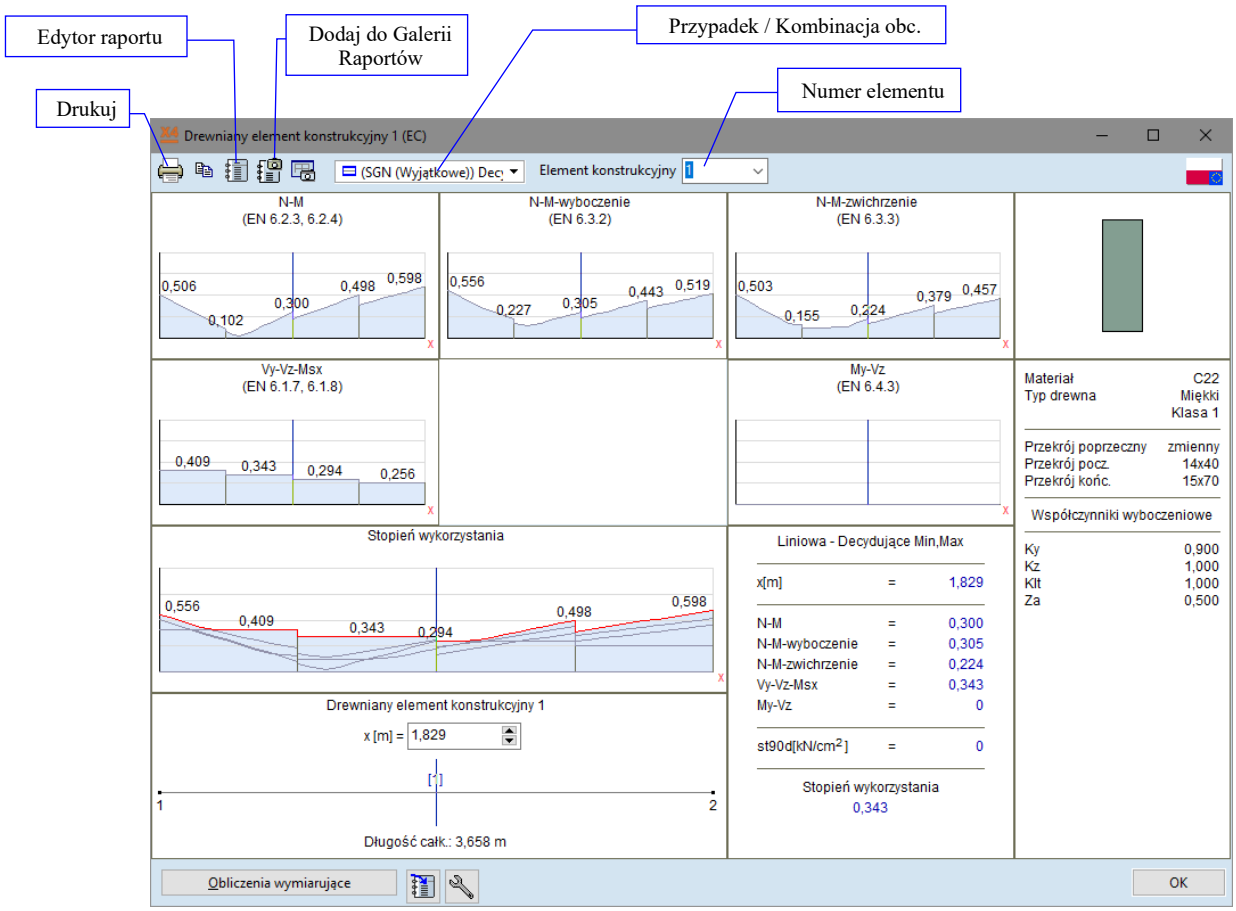
Wstępne wygięcie

Wstępne wygięcie, określone w układzie lokalnym wymiarowanego pręta (w_{cz} oraz w_{cy}), może zostać również zdefiniowane dla elementu. Kształt wstępnego wygięcia jest określany przez trzy parametry: krzywizna (liniowa lub drugiego stopnia), maksymalna wartość wygięcia (w) oraz położenie na długości elementu (x_{max}).
Jeżeli ugięcie określane jest na podstawie przemieszczeń rzeczywistych (a nie np. od cięciwy), to wtedy wygięcie wstępne przyjmowane jest jako stałe na długości.
Jeżeli długość *L* ustawiona jest jak dla elementu wymiarowanego lub wartość niestandardowa, to w punktach podparcia przyjmowana jest wartość zero dla wygięcia wstępnego.
Jeżeli długość *L* bazuje na dochodzących podporach i elementach, to wygięcie wstępne będzie wynosiło zero w węzłach podporowych dla odpowiedniego kierunku.

☞ **Należy pamiętać, że ustawiona tutaj wartość wygięcia wstępnego wpływa tylko na weryfikację SGU poprzez zmniejszenie wcześniej obliczonej wartości ugięcia na podstawie pierwotnego kształtu.**

Wykresy z wynikami

Kliknięcie na element konstrukcyjny wyświetli wykresy odpowiadające wszystkim weryfikacjom.



Obliczenia wymiarujące

Kliknięcie na przycisk *Obliczenia wymiarujące* wyświetli raport ze szczegółami obliczeń. Każde sprawdzenie dotyczące wytrzymałości i stateczności pojawi się jako wzory, uzupełnione o podstawione aktualne wartości i odniesienie do normy projektowej.

Kliknięcie w ikonę *Ustawienia* obok przycisku *Obliczenia wymiarujące* umożliwia ustawienie podstawowych jednostek dla sił i długości użytych w obliczeniach. Istotne wyniki są także konwertowane do typowych jednostek programu AxisVM (**patrz...** *3.3.8 Jednostki i formaty*).

6.7.2 Wymiarowanie konstrukcji drewnianych w warunkach pożaru (moduł TD8)

Normy projektowe

AxisVM wykonuje obliczenia konstrukcji drewnianej w warunkach pożaru zgodnie z różnymi załącznikami krajowymi. W przypadku załącznika krajowego niewymienionego poniżej, stosuje się zasady ogólne EN 1995-1-2.

	Eurokod	*EN 1995-1-2 Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych Part 1-2: Postanowienia ogólne – Projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe*
	niemiecki EC	*DIN EN 1995-1-2:2010-12 NA*
	węgierski EC	*MSZ EN 1995-1-2:2013 NA*
	rumuński EC	*SR EN 1995-1-2:2004/Ac:2006*
	czeski EC	*CSN EN 1995-1-2/NA 2011*
	słowacki EC	*STN EN 1995-1-2:2008/NA:2011*
	brytyjski EC	*BS EN 1995-1-2:2004 NA*
	holenderski EC	*NEN EN 1995-1-2/NB:2016*
	fiński EC	*SFS-EN 1995-1-2:2004 NA*

Projektowanie konstrukcji drewnianych z uwagi na warunki pożarowe wg EN 1995-1-2

Wymiarowanie drewna na warunki pożarowe (moduł TD8) bazuje na ogólnych metodach wymiarowania konstrukcji drewnianych (**patrz...** *6.7.1Wymiarowanie prętów drewnianych (moduł TD1)*), dlatego **obecność modułu TD1 w konfiguracji programu jest warunkiem koniecznym, aby korzystać z modułu TD8**.
Norma EN 1995-1-2 (czyli EC5-1-2) omawia projektowanie na warunki pożarowe konstrukcji drewnianych. Poniższy rozdział przedstawia różnice pomiędzy projektowaniem ogólnym, a projektowaniem na warunki pożarowe.

Wymiarowanie na warunki pożarowe elementu drewnianego może być w AxisVM przeprowadzone, jeżeli:

1. wybrana kombinacja zawiera przypadek obciążenia pożarem (**patrz...** *4.10.1 Przypadki obciążeń, grupy obciążeń*),
2. oddziaływanie pożaru zostało przypisane w tym przypadku obciążenia do któregoś z wybranych elementów (**patrz...** *4.10.32 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy drewniane (moduł TD8)*).

Jeżeli do wymiarowanych elementów przypisano różne oddziaływania pożaru, to przeprowadzenie tego wymiarowania nie będzie możliwe i pojawi się odpowiedni komunikat błędu.
Dla wybranych elementów drewnianych bez oddziaływania pożaru zostanie przeprowadzone standardowa procedura wymiarowania.
Przed zwymiarowaniem na warunki pożaru konieczne jest przypisanie parametrów wymiarowania na warunki pożarowe (patrz poniżej).

Analiza elementu

EC5-1-2 omawia różne metody analizy: analizę wydzielonego elementu, analizę wydzielonego podukładu konstrukcji i globalną analizę całej konstrukcji. Ze względu na swoją prostotę, analiza wydzielonego elementu jest najbardziej rozpowszechnioną analizą weryfikacyjną. Analiza podukładu lub całej konstrukcji wymaga zwykle złożonych, nieliniowych modeli numerycznych i nieliniowej analizy statycznej.
Główne zasady analizy wyodrębnionego elementu zgodnie z EC5-1-2:

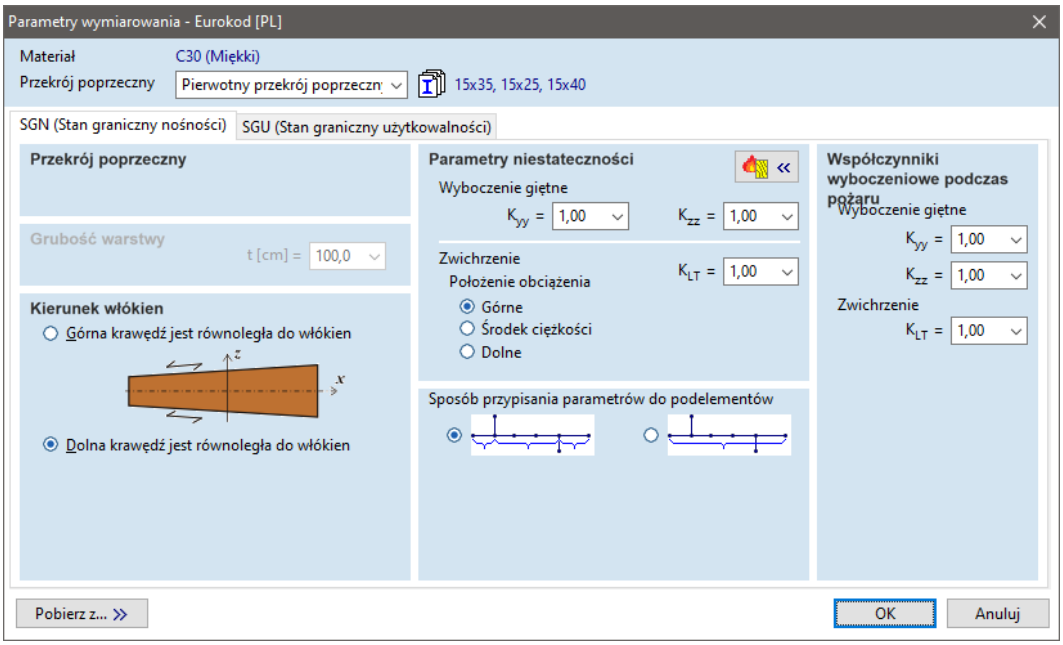
- Siły wewnętrzne wymiarowanego elementu mogą zostać wyznaczone za pomocą liniowej analizy statycznej;
- „Warunki brzegowe na podporach mogą być przyjęte jako stałe w czasie." (EC5-1-2, 2.4.2 (4)).

Moduł TD8 przeprowadza wspomnianą analizę wydzielonego elementu. Należy zawsze sprawdzić, czy konstrukcja lub jej część może zostać zweryfikowana za pomocą analizy wydzielonego elementu, zgodnie z wytycznymi EC5-1-2.

Parametry wymiarowania drewna na warunki pożarowe

Aby przeprowadzić obliczenia wymiarujące na warunki pożarowe na podstawie EC5-1-2, konieczne jest najpierw zdefiniowanie i przypisanie do elementów warunków wymiarowania w warunkach pożarowych. Przycisk ten jest dostępny tylko, gdy 1) moduł TD8 jest obecny w konfiguracji AxisVM, 2) bieżąca norma projektowa jest obsługiwana w zakresie wymiarowania na warunki pożarowe. Po kliknięciu przycisku otworzy się dodatkowy panel po prawej stronie okna dialogowego z parametrami do wymiarowania.

Jeżeli panel pozostanie nierozwinięty, to wymiarowanie na warunki pożarowe nie zostanie przeprowadzone.



Współczynniki wyboczeniowe podczas pożaru

Dla warunków pożarowych można przypisać inne współczynniki długości wyboczeniowej niż dla standardowych warunków. Zakłada się, że inne elementy, które ograniczają deformację analizowanego elementu mogą utracić swoje właściwości usztywniające lub swoją nośność w krótszym okresie trwania pożaru niż analizowany element.
Definiowanie oraz wyznaczanie długości wyboczeniowej elementu jest takie samo jak dla standardowego procesu wymiarowania.

Metoda zredukowanego przekroju poprzecznego

Norma EC5-1-2 przewiduje dwie różne metody obliczania mechanicznej odporności ogniowej:

- metoda zredukowanego przekroju poprzecznego,
- metoda zredukowanych właściwości.

W programie zastosowano metodę zredukowanego przekroju poprzecznego.
W pierwszym kroku analizy wg tej metody wyznaczana jest tzw. efektywna głębokość zwęglenia na podstawie nominalnej głębokości zwęglenia (**patrz...** *4.10.32 Oddziaływanie pożaru na liniowe elementy drewniane (moduł TD8)*):

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0$$

gdzie
$d_0 = 7mm$,
k_0 - współczynnik

Przekrój poprzeczny zostaje zredukowany za pomocą efektywnej głębokości zwęglenia na bokach, które są wystawione na działanie ognia. Tak zredukowany przekrój nazywa się efektywnym przekrojem poprzecznym.

Warunki wymiarujące dla pożaru

Moduł TD8, podobnie jak TD1 wykonuje następujące obliczenia weryfikujące:

Siła Normalna-Zginanie [N-M]	(EN 1995-1-1, 6.2.3, 6.2.4)
Ściskanie-Zginanie-Wyboczenie (w płaszczyźnie) [N-M-wyboczenie]	(EN 1995-1-1, 6.3.2)
Siła Normalna-Zginanie-Zwichrzenie[N-M-zwichrzenie]	(EN 1995-1-1, 6.3.3)

Ścinanie (y) - Ścinanie (z) - Skręcanie (x) [Vy - Vz - Tx] (EN 1995-1-1, 6.1.7, 6.1.8)
Moment (y) - Ścinanie (z) (naprężenie rozc. w poprzek włókien) [My-V z] (EN 1995-1-1, 6.4.3)

Szczegóły poszczególnych obliczeń zostały przedstawione w poprzednim rozdziale (**patrz...** *6.7.1Wymiarowanie prętów drewnianych (moduł TD1)*), dlatego w tym rozdziale wskazano tylko różnice:

1. konieczność uwzględnienia innej wytrzymałości,
2. uwzględnianie innych parametrów stateczności.

Obliczanie wytrzymałości drewna

Wytrzymałość drewna wg EC5-1-2 obliczana jest w następujący sposób:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi}\frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$f_{20} = k_{fi}f_k$$

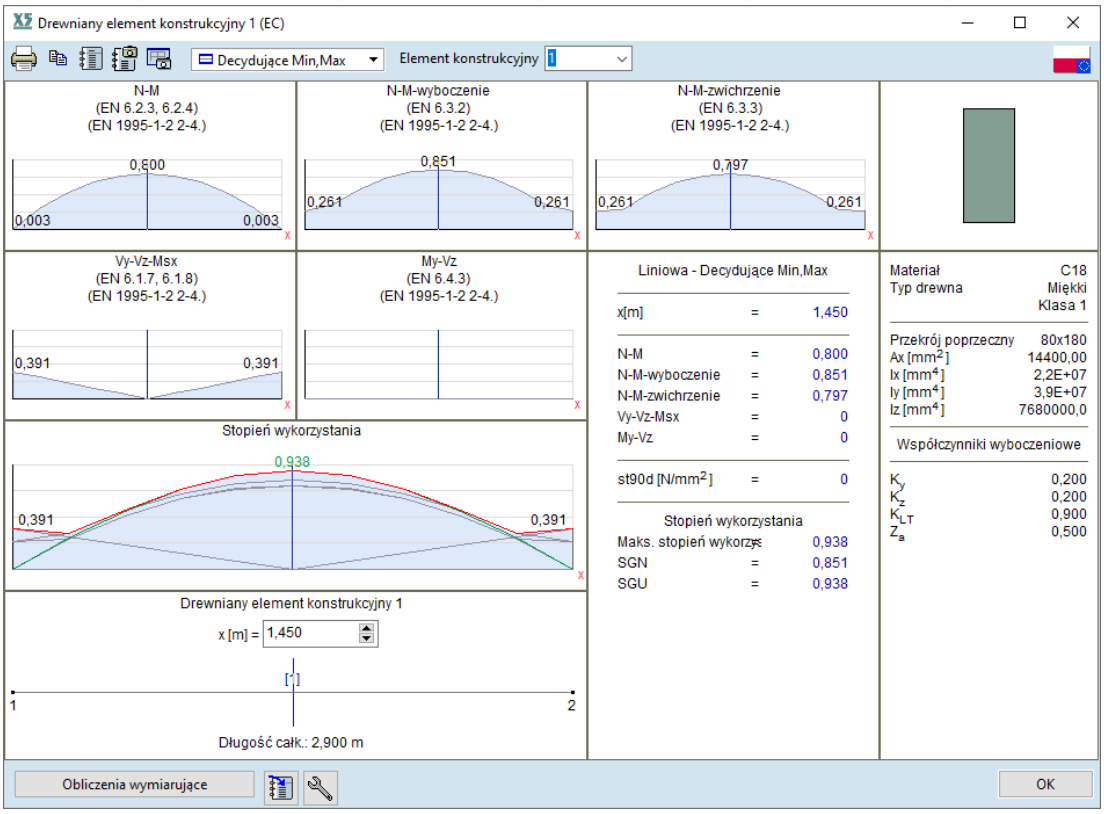
gdzie
f_{20} to 20% kwantyl wytrzymałości w temperaturze pokojowej,
$k_{mod,fi} = 1$ to współczynnik modyfikujący w warunkach pożarowych,
k_{fi} to współczynnik,
$\gamma_{M,fi}$ to współczynnik częściowy.

Sprawdzenie stateczności

Współczynnik długości wyboczeniowej ($K_{y,fi}$ oraz $K_{z,fi}$) oraz długości zwichrzeniowej ($K_{LT,fi}$) zadane w *Parametrach do wymiarowania* wykorzystywane są do sprawdzania nośności na wyboczenie i zwichrzenie.

Wykresy z wynikami

Kliknięcie w zwymiarowany element (z przypisanymi wcześniej parametrami do wymiarowania) otwiera okno z wykresami dla poszczególnych weryfikacji i ich obwiedni. Wyniki dla poszczególnego punktu na długości wymiarowanego elementu oraz dla dowolnego przypadku/kombinacji obciążeń można uzyskać poprzez ustawienie wartości *-x-* lub przesunięcie niebieskiej linii w wybrane miejsce na dowolnym wykresie.
Jeżeli jakiś warunek nie może zostać sprawdzony dla bieżącego przekroju poprzecznego, to w miejscu wykresu dla tego warunku pojawi się czerwony krzyż.
Jeżeli wybrana kombinacja lub kombinacje decydujące zawierają przypadek obciążenia od pożaru oraz gdy przeprowadzono wymiarowanie na warunki pożarowe dla wybranych elementów, to w oknie z wynikami wyświetlone zostaną również współczynniki długości wyboczeniowej dla pożaru oraz głębokość zwęglenia.



Obliczenia wymiarujące

Kliknij w przycisk *Obliczenia wymiarujące*, który znajduje się poniżej wykresów, aby wyświetlić szczegółowe obliczenia z wymiarowania. Dla wymiarowania na warunki pożarowe wyświetlana jest tam również informacja o krzywej pożaru oraz obliczona efektywna głębokość zwęglenia.

2. Zginanie (y)

EN 1995-1-1: 6.1.6

EN 1995-1-2: 2-4.

Decydująca kombinacja: **[CW+ST1_dach+ST2_strop] {Pożar1} {0,2*Śnieg UD} (0,3*U_A)**

Krzywa pożaru: **Krzywa ISO**

Wymagany okres czasu nośności ogniowej: **R30**

Efektywna głębokość zwęglenia: $d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 24{,}00 + 1 \cdot 7{,}00 = 31{,}00$ mm

Położenie przekroju decydującego: $x = 1{,}00 \cdot L = 1{,}00 \cdot 3340{,}00 = 3340{,}00$ mm

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{|M_y|}{W_{y,fi}} = \frac{|860522{,}39|}{57132{,}00} = 15{,}06 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{h,y} = \min\left(\left(\frac{150}{h_{fi}}\right)^{0.2}; 1.3\right) = \min\left(\left(\frac{150}{138{,}00}\right)^{0.2}; 1.3\right) = 1{,}017 \quad (3.1)$$

$$f_{m,y,d,fi} = \frac{k_{mod,fi} \cdot k_{h,y} \cdot f_{m,20}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{1 \cdot 1{,}017 \cdot 37{,}50}{1} = 38{,}13 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_{M_y,fi} = \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{15{,}06}{38{,}13} = 39{,}5\ \% \qquad \textbf{spełniony}$$

3. Zginanie (z)

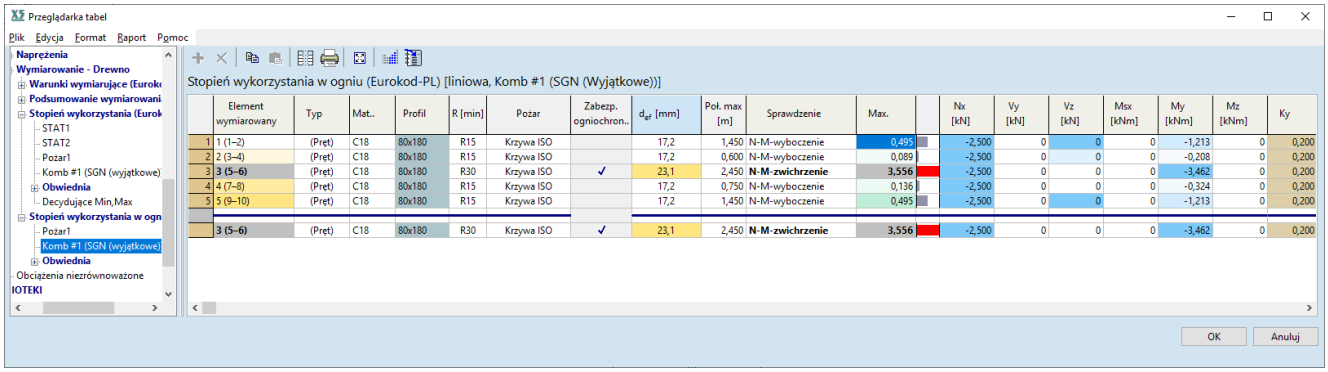
EN 1995-1-1: 6.1.6

EN 1995-1-2: 2-4.

Decydująca kombinacja: **[CW+ST1_dach+ST2_strop] {Pożar1} {0,5*U_A}**

Wyniki tabelaryczne

W *Przeglądarce tabel* w wynikach dostępna jest tabela *Stopień wykorzystania w ogniu*, która podsumowuje wyniki wymiarowania w warunkach pożaru w celu łatwiejszej komunikacji np. z rzeczoznawcą ds. przeciwpożarowych.



	Element wymiarowany	Typ	Mat..	Profil	R [min]	Pożar	Zabezp. ogniochron..	d_{ef} [mm]	Poł. max [m]	Sprawdzenie	Max.	Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Msx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	Ky
1	1 (1–2)	(Pręt)	C18	80x180	R15	Krzywa ISO		17,2	1,450	N-M-wyboczenie	0,495	-2,500	0	0	0	-1,213	0	0,200
2	2 (3–4)	(Pręt)	C18	80x180	R15	Krzywa ISO		17,2	0,600	N-M-wyboczenie	0,089	-2,500	0	0	0	-0,208	0	0,200
3	3 (5–6)	(Pręt)	C18	80x180	R30	Krzywa ISO	✓	23,1	2,450	**N-M-zwichrzenie**	3,556	-2,500	0	0	0	-3,462	0	0,200
4	4 (7–8)	(Pręt)	C18	80x180	R15	Krzywa ISO		17,2	0,750	N-M-wyboczenie	0,136	-2,500	0	0	0	-0,324	0	0,200
5	5 (9–10)	(Pręt)	C18	80x180	R15	Krzywa ISO		17,2	1,450	N-M-wyboczenie	0,495	-2,500	0	0	0	-1,213	0	0,200
	3 (5–6)	(Pręt)	C18	80x180	R30	Krzywa ISO	✓	23,1	2,450	**N-M-zwichrzenie**	3,556	-2,500	0	0	0	-3,462	0	0,200

Optymalizacja przekroju poprzecznego

Jeżeli moduł TD9 jest obecny w konfiguracji AxisVM, to optymalizacja wymiarów przekroju poprzecznego może zostać przeprowadzona dla kombinacji obciążeń zawierających obciążenia pożarowe z uwzględnieniem zasad wymiarowania w warunkach pożarowych.

6.7.3 Optymalizacja drewnianego przekroju poprzecznego (moduł TD9)

Moduł TD9 wymaga modułu TD1.

Optymalizacja przekroju poprzecznego konstrukcji drewnianych sprawia, że wcześniej zdefiniowane i zwymiarowane elementy drewniane stają się bardziej efektywne poprzez precyzyjne dopasowanie wymiarów przekroju poprzecznego i redukcję ciężaru własnego.

Optymalizacja weryfikuje elementy wymiarowane pod względem tych samych sił wewnętrznych, nie uwzględniając zmian sztywności spowodowanych zmianą wymiarów. Ponowne obliczenia modelu dla niektórych konstrukcji mogą wykazać znaczne zmiany w schemacie sił wewnętrznych. W takich przypadkach przeprowadzenie kilku kolejnych optymalizacji prawdopodobnie pozwoli znaleźć bardziej efektywną konstrukcję.

Optymalizacja korzysta z parametrów wymiarowania dla drewna przypisanych wcześniej do elementów wymiarowanych.

Typy przekrojów, które można poddać optymalizacji to: prostokąt, zaokrąglony prostokąt i przekrój okrągły. Zmienne przekroje nie mogą być optymalizowane.

Więcej szczegółów o optymalizacji znajduje się w *6.6.1.4 Optymalizacja stalowego przekroju poprzecznego (moduł SD9)*

6.7.4 Wymiarowanie obszarów XLAM – panele CLT (moduł XLM)

Normy projektowe

Nie istnieją obecnie obowiązujące, ogólne regulacje dotyczące wymiarowania paneli XLAM (CLT). Więcej szczegółowych informacji o wymiarowaniu i bibliografii znajduje się w przewodniku *Teoria i wymiarowanie paneli CLT*.

Właściwości materiału

W bibliotece materiałów znajdują się dedykowane dla paneli CLT materiały o predefiniowanych właściwościach sztywności i wytrzymałości. Użytkownik może dowolnie modyfikować te właściwości w bibliotece materiałów powiązanej z modelem.

Charakterystyczne właściwości materiału	*Symbol*
Wytrzymałość na zginanie	$f_{m,k}$
Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien	$f_{t,0,k}$
Wytrzymałość na rozciąganie w poprzek włókien	$f_{t,90,k}$
Wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien	$f_{c,0,k}$
Wytrzymałość na ściskanie w poprzek włókien w kierunku *y*	$f_{c,90,k}$
Wytrzymałość na ściskanie w poprzek włókien w kierunku *z*	$f_{c,90,k}$
Wytrzymałość na skręcanie	$f_{T,k}$
Wytrzymałość na ścinanie w kierunku *y*	$f_{v,k}$
Wytrzymałość na ścinanie w kierunku *z*	$f_{v,k}$
Wytrzymałość przy ścinaniu tarczowym	$f_{r,k}$*

**przyjęto równe 1.0 N/mm², niezależnie od klasy wytrzymałości*

Moduły sprężystości	*Symbol*
Średnia wartość modułu sprężystości wzdłuż włókien	$E_{0,mean}$
Średnia wartość modułu sprężystości w poprzek włókien	$E_{90,mean}$
5% kwantyl modułu sprężystości wzdłuż włókien	$E_{0,05}$
Średnia wartość modułu odkształcenia postaciowego	G_{mean}
Średnia wartość modułu odkształcenia postaciowego przy ścinaniu tarczowym	$G_{R,mean}$*

**zakłada się, że utrzymuje się stosunek $G_{R,mean} / G_{mean} = 0,1$, niezależnie od klasy wytrzymałości*

Gęstość	*Symbol*
Charakterystyczna wartość gęstości	ρ_k
Średnia wartość gęstości	ρ_{mean}

Współczynnik częściowy	*Symbol*
Współczynnik częściowy dla materiału	γ_M

Klasa użytkowania

Zobacz rozdział *6.7.1 Wymiarowanie prętów drewnianych (moduł TD1)*

Klasa trwania obciążenia

Zobacz rozdział *6.7.1 Wymiarowanie prętów drewnianych (moduł TD1)*

Wytrzymałości charakterystyczne

Wartości naprężeń wyznaczane są niezależnie od działania zginania, sił tarczowych, ścinania i skręcania.

$\sigma_{mx,t}$ – wartość naprężeń normalnych po kierunku *x* od zginania, w górnej połowie strefy (strona strefy związana z dodatnim kierunkiem lokalnej osi *z*)

$\sigma_{mx,b}$ – wartość naprężeń normalnych po kierunku *x* od zginania, w dolnej połowie strefy (strona strefy związana z ujemnym kierunkiem lokalnej osi *z*)

$\sigma_{my,t}$ – wartość naprężeń normalnych po kierunku *y* od zginania, w górnej połowie strefy (strona strefy związana z dodatnim kierunkiem lokalnej osi *z*)

$\sigma_{my,b}$ – wartość naprężeń normalnych po kierunku *y* od zginania, w dolnej połowie strefy (strona strefy związana z ujemnym kierunkiem lokalnej osi *z*)

σ_{nx} – wartość naprężeń normalnych po kierunku *x* od sił normalnych

σ_{ny} – wartość naprężeń normalnych po kierunku *y* od sił normalnych

$\tau_{n,xy}$ – wartość naprężeń tnących w płaszczyźnie od sił normalnych

$\tau_{m,xy}$ – wartość naprężeń tnących w płaszczyźnie od momentu skręcającego

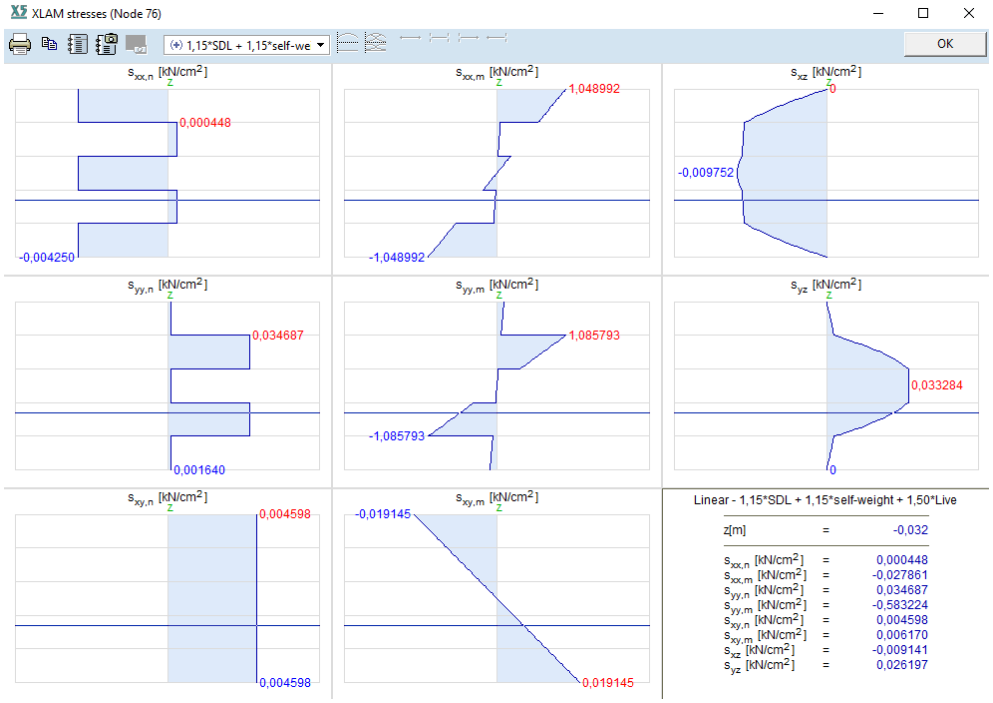
$\tau_{xz,max}$wartość naprężeń ścinających działających na płaszczyznę po kierunku *z*, których normalna jest w kierunku *x*

$\tau_{yz,max}$wartość naprężeń ścinających działających na płaszczyznę po kierunku *z*, których normalna jest w kierunku *y*

$\tau_{rx,max}$wartość naprężeń przy ścinaniu tarczowym działających na płaszczyznę po kierunku *z*, których normalna jest w kierunku *x*

$\tau_{ry,max}$wartość naprężeń przy ścinaniu tarczowym działających na płaszczyznę po kierunku *z*, których normalna jest w kierunku *y*

Po kliknięciu w dowolny węzeł obszaru można zobaczyć rozkład poszczególnych składowych naprężeń na grubości panelu CLT:



Wytrzymałości obliczeniowe

Obliczeniowe wartości wytrzymałości obliczane są wg wzorów:

Dla $f_{c0d}, f_{c90d}, f_{vd}, f_{rd}$: $f_d = k_{mod} * f_k / \gamma_M$

Dla $f_{m90d}, f_{t0d}, f_{t90d}$: $f_d = k_{sys} \frac{*k_{mod} f_k}{\gamma_M}$

gdzie

k_{mod} współczynnik modyfikujący efekt czasu trwania obciążenia i zmiany wilgotności materiału (EN 1995-1-1, 3.1.3)

k_{sys} współczynnik modyfikujący wytrzymałość

k_{fin} współczynnik redukujący wytrzymałość na zginanie

f_k charakterystyczna wartość wytrzymałości

γ_M częściowy współczynnik bezpieczeństwa właściwości materiału (EN 1995-1-1, Tabela 2.3)

Współczynnik k_{sys} $k_{sys} = \min\{1 + 0.025 \cdot n; 1.2\}$ (*n* oznacza liczbę warstw, ale *n>1*)

Interakcje

Siła normalna – Moment zginający wzdłuż włókien [N-M-0]
Siła normalna – Moment zginający prostopadle włókien [N-M-90]
Ścinanie – Skręcanie [V-T]
Siła normalna – ścinanie tarczowe [N-Vr]

Siła normalna – Moment zginający wzdłuż włókien (M-N-0)

Przy rozciąganiu

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{|\sigma_{m,0,d}|}{f_{m,0,d}} \le 1$$

Przy ściskaniu

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{|\sigma_{m,0,d}|}{f_{m,0,d}} \le 1$$

Siła normalna – Moment zginający prostopadle do włókien (M-N-90)

Przy rozciąganiu

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}} + \frac{|\sigma_{m,90,d}|}{f_{m,90,d}} \le 1$$

Przy ściskaniu

$$\left(\frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,d}}\right)^2 + \frac{|\sigma_{m,90,d}|}{f_{m,90,d}} \le 1$$

Ścinanie – Skręcanie [V-T]

$$\frac{|\tau_{T,d}|}{f_{T,d}} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{r,d}}{f_{r,d}}\right)^2 \le 1$$

Siła normalna – ścinanie tarczowe [N-Vr]

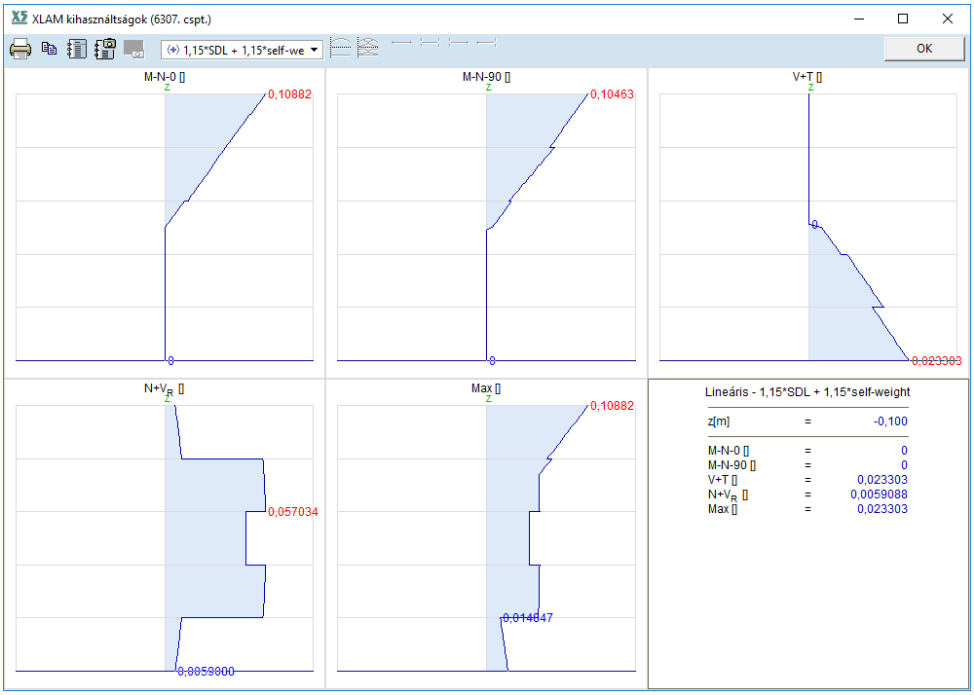
Prostopadle do włókien

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}} + \frac{|\tau_{r,d}|}{f_{r,d}} \le 1\,; \quad \frac{|\sigma_{c,90,d}|}{f_{c,90,d}} + \frac{|\tau_{r,d}|}{f_{r,d}} \le 1$$

Wzdłuż włókien

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{|\tau_{r,d}|}{f_{r,d}} \le 1\,; \quad \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{f_{c,0,d}} + \frac{|\tau_{r,d}|}{f_{r,d}} \le 1$$

Po kliknięciu w węzeł obszaru można zobaczyć wykres wykorzystania na grubości panelu dla poszczególnych warunków:



6.8 Wymiarowanie ścian murowych – moduł MD1

Moduł MD1 pozwala wykonać obliczenia wymiarujące niezbrojonych ścian murowych. Proces weryfikacji jest przewidziany dla ścian obciążonych głównie pionowo oraz obciążonych ścinaniem w ich płaszczyźnie.

Przewidziany jest on dla ścian jedno- lub wielokondygnacyjnych, dla których wcześniej przeprowadzono globalną analizę statyczną. W module określane są też połączenia ścian z płytami stropowymi, które mają istotny wpływ na nośność ściany.

Sprawdzenie nośności ściany dostępne jest dla następujących norm projektowych: *Eurokod, NTC* oraz *SIA*.

6.8.1 Kompleksowa analiza niezbrojonych ścian murowych

Zasady ogólne

W module dostępne są następujące typy obliczeń:

A) *Analiza stateczności ścian obciążonych głównie pionowo*

Weryfikacja uwzględniająca tylko mimośrody prostopadłe do płaszczyzny ściany, niezależna od szerokości pasma ściennego. Mimośród działający po dwóch kierunkach nie może zostać tutaj uwzględniony.

B) *Kompleksowe sprawdzenie stateczności*

Weryfikacja obejmuje działanie siły normalnej na mimośrodzie po dwóch kierunkach w połączeniu ze sprawdzeniem ścinania w płaszczyźnie.

Sprawdzenie A) oraz B) wykorzystują różne przekroje wskazane przez użytkownika (**patrz...** *6.8.1.3 Zweryfikuj obszar jako ścianę murową*). Sprawdzenie typu B) jest wykonywane tylko wtedy, gdy zaznaczona została weryfikacja ścinania w oknie dialogowym *Parametry murowego pasma ściennego* (**patrz...** *6.8.1.2 Parametry pasma murowego*).

Weryfikacja obejmuje tylko ściany niezbrojone, przy założeniu, że ma ona stałą grubość na wysokości danej kondygnacji. Zdefiniować można tylko ścianę z jedną warstwą elementów murowych.

Ściana murowa może zostać zweryfikowana zgodnie z normami *EN 1996-1-1 (rozdział 6.1),* NTC *(rozdział 4.5.6.2)* oraz *SIA 266 (rozdział 4.3.1 i 4.4*) uwzględniając poniższe założenia i ograniczenia.

Normy projektowe zakładają, że ściana jest podparta z płaszczyzny (poziomo) przez płyty, dlatego ściany wolnostojące lub wspornikowe nie mogą być analizowane za pomocą tego algorytmu.

Różne parametry przypisywane do modelu ściany (**patrz...** *6.8.1.4 Okno weryfikacji oraz definicja podparć i parametrów do wymiarowania* wpływają na powstanie dodatkowych momentów zginających (wielokondygnacyjna ściana z różnymi grubościami na poszczególnych kondygnacjach, ustawienia podparć, wpływ mimośrodowości sił od płyty). Wpływy te nie są pomijalnie małe, aby można je zignorować podczas wymiarowania ściany, jednak dokładne ich zamodelowanie w modelu globalnym może w niektórych przypadkach znacząco skomplikować model. Aby ułatwić zwymiarowanie ścian w takich sytuacjach, dostępne są dwie metody przybliżonego ich obliczania (**patrz...** *6.8.1.1 Definicja ściany murowej i jej parametrów / Wyznaczanie dodatkowych momentów zginających*), które pozwalają uwzględnić te wpływy w uproszczony sposób. Za każdym razem użytkownik programu powinien rozważyć możliwość zastosowania tych metod w konkretnym przypadku.

Moduł MD1 wykorzystuje pasma wirtualne (**patrz...** *2.16.16 Pręt wirtualny*), bo do nich może przypisać parametry do wymiarowania ściany, a następnie przeprowadzić weryfikację na podstawie wyników scałkowanych z pasma wirtualnego.

Pojedyncze pasmo wirtualne może obejmować wiele kondygnacji, tak więc cała ściana budynku może być analizowana jako całościowy układ konstrukcyjny, a do każdej kondygnacji mogą zostać przypisane różne parametry do wymiarowania.

W rozdziałach 6.8.1.6 Wyniki do 6.8.1.8 Wymiarowanie ściany murowej wg Eurokodu 6 podano informacje na temat ograniczeń określonych dla danej normy projektowej.

6.8.1.1 Definicja ściany murowej i jej parametrów

Parametry wymiarowania

Po kliknięciu w ikonę *Parametry wymiarowania* i wskazaniu pasma wirtualnego otwarte zostanie okno *Ściany murowe*, w którym można zdefiniować kondygnacje dla pasma i zweryfikować je.

Powyższe okno, w którym przypisuje się także inne niezbędne parametry do pasma wirtualnego (**patrz...** *2.16.16 Pręt wirtualny*) zostanie otwarte również po bezpośrednim kliknięciu w pasmo wirtualne (o ile przypisane zostało do obszaru z materiałem typu mur).

Ikona *Parametry wymiarowania* jest dostępna tylko wtedy, gdy na modelu występuje obszar z przypisanym materiałem typu mur, zdefiniowane jest przynajmniej jedno pasmo wirtualne oraz dostępne są wyniki za analizy statycznej lub dynamicznej.

Po wybraniu polecenia *Parametry wymiarowania* wskazane może być tylko jedno pasmo wirtualne. Selekcja może być nieprawidłowa w następujących przypadkach:

- Nie wskazano pasma wirtualnego
- Wskazano więcej niż jedno pasmo wirtualne
- Wybrane pasmo nie należy do obszaru z materiałem typu mur
- Wybrane pasmo nie jest ciągłe
- Przekrój poprzeczny pasma nie jest obsługiwany (np. zmienny na wysokości)
- Wybrane pasmo nie jest pionowe (dopuszcza się maksymalnie 15° odchylenia)

Jeżeli selekcja jest nieprawidłowa, to program wyświetli komunikat ostrzeżenia. W przeciwnym razie wyświetlony zostanie okno dialogowe *Ściany murowe*, w którym wybrane pasmo wirtualne będzie zaznaczone na liście wirtualnych pasm ściennych.

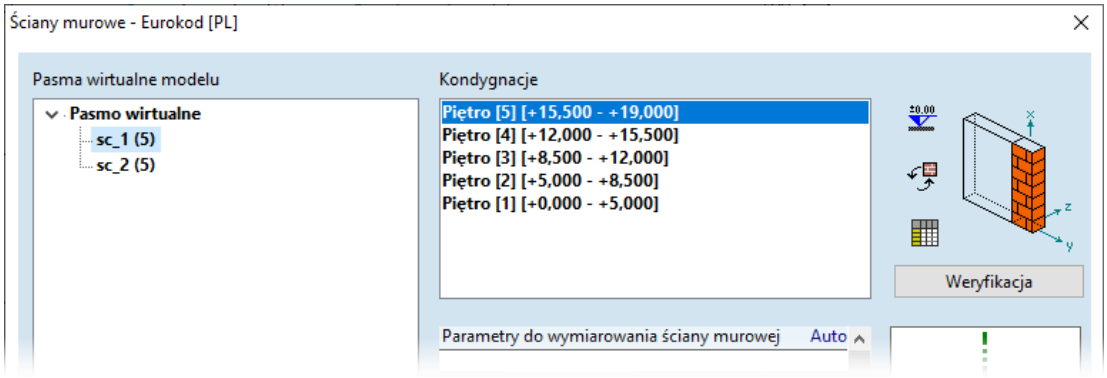
☞ **Okno *Ściany murowe* otwiera się automatycznie po kliknięciu w prawidłowe pasmo wirtualne na modelu.**

Pasma wirtualne modelu

Okno *Ściany murowe* wyświetla wszystkie istniejące wirtualne pasma murowe modelu. Kliknięcie wybranego pasma wyświetla obok przypisane do niego kondygnacje. Kliknięcie wybranej kondygnacji otworzy okno służące do przypisywania parametrów wymiarowania do zaznaczonej kondygnacji.

Ponieważ parametry wymiarowania ściany przypisywane są do poszczególnych jej kondygnacji, to pierwszym krokiem jaki należy wykonać, jest zdefiniowanie kondygnacji dla wybranego pasma.

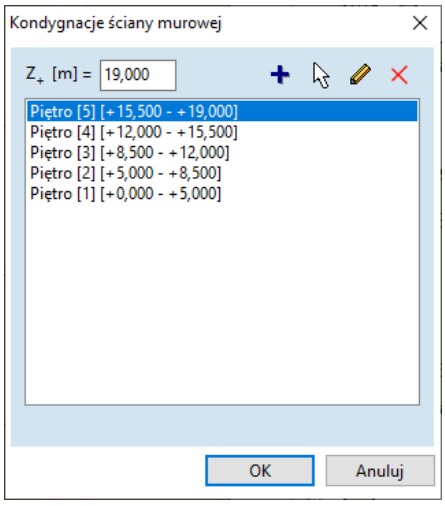
Jeżeli pasmo wirtualne ma już przypisaną kondygnację lub kondygnacje, to nazwa pasma jest oznaczona na liście jako pogrubiona. Liczba w nawiasie okrągłym obok nazwy pasma wskazuje na liczbę przypisanych do niego kondygnacji.



Kondygnacje

Jest to pierwszy krok jaki należy wykonać. Poziomy kondygnacji rozumiane są jako poziomy płyt, które stanowią boczne podpory ścian.

Kliknij *Edytuj kondygnacje*, aby zdefiniować kondygnacje dla pasma wirtualnego.

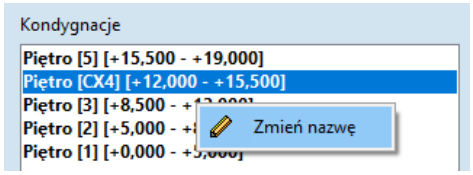


Wszystkie rzędne zdefiniowanej kondygnacji muszą przecinać oś wybranego pasma wirtualnego. Jeżeli na modelu globalnym kondygnacje zostały zdefiniowane wcześniej (**patrz...** *3.3.4 Kondygnacje*), to zostaną one automatycznie zaimportowane do powyższego okna. Należy jednak pamiętać, że kondygnacje przypisane do pasma wirtualnego w module do wymiarowania ścian nie muszą pokrywać się z kondygnacjami modelu globalnego.

Kondygnacje mogą być usuwane (ikona z czerwonym krzyżykiem), modyfikowane (ikona z ołówkiem) oraz dodawane (ikona z plusem oraz ikona ze strzałką). Kondygnacje przechowywane są w paśmie wirtualnym.

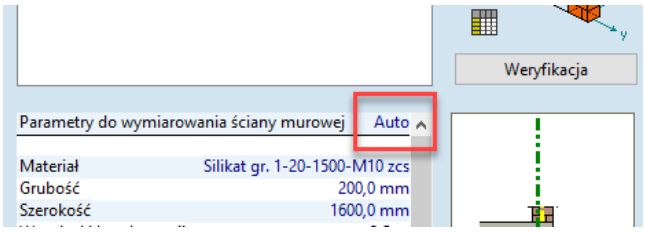
Jeżeli kondygnacje zostały przypisane do pasma, to na modelu globalnym może zostać wyświetlony przekrój poprzeczny pasma oraz przekrój pionowy ściany (**patrz...** *6.8.1.5 Wyświetlanie na modelu przekroju zwymiarowanych ścian*).

Nazwa kondygnacji może być również edytowana w oknie *Ściany murowe*, poprzez kliknięcie prawym przyciskiem myszy na kondygnacji i wybraniu *Zmień nazwę*.



Automatyczne parametry do wymiarowania

Po ustawieniu kondygnacji, do ściany przypisywane są następujące parametry wynikające z charakterystyki obszaru, do którego należy pasmo wirtualne.



- *Materiał muru (niezależnie dla każdej kondygnacji)*
  Jeżeli pasmo wirtualne na jednej kondygnacji przechodzi przez kilka obszarów z przypisanymi różnymi materiałami typu mur, to tylko jeden materiał może zostać przypisany do danej kondygnacji. Automatycznie ustawiony materiał może zostać zmodyfikowany w oknie *Parametry wymiarowania*.
  Przyjęte do wymiarowania moduły sprężystości obszaru są identyfikowane poprzez analizę jego układu lokalnego (*Ex* obszaru może mieć inną wartość niż *Ey*). Jeżeli żadna oś układu lokalnego

obszaru nie pokrywa się z globalnym kierunkiem pionowym, to do wyznaczenia parametrów materiałowych służy oś, której kierunek jest najbardziej zbliżony do kierunku pionowego. Moduły sprężystości mogą być modyfikowane w oknie *Parametry wymiarowania* (**patrz...** *6.8.1.4 Okno weryfikacji oraz definicja podparć i parametrów do wymiarowania* / *Parametry do wymiarowania ściany murowej*)

- *Grubość ściany (niezależnie dla każdej kondygnacji)*
  W przypadku przechodzenia pasma wirtualnego przez różne obszary z materiałem typu mur na danej kondygnacji, do wymiarowania zostaje przyjęta tylko jedna grubość (uwzględniana może być tylko stała wartość grubości na wysokości ściany).
  Grubość ściany nie może zostać zmodyfikowana w module do wymiarowania. Parametr ten należy zmienić w modelu globalnym poprzez modyfikację charakterystyki obszaru (na zakładce *Elementy* w oknie głównym).
- *Szerokość analizowanej ściany (taka sama jak szerokość pasma wirtualnego)*
  Nośność ściany murowej obliczana jest z uwzględnieniem jej całkowitej szerokości.
- *Typ płyty (żelbetowej) dochodzącej do ściany i grubość tej płyty*
  Płyta może być uwzględniana jako *ciągła* lub *jednostronna*. Jeżeli program nie zidentyfikował żadnej płyty, to w ustawieniach zostanie wybrana opcja *Płyta niezdefiniowana* (**patrz...** *6.8.1.3 Zweryfikuj obszar jako ścianę murową*).

  UWAGA: dostępne w algorytmie programu normy projektowe zakładają, że ściana podparta jest bocznie przez płyty na obu swoich końcach. Dlatego ustawienie *Płyta niezdefiniowana* wskazuje tylko tyle, że program nie rozpoznał typu płyty w miejscu podparcia ściany (co nie znaczy, że jej nie ma).

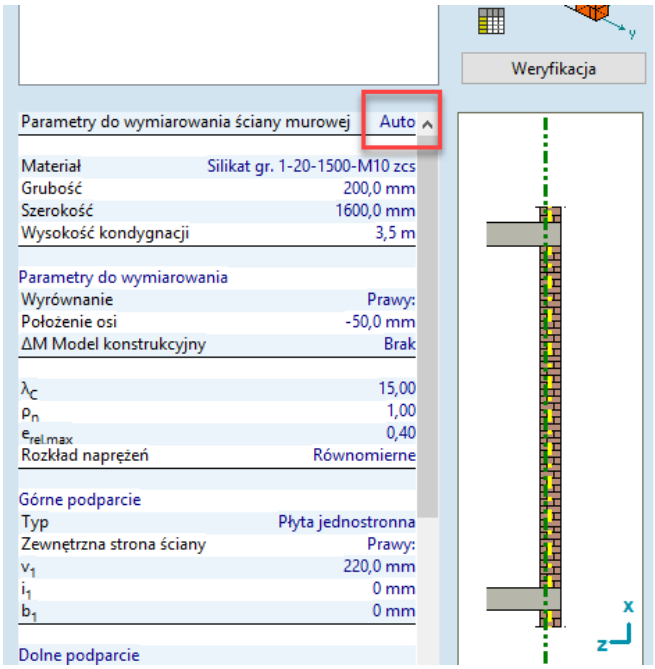
  Jeżeli do ściany dochodzi kilka płyt o różnej grubości, to do obliczeń przyjmowana jest najmniejsza wartość.
  Typ płyty oraz jej grubość może być później zmodyfikowana w oknie *Ustawieniach podparcia.*
- *Przekroje poprzeczne do wymiarowania*
  4 lub 6 różnych lokalizacji przekrojów (patrz dalej)

Jeżeli obszary płyt przypisane do kondygnacji zostaną zmodyfikowane po ustawieniu parametrów do wymiarowania murów, to program nie odświeży tych zmian automatycznie. Zmiany te powinny zostać zaktualizowane przez użytkownika programu, poprzez usunięcie starych parametrów do wymiarowania murów i ponowne zdefiniowanie nowych lub poprzez ręczną zmianę parametrów podparć ściany.

Pozostałe parametry do wymiarowania

Pozostałe parametry do wymiarowania ustawiane są zgodnie z zaleceniami normy projektowej lub domyślnych ustawień (predefiniowanych w programie).

Na górze listy z parametrami wskazane jest źródło tych parametrów. Jeżeli parametry nie były jeszcze modyfikowana, to pojawi się opis *Auto*. W przeciwnym razie parametry opisane są jako *Niestandardowe*.



Przekrój przez kondygnację

Przekrój poprzeczny przez wybraną ścianę wraz z dochodzącymi płytami na danej kondygnacji wyświetlany jest w prawym dolnym narożniku okna *Ściany murowe*.

Układ współrzędnych

Do wyświetlania przekroju ściany oraz sił wewnętrznych używany jest układ współrzędnych pasma wirtualnego. Układ ten jest wykorzystywany jest również w oknach *Ściany murowe* oraz *Wymiarowanie ściany murowej*.
Zamknięcie okna *Ściany murowe* pozwoli wyświetlić na modelu głównym przekrój ścian z ich podporami bocznymi (**patrz...** *6.8.1.5 Wyświetlanie na modelu przekroju zwymiarowanych ścian*).

Użyj domyślnych

Polecenie służy do przywrócenia wszystkich lub tylko niektórych automatycznych parametrów do wymiarowania muru. Są to:

- materiał muru (z jego charakterystyką),
- grubość ściany,
- podparcie ściany (górne i dolne, ze wszystkimi referencyjnymi przekrojami),
- parametry do wymiarowania (wszystkie dane wyświetlane w oknie *Parametry do wymiarowania* z wyjątkiem materiału).

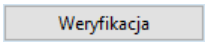
Więcej szczegółów znajduje się w *6.8.1.3 Zweryfikuj obszar jako ścianę murową*.

Rezultaty wymiarowania

Kliknięcie w ikonę *Rezultaty wymiarowania* wyświetli tabelkę z podsumowanie wymiarowania ściany. Ikonka jest aktywna tylko, gdy model zawiera przynajmniej jedno pasmo wirtualne z murem, do którego przypisano kondygnacje.

Więcej szczegółów **patrz...** *6.8.1.6 Wyniki*.

Weryfikacja



Kliknięcie w przycisk *Weryfikacja* otworzy okno *Wymiarowanie ściany murowej* z przeprowadzonym sprawdzeniem ściany na danej kondygnacji.

Więcej szczegółów **patrz...** *6.8.1.4 Okno weryfikacji oraz definicja podparć i parametrów do wymiarowania*.

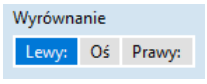
Ustawienia

Poniższe ustawienia dostępne są dla całego wybranego pasma wirtualnego:

Ustawienia globalnych parametrów do wymiarowania

Globalne ustawienia murowego pasma wirtualnego są dostępne pod tą ikoną.

Wyrównanie



Jeżeli wybrane pasmo wirtualne na poszczególnych kondygnacjach ma ściany o różnej grubości, to użytkownik ma możliwość ustawienia ich wzajemnego położenia, określając płaszczyznę referencyjną dla ściany. Domyślne przyjmowane jest, że płaszczyzny środkowe ścian (ich osie) są współliniowe.

Jeżeli istnieje potrzeba, to można zlicować ściany o różnej grubości do lewej lub prawej jej strony (w odniesieniu do układu lokalnego pasma). W takiej sytuacji oddziaływanie dodatkowego momentu zginającego musi zostać uwzględnione w wymiarowaniu (patrz następny rozdział).
Na schemacie przekroju poprzecznego ściany, który znajduje się w tym oknie po prawej stronie, zielona linia przerywana wskazuje oś pasma wirtualnego (jest to zarazem oś najgrubszej ze ścian w całym paśmie). Żółta linia wskazuje oś ściany na wybranej kondygnacji.

Jeżeli na kondygnacjach nie ma ścian o różnych grubościach, to opcja *Wyrównanie* jest niedostępna.

Tabela globalnych ustawień do wymiarowania

Po kliknięciu w tę ikonę wyświetlone zostanie tabelaryczne podsumowanie parametrów do wymiarowania dla pasma wirtualnego.

Więcej szczegółów, **patrz...** *6.8.1.6 Wyniki*.

Parametry do wymiarowania ściany murowej

Po kliknięciu w ikonkę *Parametry do wymiarowania ściany murowej* zostanie otwarta tabela podsumowująca wszystkie parametry do wymiarowania przypisane do poszczególnych kondygnacji. Ikonka jest aktywna tylko, gdy model zawiera przynajmniej jedno pasmo wirtualne z murem, do którego przypisano kondygnacje.

Więcej szczegółów **patrz...** *6.8.1.6 Wyniki*.

Obliczenia wymiarujące

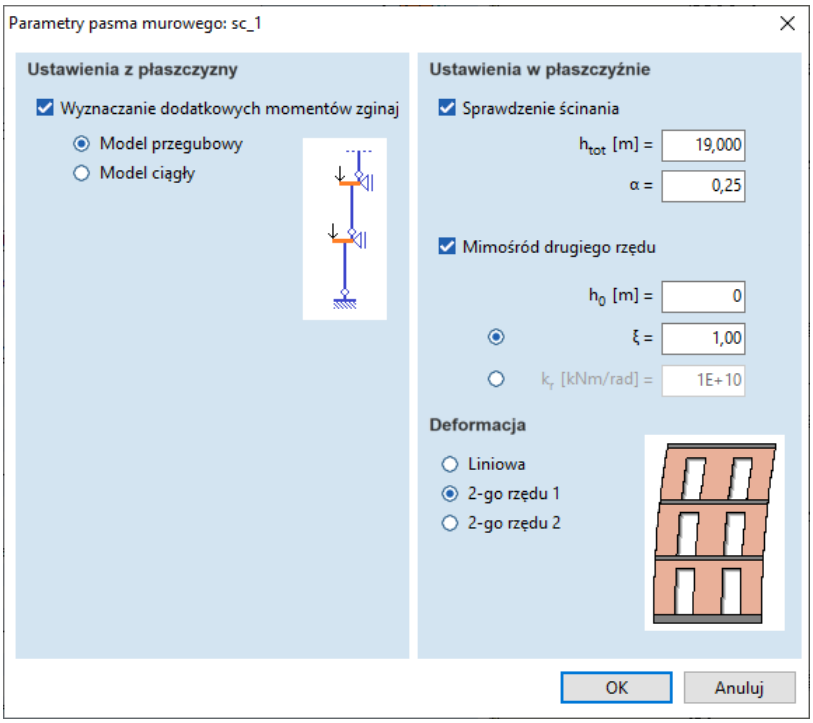
Kliknięcie w ikonę *Obliczenia wymiarujące* spowoduje wygenerowanie przez program szczegółowej notki z procesu wymiarowania aktywnego pasma dla przypadku/kombinacji obciążeń wybranych na modelu globalnym. Ikonka jest aktywna tylko, gdy model zawiera przynajmniej jedno pasmo wirtualne z murem, do którego przypisano kondygnacje.

Więcej szczegółów **patrz...** *6.8.1.6 Wyniki*.

6.8.1.2 Parametry pasma murowego

Ustawienia globalnych parametrów do wymiarowania

Kliknięcie w ikonkę *Ustawienia globalnych parametrów do wymiarowania* pozwala zmodyfikować parametry przypisywane do całego pasma.

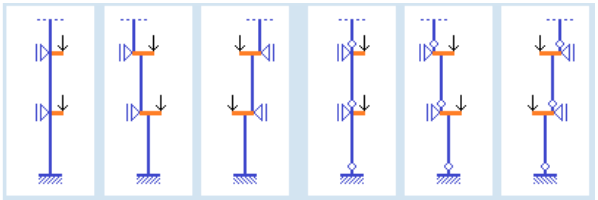


Ustawienia z płaszczyzny

Wyznaczanie dodatkowych momentów zginających

Pewne ustawienia (wyrównanie ścian o różnej grubości, podparcia boczne, rozkład naprężeń pod oparciem płyty) mogą wprowadzać dodatkowe mimośrody, które warunkują uwzględnienie dodatkowych momentów zginających. Jeżeli model globalny nie odzwierciedla powyższych efektów, to moduł do wymiarowania murów zawiera dwa różne modele do ich przybliżonego odwzorowania oraz wyznaczenia momentów. Jest to model przegubowy lub ciągły dla ściany. Więcej szczegółów znajduje się w *6.8.1.7 Zasady wymiarowania*. Obliczeniowy moment zginający jest wtedy sumą momentu z pasma wirtualnego oraz momentu uzyskanego z jednego z powyższych modeli.

Rysunek obok wybranego modelu w symboliczny sposób przedstawia siły na mimośrodzie w miejscach podparć ściany oraz zróżnicowanie grubości ścian. Schemat na rysunku zależy także od wybranej opcji wyrównania (*Lewy/Oś/Prawy*) w przypadku różnej grubości ścian.



Jeżeli opcja *Wyznaczanie dodatkowych momentów zginających* jest odznaczona, to program nie wyznacza żadnych dodatkowych momentów.

Ustawienia w płaszczyźnie

Sprawdzenie ścinania

Zaznaczenie opcji *Sprawdzenie ścinania* spowoduje wykonanie sprawdzenia A) oraz B), jak opisano w rozdziale *6.8.1.1 Definicja ściany murowej i jej parametrów*. Jeżeli ta opcja nie zostanie zaznaczona, to przeprowadzone zostanie tylko sprawdzenie A).

Norma projektowa SIA

Dla szwajcarskiej normy projektowej SIA dostępne są następujące opcje wyznaczenie współczynnika kV do wymiarowania ścinania: *Wg wykresów SIA266* / *Na podstawie obliczeń numerycznych*. Metody te zostały opisane w rozdziale *6.8.1.10 Wymiarowanie ściany murowej wg SIA*.

Wyznaczenie mimośrodu obliczeniowego

Mimośród początkowy i mimośród drugiego rzędu w płaszczyźnie ściany wyznaczane są przy pomocy poniższych parametrów:

h_{tot} Całkowita wysokość ściany mierzona od wierzchu fundamentu
α Stopień obciążenia pionowego części budynku, która jest usztywniona przez pasmo murowe ($0< \alpha \leq 1$)

Dodatkowe parametry dla mimośrodu drugiego rzędu:

h_0 Punkt bazowy
ξ Współczynnik zwiększający sztywność na obrót w miejscu zamocowania rozpatrywanego elementu konstrukcyjnego
k_r Sztywność na obrót w miejscu zamocowania

Z powyższych dwóch parametrów można wybrać i określić tylko jeden.

W przypadku kombinacji sejsmicznej program nie wyznacza automatycznie mimośrodów drugiego rzędu. Mogą one zostać uwzględnione za pomocą indeksu plastycznej stateczności, który to dostępny jest w tabeli *Sejsmiczna wrażliwość kondygnacji* oraz za pomocą wytycznych z normy EN 1998-1-1.

Mimośród początkowy

Mimośród początkowy jest wyznaczany zgodnie z wytycznymi z rozdziału 5.3 normy EN 1996-1-1 zakładając, że konstrukcja jest odchylona od pionu o pewien kąt i uwzględniając powyższe parametry.

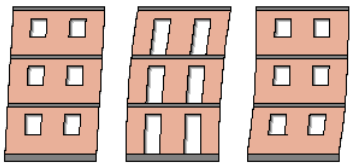
Mimośród drugiego rzędu

Aby uwzględnić mimośród drugiego rzędu, należy zaznaczyć tę opcję w oknie dialogowym. Konieczność jego uwzględniania opisana jest w rozdziale 5.4 normy EN 1996-1-1.

Deformacja

W projektowanym przekroju poprzecznym mimośród drugiego rzędu szacowany jest na podstawie jednej z następujących odkształconych postaci ściany:

- Liniowa
- 2-go rzędu 1
- 2-go rzędu 2



6.8.1.3 Zweryfikuj obszar jako ścianę murową

Zweryfikuj obszar jako ścianę murową

Polecenie *Zweryfikuj obszar jako ścianę murową* może być stosowane do weryfikacji ścian w budynkach jednokondygnacyjnych. W takim przypadku nie ma potrzeby wcześniejszego definiowana pasma wirtualnego, ponieważ jest ono automatycznie tworzone w trakcie tego polecenia. Podczas wskazywania wystarczy zaznaczyć obszar oraz punkt odniesienia dla pasma wirtualnego.

Automatycznie tworzone pasmo wirtualne ma zawsze 1m szerokości, ale może być ono dowolnie modyfikowane jak każde pasmo wirtualne (w oknie *Pręt wirtualny*). W przypadku wskazania punktu referencyjnego dla pasma blisko krawędzi ściany, położenie osi pasma zostanie automatycznie dopasowane, aby pasmo nie wystawało poza ścianę.

Po zakończeniu selekcji zostanie otwarte okno *Wymiarowanie ściany murowej*, w którym następuje określenie podpór, parametrów do wymiarowania oraz weryfikacja wyników.

Pasmo ściany murowej zdefiniowanej przez polecenie *Zweryfikuj obszar jako ścianę murową* może być zarządzane tak samo jak pozostałe pasma murowe, za pomocą okna *Parametry wymiarowania*.

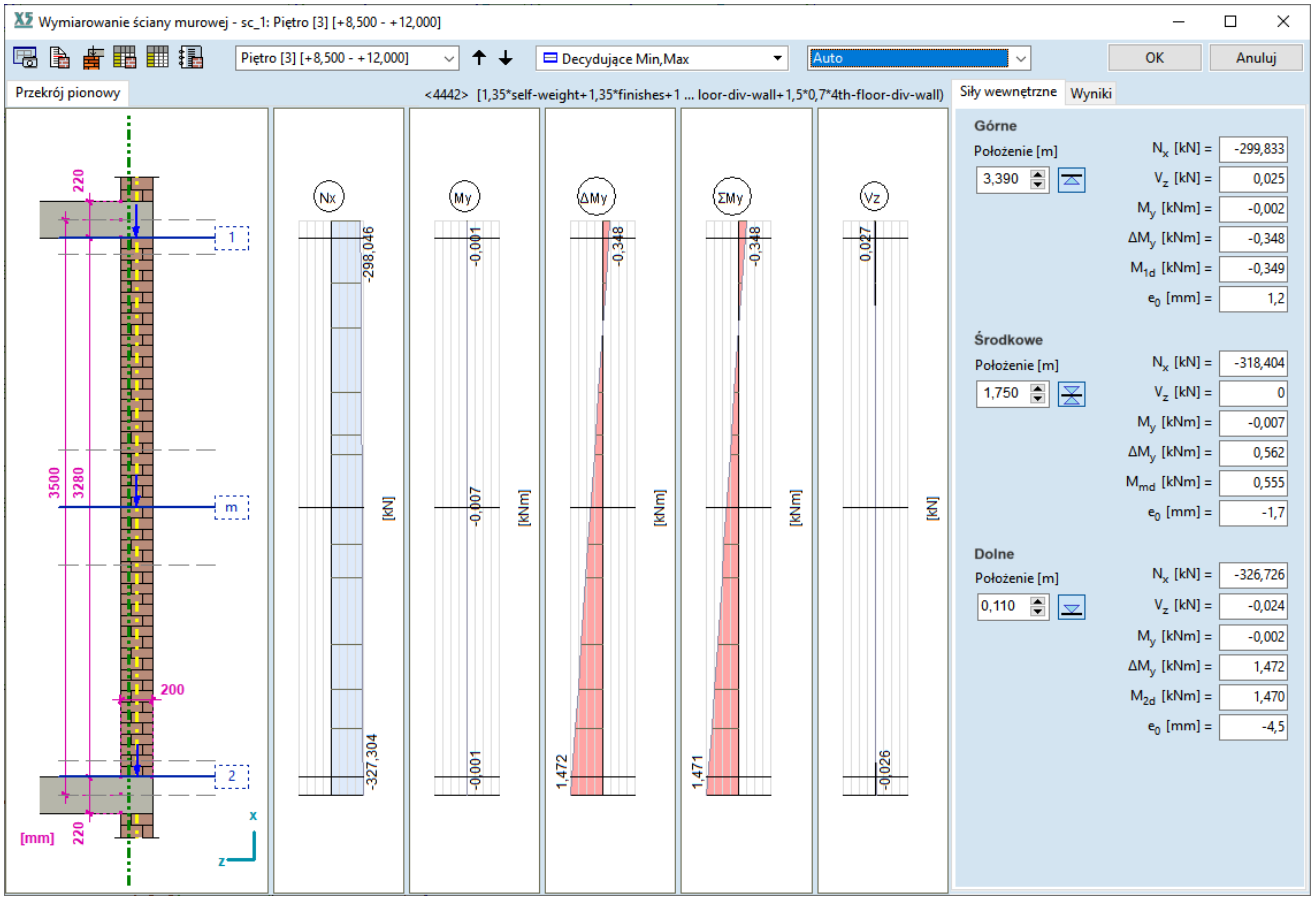
Uwaga: Używając polecenia *Zweryfikuj obszar jako ścianę murową* zakłada się, że nie jest potrzebne wyznaczanie dodatkowych momentów zginających (patrz dalej), a opcja *Sprawdzenie ścinania* jest

odznaczona. Jeżeli istnieje konieczność zmiany tych ustawień, to wystarczy kliknąć w automatycznie utworzone pasmo wirtualne i dokonać niezbędnych zmian w oknie *Ściany murowe*.

6.8.1.4 Okno weryfikacji oraz definicja podparć i parametrów do wymiarowania

Wymiarowanie ściany murowej

Po kliknięciu przycisku *Weryfikacja* w oknie *Ściany murowe* otwarte zostanie nowe okno (*Wymiarowanie ściany murowej*), w którym można zadać parametry do wymiarowania ściany oraz przeprowadzić proces jej weryfikacji.



Z rozwijanej listy u góry okna wybierz kondygnację, na której ma zostać zweryfikowana ściana oraz przypadek lub kombinację obciążenia.

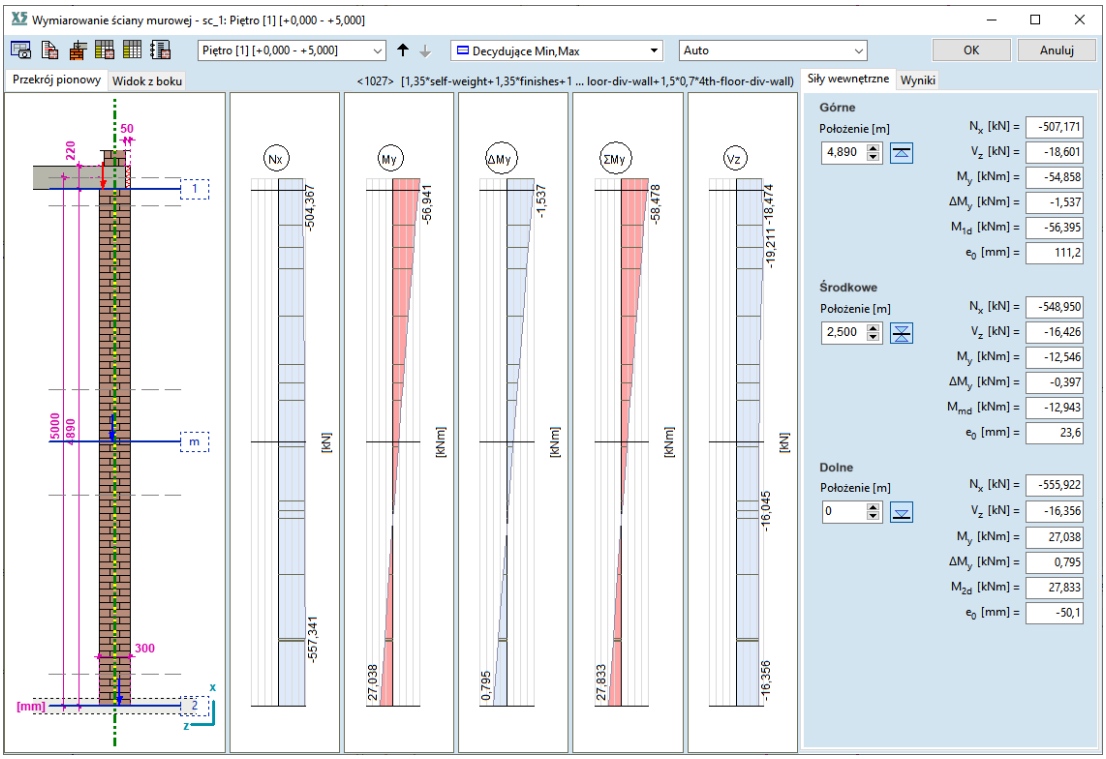
Rysunek po lewej stronie okna pokazuje przekrój pionowy lub widok wybranej ściany (jeżeli sprawdzenie ścinania jest wyłączone, to widoczny jest tylko przekrój ściany). Ponadto pokazane są szczegółowo podparcia ściany (płyty stropowe), wymiary elementów, izolacja cieplna itd. W widoku ściany pokazane są również inne obszary ścienne, co pozwala określić przekrój ze względu na otwory do wymiarowania na ścinanie.

Układ współrzędnych w prawym lub lewym dolnym rogu (zależy od wybranego rysunku) pokazuje układ pasma wirtualnego.

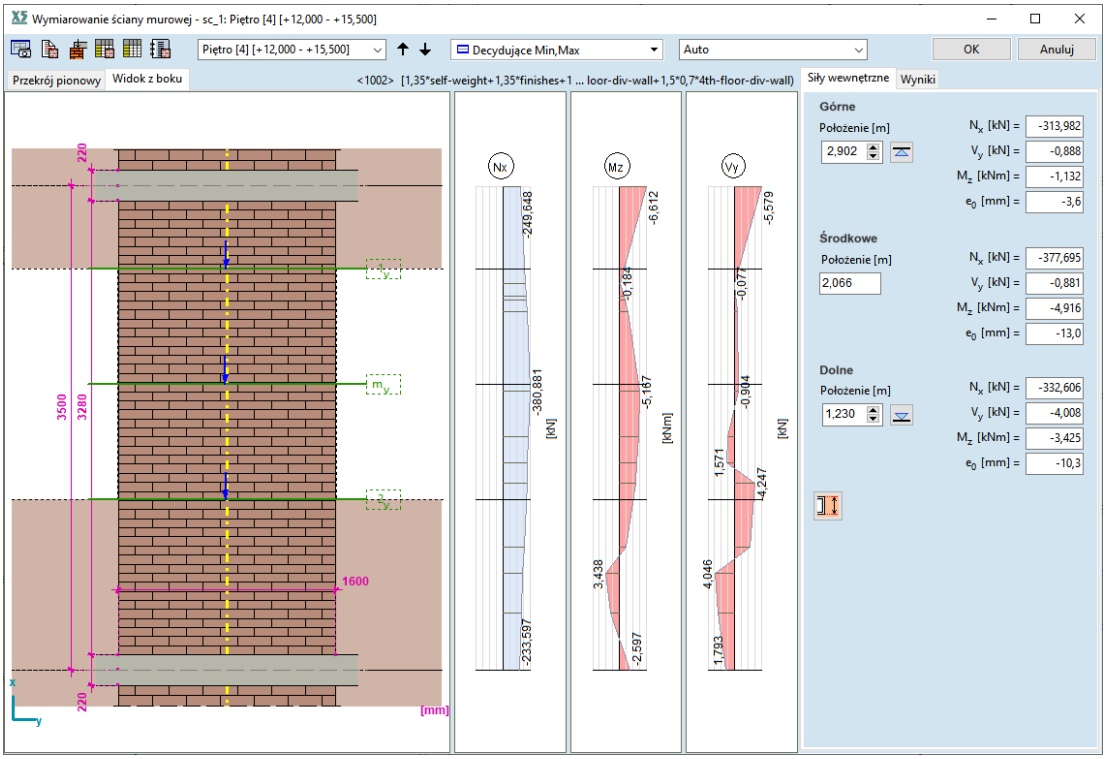
Zielona linia osiowa pokazuje oś pasma wirtualnego. Jeżeli grubość ściany zmienia się pomiędzy kondygnacjami, to oś ta pokrywa się z osią najgrubszej ściany. Żółta linia osiowa pokazuje oś ściany na wybranej kondygnacji i w przypadku ścian o różnej grubości nie musi pokrywać się ona z zieloną osią.

Kolor ściany jest taki sam jak kolor materiału przypisany w modelu (**patrz...** *3.1.15 Biblioteka materiałów*). Tekstura jest przypisana do ściany na stałe i nie może zostać zmieniana, nawet gdy zmieniona zostanie tekstura dla materiału w Bibliotece materiałów.

Przekrój pionowy



Widok z boku



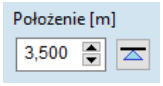
Aktywna kondygnacja

☞ **Jeżeli najedziemy kursorem myszki na ścianę, to zmieni się on w symbol dłoni. Podwójne kliknięcie w ścianę spowoduje otwarcie okna *Parametry do wymiarowania ściany murowej*.**

☞ **Jeżeli najedziemy kursorem myszki na górę lub dół ściany, to zmieni się on w symbol dłoni. Podwójne kliknięcie w ścianę spowoduje otwarcie okna *Podparcie ściany*.**

Miarodajne przekroje poprzeczne

Położenie miarodajnych przekroi podłużnych może zostać określone w polu *Położenie* dla przekroi opisanych jako *Górne*, *Środkowe* i *Dolne*. Program odczytuje siły wewnętrzne z pasma wirtualnego w tych miejscach i wykorzystuje podczas procedury wymiarowania.



Przekroje 1, m, 2

Jeżeli opcja *Sprawdzenie ścinania* nie została wybrana można ustawić 3 miarodajne przekroje poprzeczne (oznaczone etykietami *1*, *m* oraz *2*). Ustawienie tych przekroi jest dostępne na aktywnej zakładce *Przekrój pionowy*. Przekroje te powiązane są z typem obliczeń A) (opis w rozdziałach wcześniejszych).

Gruba niebieska linia pokazuje aktualne położenie miarodajnego przekroju poprzecznego, którą można przesuwać za pomocą myszki pomiędzy liniami granicznymi (czarne linie przerywane).

Jeżeli podparcie (typ płyty) zostało zdefiniowane dla ściany, to położenie przekroju miarodajnego jest domyślnie ustawiane na krawędzi płyty stropowej.

Kliknięcie w ikonkę obok wartości położenia przekroju miarodajnego spowoduje przywrócenie wartości domyślnej.

☞ **W przypadku normy SIA 266 nie można ustawić innego położenia dla przekroju środkowego.**

Przekroje 1_v, m_v, 2_v (położenie otworów)

Jeżeli opcja *Sprawdzenie ścinania* została zaznaczona, to na zakładce *Widok boczny* można ustawić 3 dodatkowe miarodajne przekroje poprzeczne. Przekroje te wykorzystywane są do przeprowadzenia obliczeń typu B) (z uwzględnieniem stateczności i ścinania). Wpływ otworów i dochodzących obszarów może zostać uwzględniony za pomocą położenia wspomnianych przekroi miarodajnych (sprawdzenie ścinania przeprowadzane jest w przekroju ściany między dolnym a górnym przekrojem). Przekroje te są niezależne od przekroi *1, m, 2* i oznaczone są kolorem zielonym jako ***1_v, m_v, 2_v***. Ustawić można tylko położenie górnego i dolnego przekroju, ponieważ przekrój środkowy leży zawsze w połowie pomiędzy nimi.

Ustawienie położenia otworów

Domyślne położenia miarodajnych przekroi 1_v, m_v, 2_v wyznaczane są na podstawie połączonych obszarów. Można je zmodyfikować poprzez przeciągnięcie linii od przekroju miarodajnego lub poprzez wskazanie na modelu globalnym po kliknięciu w ikonę *Położenie otworu*. Ikona ta jest dostępna tylko na zakładce *Siły wewnętrzne*, gdy wybrany jest *Widok z boku*.

Pozostałe informacje odnośnie przekroi miarodajnych

Położenie strzałki na niebieskiej linii przekroju miarodajnego odzwierciedla wielkość mimośrodu siły ściskającej w danym przekroju. Strzałka może być koloru niebieskiego, jeżeli przekrój jest wystarczający lub czerwonego, jeżeli przekrój nie odpowiada warunkom normowym. Jeżeli nośność danego przekroju nie może zostać wyznaczona, to strzałka dla tego przekroju nie jest w ogóle wyświetlana

☞ **Miarodajne siły wewnętrzne oraz wyniki wymiarowania zmieniają się wraz ze zmianą położenia miarodajnego przekroju podłużnego.**

Zakładka Siły wewnętrzne

W oknie *Wymiarowanie ściany murowej* obok rysunku ściany pokazane są następujące wykresy sił wewnętrznych:

Przekrój pionowy

- N_x Siła osiowa (obliczeniowa siła pionowa)
- M_y Moment zginający wokół lokalnej osi -y-
- ΔMy Dodatkowy moment zginający wywołany przez efekty mimośrodowe (obliczany tylko, jeżeli w oknie głównym *Ściany murowe*, w ustawieniach globalnych pasma włączono opcję *Wyznaczanie dodatkowych momentów zginających*).
- ΣMy Obliczeniowy moment zginający (suma momentów z pasma wirtualnego oraz momentów dodatkowych)
- V_z Siła tnąca pasma prostopadła do płaszczyzny ściany

Widok z boku

- N_x Siła osiowa (obliczeniowa siła pionowa)
- M_z Moment zginający wokół lokalnej osi -z-
- V_y Siła tnąca pasma w płaszczyźnie ściany

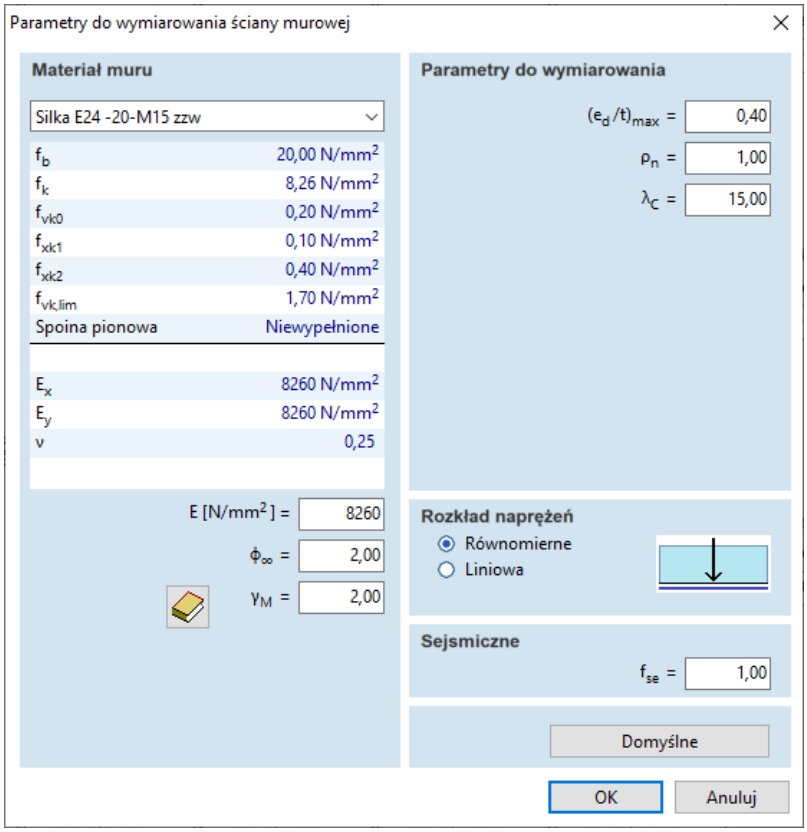
Na każdym wykresie sił znajduje się cienka czarna linia, która wskazuje położenia ustawionych przekrojów miarodajnych.

Zakładka Wyniki

Wyniki wymiarowania są zebrane na liście wyświetlanej w zakładce *Wyniki*. Więcej informacji znajduje się w rozdziale *6.8.1.6 Wyniki*.

Parametry do wymiarowania ściany murowej

Parametry do wymiarowania ściany na wybranej kondygnacji mogą zostać określone w poniższym oknie:



Materiał muru

Po zdefiniowaniu kondygnacji program na podstawie przypisanego do obszaru materiału automatycznie ustawia go przy obliczeniach wytrzymałościowych muru. Ten domyślnie przyjęty materiał może zostać tutaj zmodyfikowany.

Edytowalne parametry muru

W oknie można wyedytować poniższe parametry muru, które jednocześnie nie wpływają na parametry materiału przypisanego do obszaru na modelu globalnym. Edytowane parametry mają wpływ tylko na obliczenia wytrzymałościowe analizowanej ściany na danej kondygnacji.

Eurokod

- E moduł Younga
- φ_∞ końcowy współczynnik pełzania
- γ_M częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału

NTC

- γ_M częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału

SIA 266

- E_{xk} moduł Younga
- γ_M częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału

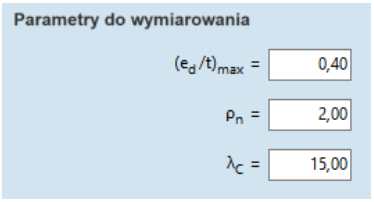
☞ **Tak jak wspomniano we wcześniejszym rozdziale, materiał dla muru po zdefiniowaniu kondygnacji wybierany jest najpierw automatycznie. W przypadku materiału ortotropowego orientacja osi lokalnych pasma wirtualnego musi zostać zweryfikowana przez użytkownika.**

☞ **Jakakolwiek zmiana parametrów materiału w powyższym oknie nie wpływa na zmianę materiału obszaru zastosowanego w modelu globalnym do pasma wirtualnego. Jeżeli jest taka potrzeba, to materiał obszaru musi zostać zmieniony przez użytkownika.**

Parametry normowe

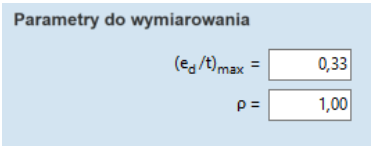
Eurokod 6

- $(e_d/t)_{max}$ – maksymalna wartość mimośrodu względnego
  Jeżeli wartość mimośrodu względnego w dowolnym przekroju jest większa niż powyższa wartość graniczna, to ściana murowa nie spełnia warunków ze względu na nośność i przyjmuje się, że jej przekrój jest niewystarczający.
  Mimośród względny dla przekroju górnego i dolnego obliczany jest na podstawie efektywnej szerokości ściany oraz względem jej osi.
- ρ_n współczynnik redukcyjny uwzględniający wyboczenie. Domyślna wartość wynosi 1.0
- λ_C wartość smukłości, do której można pominąć mimośrody od pełzania



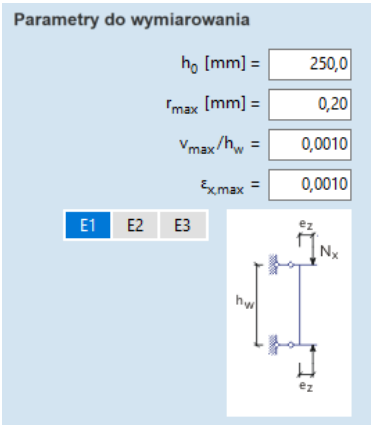
NTC

- $(e_d/t)_{max}$ – maksymalna wartość mimośrodu względnego,
- ρ współczynnik redukcyjny uwzględniający wyboczenie. Domyślna wartość wynosi 1.0



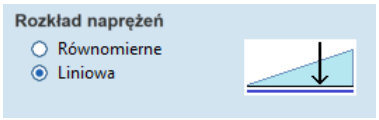
SIA 266

- h_0 to wartość sumy wysokości elementu murowego i warstwy zaprawy,
- r_{max} to dopuszczalna wielkość zarysowania,
- v_{max}/h_w to dopuszczalne względne przemieszczenie przekroi miarodajnych 1_v oraz 2_v (gdzie h_w to odległość pomiędzy tymi przekrojami). Maksymalne wartości zawarte są w normie w Tablicy 8.
- $\varepsilon_{x,max}$ maksymalna dopuszczalna wartość zgodnie z Tabelą 8 normy.
- warunki brzegowe *(E1 / E2 / E3)*.



Rozkład naprężeń

W przypadku płyt stropowych dochodzących z jednej strony (np. dla ścian zewnętrznych) można wybrać sposób rozkładu naprężeń w miejscu ich oparcia. Ustawienie rozkładu naprężeń ma znaczący wpływ na wartości dodatkowych momentów zginających.



Dodatkowy moment zginający wyznaczany jest na podstawie siły oddziałującej ze stropu i mimośrodu wynikającego z wypadkowej rozkładu naprężeń w miejscu oparcia płyty. Siła oddziałująca ze stropu obliczana jest jako różnica sił pionowych pomiędzy kolejnymi kondygnacjami.

☞ **Opcja rozkładu naprężeń jest aktywna tylko wtedy, gdy włączone zostało *Wyznaczanie dodatkowych momentów zginających* w oknie *Ściany murowe*.**

☞ **W przypadku najwyższej kondygnacji całkowita siła pionowa na górze ściany jest traktowana jako oddziaływanie z płyty stropodachu. Dla budynków wielokondygnacyjnych zaleca się takie poprowadzenie pasma wirtualnego, aby było one ciągłe przez wszystkie kondygnacje (o ile ściana jest również ciągła). W przeciwnym razie program nie będzie mógł prawidłowo wyznaczyć dodatkowych momentów zginających.**

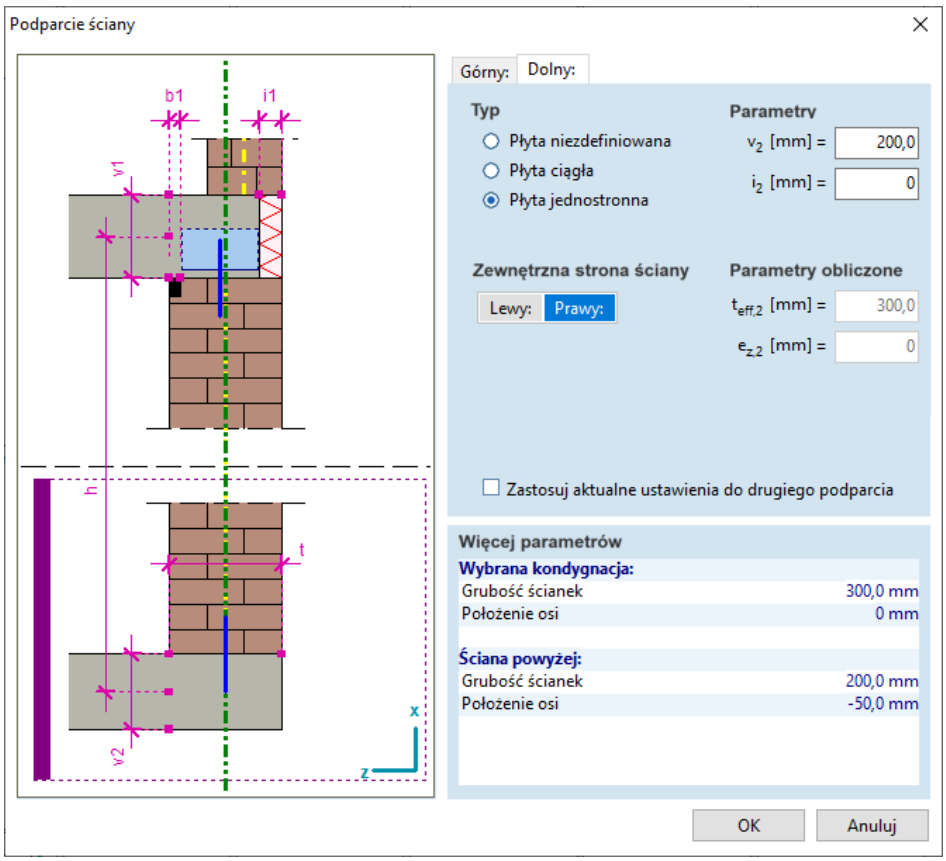
☞ **Dla normy SIA 266 można zastosować tylko równomierny rozkład naprężeń pod płytą.**

Sejsmika

Więcej informacji o współczynniku sił sejsmicznych znajduje się w rozdziale *4.10.24 Obciążenia sejsmiczne (moduł SE1)*.

Ustawienia podparcia

Parametry podparcia określane są w oknie *Podparcie ściany*:



Rysunki po lewej stronie okna przedstawiają górne i dolne podparcie ściany. Kliknięcie na górny lub dolny rysunek spowoduje przełączenie parametrów aktywnego podparcia, które mogą być edytowane po prawej stronie okna dialogowego. Fioletowy pasek obok rysunku oznacza aktywne podparcie.

☞ **Po najechaniu kursorem w pobliżu podparcia ściany w oknie *Wymiarowanie ściany murowej* pojawi się pomarańczowy prostokąt otaczający zakończenie płyty a kursor zmieni się w symbol dłoni. Poprzez dwukrotne kliknięcie możliwe jest wtedy otwarcie powyższego okna *Podparcie ściany*.**

Typ płyty

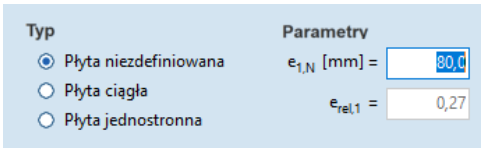
Możliwe są różne warianty:

- płyta niezdefiniowana,
- płyta ciągła,
- płyta jednostronna.

W zależności od wybranego wariantu dostępne są różne parametry do zdefiniowania. Dolny indeks liczbowy parametrów wskazuje na położenie podparcia (1 - górne; 2 - dolne).

Płyta niezdefiniowana

Opcji *Płyta niezdefiniowana* można użyć w sytuacji, gdy użytkownik nie chce definiować jej parametrów.



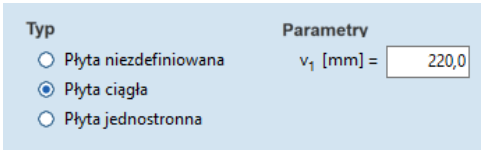
Parametry opcjonalne:

- $e_{1,N}$ to mimośród od siły oddziaływania z płyty (siła wyznaczana na podstawie skoku wartości siły pionowej w paśmie lub jej różnica pomiędzy kondygnacjami). Parametr dostępny tylko dla górnego podparcia ściany. Znak wartości mimośrodu jest skorelowany z układem lokalnym pasma wirtualnego.
- $e_{rel,1}$ to mimośród względny wyznaczany na podstawie grubości ściany (obliczony).

☞ **Obliczony mimośród względny jest rewidowany z wartością graniczną ustawioną w oknie *Parametry do wymiarowania* bez uwzględniania (innych) sił wewnętrznych, które zmniejszają mimośrodowość oddziaływania płyty.**

Podczas wymiarowania efektywna grubość ściany jest identyczna z rzeczywistą jej grubością dla górnego punktu charakterystycznego ściany. Zasada ta jest również prawdziwa dla dolnego punktu przekroju ściany, chyba że ściana znajdująca się poniżej analizowanej ściany ma mniejszą grubość. W takiej sytuacji program przyjmie do obliczeń grubość cieńszej ściany.

Płyta ciągła

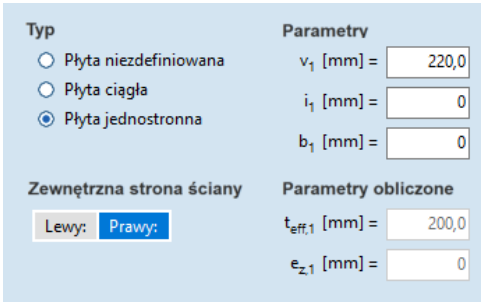


W przypadku *Płyty ciągłej* zakłada się, że oddziaływania od płyty stropowej na ścianę są osiowe. Przy wyznaczaniu wysokości kondygnacji uwzględniana jest grubość płyty stropowej.

Parametry opcjonalne:

- *v* to grubość płyty

Płyta jednostronna



Mimośrodowość oddziaływania płyty stropowej wyznaczana jest z uwzględnieniem parametrów podparcia (np. grubość izolacji cieplnej płyty) oraz typu rozkładu naprężeń (jak opisano powyżej). Przy wyznaczaniu wysokości kondygnacji uwzględniana jest grubość płyty stropowej.

Parametry opcjonalne:

- *v* to grubość płyty
- *i* to grubość izolacji cieplnej,
- *b* to szerokość elastycznej podkładki (tylko dla podparcia górnego),
- *Zewnętrzna strona ściany (Lewa/Prawa)* zgodnie z układem lokalnym wybranego pasma wirtualnego ustawia kierunek dochodzącej płyty,

Jeżeli zaznaczono opcję *Wyznaczanie dodatkowych momentów zginających* w oknie *Ściany murowane*, to program wyświetli zdefiniowany sposób rozkładu naprężeń pod płytą stropową na rysunku podparcia.

Parametry obliczone

Program oblicza i pokazuje następujące parametry:

- t_{eff} to efektywna szerokość oparcia płyty (uwzględniająca zdefiniowaną izolację cieplną i szerokość elastycznej podkładki),
- e_z to odległość między osią ściany a osią efektywnego przekroju styku.

Zastosuj aktualne ustawienia do drugiego podparcia

Zaznaczenie tej opcji spowoduje skopiowanie wszystkich ustawień aktualnego podparcia do drugiego podparcia ściany na danej kondygnacji.

Więcej parametrów

Pozostałe parametry powiązane, które nie zostały wyświetlone na rysunkach wyszczególnione są na liście w części *Więcej parametrów*.

Pasek narzędziowy

Zapisz w Bibliotece rysunków

Zapisuje aktualny rysunek w Bibliotece rysunków.

Parametry do wymiarowania ściany murowej

patrz opis powyżej

Ustawienia podparcia

patrz opis powyżej

Parametry do wymiarowania ściany murowej

patrz... *6.8.1.6 Wyniki*.

Rezultaty wymiarowania

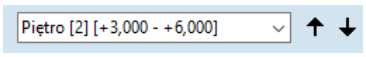
patrz... *6.8.1.6 Wyniki.*

Obliczenia wymiarujące

patrz... *6.8.1.6 Wyniki.*

Przełączanie pomiędzy kondygnacjami

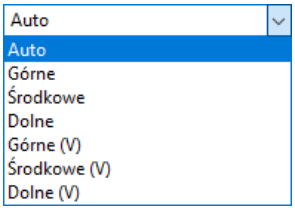
Analizowana kondygnacja może zostać zmieniona na poniższej liście. Przyciski strzałek pozwalają przełączać się pomiędzy nimi o jedną kondygnację w górę/dół.



Przypadek obciążenia / kombinacja

Na środkowej rozwijanej liście można wybrać konkretny przypadek obciążenia do weryfikacji ściany.

Interpretacja wyników dla kombinacji decydujących lub innych obwiedni



Po wybraniu kombinacji *Decydujących* lub *Obwiedni* zostaną wyświetlone wyniki, które przedstawiają największy stopień wykorzystania rozpatrując wszystkie przekroje miarodajne. Jest to domyślny tryb działania, tzw. *Auto*. Podczas wymiarowania ściany może wystąpić taka sytuacja, że maksymalne wykorzystanie dla każdego jej przekroju miarodajnego pochodzi od różnych kombinacji. Sytuacja ta może prowadzić do wątpliwości, jeżeli użytkownik nie przeanalizuje wyników dogłębnie.
Aby wyświetlić maksymalne wykorzystanie poszczególnych przekrojów miarodajnych, należy wybrać dany przekrój z rozwijanej listy.

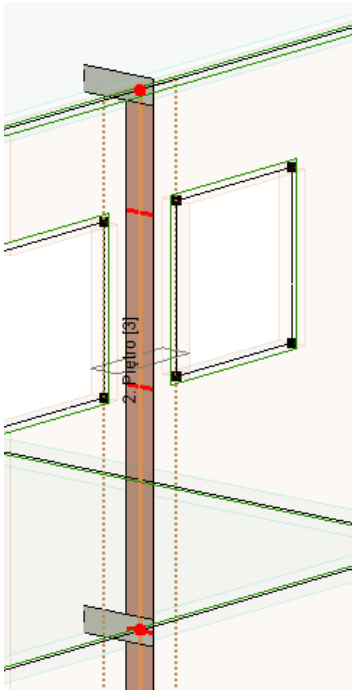
Opis kombinacji, która prowadzi do największego wykorzystania wyświetlany jest nad wykresami sił wewnętrznych.

☞ **Uwaga: Jeżeli różne kombinacje są wzięte do zwymiarowania ściany, to ciągły wykres sił wewnętrznych jest niemożliwy do narysowania i tylko wyniki powiązanych kombinacji mogą zostać porównane i zinterpretowane razem.**

Wyniki całościowe przekrojów mogą zostać porównane i sprawdzone równocześnie w tabeli *Rezultaty wymiarowania*.

☞ **Notka dostępna z ikony *Obliczenia wymiarujące* wykorzystuje przekrój miarodajny lub opcję *Auto* wskazaną na tej liście. Jeżeli *Obliczenia wymiarujące* zostały uruchomione z głównego okna *Ściany murowe*, to automatycznie przyjmowana jest opcja *Auto*.**

6.8.1.5 Wyświetlanie na modelu przekroju zwymiarowanych ścian



Na podstawie zdefiniowanych lub automatycznie przypisanych parametrów program wyświetla pionowy przekrój zwymiarowanej ściany na modelu globalnym. Schematyczne przedstawienie ściany murowej pozwala lepiej kontrolować przyjęte ustawienia jej podparć i ułatwia interpretację układu lokalnego pasma wirtualnego.

Czerwone kółeczka na osi pasma wirtualnego wskazują na granice poszczególnych kondygnacji zdefiniowanych w module do wymiarowania ścian murowych.

Grube czerwone kreski na rysunku muru wskazują natomiast położenie górnego i dolnego przekroju miarodajnego przyjętego do sprawdzenia ścinania.

6.8.1.6 Wyniki

Rezultaty wymiarowania ściany murowej są dostępne w programie na kilka sposobów.

Wyniki kontrolne

Podsumowanie wyników dla wybranej ściany i analizowanej kondygnacji przedstawione są w oknie *Wymiarowanie ściany murowej* na zakładce *Wyniki*. Jeżeli podczas wymiarowania wystąpiły jakieś błędy, to program poinformuje o nich i poda ich przyczynę.

W zależności od wybranej normy projektowej w wyglądzie listy występują pewne różnice. Dla normy *SIA* oraz *NTC* wyświetlane są dodatkowe wykresy.

Ze sprawdzeniem ścinania

W przypadku gdy opcja *Sprawdzenie ścinania* zostało włączona, użytkownik może wybrać wyniki dla poszczególnego typu sprawdzenia, z uwzględnieniem podsumowania wyników jak i szczegółowych ich wartości w poszczególnych przekrojach miarodajnych.

Pozioma lista symboli przekrojów na górze przedstawia wyniki wymiarowania w poszczególnych przekrojach *1*, *m*, *2* oraz 1_v, m_v, 2_v (**patrz**... *6.8.1.4 Okno weryfikacji oraz definicja podparć i parametrów do wymiarowania*). Oznaczenie symbolu przekroju przedstawione jest na szarym tle. W przypadku niespełnienia warunków normowych tło zostaje zmienione na kolor czerwony. Aktualnie zaznaczony i zweryfikowany przekrój wystarczający wyświetlany jest na niebieskim tle, w przeciwnym razie pozostaje czerwony. Kolor czcionki aktualnie wybranego przekroju jest zawsze białe.

Poniżej przedstawiono przykładową prezentację symboli dla wymiarowania wg Eurokodów:

Siły wewnętrzne | Wyniki

Podsumowanie	1	m	2	1_v	m_v	2_v

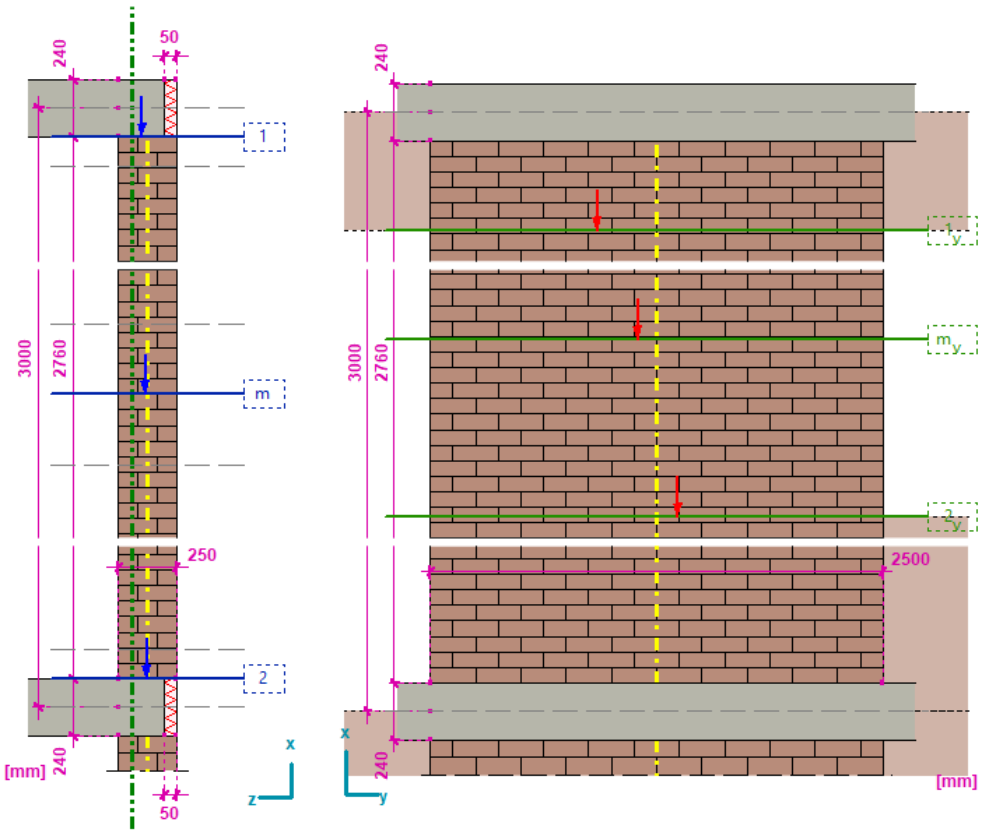
Podsumowanie wyników	
Przekrój poprzeczny	Środkowe (m)
Decydujący warunek	N-M_y
Maksymalny stopień wykorzystania	0,374
	spełniony!

Wymiarujące siły wewnętrzne	
N_{md}	-289,935 kN
V_{md}	-13,966 kN
$M_{md,y}$	-0,006 kNm
$M_{md,z}$	-3,012 kNm

N-M_y	Siła Normalna-Zginanie
$e_{m\,k,z}$	-11,7 mm
$\Phi_{m,y}$	0,696
N_{Rdm}	775,597 kN
Stopień wykorzystania	0,374

Wyniki wyświetlane na zakładce Przekrój pionowy lub Widok z boku

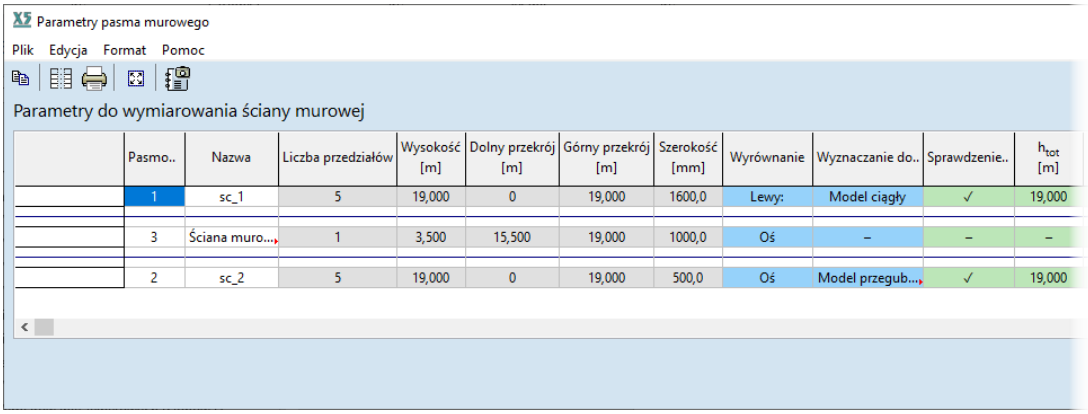
Dla każdego przekroju miarodajnego na jego linii odniesienia, program wskazuje punkt oddziaływania siły pionowej (wynikającej z sił wewnętrznych bez uwzględnienia mimośrodów początkowych i minimalnych).
Jeżeli nośność w danym przekroju jest wystarczająca, to strzałka ta ma kolor niebieski. W przeciwnym razie ma kolor czerwony. Jeżeli z jakiegoś powodu nośność nie może zostać wyznaczona, to strzałka w ogóle nie jest rysowana.



Tabele

Tabela globalnych ustawień do wymiarowania

Tabela globalnych ustawień do wymiarowania jest dostępna z głównego okna *Ściany murowe*. Tabela ta wyświetla parametry przypisanego do całego pasma wirtualnego.

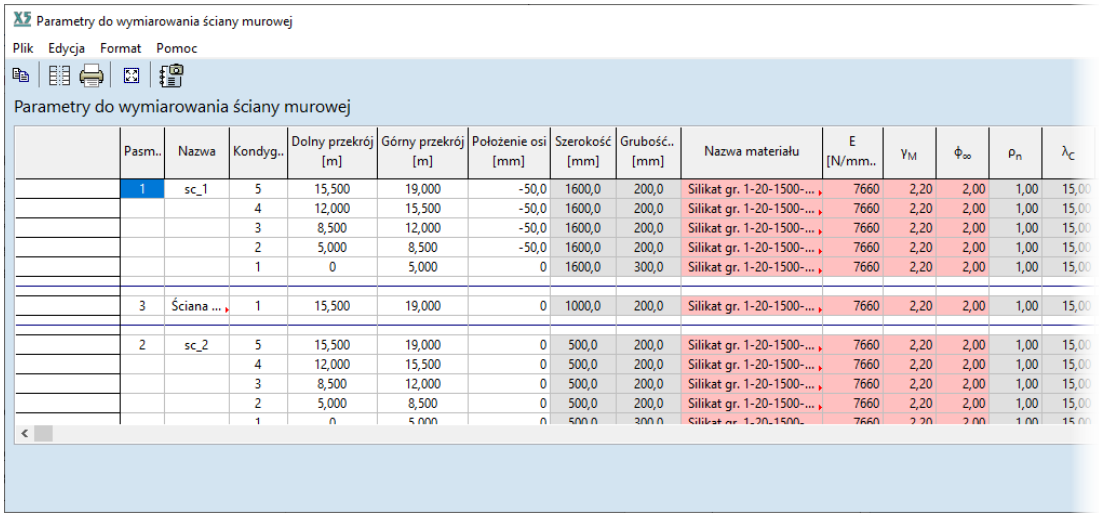


	Pasmo..	Nazwa	Liczba przedziałów	Wysokość [m]	Dolny przekrój [m]	Górny przekrój [m]	Szerokość [mm]	Wyrównanie	Wyznaczanie do..	Sprawdzenie..	h_{tot} [m]
	1	sc_1	5	19,000	0	19,000	1600,0	Lewy:	Model ciągły	✓	19,000
	3	Ściana muro...	1	3,500	15,500	19,000	1000,0	Oś	–	–	–
	2	sc_2	5	19,000	0	19,000	500,0	Oś	Model przegub...	✓	19,000

Tak jak inne tabele tak i ta może zostać wydrukowana i zapisana do raportu.

Parametry do wymiarowania ściany murowej

Tabela *Parametry do wymiarowania ściany murowej* dostępna jest zarówno z głównego okna *Ściany murowe* jak i *Wymiarowanie ściany murowej*. Tabela ta zawiera zdefiniowane przez użytkownika lub automatycznie przyjęte parametry do wymiarowania.



	Pasm..	Nazwa	Kondyg..	Dolny przekrój [m]	Górny przekrój [m]	Położenie osi [mm]	Szerokość [mm]	Grubość.. [mm]	Nazwa materiału	E [N/mm..]	γ_M	ϕ_∞	ρ_n	λ_c
	1	sc_1	5	15,500	19,000	-50,0	1600,0	200,0	Silikat gr. 1-20-1500-...	7660	2,20	2,00	1,00	15,00
			4	12,000	15,500	-50,0	1600,0	200,0	Silikat gr. 1-20-1500-...	7660	2,20	2,00	1,00	15,00
			3	8,500	12,000	-50,0	1600,0	200,0	Silikat gr. 1-20-1500-...	7660	2,20	2,00	1,00	15,00
			2	5,000	8,500	-50,0	1600,0	200,0	Silikat gr. 1-20-1500-...	7660	2,20	2,00	1,00	15,00
			1	0	5,000	0	1600,0	300,0	Silikat gr. 1-20-1500-...	7660	2,20	2,00	1,00	15,00
	3	Ściana ...	1	15,500	19,000	0	1000,0	200,0	Silikat gr. 1-20-1500-...	7660	2,20	2,00	1,00	15,00
	2	sc_2	5	15,500	19,000	0	500,0	200,0	Silikat gr. 1-20-1500-...	7660	2,20	2,00	1,00	15,00
			4	12,000	15,500	0	500,0	200,0	Silikat gr. 1-20-1500-...	7660	2,20	2,00	1,00	15,00
			3	8,500	12,000	0	500,0	200,0	Silikat gr. 1-20-1500-...	7660	2,20	2,00	1,00	15,00
			2	5,000	8,500	0	500,0	200,0	Silikat gr. 1-20-1500-...	7660	2,20	2,00	1,00	15,00

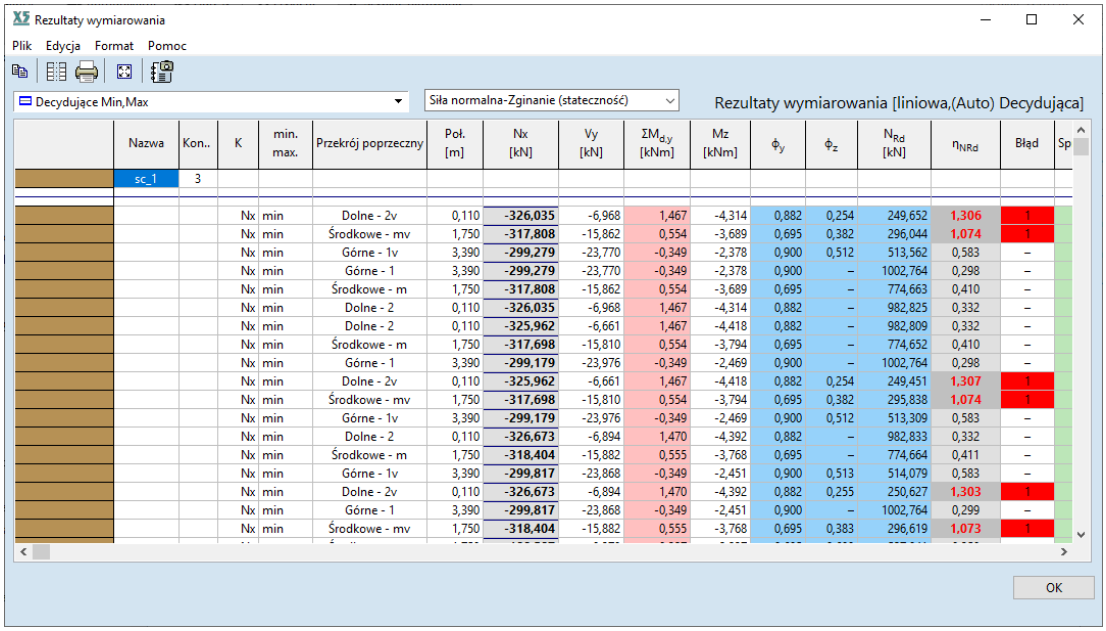
Tak jak inne tabele tak i ta może zostać wydrukowana i zapisana do raportu.

Rezultaty wymiarowania

Tabela *Rezultaty wymiarowania* może zostać otwarta zarówno z okna *Wymiarowanie ściany murowej* jak i *Ściany murowe*.

Po otwarciu okna z tabelą, w górnej części okna można wybrać z rozwijanej listy przypadek/kombinację/obwiednię/decydujące, na podstawie której ma zostać przeprowadzone wymiarowanie. Po wybraniu przypadku obciążenia okno automatycznie odświeży zawartość tabeli i uzupełni ją wynikami przeliczonymi dla danego przypadku.

Poniżej przedstawiono tabelę, gdy opcja *Sprawdzenie ścinania* jest aktywna.

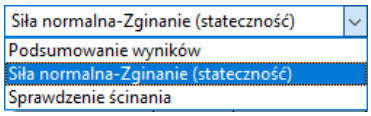


	Nazwa	Kon..	K	min. max.	Przekrój poprzeczny	Poł. [m]	Nx [kN]	Vy [kN]	$\Sigma M_{d,y}$ [kNm]	Mz [kNm]	ϕ_y	ϕ_z	N_{Rd} [kN]	η_{NRd}	Błąd	Sp
	sc_1	3														
			Nx	min	Dolne - 2v	0,110	-326,035	-6,968	1,467	-4,314	0,882	0,254	249,652	1,306	1	
			Nx	min	Środkowe - mv	1,750	-317,808	-15,862	0,554	-3,689	0,695	0,382	296,044	1,074	1	
			Nx	min	Górne - 1v	3,390	-299,279	-23,770	-0,349	-2,378	0,900	0,512	513,562	0,583	–	
			Nx	min	Górne - 1	3,390	-299,279	-23,770	-0,349	-2,378	0,900	–	1002,764	0,298	–	
			Nx	min	Środkowe - m	1,750	-317,808	-15,862	0,554	-3,689	0,695	–	774,663	0,410	–	
			Nx	min	Dolne - 2	0,110	-326,035	-6,968	1,467	-4,314	0,882	–	982,825	0,332	–	
			Nx	min	Dolne - 2	0,110	-325,962	-6,661	1,467	-4,418	0,882	–	982,809	0,332	–	
			Nx	min	Środkowe - m	1,750	-317,698	-15,810	0,554	-3,794	0,695	–	774,652	0,410	–	
			Nx	min	Górne - 1	3,390	-299,179	-23,976	-0,349	-2,469	0,900	–	1002,764	0,298	–	
			Nx	min	Dolne - 2v	0,110	-325,962	-6,661	1,467	-4,418	0,882	0,254	249,451	1,307	1	
			Nx	min	Środkowe - mv	1,750	-317,698	-15,810	0,554	-3,794	0,695	0,382	295,838	1,074	1	
			Nx	min	Górne - 1v	3,390	-299,179	-23,976	-0,349	-2,469	0,900	0,512	513,309	0,583	–	
			Nx	min	Dolne - 2	0,110	-326,673	-6,894	1,470	-4,392	0,882	–	982,833	0,332	–	
			Nx	min	Środkowe - m	1,750	-318,404	-15,882	0,555	-3,768	0,695	–	774,664	0,411	–	
			Nx	min	Górne - 1v	3,390	-299,817	-23,868	-0,349	-2,451	0,900	0,513	514,079	0,583	–	
			Nx	min	Dolne - 2v	0,110	-326,673	-6,894	1,470	-4,392	0,882	0,255	250,627	1,303	1	
			Nx	min	Górne - 1	3,390	-299,817	-23,868	-0,349	-2,451	0,900	–	1002,764	0,299	–	
			Nx	min	Środkowe - mv	1,750	-318,404	-15,882	0,555	-3,768	0,695	0,383	296,619	1,073	1	

Tabelę można zapisać i wykorzystać w raporcie lub od razu wydrukować.

W przypadku, gdy opcja *Sprawdzenie ścinania* jest aktywna, to dostępna jest również dodatkowa lista, która pozwala wybrać typ wyników.

Dla Eurokodu dostępne są następujące typy wyników (*Podsumowanie wyników, Siła normalna – Zginanie (stateczność), Sprawdzenie ścinania*).

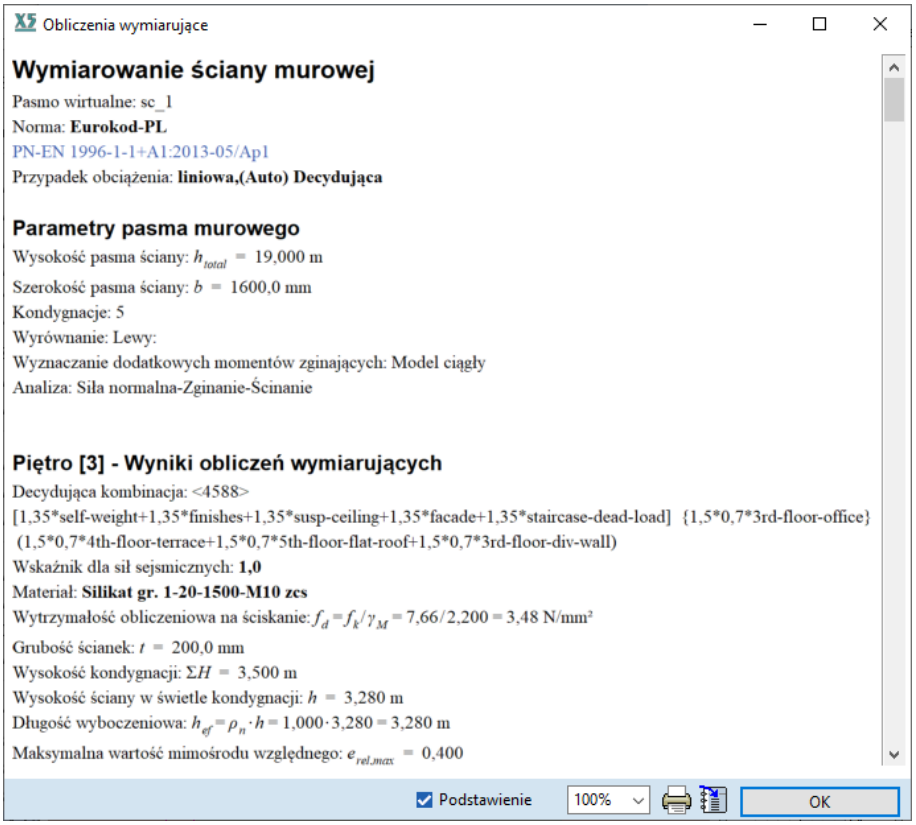


Obliczenia wymiarujące

Kliknięcie w ikonę *Obliczenia wymiarujące* wyświetli szczegółową notkę z przebiegu wymiarowania ściany. Obliczenia te mogą zostać zapisane w raporcie. *Obliczenia wymiarujące* dostępne są zarówno w oknie *Wymiarowanie ściany murowej* jak i *Ściany murowe*.

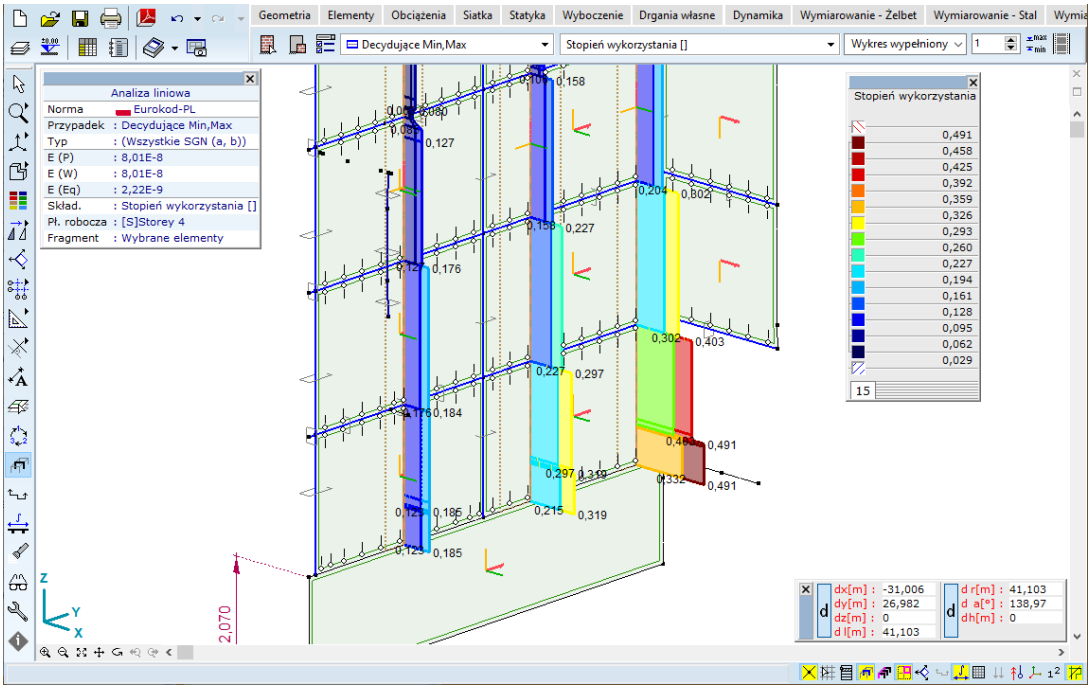
W przypadku uruchomienia polecenia z okna dialogowego *Ściany murowe* notka będzie zawierała wskazane przez użytkownika kondygnacje (okno z wyborem pojawi się po kliknięciu w ikonę polecenia). W przypadku uruchomienia polecenia z okna dialogowego *Wymiarowanie ściany murowej* pojawi się tylko notka dla aktualnie analizowanej kondygnacji.
Jeżeli opcja *Sprawdzenie ścinania* została włączona, to notka standardowo będzie miała większą objętość z racji na bardziej złożony tok obliczeń. Użytkownik w takiej sytuacji ma jednak możliwość wyboru jakie elementy sprawdzenia mają się pojawić w notce (pytanie o składniki notki pojawi się po kliknięciu w ikonę *Obliczenia wymiarujące*).

Jeżeli miarodajne przekroje górne (*1* / 1_v), środkowe (*m* / m_v) lub dolne (*2* / 2_v) pokrywają się, to przedstawione wyniki dotyczą tylko decydującego z nich.



Stopień wykorzystania ścian murowych

Jeżeli parametry ściany murowej zostały przypisane do pasma wirtualnego oraz została przeprowadzona analiza statyczna (liniowa lub nieliniowa) lub dynamiczna, to na liście z komponentami wyników w oknie głównym programu na zakładce *Wymiarowanie – Mur* pojawi się pozycja *Stopień wykorzystania*.



Jeżeli wyznaczenie stopnia wykorzystania na którejś z kondygnacji będzie niemożliwe, to program na tej kondygnacji wyświetli czerwoną, przerywaną linię odłożoną po drugiej stronie wykresów.

Wyniki w Przeglądarce tabel

Wyniki wymiarowania dostępne są również w Przeglądarce tabel (**patrz...** *2.9 Przeglądarka tabel*), z wyszczególnieniem wyników dla poszczególnych ścian.

6.8.1.7 Zasady wymiarowania

Weryfikacja

Program może przeprowadzić dwa typy obliczeń wymiarujących z następującymi ograniczeniami:

- **Wymiarowanie ścian murowych poddanych głównie obciążeniom pionowym**
  Przy tych obliczeniach brany pod uwagę jest tylko mimośród z płaszczyzny ściany (niezależnie od przyjętej szerokości pasma ściany mimośrody uwzględniane są tylko na kierunku prostopadłym do płaszczyzny ściany, mimośrody dwukierunkowe nie są obliczane). Sprawdzenie ścinania nie jest uwzględniane.

  Weryfikacja przeprowadzana jest w tzw. miarodajnych przekrojach, oznaczonych jako *1*, *m* oraz *2*.

- **Wymiarowanie ścian usztywniających, które zawiera kompleksową analizę stateczności z uwzględnieniem mimośrodów siły pionowej zarówno w płaszczyźnie jak i z płaszczyzny ściany oraz ścinanie w jej płaszczyźnie.**
  Weryfikacja dotyczy przekrojów miarodajnych oznaczonych jako 1_v, m_v oraz 2_v i jest przeprowadzana tylko wtedy, gdy aktywowane zostanie sprawdzenie ścinania.

Pozostałe założenia

- Wytrzymałość na rozciąganie muru w kierunku prostopadłym do spoiny wspornej wynosi zero
- Tylko ściany z pojedynczą warstwą elementów murowych (wyklucza się ściany wielowarstwowe) oraz ściany o stałej grubości na wysokości kondygnacji mogą być wymiarowane

Jeżeli model globalny nie uwzględnia mimośrodowych oddziaływań elementów (takich jak licowanie murów o różnej grubości, ustawienia podparć ściany i jego wpływ na rozkład naprężeń od płyty), to dodatkowe momenty zginające mogą zostać uwzględnione tylko za pomocą uproszczonych modeli. Zmiany sztywności wynikające z powyższych oddziaływań mimośrodowych nie są uwzględniane.

Wyznaczanie obliczeniowych sił wewnętrznych

Siły wewnętrzne pasma wirtualnego obliczane są poprzez całkowanie sił wewnętrznych obszaru, z uwzględnieniem całkowitej szerokości pasma.

Pobierana do wymiarowania obliczeniowa siła podłużna, siła tnąca oraz moment zginający w płaszczyźnie są równe odpowiadającym im siłom z pasma wirtualnego (N_x, V_y oraz M_z).

Wartość momentu zginającego M_y działającego z płaszczyzny ściany jest sumą wartości momentu z pasma wirtualnego oraz dodatkowego momentu zginającego wyznaczone za pomocą jednego z modeli uproszczonych.

Dostępne są dwa modele uproszczone:

Przegubowy:

Model prostej belki podpartej na dole przegubowo. Belki podparte są podporami bocznymi w poziomie każdej kondygnacji.

Ciągły:

Model belki ciągłej obejmującej wszystkie ściany na kondygnacjach. Ściany podparte są podporami bocznymi na każdej kondygnacji. Zakłada się, że ściana najniższej kondygnacji jest także utwierdzona w podstawie.

☞ **W powyższych modelach uproszczonych pod uwagę brane są tylko liniowe charakterystyki sztywności ścian. Ponadto zakłada się, że sztywność jest stała na całej kondygnacji. Różne sztywności dochodzących płyt stropowych oraz podpór bocznych w tych modelach nie mogą być uwzględniane.**

☞ **Dla normy projektowej *SIA* dostępny jest tylko przegubowy model uproszczony.**

Warunki normowe

Normowe warunki weryfikacyjne dostępnych norm opisane zostały w następnych rozdziałach *6.8.1.8 Wymiarowanie ściany murowej wg Eurokodu 6*, *6.8.1.9 Wymiarowanie ściany murowej wg NTC*, *6.8.1.10 Wymiarowanie ściany murowej wg SIA.*

6.8.1.8 Wymiarowanie ściany murowej wg Eurokodu 6

Konwencja oznaczania

Podczas wymiarowania wykorzystywanych jest 6 różnych przekroi miarodajnych:

- przekroje oznaczone jako *1*, *m*, *2* są identyczne z przekrojami opisanymi w rozdziale *6.1* Eurokodu (przekrój górny, środkowy i dolny)
- przekroje 1_v, m_v, 2_v to również przekroje na górze, w środku i na dole, ale używane podczas sprawdzenia na ściany na ścinanie

Sprawdzenie stateczności

Dla przekroi oznaczonych jako *1*, *m* oraz *2* w obliczeniach uwzględniany jest tylko mimośród siły z płaszczyzny ściany.

Natomiast w przekrojach 1_v, m_v, 2_v uwzględniane są dwa mimośrody (z płaszczyzny i w płaszczyźnie ściany).

Poniżej omówiono te dwa przypadki razem.

Zasady ogólne

Program przeprowadza następujące sprawdzenia uwzględniając ogólne zasady normy (rozdział 6.1):

Nośność ściany w danym przekroju jest spełniona, gdy

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

i spełnione są pozostałe wymagania normowe.

Do wyznaczenia nośności obliczeniowej ściany na siły pionowe stosowany jest poniższy wzór:

$$\mathrm{N}_{Rd} = \Phi_y \cdot \Phi_z \cdot t \cdot b \cdot f_d$$

gdzie Φ_y oraz Φ_z to redukcyjne współczynniki nośności odpowiednio dla kierunku -y- oraz -z- (dla przekroi *1*, *m* oraz *2* współczynnik Φ_z = 1, ponieważ mimośród w płaszczyźnie ściany nie jest uwzględniany).

Współczynnik redukcyjny nośności u góry i u dołu ściany obliczany jest dla efektywnej grubości ściany (t_{eff} - patrz ustawienia podparć ściany).

Dla przypadku ze sprawdzeniem ścinania, jeżeli przekrój górny (1_v) lub dolny (2_v) jest dopasowany do rzędnej otworu ściennego, a odległość pomiędzy przekrojem (1_v lub 2_v) a górną lub dolną krawędzią ściany jest większy niż szerokość ściany, to przekrój taki traktowany jest jako przekrój środkowy. Przekrój m_v jest zawsze traktowany jako przekrój środkowy.

Wytrzymałość obliczeniowa muru na ściskanie obliczana jest ze wzoru:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Jeżeli powierzchnia przekroju pasma ściany jest mniejsza niż 0,1 m^2 to obliczeniową wytrzymałość na ściskanie należy zmniejszyć wg wzoru:

$$\mathrm{f}_{d,red} = f_d \cdot (0{,}7 + 3A)$$

gdzie *A* obciążone pole przekroju poprzecznego ściany wyrażone w m^2.

W module brane jest pod uwagę tylko pole przekroju pasma wirtualnego, niezależnie od całkowitej szerokości zdefiniowanego na modelu obszaru murowego.

Weryfikacja u góry lub u dołu ściany

Mimośrody obliczeniowe, współczynniki redukcyjne oraz nośność pionowa obliczane są w przekrojach w następujący sposób:

Mimośród z płaszczyzny

Mimośród obliczeniowy wyznaczany jest z poniższego równania:

$$e_{i,z} = \frac{M_{id,y}}{N_{id}} + e_{he,z} + e_{init,z} \geq 0{,}05 \cdot t$$

gdzie $e_{i,z}$ to mimośród u góry (i=1) lub u dołu (i=2) ściany.

Program nie rozgranicza mimośrodów ze względu na rodzaju obciążenia (pionowe/poziome) i w obliczeniach wskazuje ich wartość sumaryczną jako e_0 (mimośród sił wewnętrznych obliczony względem osi ściany):

$$e_{0,z} = \frac{M_{id,y}}{N_{id}} + e_{he,z}$$

Jeżeli ze względu na ustawienia podparcia ściany (wielkości styku) nie pracuje cała szerokość przekroju ściany, to program podczas weryfikacji korzysta ze zmniejszonej grubości ściany (t_{eff}). W takim przypadku mimośród obliczany jest do osi efektywnej grubości ściany:

$$e_{0,i,z} = e_{i,z} - \Delta z$$

gdzie Δz to odległość od osi ściany do osi efektywnej grubości ściany.

Jeżeli grubość ściany t nie jest zredukowana ze względu na ustawienia jej podparć to $t_{eff} = t$ oraz $e_{0,i,z} = e_{0,z}$.

Uwzględniając powyższe zasady normowe i uwagi, obliczeniowy mimośród obliczany jest w module wg poniższego wyrażenia:

$$e_{i,z} = e_{0,i,z} + e_{init,z} \geq 0{,}05 \cdot t_{eff}$$

Mimośród początkowy $e_{init,z}$ mierzony jest przy założeniu niekorzystnego działania względem osi efektywnej grubości muru, a minimalna wartość mimośrodu obliczana jest dla t_{eff}.

Współczynnik redukcyjny nośności obliczany jest jako:

$$\Phi_{i,y} = 1 - \frac{2 \cdot e_{i,z}}{t_{eff}}$$

Mimośród w płaszczyźnie

Mimośród obliczeniowy wyznaczany jest z poniższego równania:

$$e_{i,y} = e_{0,i,y} + e_{init,y} + e_{\Delta 2,y}$$

gdzie $e_{i,y}$ to mimośród siły osiowej w płaszczyźnie ściany po kierunku -*y*-.

Mimośród początkowy $e_{init,y}$ obliczany jest zgodnie z zasadami opisanymi w rozdziale 5.3 normy EN 1996-1-1 uwzględniając początkowe pochylenie obiektu ustawione w globalnych parametrach wymiarowania pasma murowego.

Wartość mimośrodu drugiego rzędu $e_{\Delta 2,y}$ jest obliczana wg załącznika B normy EN 1996-1-1.

Te dodatkowe mimośrody są uwzględniane po kierunku niekorzystnym.

Współczynnik redukcyjny nośności $\Phi_{i,z}$ obliczany jest jako:

$$\Phi_{i,z} = 1 - \frac{2 \cdot e_{i,y}}{b}$$

gdzie *b* to całkowita szerokość analizowanego pasma.

W przypadku stosowania kombinacji sejsmicznych program nie wyznacza automatycznie mimośrodów drugiego rzędu. Mogą one zostać uwzględnione przy pomocy wskaźników stateczności plastycznej (plastic stability index), które dostępne są w tabeli *Wrażliwości sejsmicznej kondygnacji* i postępując zgodnie z odpowiednimi przepisami normy *EN 1998-1-1*.

Nośność pionowa

Uwzględniając całkowitą szerokość pasma *b*, wzór na nośność pionową ściany ma postać:

$$\mathrm{N}_{Rd,i} = \Phi_{i,y} \cdot \Phi_{i,z} \cdot t_{eff} \cdot b \cdot f_d$$

Weryfikacja w środku ściany

Mimośrody obliczeniowe, współczynniki redukcyjne oraz nośność pionowa obliczane są w przekrojach w następujący sposób:

Mimośród z płaszczyzny

Mimośród obliczeniowy wyznaczany jest z poniższego równania:

$$e_{m,z} = \frac{M_{md,z}}{N_{md}} + e_{hm,z} \pm e_{init,z}$$

Program nie rozgranicza mimośrodów ze względu na rodzaju obciążenia (pionowe/poziome) i w obliczeniach wskazuje ich wartość sumaryczną jako e_0 (mimośród sił wewnętrznych obliczony względem osi ściany):

$$e_{0,m,z} = \frac{M_{md,y}}{N_{md}} + e_{hm,z}$$

Stąd obliczeniowy mimośród ma postać:

$$e_{m,z} = e_{0,m,z} \pm e_{init,z}$$

Ostatecznie mimośród w połowie wysokości ściany przyjmuje postać:

$$e_{mk,z} = e_{m,z} + e_{k,z} \geq 0{,}05 \cdot t$$

gdzie $e_{k,z}$ to mimośród wywołany przez pełzanie, ale brany pod uwagę tylko gdy smukłość ściany przekracza wartość graniczną λ_C:

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} > \lambda_c$$

Co w takim przypadku daje wzór:

$$e_{k,z} = 0{,}002 \cdot \phi_\infty \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{t \cdot e_{m,z}}$$

Wartość λ_C może być określona w załączniku krajowym (w programie jej wartość może być też w razie potrzeby zmieniona).

Dla holenderskiego załącznika krajowego ***NEN-EN 1996-1-1*** uwzględniany jest poniższy warunek podczas wyznaczania $e_{mk,z}$

$$e_{mk,z} = \max\left\{e_{m,z} + e_{k,z};\ 0{,}05 \cdot t; \frac{h_{ef}}{300}; 10\ \mathrm{mm}\right\}$$

Współczynnik $\Phi_{m,y}$ jest obliczany zgodnie z załącznikiem G (wzory G1 do G4) normy *EN 1996-1-1*.

Mimośród w płaszczyźnie

Mimośród obliczeniowy wyznaczany jest z poniższego równania:

$$e_{m,y} = e_{0,m,y} + e_{init,y} + e_{\Delta 2,y}$$

gdzie $e_{m,y}$ to mimośród siły osiowej w płaszczyźnie ściany po kierunku -*y*-.

Mimośród początkowy $e_{init,y}$ obliczany jest zgodnie z zasadami opisanymi w rozdziale 5.3 normy EN 1996-1-1 uwzględniając początkowe pochylenie obiektu ustawione w globalnych parametrach wymiarowania pasma murowego.

Wartość mimośrodu drugiego rzędu $e_{\Delta 2,y}$ jest obliczana wg załącznika B normy EN 1996-1-1.

Te dodatkowe mimośrody są uwzględniane po kierunku niekorzystnym.

Współczynnik redukcyjny nośności $\Phi_{m,z}$ obliczany jest jako:

$$\Phi_{m,z} = 1 - \frac{2 \cdot e_{m,y}}{b}$$

gdzie *b* to całkowita szerokość analizowanego pasma.

W przypadku stosowania kombinacji sejsmicznych program nie wyznacza automatycznie mimośrodów drugiego rzędu. Mogą one zostać uwzględnione przy pomocy wskaźników stateczności plastycznej (plastic stability index), które dostępne są w tabeli *Wrażliwości sejsmicznej kondygnacji* i postępując zgodnie z odpowiednimi przepisami normy *EN 1998-1-1*.

Nośność pionowa

Uwzględniając całkowitą szerokość pasma *b*, wzór na nośność pionową ściany ma postać:

$$N_{Rd,i} = \Phi_{m,y} \cdot \Phi_{m,z} \cdot t \cdot b \cdot f_d$$

Warunki do wymiarowania

Sprawdzane są poniższe warunki:

- smukłość ściany $\lambda \leq 27$
- minimalna grubość ściany zgodnie z załącznikiem krajowym. Wartość sprawdzana tylko wtedy, gdy wartość ta została określona w danym załączniku. Program sprawdza tylko tę wartość, ale minimalna grubość może zależeć również od typu ściany.
- minimalna powierzchnia ściany wynosi 0,04 m^2.
- maksymalny mimośród względny nie jest jednoznacznie określony w normie. W programie jego wartość może być dowolnie ustawiona (**patrz**... *3.3.7 Normy projektowe*). Domyślnie przyjęta wartość $e_{rel,max}$ = 0,40 i może zostać przyjęta tylko jedna wartość, która będzie uwzględniana we wszystkich trzech weryfikowanych przekrojach.
  Sprawdzenie ma postać:
  - u góry (*i*=1) lub u dołu (*i*=2):
  - $e_{rel,i} = \frac{e_i}{t_{eff}} \leq e_{rel,max}$środku wysokości ściany:

  $e_{rel,m} = \frac{e_{mk}}{t} \leq e_{rel,max}$mośród względny sprawdzany jest w obu kierunkach (*-y-* oraz *-z-*).

Sprawdzenie ścinania

Nośność na ścinanie obliczane jest na każdej kondygnacji w przekrojach 1_v, m_v, 2_v uwzględniając poniższe reguły.

W normie EN 1996-1-1 ogólny wzór na sprawdzenie ścinania (rozdział *6.2*, *6.13*) nie dostarcza jednoznacznej interpretacji odnośnie do sposobu uwzględnienia mimośrodu siły pionowej działającej z płaszczyzny. Z tego powodu w programie wykonywane są dwa różne sprawdzenia (liniowe i interakcyjne), z których niższa wartość nośności traktowana jest jako decydująca. W notce z obliczeń zawarte jest tylko sprawdzenie decydujące.

Liniowe sprawdzenie ścinania

W przypadku metody *Liniowego sprawdzenia ścinania* nośność jest obliczana ze wzoru zawartego w rozdziale *6.2* normy *EN 1996-1-1*, ale mimośród siły osiowej z płaszczyzny ściany jest pomijany (zakłada się, że wynosi 0)

$$V_{Rd,i} = f_{vd} \cdot t \cdot l_c$$

$V_{Rd,i}$ to nośność na ścinanie w górnym (1_v), środkowym (m_v) lub dolnym (2_v) przekroju miarodajnym (indeks *i* wskazuje położenie przekroju: *1, m, 2*),

f_{vd} to wytrzymałość obliczeniowa muru na ścinanie, wyznaczana na podstawie średniej wartości naprężeń pionowych nad ściskaną częścią ściany,

t to grubość ściany,

l_c to długość ściskanej części ściany przy założeniu liniowego rozkładu naprężeń.

Interakcyjne sprawdzenie ścinania

W przypadku metody *Interakcyjnego sprawdzenia ścinania* uwzględniane są mimośrody w obu kierunkach, a długość ściskanej części ściany jest obliczana przy założeniu stałego rozkładu naprężeń:

$$V_{Rd,i} = f_{vd} \cdot t_{nom} \cdot l_c$$

$V_{Rd,i}$ to nośność na ścinanie w górnym (1_v), środkowym (m_v) lub dolnym (2_v) przekroju miarodajnym (indeks *i* wskazuje położenie przekroju: *1, m, 2*),

f_{vd} to wytrzymałość obliczeniowa muru na ścinanie, wyznaczana na podstawie średniej wartości naprężeń pionowych nad ściskaną częścią ściany,

t_{nom} to szerokość ściskanej części ściany z uwzględnieniem mimośrodu z płaszczyzny ściany,

l_c to długość ściskanej części ściany obliczonej dla mimośrodu działającego w płaszczyźnie ściany,

f_{vd} to wytrzymałość obliczeniowa muru na ścinanie, wyznaczana na podstawie średniej wartości naprężeń pionowych nad ściskaną częścią ściany.

Powyższe wartości t_{nom} oraz l_c bazują na wynikach uzyskanych przy sprawdzeniu stateczności:

$$l_c = \Phi_{i,z} \cdot b$$

$$t_{nom} = \Phi_{i,y} \cdot t$$

☞ **Jeżeli podczas obliczeń za pomocą powyższych metod przekrój miarodajny 1_v lub 2_v jest rozpatrywany jako górny lub dolny (odległość między górnym/dolnym poziomem ściany a położeniem przekroju jest mniejsze niż szerokość ściany), to w obliczeniach przyjmowana jest mniejsza wartość efektywnej grubości ściany t_{eff}.**

Uwagi do wyników sprawdzenia ścinania

Różnica w wynikach pomiędzy powyższymi metodami jest zwykle niewielka, ale zależy ona od wielu czynników. W przypadku metody interakcyjnej powierzchnia strefy ściskanej jest mniejsza, ale obliczeniowa nośność na ścinanie może być większa z powodu większej wartości średnich naprężeń pionowych.

Wartość obliczeniowej wytrzymałości na ścinanie jest ograniczona przez graniczne wartości określone w załącznikach krajowych normy *EN 1996-1-1*.

Sprawdzenie interakcyjne daje zazwyczaj nośność decydującą (niższą).

Komunikaty błędów

Poniższe komunikaty mogą pojawić się w wynikach:

Komunikat błędu:	*Interpretacja błędu:*
Niespełniony!	Nośność ściany (lub jej odcinka) jest niewystarczająca.
Siła znajduje się poza przekrojem poprzecznym.	Punkt oddziaływania siły pionowej jest poza przekrojem.
Mimośród względny jest za duży.	Mimośród względny w przekroju przekracza wartość graniczną.
Przekrój poprzeczny jest rozciągany.	Przekrój jest rozciągany i nośność pionowa nie może zostać obliczona.
Ściskająca siła osiowa wynosi zero.	Ściskająca siła osiowa w przekroju jest pomijalnie mała (mniejsza niż 0,1kN).
Smukłość jest za duża.	Smukłość ściany przekracza normową wartość dopuszczalną.
Grubość ściany jest niewystarczająca.	Grubość ściany jest mniejsza niż wartość graniczna wg załącznika krajowego.
Przekrój ściany jest niewystarczający.	Pole powierzchni przekroju ściany (przekrój pasma wirtualnego) jest mniejsze niż normowa wartość dopuszczalna.

6.8.1.9 Wymiarowanie ściany murowej wg NTC

Zasady ogólne

Podobnie jak w *Eurokodzie 6*, ogólne zasady projektowanie wg *NTC 2018* wskazują na konieczność weryfikacji ściany w trzech przekrojach (górnym, środkowym i dolnym).

W normie tej zakłada się, że ściana jest przegubowo podparta na górze i na dole. Użytkownik musi stworzyć model, który prawidłowo odzwierciedla założenia przyjęte w normie.

Konwencja oznaczania

Podczas wymiarowania wykorzystywanych jest 6 różnych przekroi miarodajnych:

- przekroje miarodajne oznaczone jako *1*, *m*, *2* są identyczne z tymi opisanymi w rozdziale *6.1 Eurokodu* (przekrój górny, środkowy i dolny);
- przekroje oznaczone jako 1_v, m_v, 2_v to przekroje górne, środkowe i dolne, używane przy sprawdzaniu ścinania.

Sprawdzenie stateczności

Dla przekroi oznaczonych jako *1*, *m*, *2* w obliczeniach uwzględniany jest tylko mimośród siły z płaszczyzny ściany. Natomiast w przekrojach 1_v, m_v, 2_v uwzględniane są dwa mimośrody (z płaszczyzny i w płaszczyźnie ściany). Poniżej omówiono te dwa przypadki razem.

Nośność ściany w danym przekroju jest spełniona, gdy

$$N_d \le N_r$$

i spełnione są pozostałe wymagania normowe.

Do wyznaczenia obliczeniowej nośności pionowej ściany stosowany jest poniższy wzór:

$$\mathrm{N}_r = f_{d,rid} \cdot t \cdot b$$

a

$$\mathrm{f}_{d,rid} = \Phi_y \cdot \Phi_z \cdot f_d$$

gdzie Φ_y oraz Φ_z są współczynnikami redukcyjnymi powiązanymi odpowiednio z osią *-y-* oraz *-z-* (dla przekroi *1*, m,*2* współczynnik Φ_z = 1, ponieważ mimośród w płaszczyźnie ściany nie jest uwzględniany).

Współczynnik redukcyjny nośności u góry i u dołu ściany obliczany jest dla efektywnej grubości ściany (t_{eff} - patrz ustawienia podparć ściany).
Wytrzymałość obliczeniowa muru na ściskanie obliczana jest ze wzoru:

$$\mathrm{f}_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Weryfikacja u góry lub u dołu ściany

Mimośrody obliczeniowe, współczynniki redukcyjne oraz nośność pionowa obliczane są w przekrojach w następujący sposób:

Mimośród z płaszczyzny

W normie *NTC* mimośród obliczeniowy wyznaczany jest z poniższego równania:

$$e_{1,z} = |e_{s,z}| + e_{a,z}$$

gdzie $e_{s,z}$ to mimośród siły pionowej w lokalnym kierunku *-z-*.

Program nie rozgranicza mimośrodów ze względu na rodzaju obciążenia (pionowe/poziome) i w obliczeniach wskazuje ich wartość sumaryczną jako $e_{0,z}$.

Jeżeli ze względu na ustawienia podparcia ściany (wielkości styku) nie pracuje cała szerokość przekroju ściany, to program podczas weryfikacji korzysta ze zmniejszonej grubości ściany (t_{eff}). W takim przypadku mimośród obliczany jest do osi efektywnej grubości ściany:

$$e_{0,1,z} = e_{0,z} - \Delta z$$

gdzie Δz to odległość od osi ściany do osi efektywnej grubości ściany.
Jeżeli grubość ściany t nie jest zredukowana ze względu na ustawienia jej podparć to $t_{eff} = t$ oraz $e_{0,i,z} = e_{0,z}$.

Uwzględniając powyższe zasady normowe i uwagi, obliczeniowy mimośród obliczany jest w module wg poniższego wyrażenia:

$$e_{1,z} = e_{0,1,z} + e_{a,z}$$

gdzie $e_{a,z} = \frac{h}{200}$(*h* to wysokość kondygnacji).

Mimośród początkowy $e_{a,z}$ mierzony jest przy założeniu niekorzystnego działania względem osi efektywnej grubości muru (t_{eff}).

Na podstawie parametrów początkowych współczynnik $\Phi_{i,z}$ obliczany jest przez liniową interpolację tabelarycznych wartości podanych w normie projektowej (patrz poniżej).

Mimośród względny: $\mathrm{e}_{rel,1,z} = \frac{e_{1,z}}{t_{eff}}$, gdzie t_{eff} to efektywna grubość ściany.

Współczynnik mimośrodu *m* obliczany jest ze wzoru: $m = 6 \cdot e_{rel,1,z}$,

a smukłość: $\lambda = \frac{h_0}{t}$, gdzie $h_0 = \varrho \cdot h$.

Mimośród w płaszczyźnie

Mimośród w płaszczyźnie ściany oraz redukcyjny współczynnik nośności obliczane są wg zasad *EN 1996-1-1* (patrz powyżej).

Nośność pionowa

Uwzględniając całkowitą szerokość pasma *b*, wzór na nośność pionową ściany ma postać:

$$\mathrm{N}_r = \Phi_{1,y} \cdot \Phi_{1,z} \cdot f_d \cdot t_{eff} \cdot b$$

Weryfikacja w środku ściany

Mimośrody obliczeniowe, współczynniki redukcyjne oraz nośność pionowa obliczane są w przekrojach w następujący sposób:

Mimośród z płaszczyzny

Mimośród obliczeniowy wyznaczany jest z poniższego równania:

$$e_{2,z} = \frac{e_{1,z}}{2} + e_{v,z}$$

gdzie

$e_{2,z}$ to obliczeniowy mimośród na górze w lokalnym kierunku *-z-*,

$e_{v,z}$ to mimośród obliczony od sił poziomych.

Program nie rozgranicza mimośrodów ze względu na rodzaju obciążenia (pionowe/poziome) i w obliczeniach wskazuje ich wartość sumaryczną jako $e_{0,z}$.

Stąd obliczeniowa wartość mimośrodu obliczana jest ze wzoru:

$$e_{2,z} = e_{0,z} + \frac{e_{a,z}}{2} \geq e_{a,z}$$

gdzie $e_{a,z} = \frac{h}{200}$

W powyższym wzorze do obliczeń przyjmowana jest połowa wartości $e_{a,z}$ ze względu na przegubowy model, który jest zalecany w normie.

Jeżeli użytkownik zastosuje przegubowe zwolnienia krawędziowe na modelu globalnym, a do wyznaczenia dodatkowych momentów zginających wybierze uproszczony model przegubowy, to otrzyma z tego wzoru dokładnie takie same wartości jakie zaleca norma. Użytkownik programu decyduje o przyjętym modelu obliczeniowym.

Na podstawie parametrów początkowych współczynnik $\Phi_{2,z}$ obliczany jest przez liniową interpolację tabelarycznych wartości podanych w normie projektowej (patrz poniżej).

Mimośród względny: $e_{rel,2,z} = \frac{e_{2,z}}{t}$

gdzie *t* to całkowita grubość ściany.

Współczynnik mimośrodu *m* obliczany jest ze wzoru $m = 6 \cdot e_{rel,2,z}$,

a smukłość: $\lambda = \frac{h_0}{t}$, gdzie $h_0 = \varrho \cdot h$.

Mimośród w płaszczyźnie

Mimośród w płaszczyźnie ściany oraz redukcyjny współczynnik nośności obliczane są wg zasad *EN 1996-1-1* (patrz powyżej).

Nośność pionowa

Uwzględniając całkowitą szerokość pasma *b*, wzór na nośność pionową ściany ma postać:

$$N_r = \Phi_{2,y} \cdot \Phi_{2,z} \cdot f_d \cdot t_{eff} \cdot b$$

Tabela do interpolacyjnego wyznaczenia współczynnika Φ_y

Poniższa tabela (Tab. 4.5.III w normie) wykorzystywana jest do wyznaczenia współczynnika Φ_y.

Smukłość - λ	*m = 6e/t*				
	0	*0,5*	*1,0*	*1,5*	*2,0*
0	1,00	0,74	0,59	0,44	0,33
5	0,97	0,71	0,55	0,39	0,27
10	0,86	0,61	0,45	0,27	0,16
15	0,69	0,48	0,32	0,17	-
20	0,53	0,36	0,23	-	-

Sprawdzenie ścinania

Sprawdzenie ścinania jest obliczane wg zasad *EN 1996-1-1* (patrz powyżej). Obliczeniowa nośność na ścinanie jest wyznaczana zgodnie z normą *NTC*.

Warunki do wymiarowania

Sprawdzane są poniższe warunki:

- smukłość ściany: $\lambda \leq 20$.
- minimalna grubość ściany: t ≥ 150 mm (tylko ta wartość jest uwzględniana, minimalna wartość zależna od typu elementu murowego nie jest weryfikowana)
- minimalna powierzchnia ściany: 0,04 m^2 (zastosowano warunek z *Eurokodu 6*).
- maksymalny mimośród względny (domyślna wartość wynosi 0.33, ale może zostać zmodyfikowana).
  Sprawdzenie ma postać
  - u góry i u dołu:
    $$e_{rel,1} = \frac{e_1}{t_{eff}} \leq 0{,}33$$
  - w środku wysokości ściany:
    $$e_{rel,2} = \frac{e_2}{t} \leq 0{,}33$$

  Mimośród względny sprawdzany jest w obu kierunkach (*-y-* oraz *-z-*).

Komunikaty błędów

Poniższe komunikaty mogą pojawić się w wynikach:

Komunikat błędu:	*Interpretacja błędu:*
Niespełniony!	Nośność ściany (lub jej odcinka) jest niewystarczająca.
Siła znajduje się poza przekrojem poprzecznym.	Punkt oddziaływania siły pionowej jest poza przekrojem.
Mimośród względny jest za duży.	Mimośród względny w przekroju przekracza wartość graniczną (**patrz...** *6.8.1.8 Wymiarowanie ściany murowej wg Eurokodu 6*).
Przekrój poprzeczny jest rozciągany.	Przekrój jest rozciągany i nośność pionowa nie może zostać obliczona.
Ściskająca siła osiowa wynosi zero.	Ściskająca siła osiowa w przekroju jest pomijalnie mała (mniejsza niż 0,1kN).
Smukłość jest za duża.	Smukłość ściany przekracza normową wartość dopuszczalną.
Grubość ściany jest niewystarczająca.	Grubość ściany jest mniejsza niż wartość graniczna wg załącznika krajowego.
Przekrój ściany jest niewystarczający.	Pole powierzchni przekroju ściany (przekrój pasma wirtualnego) jest mniejsze niż normowa wartość dopuszczalna.
Φ nie może zostać obliczony.	Φ nie może zostać określony na podstawie początkowych parametrów interpolacji.

6.8.1.10 Wymiarowanie ściany murowej wg SIA

Zasady ogólne

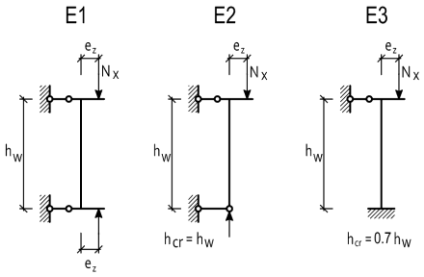
Zasady metod obliczeniowych opisane w normie *SIA 266: 2015* różnią się w znaczny sposób od procedur opisanych w *Eurokodzie 6*. Zgodnie z tą normą ścianą powinna być weryfikowana zarówno na stan graniczny nośności jak i użytkowalności.

Program przeprowadza weryfikacje dla SGN oraz SGU w zależności od typu kombinacji. Jeżeli typ kombinacji nie jest określony, to przeprowadzane są oba sprawdzenia, ale wynik przedstawia tylko decydujący typ.

Norma *SIA* zawiera ograniczenia co do modelu statycznego, dlatego użytkownika powinien zadbać o prawidłowy globalny model statyczny. Poniżej przedstawiono główne założenia.

Przy wyznaczaniu dodatkowych momentów zginających możliwe jest zastosowanie tylko uproszczonego modelu przegubowego oraz tylko stałego rozkładu naprężeń od płyty.

Odpowiedni model statyczny ściany (*E1*, *E2* lub *E3*) musi zostać wybrany przez użytkownika, ponieważ program nie ma możliwości automatycznego określenia go na podstawie modelu globalnego.



Oznaczenia przekrojów miarodajnych

Podczas wymiarowania wykorzystywane są 4 różne przekroje miarodajne:

- przekrój poprzeczny *1 (górny)* lub *2 (dolny)*,
- przekrój poprzeczny *1_v (górny)* lub *2_v (dolny)* do sprawdzenia ścinania.

Weryfikacja SGN

Podczas weryfikacji SGN ściana sprawdzana jest w swoich dwóch przekrojach: na górze oraz na dole.

Przeprowadzane są cztery różne analizy:

- ograniczenie naprężeń w przekroju *1* oraz *1_v*,
- sprawdzenie stateczności uwzględniając siły wewnętrzne pasma wirtualnego w przekrojach miarodajnych *1* oraz *2_v*,
- ograniczenie naprężeń w przekroju *2* oraz 2_v,
- sprawdzenie ścinania w górnym przekroju (*1_v*).

Weryfikacje w przekrojach *1_v* oraz *2_v* są przeprowadzane tylko, gdy wymagane jest sprawdzenie ścinania.

W miarodajnych przekrojach *1* oraz *2* uwzględniane są tylko mimośrody od siły osiowej z płaszczyzny ściany, a w przekrojach *1_v* oraz *2_v* dodatkowo także mimośród w płaszczyźnie ściany.

Ograniczenie naprężeń

Najpierw sprawdzany jest normowy mimośród względny: (e_z/t_w), który ograniczony jest wzorem (6) oraz wartością z Rys. 4 ($e_z/t_w \leq 0{,}375$). Z drugiej strony program oblicza nośność uwzględniając strefę ściskaną ściany, która jest porównywana z obliczeniową siłą osiową.

Ściskana szerokość odcinka ściany uwzględniająca mimośród z płaszczyzny:

$$\mathrm{t}_{nom} = t - 2 \cdot e_{0,z}$$

Jeżeli ze względu na ustawienia podparcia ściany (wielkości styku) nie pracuje cała szerokość przekroju ściany, to program podczas weryfikacji korzysta ze zmniejszonej grubości ściany (t_{eff}).

$e_{0,z}$ to mimośród obliczony względem osi efektywnej grubości ściany.

$$N_{Rd,nom} = l_c \cdot t_{nom} \cdot f_{xd}$$

gzie l_c jest równe l_w podczas sprawdzania przekrojów *1* oraz *2*. W przypadku przekrojów *1_v* oraz *2_v* ściskana długość ściany ($l=l_2$) jest zmniejszona z powodu momentu zginającego w płaszczyźnie:

$$l_2 = l_w - \frac{2 \cdot M_{z,i,d}}{N_{xd}}$$

Sprawdzenie stateczności

Dla przekroju oznaczonego jako *1* program wykonuje sprawdzenie opisane w rozdziale *4.3.1.3 (11)* normy *SIA 266:2015*.

$$N_{xd} \leq k_N \cdot l_w \cdot t_w \cdot f_{xd}$$

Dla przekroju *2_v* wykorzystuje wzór *17* z rozdziału *4.3.3.1* uwzględniający moment zginający w płaszczyźnie ściany:

$$N_{xd} \leq k_N \cdot l_2 \cdot t_w \cdot f_{xd}$$

gdzie

- N_{xd} to obliczeniowa siła pionowa u góry ściany,
- l_w to szerokość ściany (w programie jest to wartość równa szerokości pasma wirtualnego),
- t_w to grubość ściany,
- f_{xd} to obliczeniowa nośność na ściskanie: $\mathrm{f}_{xd} = \frac{f_{xk}}{\gamma_M}$
- l_2 to długość ściskanej części ściany przy założeniu stałego rozkładu naprężeń:

$$l_2 = l_w - \frac{2 \cdot M_{z2d}}{N_{xd}}$$

Współczynnik k_N wyznaczany przez liniową interpolację na podstawie wybranego modelu statycznego (*E1*, *E2* oraz *E3*) wykorzystując krzywe obliczeniowe podane w normie (*SIA 266:2015, Rysunek 5*).

Interpolacja jest określona przez względną smukłość ściany (h_w/t_w lub h_{cr}/t_w) oraz mimośród względny (e_z/t_w) obliczony u góry ściany.

W przypadku mimośrodu e_z program przyjmuje:

- mimośród wynika z mimośrodowego oddziaływania płyty stropowej. Wynikowa siła reakcji z płyty znajduje się w osi efektywnej grubości ściany (zmniejszona grubość ściany uwzględniająca ustawienia jej podpór).
- mimośród siły pionowej od ściany powyżej zakłada się, że wynosi 0 w rozpatrywanym przekroju górnym ($e_z \approx 0$).

Użytkownik powinien rozważyć, czy te przybliżenia są odpowiednie na podstawie zbudowanego modelu i ustawień.

Mimośród względny (e_z/t_w) w normie ograniczony jest wzorem (*6*) oraz wartością z Rys. 4 ($e_z/t_w \leq 0{,}375$). W programie wartość ta jest ograniczona do 0.35 z powodu ograniczeń krzywych służących do interpolacji.

$$\frac{e_z}{t_w} \leq \min\left\{\frac{1}{2}\cdot\left(1-\frac{N_{xd}}{l_w\cdot t_w\cdot f_{xd}}\right);0{,}35\right\}$$

Jeżeli warunek te nie zostanie spełniony, to nośność pionowa ściany nie może zostać obliczona.

☞ **Norma *SIA* nie uwzględnia sprawdzenia przekroju środkowego ściany, jak ma to miejsce w przypadku *Eurokodu 6*. Z tego powodu sprawdzanie przekroju środkowego nie jest również przeprowadzane w programie.**

Sprawdzenie ścinania

Program przeprowadza sprawdzenie zgodnie z rozdziałem *4.3.3.1* normy *SIA 266:2015* oraz wzorem (*18*):

$$V_d \leq k_V \cdot l_1 \cdot t_{nom} \cdot f_{yd}$$

gdzie

V_d to obliczeniowa siła tnąca w miarodajnym przekroju 1_v

l_1 to długość ściskanej części ściany z uwzględnieniem momentu zginającego w płaszczyźnie ściany:

$$l_1 = l_w - \frac{2\cdot M_{z1d}}{N_{xd}}$$

t_{nom} to szerokość ściskanej strefy spowodowana zginaniem z płaszczyzny ściany:

$$t_{nom} = t - 2\cdot e_{0,y}$$

(Podczas weryfikacji program przyjmuje zmniejszoną grubość ściany - t_{eff}, jeżeli nie pracuje cały przekrój ściany ze względu na warunki podparcia).

f_{yd} to obliczeniowa wytrzymałość muru na ściskanie w kierunku równoległym do spoin wspornych:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M}$$

Współczynnik redukcyjny k_V wyznaczany jest za pomocą metody wybranej w parametrach wymiarowania pasma murowego

Wg wykresów SIA266: Współczynnik k_V obliczany jest z liniowej interpolacji na podstawie krzywych do wymiarowania podanych w normie (SIA 266:2015, rys. 9). Wartość h_w to różnica wysokości przekroju 1_v oraz 2_v. Program interpoluje także pomiędzy trzema krzywymi w zależności od stosunku f_{xd}/f_{yd} w zakresie 0.30 do 0.75.

Na podstawie obliczeń numerycznych: Uwzględniając podstawowe zasady i warunki brzegowe przedstawione w normie do wymiarowania na ścinanie, program rozwiązuje odpowiedni układ równań z wieloma niewiadomymi za pomocą metody iteracyjnej, aby wyznaczyć współczynnik k_V.

Komunikaty błędów

Poniższe komunikaty mogą pojawić się w wynikach:

Komunikat błędu:	*Interpretacja błędu:*
Niespełniony!	Nośność ściany (lub jej odcinka) jest niewystarczająca.
Siła znajduje się poza przekrojem poprzecznym.	Punkt oddziaływania siły pionowej jest poza przekrojem.
Mimośród względny jest za duży.	Mimośród względny w przekroju przekracza wartość graniczną (**patrz...** *6.8.1.8 Wymiarowanie ściany murowej wg Eurokodu 6*).

Przekrój poprzeczny jest rozciągany.	Przekrój jest rozciągany i nośność pionowa nie może zostać obliczona.
Ściskająca siła osiowa wynosi zero.	Ściskająca siła osiowa w przekroju jest pomijalnie mała (mniejsza niż 0,1kN).
Smukłość jest za duża.	Smukłość ściany przekracza normową wartość dopuszczalną z krzywych interpolacyjnych ($h_w/t_w \leq$ 50 lub $h_{cr}/t_w \leq$ 50), współczynnik k_N nie może zostać wyznaczony.

Weryfikacja SGU

Program jest zgodny z przepisami normowymi (*SIA 266:2015*) opisanymi w rozdziale *4.4.1.5* (21):

Maksymalna szerokość rysy może być obliczona wg wzoru:

$$r = k_r \cdot \frac{N_x \cdot h_0}{E_{xk} \cdot l_w \cdot t_w}$$

gdzie

N_x	to obliczeniowa siła pionowa u góry ściany,
h_0	to całkowita wysokość elementu murowego z zaprawą,
E_{xk}	to moduł sprężystości,
l_w	to szerokość ściany (w programie jest to wartość równa szerokości pasma wirtualnego),
t_w	to grubość ściany,
k_r	to współczynnik.

Współczynnik k_r wyznaczany przez liniową interpolację na podstawie wybranego modelu statycznego (*E1*, *E2* oraz *E3*) wykorzystując krzywe obliczeniowe podane w normie (*SIA 266:2015, Rysunek 12*).

Interpolacja jest określona przez względną smukłość ściany (h_w/h_E lub h_{cr}/h_E) oraz mimośród względny (e_z/t_w) obliczony u góry ściany.

Parametr h_E obliczany jest ze wzoru:

$$h_E = \pi \cdot \sqrt{\frac{E_{xk} \cdot l_w \cdot t_w^3}{12 \cdot N_x}}$$

Ściana spełnia warunki SGU, jeżeli $r \leq r_{max}$gdzie r_{max} to maksymalna szerokość rysy zgodnie z *4.2.2.2*. Domyślna wartość dopuszczalnej szerokości zarysowania wynosi 0,2mm, ale może zostać zmieniona w parametrach wymiarowania.

Dla sprawdzenia ścinania

Jeżeli sprawdzenie ścinania jest wymagane, to weryfikacja SGU jest rozszerzana o *4.4.2.1* z *SIA 266:2015*.

Względne przemieszczenie (wartość '*v*' wg wzoru (22)) pomiędzy górnym (1_v) a dolnym (2_v) przekrojem jest obliczana ze względnej deformacji pasma wirtualnego.

Maksymalne odkształcenie $\varepsilon_{x,max}$ jest określone przez wzór (23):

$\varepsilon_{x.max} = \frac{6 \cdot (M_{z1} + V \cdot h_w)}{E_{xk} \cdot l_w^2 \cdot t_w} - \frac{N_x}{E_{xk} \cdot l_w \cdot t_w}$**zemieszczeni względne oraz maksymalne odkształcenie są wyznaczane zawsze przy zdefiniowanym do sprawdzenia ścinania przekroju górnym (1_v) i dolnym (2_v).**

Powyższe wyniki są porównywane z wartościami dopuszczalnymi ustawionymi w parametrach do wymiarowania danej kondygnacji.

Komunikaty błędów

Poniższe komunikaty mogą pojawić się w wynikach:

Komunikat błędu:	*Interpretacja błędu:*
Niespełniony!	Nośność ściany (lub jej odcinka) jest niewystarczająca.
Mimośród względny jest za duży.	Mimośród względny w przekroju przekracza graniczną wartość 0.35.
Przekrój poprzeczny jest rozciągany.	Przekrój jest rozciągany i nośność pionowa nie może zostać obliczona.
Ściskająca siła osiowa wynosi zero.	Ściskająca siła osiowa w przekroju jest pomijalnie mała (mniejsza niż 0,1kN).
kr nie może zostać obliczony!	Współczynnik *kr* nie może zostać oszacowany na podstawie wejściowych parametrów do interpolacji (h_w/h_E lub h_{cr}/h_E oraz e_z/t_w).

Warunki do wymiarowania

Sprawdzane są poniższe warunki:

- smukłość ściany $\lambda \leq 50$ (graniczna wartość krzywych obliczeniowych współczynnika k_N , $\lambda = h_w/t_w$ lub $\lambda = h_{cr}/t_w$).
- maksymalny mimośród względny (ograniczony poprzez krzywe obliczeniowe dla interpolacji): $e_{rel,max} = 0{,}35$.
  Mimośród względny jest sprawdzany tylko w górnym przekroju ściany: $e_{rel,i} = \frac{e_z}{t} \leq e_{rel,max}$zie t to efektywny przekrój poprzeczny.

7 AxisVM Viewer i Viewer Expert

AxisVM Viewer

AxisVM Viewer jest całkowicie darmową wersją programu dostępną do pobrania z internetu, służącą do przeglądania wyników i modeli utworzonych w AxisVM, ale bez możliwości ich edycji. Drukowanie rysunków, tabel czy raportów jest niedostępne.

Program umożliwia szczegółową prezentację modelu na stanowisku, gdzie wersja komercyjna AxisVM nie została zainstalowana.

Jeśli chcesz pokazać komuś swój model, ale nie chcesz, aby wykorzystał on efekty twojej pracy, np.: jako bazę dla swoich modeli, zapisz model w formacie AxisVM Viewer (*.AXV) (**Patrz...** *3.1.6 Eksport*). Wersja komercyjna nie może odczytać plików AXV, w przeciwieństwie do AxisVM Viewer. Format ten gwarantuje ochronę twojej pracy.

AxisVM Viewer Expert

Licencjonowani użytkownicy komercyjnej wersji AxisVM mogą zakupić wersję Viewer Expert, która pozwala drukować wykresy, tabele i raporty, a także wstawiać tymczasowe wymiary i pola tekstowe. Zmiany nie są zapisywane do modelu.

Ta strona jest celowo pozostawiona pusta.

8 Programowanie AxisVM

Serwer COM AxisVM

AxisVM jak wiele innych aplikacji Windows, obsługuje technologię COM Microsoftu, dzięki czemu jego działania są dostępne dla zewnętrznych programów. Programy wykonawcze serwera COM rejestrują swoje klasy COM w rejestrze systemu Windows, dostarczając informacje interfejsu.

Każdy zewnętrzny program może uzyskać opisy, przeczytać właściwości obiektu lub wywołać funkcje dostępne przez interfejs. Program taki może uruchomić AxisVM, budować modele, uruchamiać obliczenia i uzyskać wyniki poprzez serwer AxisVM COM. Jest to najlepszy sposób na:

- budowanie i analizowanie parametrycznych modeli,
- znajdywanie rozwiązań metodami iteracyjnymi lub
- budowanie własnych, zewnętrznych modułów wymiarujących.

Moduły DLL umieszczone w folderze *Plugins* programu AxisVM są automatycznie włączane w menu *Plugins*, naśladującego strukturę podfolderów w folderze *Plugins*. Specyfikacja i przykłady programowania serwera AxisVM COM są do pobrania ze strony AxisVM – www.axisvm.eu.

Od wersji X5 moduł COM został zintegrowany z podstawową konfiguracją programu.

Programowanie za pomocą języka Python w AxisVM jest obsługiwane przy pomocy paczki PyAxisVM wymagającej środowiska Python przynajmniej w wersji 3.6 (*https://github.com/AxisVM/pyaxisvm*).

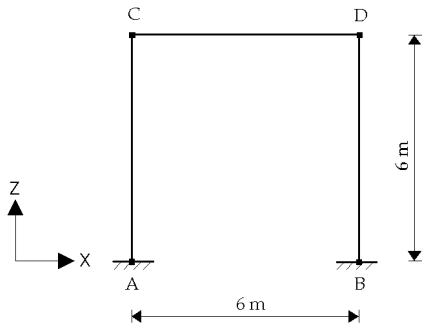
Ta strona jest celowo pozostawiona pusta.

9 Przykłady

9.1 Liniowa analiza statyczna stalowej ramy płaskiej

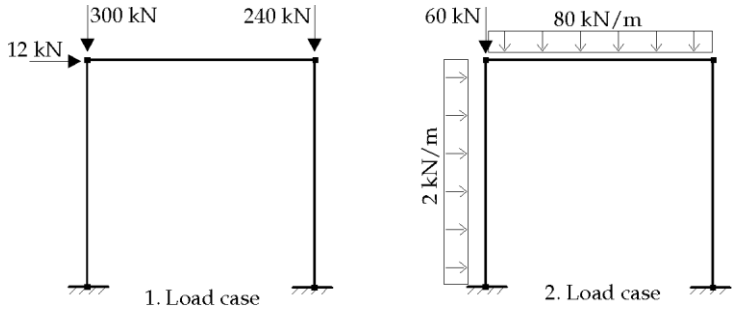
Dane wejściowe **AK-ST-I.axs**

Geometria:



Materiał: Stal
Przekrój poprzeczny: I 240

Obciążenia:



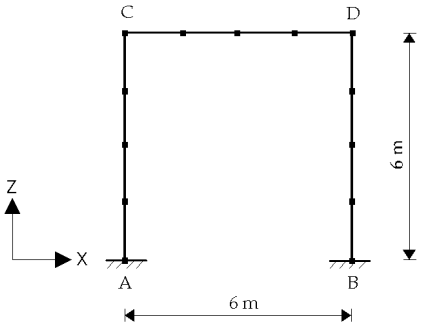
Wyniki **AK-ST-I.axe**

Wyniki		*Analityczne*	*AxisVM*
1 Lc.	$e_x^{(C)}$ [mm]	17.51	17.51
	$M_y^{(A)}$ [kNm]	-20.52	-20.52
2 Lc.	$e_x^{(C)}$ [mm]	7.91	7.91
	$M_y^{(A)}$ [kNm]	63.09	63.09

9.2 Nieliniowość geometryczna w analizie statycznej stalowej ramy płaskiej

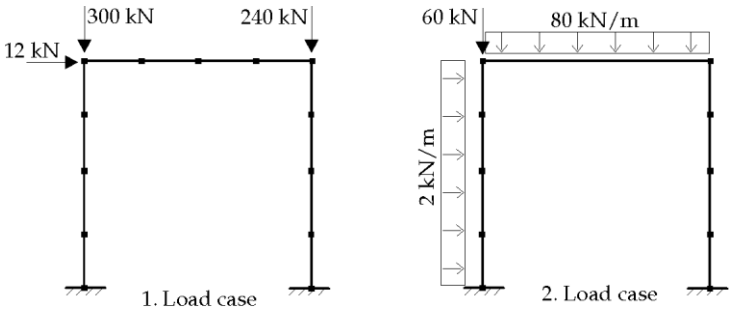
Dane wejściowe **AK-ST-II.axs**

Geometria:



Materiał: Stal
Przekrój poprzeczny: I 240

Obciążenia:



Wyniki **AK-ST-II.axe**

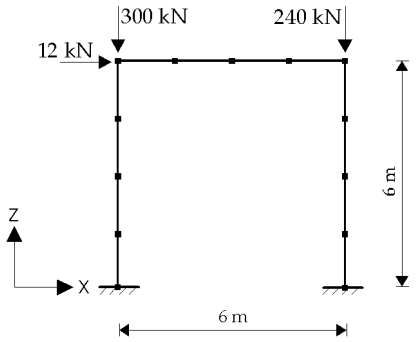
Wyniki		*Funkcje stateczności*	*AxisVM*
1 Lc.	$e_x^{(C)}$ [mm]	20.72	20.58
	$M_y^{(A)}$ [kNm]	-23.47	-23.41
2 Lc.	$e_x^{(C)}$ [mm]	9.26	9.22
	$M_y^{(A)}$ [kNm]	66.13	66.25

Sprawdź Równowaga musi być zweryfikowana z uwzględnieniem ugięć.

9.3 Analiza wyboczeniowa stalowej ramy płaskiej

Dane wejściowe **AK-KI.axs**

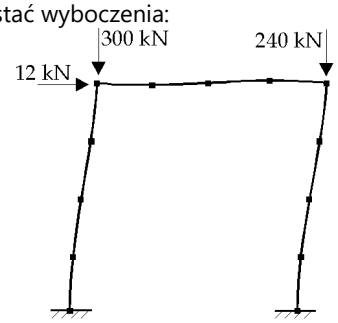
Geometria i obciążenia:



Materiał: Stal
Przekrój poprzeczny: I 240

Wyniki **AK-KI.axe**

Postać wyboczenia:

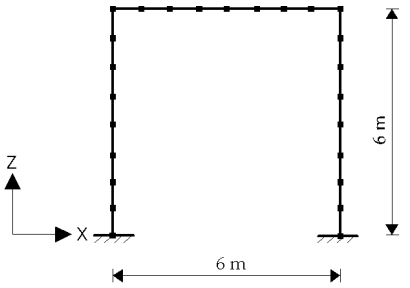


Parametr obciążenia krytycznego	*Cosmos/M™*	*AxisVM*
n_{cr}	6.632	6.633

9.4 Analiza drgań własnych (I-go rzędu) stalowej ramy płaskiej

Dane wejściowe **AK-RZ-I.axs**

Geometria:



Materiał: Stal
Przekrój poprzeczny: I 240

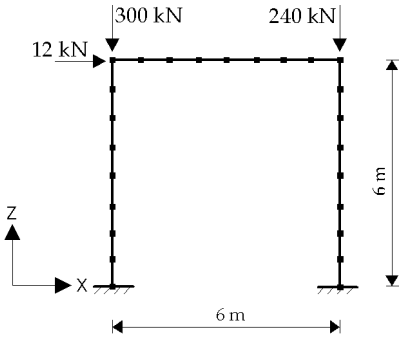
Wyniki **AK-RZ-I.axe**

Postać	*Częstotliwość [Hz]*	
	Cosmos/M™	*AxisVM*
1	6.957	6.957
2	27.353	27.353
3	44.692	44.692
4	48.094	48.094
5	95.714	95.714
6	118.544	118.544

9.5 Analiza drgań własnych (II-go rzędu) stalowej ramy płaskiej

Dane wejściowe **AK-RZ-II.axs**

Geometria i obciążenia:



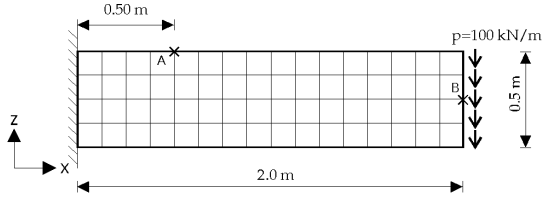
Materiał: Stal
Przekrój poprzeczny: I 240

Wyniki **AK-RZ-II.axe**

Postać	*Częstotliwość [Hz]*	
	Cosmos/M™	*AxisVM*
1	0.514	0.514
2	11.427	11.426
3	12.768	12.766
4	17.146	17.145
5	27.112	27.109
6	39.461	39.456

9.6 Liniowa analiza statyczna wspornika żelbetowego

Dane wejściowe **VT1-ST-I.axs**



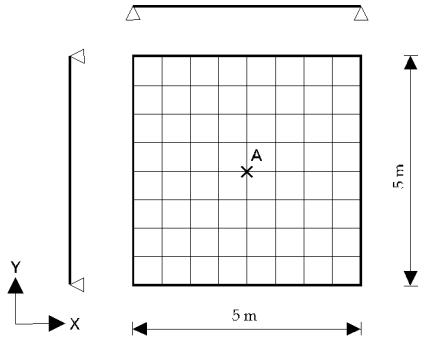
E=880 kN/cm^2
ν=0
t=0.10 m
p=100 kN/m
Siatka: 4x16

Wyniki **VT1-ST-I.axe**

Wyniki	*Teoria belek (z uwzględnieniem deformacji od ścinania)*	*AxisVM*
$e_z^{(B)}$ [mm]	15.09	15.09
$n_x^{(A)}$ [kN/m]	1800.00	1799.86

9.7 Liniowa analiza statyczna przegubowo podpartej płyty żelbetowej

Dane wejściowe **VL1-ST-I.axs**

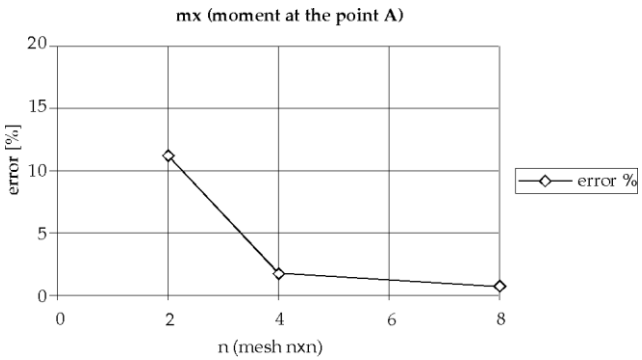


E=880 kN/cm^2
ν=0
t=0.15 m
p=50 kN/m^2
Siatka: 8x8

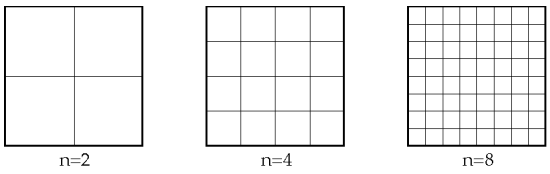
Wyniki

Wyniki	*Analityczne (bez uwzględnienia deformacji od ścinania)*	*AxisVM (z uwzględnieniem deformacji od ścinania)*
$e_z^{(A)}$ [mm]	51.46	51.46
$m_x^{(A)}$ [kNm/m]	46.11	46.31

Analiza zbieżności

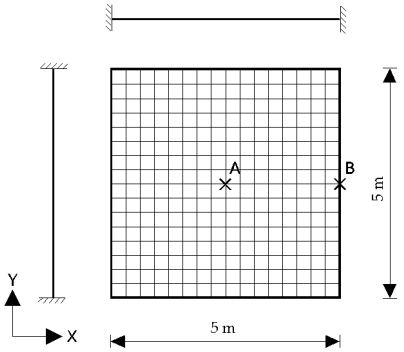


Siatkowanie:



9.8 Liniowa analiza statyczna utwierdzonej płyty żelbetowej

Dane wejściowe **VL2-ST-I.axs**

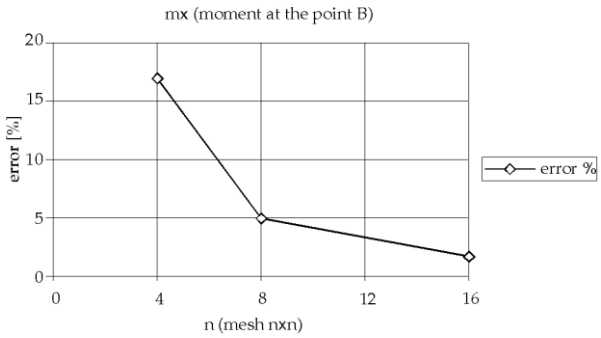


E=880 kN/cm2
ν=0
t=0.15 m
p=50 kN/m2
Siatka: 16x16

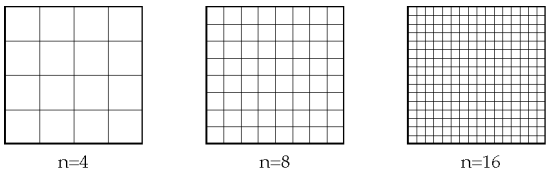
Wyniki **VL2-ST-I.axe**

Wyniki	*Analityczne (bez uwzględnienia deformacji od ścinania)*	*AxisVM (z uwzględnieniem deformacji od ścinania)*
$e_z^{(A)}$ [mm]	16.00	16.18
$m_x^{(A)}$ [kNm/m]	22.01	22.15
$m_x^{(B)}$ [kNm/m]	64.43	63.25
$q_x^{(B)}$ [kN/m]	111.61	109.35

Analiza zbieżności



Siatkowanie:



10 Bibliografia

1. **Bathe, K. J., Wilson, E. L.,** *Numerical Methods in Finite Element Analysis*, Prentice Hall, New Jersey, 1976
2. **Bojtár I., Vörös G.**, *A végeselem-módszer alkalmazása lemez- és héjszerkezetekre*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986
3. **Chen, W. F., Lui, E. M.**, *Structural Stability*, Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York, 1987
4. **Hughes, T. J. R.**, *The Finite Element Method*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987
5. **Owen D. R. J., Hinton E.**, *Finite Elements in Plasticity*, Pineridge Press Limited, Swansea, 1980
6. **Popper Gy., Csizmás F.**, *Numerikus módszerek mérnököknek*, Akadémiai Kiadó · Typot$_e$x, Budapest, 1993
7. **Przemieniecki, J. S.**, *Theory of Matrix Structural Analysis*, McGraw Hill Book Co., New York, 1968
8. **Weaver Jr., W., Johnston, P. R.**, *Finite Elements for Structural Analysis*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984
9. **Dr. Szalai Kálmán**, *Vasbetonszerkezetek, vasbeton-szilárdságtan*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1990. 1998
10. **Dr. Kollár László:** *Vasbeton-szilárdságtan*, Műegyetemi Kiadó, 1995
11. **Dr. Kollár László:** *Vasbetonszerkezetek I., Vasbeton-szilárdságtan az Eurocode 2 szerint*, Műegyetemi Kiadó, 1997
12. **Dr. Bölcskei E., Dr. Dulácska E.:** *Statikusok könyve*, Műszaki Könyvkiadó, 1974
13. **Dr. Dulácska Endre:** *Kisokos, Segédlet tartószerkezetek tervezéséhez*, BME Építészmérnöki Kar, 1993
14. **Porteous, J., Kermani, A.,** *Structural Timber Design to Eurocode 5,* Blackwell Publishing, 2007
15. **Dulácska Endre, Joó Attila, Kollár László:** *Tartószerkezetek tervezése földrengési hatásokra,* Akadémiai Kiadó, 2008
16. **Pilkey, W. D.,** *Analysis and Design of Elastic Beams - Computational methods,* John Wiley & sons, Inc., 2002
17. **Navrátil, J.,** *Prestressed Concrete Structures,* Akademické Nakladatelství Cerm®, 2006
18. **Szepesházi Róbert:** *Geotechnikai tervezés (Tervezés Eurocode 7 és a kapcsolódó európai geotechnikai szabványok alapján),* Business Media Magyarország Kft., 2008
19. **Györgyi József:** *Dinamika*, Műegyetemi Kiadó, 2003
20. **Bojtár Imre, Gáspár Zsolt:** *Végeselemmódszer építőmérnököknek***,** Terc Kft., 2003
21. **Eurocode 2,** EN 1992-1-1:2004
22. **Eurocode 3,** EN 1993-1-1:2005
23. **Eurocode 3,** EN 1993-1-3:2006
24. **Eurocode 3,** EN 1993-1-5:2006
25. **Eurocode 3,** EN 1993-6:2007
26. **Eurocode 5,** EN 1995-1-1:2004
27. **Eurocode 8,** EN 1998-1-1:2004

28. **Paz, M., Leigh, W.,** *Structural Dynamics - Theory and Computation*, Fifth Edition, Springer, 2004

29. **Chopra, A. K.,** *Dynamics of Structures - Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Third Edition, Pearson Prentice Hill, 2007

30. **Biggs, J. M.,** *Introduction to Structural Dynamics*, McGraw-Hill, 1964

31. **Weaver, W.,** Jr., P. R. Johnston, Structural Dynamics by Finite Elements, Prentice-Hall, 1987

32. **Bathe, K. J.,** Finite Element Procedures, Prentice-Hall, 1996

33. **Borst, R., Crisfield, M. A., Remmers, J. J. C., Verhoosel, C. V.,** Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd., 2012

34. **Willford, M. R., Young, P.** A Design Guide for Footfall Induced Vibration of Structures, Concrete Society, 2006

35. **Smith, A. L., Hicks, S. J., Devine, P. J.** Design of Floors for Vibration: A New Approach, The Steel Construction Institute, Ascot, 2009

36. **https://en.wikipedia.org/wiki/Von_Mises_yield_criterion**

37. **https://en.wikipedia.org/wiki/Bresler_Pister_yield_criterion**

38. **https://en.wikipedia.org/wiki/Whittaker%E2%80%93Shannon_interpolation_formula**

39. **https://en.wikipedia.org/wiki/Nyquist%E2%80%93Shannon_sampling_theorem**

40. **Wilson, E. L.,** *Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures – A Physical Approach With Emphasis on Earthquake Engineering*, Computers and Structures Inc., Berkeley, 2002

41. **C. Basaglia, D. Camotim, N Silvestre**. *Torsion warping transmission at thin-walled frame joints: Kinematics, modelling and structural response, Journal of Constructional Steel Research (69), 2012*

42. **E. J. Sapountzakis.** *Bars under Torsional Loading: A Generalized Beam Theory Approach,* International Scholarly Research Notices, 2013

    https://www.hindawi.com/journals/isrn/2013/916581/

43. **P. C. J. Hoogenboom, A. Borgart.** *Method for including restrained warping in traditional frame analyses,* ResearchGate, 2005

    https://www.researchgate.net/publication/27347413_Method_for_including_restrained_warping_in_traditional_frame_analyses

44. **A. H. Varma.** *Structural Stability and Design*, Purdue University

    https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fengineering.purdue.edu%2F~ahvarma%2FCE%2520579%2FSpring%25202005%2FCE%2520579_Lecture6_Jan31.ppt&wdOrigin=BROWSELINK

45. **G. Vörös.** *Free vibration of thin walled beams,* Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering, 2004

    https://www.researchgate.net/publication/228573555_Free_vibration_of_thin_walled_beams

46. **Cholnoky Tibor:** *Rugalmasságtan II. rész,* Tankönyvkiadó, 1969

47. **A. F. Hughes, D. C. Iles, A. S. Malik.** *Design of Steel Beams in Torsion in Accordance with Eurocodes and the UK National Annexes,* The Steel Construction Institute, 2011

    https://www.steelconstruction.info/images/6/6f/Sci_p385.pdf

Notes

Notatki