

**Wersja  
Czerwiec 2015**

**Program**

# **RFEM 5**

**Obliczanie konstrukcji przestrzennych  
metodą elementów skończonych**

## **Opis programu**

Wszelkie prawa, włącznie z tłumaczeniem, zastrzeżone.

Żadna część tej instrukcji nie może być powielana i rozpowszechniania mechanicznie, elektronicznie ani w żaden inny sposób, włącznie z kopiowaniem i fotokopiowaniem – bez pisemnej zgody firmy DLUBAL SOFTWARE SP. Z O.O.

© **Dlubal Software Sp. z o.o.**  
**ul. Jesionowa 22 40-158 Katowice**

Tel.: +48 32 782 46 25

E-mail: [info@dlubal.pl](mailto:info@dlubal.pl)

Web: [www.dlubal.pl](http://www.dlubal.pl)



# Spis treści

	Zawartość	Strona		Zawartość	Strona
<b>1.</b>	<b>Wprowadzenie</b>	<b>7</b>	4.8	Podpory liniowe	107
1.1	Początki pracy z programem RFEM 5	7	4.9	Podpory powierzchniowe	112
1.2	Możliwości programu	8	4.10	Zwolnienia liniowe	117
1.3	Profil firmy	8	4.11	Grubości zmienne	120
1.4	Zespół autorów programu RFEM	9	4.12	Powierzchnie ortotropowe	121
1.5	Korzystanie z instrukcji	10	4.13	Przekroje	127
<b>2.</b>	<b>Instalacja</b>	<b>11</b>	4.14	Zwolnienia na końcach prętów	139
2.1	Wymagania systemowe	11	4.15	Mimośrodry prętowe	146
2.2	Przebieg instalacji	11	4.16	Odcinki pręta	148
2.2.1	Instalacja z płyty DVD.	12	4.17	Pręty	149
2.2.2	Instalacja sieciowa	13	4.18	Żebra	164
2.2.3	Instalowanie aktualizacji i innych modułów	13	4.19	Sprężyste podłoża prętowe	167
2.2.4	Równoległa instalacja wersji programu RFEM	13	4.20	Nieliniowości prętowe	169
<b>3.</b>	<b>Graficzny interfejs użytkownika</b>	<b>15</b>	4.21	Zbiory prętów	173
3.1	Przegląd	15	4.22	Przecięcia	175
3.2	Terminologia	16	4.23	Zagęszczenie siatki ES	180
3.3	Specjalne wyrażenia w programie RFEM	20	<b>5.</b>	<b>Przypadki i kombinacje obciążeń</b>	<b>185</b>
3.4	Interfejs użytkownika programu RFEM	21	5.1	Przypadki obciążeń	185
3.4.1	Pasek menu	21	5.2	Oddziaływania	190
3.4.2	Paski narzędzi	22	5.3	Warunki kombinacji	193
3.4.3	Nawigator projektu	24	5.4	Kombinacje oddziaływań	205
3.4.4	Tabele	28	5.5	Kombinacje obciążeń	210
3.4.5	Pasek stanu	29	5.5.1	Kombinacje zdefiniowane przez użytkownika	211
3.4.6	Panel sterowania	31	5.5.2	Wygenerowane kombinacje	217
3.4.7	Przyciski domyślne	36	5.6	Kombinacje wyników	218
3.4.8	Funkcje klawiatury	37	5.6.1	Kombinacje zdefiniowane przez użytkownika	219
3.4.9	Funkcje myszy	38	5.6.2	Wygenerowane kombinacje	225
3.4.10	Menedżer ustawień	39	5.7	Schemat kombinacji	227
<b>4.</b>	<b>Dane modelu</b>	<b>41</b>	<b>6.</b>	<b>Obciążenia</b>	<b>228</b>
4.1	Węzły	46	6.1	Obciążenia węzłowe	231
4.2	Linie	52	6.2	Obciążenia prętowe	234
4.3	Materiały	64	6.3	Obciążenia liniowe	241
4.4	Powierzchnie	80	6.4	Obciążenia powierzchniowe	245
4.5	Bryły	91	6.5	Obciążenie bryłowe	250
4.6	Otwory	98	6.6	Wolne obciążenia skupione	252
4.7	Podpory węzłowe	100			

# Spis treści

	Zawartość	Strona		Zawartość	Strona
6.7	Wolne obciążenia liniowe	254	8.10	Zbiory prętów – Siły wewnętrzne	325
6.8	Wolne obciążenia prostokątne	256	8.11	Przekroje – Siły wewnętrzne	326
6.9	Wolne obciążenia kołowe	258	8.12	Powierzchnie – Lokalne odkształcenia	327
6.10	Wolne obciążenia wielokątne	260	8.13	Powierzchnie – Globalne odkształcenia	330
6.11	Wymuszone odkształcenia węzłowe	262	8.14	Powierzchnie – Podstawowe siły wewnętrzne	331
6.12	Wymuszone przemieszczenia liniowe	263	8.15	Powierzchnie – Główne siły wewnętrzne	334
6.13	Imperfekcje	264	8.16	Powierzchnie – Obliczeniowe siły wewnętrzne	337
6.14	Utworzone obciążenia	269	8.17	Powierzchnie – Naprężenia podstawowe	340
<b>7.</b>	<b>Obliczenia</b>	<b>270</b>	8.18	Powierzchnie – Naprężenia główne	342
7.1	Sprawdzanie danych początkowych	270	8.19	Powierzchnie – Inne naprężenia	344
7.1.1	Sprawdzenie poprawności	270	8.20	Powierzchnie – Naprężenia kontaktowe	345
7.1.2	Sprawdzenie modelu	271	8.21	Powierzchnie – Naprężenia równoważne - von Mises	347
7.1.3	Regenerować model	274	8.22	Powierzchnie – Naprężenia równoważne - Tresca	349
7.1.4	Usunąć nieużywane obciążenia	275	8.23	Powierzchnie – Naprężenia równoważne - Rankine	350
7.2	Siatka ES	275	8.24	Powierzchnie – Naprężenia równoważne - Bach	351
7.2.1	Podstawowe informacje na temat elementów skończonych w programie RFEM	275	8.25	Powierzchnie – Odkształcenia podstawowe	352
7.2.2	Ustawienia siatki ES	278	8.26	Powierzchnie – Odkształcenia główne	354
7.2.3	Zagęszczenia siatki ES	280	8.27	Powierzchnie – Odkształcenia maksymalne	355
7.2.4	Generowanie siatki ES	281	8.28	Powierzchnie - Odkształcenia - von Mises	356
7.3	Parametry obliczeń	282	8.29	Powierzchnie - Odkształcenia - Tresca	358
7.3.1	Przypadki obciążeń i kombinacje obciążeń	283	8.30	Powierzchnie - Odkształcenia - Rankine	359
7.3.2	Kombinacje wyników	291	8.31	Powierzchnie - Odkształcenia - Bach	360
7.3.3	Globalne parametry obliczeń	292	8.32	Bryły – Odkształcenia globalne	361
7.4	Rozpoczynanie obliczeń	299	8.33	Bryły - Naprężenia	362
<b>8.</b>	<b>Wyniki</b>	<b>302</b>	8.34	Bryły – Odkształcenia	365
8.0	Podsumowanie wyników	303	8.35	Bryły – Ciśnienie gazu	367
8.1	Węzły – Siły podporowe	305	<b>9.</b>	<b>Ocena wyników</b>	<b>368</b>
8.2	Węzły - Odkształcenia	309	9.1	Dostępne wyniki	368
8.3	Linie – Siły podporowe	310	9.2	Wybór wyników	369
8.4	Pręty – Odkształcenia lokalne	314	9.3	Wyświetlanie wyników	370
8.5	Pręty – Odkształcenia globalne	317	9.3.1	Wyniki na prętach	371
8.6	Pręty – Siły wewnętrzne	318	9.3.2	Wyniki powierzchni i brył	372
8.7	Pręty – Siły kontaktowe	321			
8.8	Pręty – Współczynniki wybożenia	323			
8.9	Smukłości pręta	324			

# Spis treści

	Zawartość	Strona		Zawartość	Strona
9.4	Wyświetlanie wartości	374	10.2.2	Opcje	435
9.4.1	Wartości wyników	374	10.2.3	Spektrum kolorów	437
9.4.2	Ustawienia	376	10.2.4	Wydruk zbiorowy	438
9.4.3	Wartości wyników zdefiniowane przez użytkownika	377	10.2.5	Uwagi dla plotowania	440
9.4.4	Informacje o obiekcie	380	<b>11.</b>	<b>Narzędzia</b>	<b>443</b>
9.5	Wykresy wyników	381	11.1	Funkcje ogólne	443
9.6	Przekroje	383	11.1.1	Ustawienia języka	443
9.6.1	Przekrój przez powierzchnię	384	11.1.2	Właściwości wyświetlania	444
9.6.2	Przekrój przez bryłę	387	11.1.3	Jednostki i miejsca dziesiętne	447
9.7	Wyglądanie wyników	388	11.1.4	Komentarze	448
9.7.1	Okno robocze	388	11.1.5	Funkcje mierzenia	450
9.7.2	Wykresy wyników	392	11.1.6	Funkcje wyszukiwania	451
9.7.3	Obszary uśredniania	393	11.1.7	Punkt widzenia i kąt widoku	452
9.8	Wyświetlanie wielu okien	395	11.1.8	Określanie środka ciężkości	453
9.9	Filtr wyników	396	11.1.9	Renderowanie	454
9.9.1	Widoki	396	11.1.10	Oświetlenie	456
9.9.2	Płaszczyzna przekroju	402	11.2	Wybór	457
9.9.3	Funkcje filtrowania	404	11.2.1	Graficzne wybieranie obiektów	457
9.10	Animacja odkształceń	405	11.2.2	Wybieranie obiektów według kryteriów	460
<b>10.</b>	<b>Wydruk</b>	<b>407</b>	11.3	Okno robocze	461
10.1	Protokół wydruku	407	11.3.1	Płaszczyzny robocze	461
10.1.1	Otwieranie lub tworzenie protokołu wydruku	407	11.3.2	Raster	464
10.1.2	Praca w protokole wydruku	409	11.3.3	Uchwycenie	465
10.1.3	Definiowanie zawartości protokołu wydruku	411	11.3.4	Układy współrzędnych	470
10.1.4	Dostosowywanie nagłówka protokołu wydruku	416	11.3.5	Wymiary	473
10.1.5	Wstawianie grafiki z programu RFEM	419	11.3.6	Komentarze	476
10.1.6	Wstawianie grafiki i tekstu	420	11.3.7	Linie pomocnicze	477
10.1.7	Szablon protokołu wydruku	422	11.3.8	Raster liniowy	482
10.1.8	Dostosowywanie układu	424	11.3.9	Obiekty wizualne	484
10.1.9	Tworzenie strony tytułowej	424	11.3.10	Warstwy tła	485
10.1.10	Drukowanie protokołu wydruku	427	11.3.11	Marginesy i współczynniki rozciągnięcia	489
10.1.11	Eksport protokołu wydruku	427	11.4	Funkcje edycji	489
10.1.12	Ustawienia języka	429	11.4.1	Przenieść i kopiować	490
10.2	Bezpośredni wydruk grafiki	431	11.4.2	Obrót	493
10.2.1	Ogólne	432	11.4.3	Odbijanie lustrzane	494
			11.4.4	Rzut	495
			11.4.5	Skala	497

# Spis treści

Zawartość		Strona	Zawartość		Strona
11.4.6	Ścinanie	498	11.8	Generatory obciążeń	555
11.4.7	Dzielenie linii i prętów	500	11.8.1	Funkcje ogólne	555
11.4.8	Połączyć linie i pręty	502	11.8.2	Obciążenia prętowe/liniowe od obciążeń powierzchniowych	559
11.4.9	Scalić linie i pręty	503	11.8.3	Inne obciążenia	565
11.4.10	Wydłużyć linie i pręty	504	11.8.4	Obciążenia śniegiem	567
11.4.11	Połącz pręty	505	11.8.5	Obciążenia wiatrem	570
11.4.12	Wstawić węzeł	505	<b>12.</b>	<b>Zarządzanie plikami</b>	<b>577</b>
11.4.13	Wstawić pręt	506	12.1	Menedżer projektów	577
11.4.14	Graficzne przydzielanie właściwości pręta	507	12.1.1	Menedżer projektów	579
11.4.15	Zaokrąglanie naroży	508	12.1.2	Zarządzanie modelami	583
11.4.16	Podzielić powierzchnię	508	12.1.3	Kopia zapasowa danych	586
11.4.17	Stosowanie stycznej do okręgów	509	12.1.4	Ustawienia	587
11.4.18	Zmiana numeracji	510	12.2	Tworzenie nowego modelu	591
11.5	Funkcje tabeli	513	12.2.1	Ogólne	592
11.5.1	Funkcje edycji	513	12.2.2	Historia	597
11.5.2	Funkcje wyboru	515	12.3	Zarządzanie siecią	598
11.5.3	Funkcje widoku	517	12.4	Menedżer bloków	599
11.5.4	Ustawienia tabeli	519	12.4.1	Tworzenie bloków	600
11.5.5	Funkcje filtrowania	520	12.4.2	Import bloków	601
11.5.6	Import i eksport tabel	522	12.4.3	Usuwanie bloku	603
11.6	Wprowadzanie parametryczne	525	12.5	Interfejsy	604
11.6.1	Koncepcja ogólna	525	12.5.1	Bezpośrednia wymiana danych	604
11.6.2	Lista parametrów	525	12.5.2	Formaty plików dla wymiany danych	605
11.6.3	Edytor równań	528	12.5.3	Import RX-LINK *.step, *.iges, *.sat	612
11.6.4	Równania w tabelach i oknach dialogowych	530	<b>A</b>	<b>Literatura</b>	<b>614</b>
11.7	Generatory modelu	532	<b>B</b>	<b>Indeks</b>	<b>616</b>
11.7.1	Kopiowanie i wyciąganie	532			
11.7.2	Generatory konstrukcji	540			

# 1. Wprowadzenie

## 1.1 Początki pracy z programem RFEM 5

Program RFEM służy do analizy płyt, ścian, powłok, brył i konstrukcji szkieletowych przy użyciu Metody Elementów Skończonych. Dzięki swoim funkcjom stanowi efektywne narzędzie pozwalające na sprostanie różnym wyzwaniom nowoczesnej inżynierii i budownictwa. RFEM stanowi podstawę systemu modułowego, dzięki któremu każdy projektant może utworzyć swój własny pakiet modułów, dostosowany do indywidualnych potrzeb. Program główny określa siły wewnętrzne, deformacje i reakcje podporowe dla konstrukcji szkieletowych, płytowych i powłokowych.

Wersja programu RFEM 5 oferuje wiele przydatnych funkcji oraz możliwości, które są łatwe w obsłudze oraz przyjazne dla użytkownika. Jeszcze raz chcielibyśmy podziękować naszym klientom za cenne pomysły i uwagi.

Najważniejsze innowacje programu RFEM 5:

- Graficzny interfejs użytkownika w języku polskim, francuskim, włoskim, portugalskim, rosyjskim oraz hiszpańskim
- Wiele bezpośrednich ustawień przy definicji otworów
- Określanie położenia mimośrodków prętów na podstawie wymiarów ich przekrojów
- Wykresy funkcji naprężeń od odkształceń oraz rozszerzone kryteria dla nieliniowych podpór węzłowych i zwolnień
- Właściwości ortotropowe dla powierzchni czworokątnych i membranowych oraz dla brył
- Możliwość wprowadzania złożonych przekrojów drewnianych
- Filtr w bibliotece przekrojów z opcją „ulubione”
- Modelowanie brył poprzez „wyciąganie” powierzchni w odniesieniu do płaszczyzny lub punktu. Opcja ta dostępna jest również w przypadku brył zwięzających się po wysokości
- Przecięcia brył przy użyciu operatorów Boole’a
- Wprowadzenie pręta jako części pręta istniejącego
- Import plików z aplikacji Bentley ISM, Ansys Apdl i Scia Engineer
- Import obiektów 3D
- Graficzne wprowadzanie właściwości pręta
- Kolorowe symbole w tabelach dla przekrojów, powierzchni, brył, typów powierzchni i prętów
- Wybór przy pomocy elipsy, okręgów lub linii przecięcia
- Płaszczyzny robocze definiowane przez trzy punkty lub osie linii, pręta i powierzchni
- Zarządzanie kolorami dla typów powierzchni, sztywności, prętów oraz brył
- Wprowadzanie pochylenia i wygięcia początkowego w formie wartości absolutnych
- Określanie wymiarów powierzchni oraz jej ciężaru w tabeli danych
- Automatyczne tworzenie kombinacji obciążeń i wyników według implementowanych norm
- Stopniowe zagęszczanie siatki elementów skończonych w granicznych obszarach powierzchni
- Analiza dużych deformacji prowadzona według metody NEWTONA-RAPHSONA, PICARDA lub w formie relaksacji dynamicznej
- Przedstawienie rozkładu obciążeń, odkształceń, współczynników oraz smukłości pręta
- Zakres uśrednienia wartości podczas oceny skoku naprężeń
- Możliwość zdefiniowania własnych ustawień dla oświetlenia
- Ocena wyników przy użyciu płaszczyzny przekroju

- Nawigator *Widok* dla utworzonych przez użytkownika lub automatycznie wygenerowanych widoków i punktów widzenia
- Menedżer ustawień dla właściwości wyświetlania, pasków narzędzi, nagłówek protokołu wydruku itd.
- Scalanie grafik podczas wysyłania ich pocztą e-mail
- Eksport protokołu wydruku w formacie PDF

Mamy nadzieję, że praca z programem RFEM 5 będzie dla Państwa przyjemnością.

Zespół DLUBAL ENGINEERING SOFTWARE

## 1.2 Możliwości programu

Poniżej podano górny limit dotyczący ilości danych modelu w programie RFEM. Należy pamiętać, że złożone konstrukcje wymagają dużych możliwości sprzętowych.

### Dane dotyczące modelu

99 999 obiektów z każdej kategorii (węzły, linie, powierzchnie, przekroje itd.)

### Dane dotyczące obciążenia

99 999 obciążeń każdego typu na jeden przypadek obciążenia

### Przypadki obciążeń i kombinacje

Przypadki obciążeń (obliczenia liniowe)	9 999
Kombinacje obciążeń (obliczenia nieliniowe)	9 999
Kombinacje wyników	9 999

Tabela 1.1: Ograniczenia programu RFEM

## 1.3 Profil firmy

Już od chwili rozpoczęcia działalności w 1987 roku, firma DLUBAL SOFTWARE zajmowała się tworzeniem przyjaznych dla użytkownika zaawansowanych programów do analizy dynamicznej i statyczno-wytrzymałościowej.

Patrząc na nasze programy można poczuć entuzjazm wszystkich zaangażowanych w rozwój oprogramowania i zauważyć filozofię leżącą u podstaw wszystkich naszych aplikacji, które można wyrazić jako przyjazne dla użytkownika. Powyższe fakty w połączeniu z naszym know-how w zakresie inżynierii tworzą solidne podstawy rosnącego sukcesu naszych produktów.

Nasze oprogramowanie zostało zaprojektowane w taki sposób, aby nawet użytkownicy z podstawowymi umiejętnościami obsługi komputera mogli po krótkim czasie efektywnie obsługiwać oprogramowanie. Z dumą możemy potwierdzić, że do naszych zadowolonych użytkowników na całym świecie należy ponad 8 000 biur projektowych i firm konstrukcyjnych z różnych branż, a także wiele szkół wyższych. Pozostając wiernymi naszym celom, posiadamy ponad 170 pracowników pracujących stale nad rozwojem i doskonaleniem aplikacji firmy DLUBAL.

Ogólne zapytania i problemy można zgłaszać emailem na adres centrum obsługi klienta.

Idealna równowaga pomiędzy ceną a wydajnością w połączeniu z doskonałą obsługą klienta świadczoną przez doświadczonych inżynierów, czynią z programów firmy DLUBAL niezbędne narzędzie dla profesjonalistów zajmujących się statyką, dynamiką i projektowaniem.



## 1.4 Zespół autorów programu RFEM

Nad rozwojem RFEM 5 pracowali następujący specjaliści:

### Koordinacja programu

Dipl.-Ing. Georg Dlubal  
Ing. Pavel Bartoš  
Ing. Pavol Červeňák

Dipl.-Ing. (FH) Younes El Frem  
M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler

### Programowanie

RNDr. Miroslav Šejna, CSc  
Ing. Radek Brettschneider  
Jan Brnušák  
Ing. Martin Budáč  
Ing. Michal Búzik  
Dipl.-Ing. Georg Dlubal  
Jan Fenár  
Ing. Jiří Fink  
Ing. Jan Gregor  
Ing. Jiří Kubíček  
Dr.-Ing. Jaroslav Lain  
Ing. Jan Miléř  
Ing. Daniel Molnár  
Ing. Petr Novák  
Ing. Jan Otradovec  
Mgr. Petr Oulehle

Mgr. Jiří Patrák  
Mgr. Andor Patho  
Mgr. Petr Pitka  
Bc. Ondřej Planý  
Ing. Jan Rybín, Ph.D.  
Ing. Fatjon Sakiqi  
Ing. Pavel Spilka  
Ing. Roman Svoboda  
RNDr. Stanislav Škovran  
Dis. Jiří Šmerák  
Ing. Jan Štalmach  
Lukáš Tůma  
RNDr. Miroslav Valeček  
Ing. Vítězslav Zajíc  
Michal Zelenka

### Programowanie – rdzeń analityczny

Doc. Ing. Ivan Němec, CSc  
Ing. Jiří Buček  
Ing. Jiří Doležal  
Ing. Petr Horák  
Ing. Jaromir Kabeláč

Ing. Radoslav Rusina, CSc  
Ing. Ivan Ševčík, CSc  
Ing. Zbyněk Vlk, CSc  
Ing. Lukáš Weis  
RNDr. Milan Zeiner

### Wygląd programu, okna dialogowe, ikony

Dipl.-Ing. Georg Dlubal  
MgA. Robert Kolouch

Zdeněk Ballák  
Ing. Jan Miléř

### Bloki

Ing. Tommy Brtek  
Ing. Dmitry Bystrov

Ing. Evžen Haluzík

### Kontrola programu

Ing. Alexandra Bayrak  
Marian Bocek  
Ing. Tommy Brtek  
Ing. Ondřej Šašinka  
Ing. Tomáš Ferencz  
Ing. Vladimír Gajdoš  
Ing. Jakub Harazín  
Ing. Martin Hlavačka  
Ing. Iva Horčíčková  
Karel Kolář  
Ing. František Knobloch

Ing. Ctirad Martinec  
Pavla Novotná  
Ing. Vladimír Pátý  
Ing. Evgeni Pirianov  
Ing. Václav Rek  
Ing. Jan Rybín, Ph.D.  
Mgr. Vítězslav Stembera, Ph.D.  
Ing. Ondřej Šupčík  
Ing. Martin Vasek  
Marek Ženuch

## Tłumaczenia i instrukcje

Msc. Eliška Bartůňková  
 Ing. Fabio Borriello  
 Ing. Dmitry Bystrov  
 Eng.º Rafael Duarte  
 Ing. Jana Duníková  
 Ing. Lara Caballero Freyer  
 BSc Eng Chelsea Prokop  
 Jan Jeřábek  
 Ing. Ladislav Kábrt  
 Mgr Inż. Aleksandra Kociołek  
 Mgr. Michaela Kryšková  
 Dipl.-Ing. Tingting Ling

Ing. Roberto Lombino  
 Eng.º Nilton Lopes Fernandes  
 Mgr. Ing. Hana Macková  
 Ing. Téc. José Martínez Hernández  
 Ing. Petr Míchal  
 MA SKT Anton Mitleider  
 Dipl.-Ü. Gundel Pietzcker  
 Mgr. Jagoda Podgórna  
 Mgr. Petra Pokorná  
 Ing. Zoja Rendlová  
 Ing. Marcela Svitáková  
 Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl  
 Mgr Inż. Marcin Wardyn

## Wsparcie techniczne, zarządzanie jakością

Mgr Inż. Aleksandra Kociołek  
 Ing. Petr Michal  
 Ing. Jakub Harazin

## 1.5 Korzystanie z instrukcji

Wszystkie drogi prowadzą do Rzymu – zasada ta ma również swoje zastosowanie podczas pracy z programem RFEM. Paski narzędzi, tabele i nawigatory pozwalają na uruchamianie tych samych funkcji. Opisy w tej instrukcji odpowiadają kolejności i układowi tabel dla danych na temat modelu, obciążeń oraz wyników, a poszczególne tabele są opisane szczegółowo kolumna po kolumnie. Instrukcja utworzona jest w sposób tematyczny i odwzorowuje (z uwzględnieniem kolejności) tabele oraz nawigatory programu.



Przed rozpoczęciem pracy z programem, polecamy najpierw zapoznać się z przykładem wprowadzającym, który opisuje wprowadzanie danych krok po kroku. Dokument PDF można pobrać z naszej strony internetowej <http://www.dlubal.com/pl/pobieranie-instrukcji.aspx>. W ten sposób można szybko zapoznać się z najważniejszymi funkcjami programu RFEM. Zaawansowani użytkownicy programu mogą zapoznać się z naszym szczegółowym poradnikiem, który jest również dostępny na naszej stronie. Oba przykłady mogą być wykonywane w ramach ograniczeń wynikających z wersji demo.



Opisywane **przyciski** oznaczone są w tekście nawiasami kwadratowymi, np. [Zastosować]. Jednocześnie są one wyświetlane po lewej stronie. Ponadto **wyrażenia** używane w oknach dialogowych, tabelach oraz w poszczególnych elementach menu zostały w tekście oznaczone *kursywą*.

Indeks na końcu instrukcji obsługi pomoże Państwu znaleźć konkretne terminy i tematy. Jednak jeśli nie znajdą Państwo tego, czego szukają, należy sprawdzić naszą stronę internetową <http://www.dlubal.com/pl/>, aby przeszukać listę najczęściej zadawanych pytań (FAQ).

## 2. Instalacja

### 2.1 Wymagania systemowe

Aby korzystać z programu RFEM bez żadnych trudności, zalecane są następujące wymagania sprzętowe:

- System operacyjny Windows XP/Vista/7/8
- x86 CPU 2 GHz
- 2 GB RAM
- Napęd DVD-ROM na potrzeby instalacji (w przypadku braku napędu, możliwa jest również instalacja sieciowa)
- 10 GB pojemności dysku twardego, w tym około 2 GB wymagane na potrzeby instalacji
- Karta graficzna obsługująca przyspieszenie OpenGL i rozdzielczość 1024 x 768 pikseli. Nie zaleca się stosować zintegrowanych kart graficznych ze współdzieleniem pamięci.



Program RFEM nie jest obsługiwany przez Windows 95/98/Me/NT/2000, Linux, Mac OS ani serwerowe systemy operacyjne.

Ponieważ program RFEM zwykle działa na wszystkich systemach spełniających wymagania opisane powyżej, nie polecamy żadnych szczególnych produktów z wyjątkiem systemu operacyjnego. Jeżeli program RFEM będzie używany do prowadzenia intensywnych obliczeń, należy pamiętać o zasadzie 'im więcej, tym lepiej'.

Podczas pracy ze złożonymi modelami, generowana jest duża ilość danych. W momencie, gdy wykorzystana zostanie pamięć główna, dane będą przesyłane na dysk twardy. Proces ten może znacznie spowolnić działanie komputera. Zastosowanie większej ilości pamięci RAM wpływa korzystnie na proces obliczeń niż zmiana procesora.



Ponieważ rdzeń analityczny programu RFEM współpracuje z procesorami wielordzeniowymi, potrafi w pełni wykorzystać potencjał 64-bitowych systemów operacyjnych. W przypadku 32-bitowych systemów operacyjnych, wielkość pamięci dostępnej dla procesora jest ograniczona do 2 gigabajtów. Pracując na komputerze posiadającym wystarczającą ilość pamięci RAM i używając 64-bitowego systemu operacyjnego, można wykorzystać szybką i bezpośrednią metodę rozwiązywania równań także w przypadku dużych modeli.

W przypadku obliczania złożonych modeli konstrukcyjnych, zalecane są następujące wymagania sprzętowe:

- Procesor czterordzeniowy
- Windows 7/8 64-bitowy
- 8 GB pamięci RAM

### 2.2 Przebieg instalacji

Rodzina programów **RFEM** dostarczana jest na płycie DVD. Oprócz programu głównego RFEM, płyta DVD zawiera również wszystkie moduły dodatkowe należące do rodziny programów RFEM – na przykład:

**RF-CONCRETE, RF-STEEL, RF-STABILITY** itp.



Przed rozpoczęciem instalacji programu RFEM, należy zamknąć wszystkie aplikacje działające w tle. Należy być zalogowanym jako administrator lub posiadać prawa administratora do instalowania programów. Do pracy z programem RFEM wystarczą uprawnienia użytkownika. Szczegółowa instrukcja znajduje się na naszej stronie internetowej w postaci pliku wideo [Uprawnienia użytkownika](#).

## 2.2.1 Instalacja z płyty DVD.

Opis instalacji znajduje się na tylnej stronie opakowania z płytą DVD.

- Instalację rozpoczyna się umieszczając płytę DVD z programem RFEM w napędzie DVD-ROM.
- Proces instalacji rozpocznie się automatycznie. Jeżeli tak się nie stanie, funkcja *autorun* może nie być aktywna. W takim przypadku należy uruchomić plik *autostart.exe* bezpośrednio z płyty, przy użyciu aplikacji Explorer lub poprzez wpisanie polecenia `D:\autosftart.exe` w polu „Uruchom” w menu Start („D” oznacza tutaj literę napędu, w którym znajduje się płyta DVD).
- Następnie w oknie dialogowym, które się pojawi należy wybrać język.



Rysunek 2.1: Wybór języka

- W kolejnym oknie dialogowym określa się wersję programu (64-bit lub 32-bit).
- W celu ukończenia instalacji, należy postępować zgodnie z poleceniami kreatora instalacji *InstallShield® Wizard*.

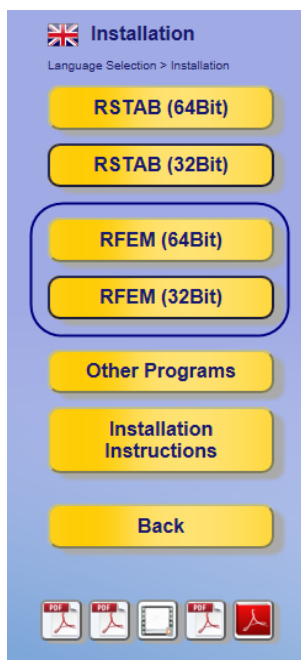
Dopiero po zakończeniu instalacji należy podłączyć klucz sprzętowy do portu USB komputera. Sterownik zostanie zainstalowany automatycznie.

Płyta DVD zawiera również instrukcje dotyczące instalacji oraz instrukcje obsługi programu RFEM w formie PDF. Aby móc otworzyć ww instrukcje, wymagana jest aplikacja Acrobat Reader, którą można zainstalować z płyty DVD.

### Pełna wersja lub wersja trialowa programu RFEM

Po pomyślnym zakończeniu instalacji, podczas pierwszego uruchomienia programu, należy zdecydować czy program RFEM będzie używany jako pełna wersja, czy jako trzydziestodniowa wersja trialowa.

W przypadku wybrania pełnej wersji programu, wymagany jest klucz sprzętowy (hardlock) oraz plik autoryzacyjny (*Author.ini*). Klucz sprzętowy należy podłączyć do portu USB komputera. Plik autoryzacyjny zawiera zakodowaną informację na temat licencji. Zazwyczaj plik *Author.ini* wysyłamy pocztą e-mail. Extranet, do którego można zalogować się na naszej



Wybór instalacji

stronie internetowej [www.dlubał.com/pl/](http://www.dlubał.com/pl/) również oferuje dostęp do bieżącego pliku autoryzacyjnego. Plik *Author.ini* należy zapisać na dysku twardym komputera, napędzie USB lub w sieci.

Każda stacja robocza wymaga osobnego pliku autoryzacyjnego. Plik ten można kopiować dowolną ilość razy. Jeżeli jednak jego zawartość ulegnie zmianie, nie będzie można go już używać do autoryzacji.



Możliwe jest również używanie pełnej wersji programu RFEM przy użyciu licencji *softlock* bez klucza sprzętowego.

### 2.2.2 Instalacja sieciowa

#### Licencje lokalne

Instalację można rozpocząć z dowolnego napędu komputera lub bezpośrednio z serwera. Na początku należy skopiować zawartość płyty DVD do odpowiedniego folderu. Następnie należy uruchomić plik *autostart.exe* na klienckiej stacji roboczej. Kolejne kroki nie różnią się od przebiegu instalacji z płyty DVD.

#### Licencje sieciowe

W przypadku posiadania licencji sieciowych, program instaluje się na stacjach roboczych w sposób opisany powyżej. Licencje zostaną następnie zaakceptowane przez sieciowy klucz sprzętowy SRM. Szczegółowe informacje na temat instalacji sieciowego klucza sprzętowego znajdują się na naszej stronie internetowej.

### 2.2.3 Instalowanie aktualizacji i innych modułów

Płyta DVD zawiera pełny pakiet programów i modułów dodatkowych. Kupując nowy moduł, niekoniecznie otrzymacie Państwo nowe DVD, ale zawsze aktualizowany zostanie plik autoryzacyjny *author.ini*. W celu zaktualizowania autoryzacji bez dokonywania ponownej instalacji, należy wybrać *Wczytać plik autoryzacyjny* w menu *Pomoc* w programie RFEM.

Stare pliki programu zostaną usunięte i zastąpione przez nowe pliki podczas instalacji aktualizacji. Zaznaczamy przy tym, że żadne dane na temat prowadzonych projektów nie zostaną utracone!



W przypadku wykorzystania definiowanych indywidualnie nagłówków protokołu wydruku, należy zapisać je przed przeprowadzeniem aktualizacji. Nagłówki są domyślnie zapisywane w pliku **DlubałProtocolConfig.cfg**, który znajduje się w ogólnym folderze danych *C:\ProgramData\Dlubał\Stammdat*. Plik ten nie zostanie przepisany podczas aktualizacji, niemniej jednak zapisanie pliku kopii zapasowej może okazać się przydatne.

Zalecamy również zapisać swoje szablony protokołu przed instalacją aktualizacji. Znajdują się one w pliku **RfemProtocolConfig.cfg** w folderze *C:\ProgramData\Dlubał\RFEM 5.01\General Data*.

Projekty z Menedżera projektów przechowywane są w pliku ASCII **PRO.DLP**, który domyślnie znajduje się w folderze *C:\ProgramData\Dlubał\ProMan* (viz. Rysunek 12.21 na stronie 551). Jeżeli przed instalacją aktualizacji program RFEM ma zostać odinstalowany, również i ten plik należy zapisać w bezpiecznym miejscu.

### 2.2.4 Równoległa instalacja wersji programu RFEM

Aplikacje firmy Dlubał - RFEM 4 i RFEM 5, mogą być uruchamiane równoległe na tym samym komputerze pod warunkiem, że pliki obu programów są przechowywane w różnych katalogach. Foldery domyślne dla tych generacji programu, dla 64-bitowego systemu operacyjnego znajdują się w następujących lokalizacjach:

- RFEM 4: C:\Programs (x86)\Dlubał\RFEM4

- RFEM 5: C:\Programs\Dlubal\RFEM 5.01

Wszystkie modele utworzone w poprzedniej wersji (RFEM 4) można otworzyć i edytować w programie RFEM 5.

Modele z programu RFEM 4 nie zostaną przepisane podczas zapisywania ich w programie RFEM 5, ponieważ oba programy posiadają różne rozszerzenia: RFEM 4 zapisuje dane na temat modelu w formacie **\*.rf4**, natomiast program RFEM 5 w formacie **\*.rf5**.

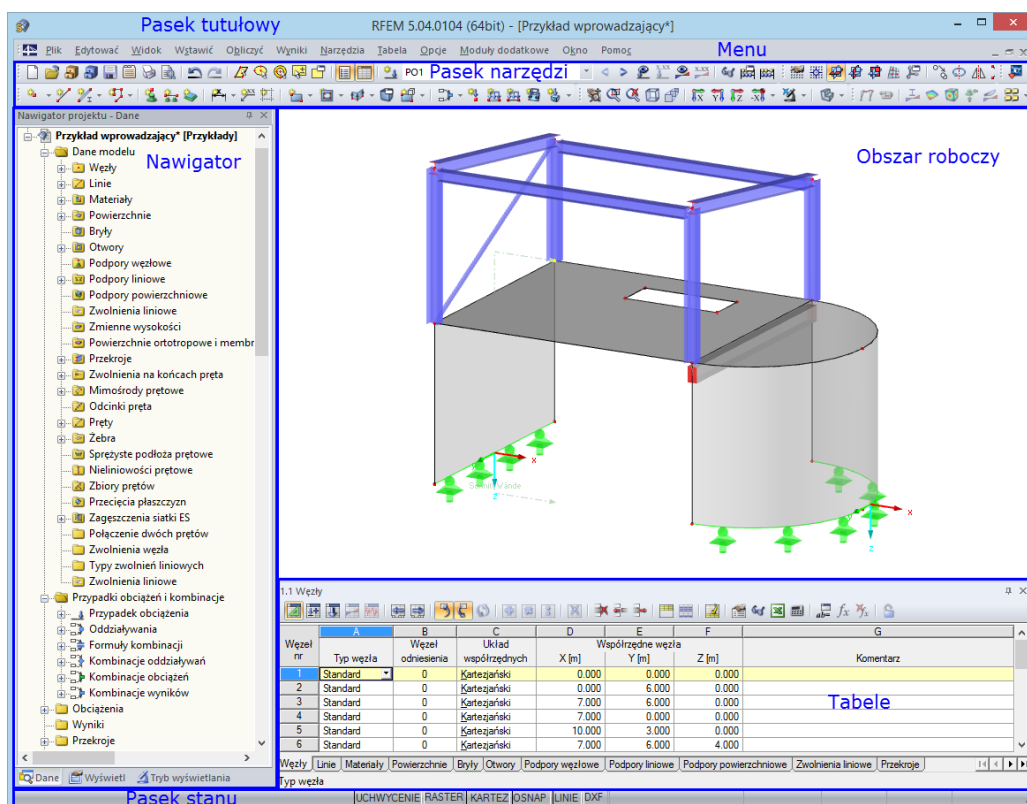
Pomimo pewnych zastrzeżeń, pliki modelu z programu RFEM 5 są kompatybilne ze starszymi wersjami programu. Podczas otwierania modelu z RFEM 5 w starszej wersji programu, pojawi się powiadomienie ostrzegające o problemach z kompatybilnością dla prętów o niesymetrycznych przekrojach.

# 3. Graficzny interfejs użytkownika

## 3.1 Przegląd

Po otwarciu jednego z przykładów znajdujących się w programie RFEM, ekran powinien wyglądać jak na rysunku poniżej (Rysunek 3.1). Graficzny interfejs użytkownika odpowiada ogólnym standardom Windows.

Poniższy rysunek pokazuje najważniejsze obszary interfejsu programu.



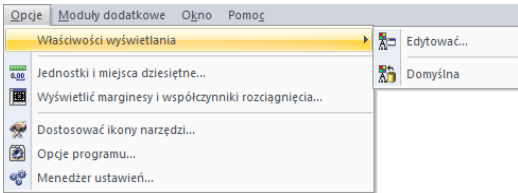
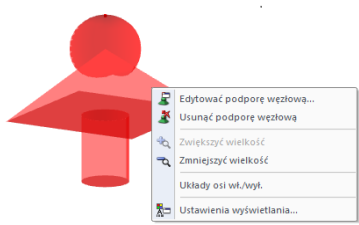

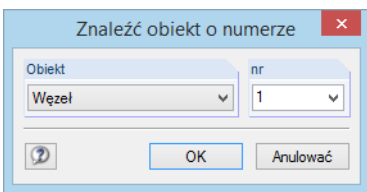
Rysunek 3.1: Interfejs użytkownika programu RFEM

## 3.2 Terminologia

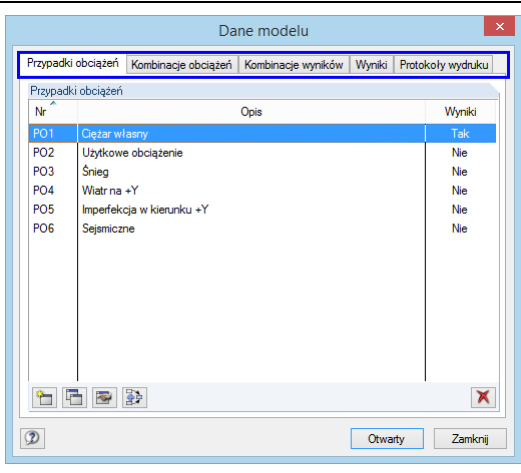
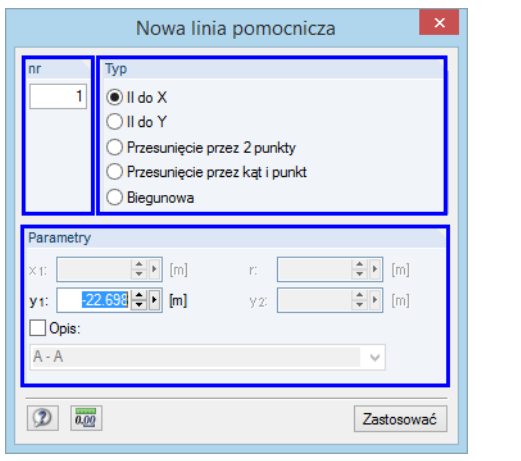
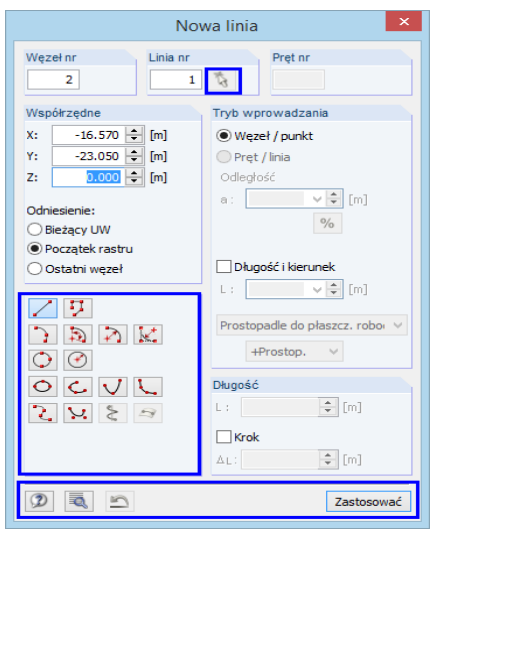
W tym rozdziale zostały opisane najważniejsze wyrażenia, używane w instrukcji, odnoszące się do interfejsu użytkownika systemu Windows.

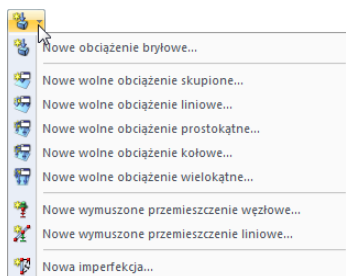
Elementy interfejsu użytkownika są opisane przy użyciu różnych wyrażień. W tej instrukcji zostały użyte polskie wyrażenia używane na podstawie zwrotów zawartych w dokumencie Microsoft Manual of Style for Technical Publications. Niektóre elementy zostały streszczone z uwagi na to, że ich szczegółowy opis nie jest potrzebny do obsługi programu RFEM.

Poniższa tabela opisuje najczęściej używane wyrażenia.

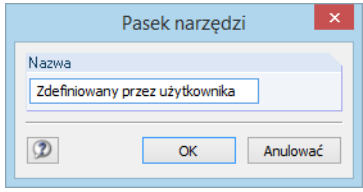
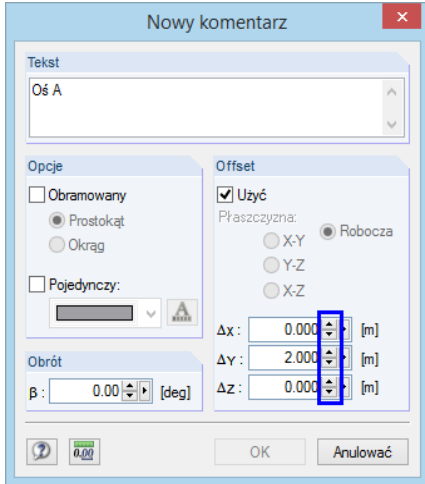
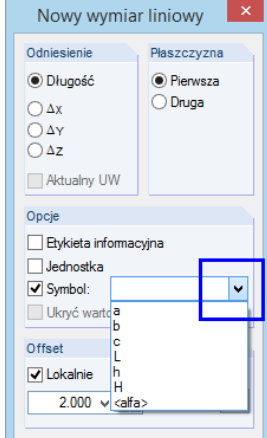
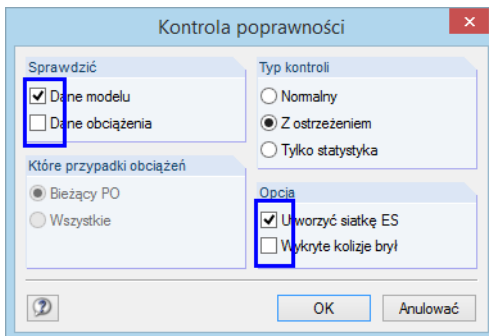
Wyrażenie	Rysunek	Synonim	Objaśnienie
Menu		Menu rozwijane	Polecenia i funkcje znajdujące się poniżej paska tytułowego
Menu kontekstowe		Menu podręczne	Menu kontekstowe otwiera się przez kliknięcie <b>prawym</b> przyciskiem myszy na wybrany element  Zawiera użyteczne polecenia i funkcje dla wybranego obiektu.
Pasek narzędzi		Przyciski narzędzi	Zbiór przycisków znajdujący się poniżej paska menu
Okno dialogowe			Okno używane do wprowadzania danych w oknie głównym



<p>Zakładki</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr</th> <th>Opis</th> <th>Wyniki</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PO1</td> <td>Cieżar własny</td> <td>Tak</td> </tr> <tr> <td>PO2</td> <td>Użytkowe obciążenie</td> <td>Nie</td> </tr> <tr> <td>PO3</td> <td>Śnieg</td> <td>Nie</td> </tr> <tr> <td>PO4</td> <td>Wiatr na +Y</td> <td>Nie</td> </tr> <tr> <td>PO5</td> <td>Imperfekcja w kierunku +Y</td> <td>Nie</td> </tr> <tr> <td>PO6</td> <td>Sejsmiczne</td> <td>Nie</td> </tr> </tbody> </table>	Nr	Opis	Wyniki	PO1	Cieżar własny	Tak	PO2	Użytkowe obciążenie	Nie	PO3	Śnieg	Nie	PO4	Wiatr na +Y	Nie	PO5	Imperfekcja w kierunku +Y	Nie	PO6	Sejsmiczne	Nie	<p>Rejestr</p> <p>Duże okna dialogowe podzielone są na kilka zakładek</p> <p>Wybór zakładki powoduje otwarcie odpowiedniej karty.</p>
Nr	Opis	Wyniki																					
PO1	Cieżar własny	Tak																					
PO2	Użytkowe obciążenie	Nie																					
PO3	Śnieg	Nie																					
PO4	Wiatr na +Y	Nie																					
PO5	Imperfekcja w kierunku +Y	Nie																					
PO6	Sejsmiczne	Nie																					
<p>Sekcja</p>	 <p>Typ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="radio"/> II do X</li> <li><input type="radio"/> II do Y</li> <li><input type="radio"/> Przesunięcie przez 2 punkty</li> <li><input type="radio"/> Przesunięcie przez kąt i punkt</li> <li><input type="radio"/> Biegunowa</li> </ul> <p>Parametry</p> <p>x1: [ ] [m]      r: [ ] [m]</p> <p>y1: [22.693] [m]      y2: [ ] [m]</p> <p>Opis: A - A</p> <p>Zastosować</p>	<p>Grupa, ramka</p> <p>Elementy w oknie dialogowym, które logicznie są ze sobą powiązane</p>																					
<p>Przycisk</p>	 <p>Węzeł nr: 2      Linia nr: 1      Pręt nr: [ ]</p> <p>Współrzędne</p> <p>X: -16.570 [m]      Y: -23.050 [m]      Z: 0.000 [m]</p> <p>Odniesienie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> Bieżący UW</li> <li><input checked="" type="radio"/> Początek rastru</li> <li><input type="radio"/> Ostatni węzeł</li> </ul> <p>Tryb wprowadzania</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="radio"/> Węzeł / punkt</li> <li><input type="radio"/> Pręt / linia</li> </ul> <p>Odległość</p> <p>a: [ ] [m]      %</p> <p>Długość</p> <p>L: [ ] [m]      ΔL: [ ] [m]</p> <p>Zastosować</p>	<p>Ikona</p> <p>Kliknięcie przycisku powoduje uruchomienie danej funkcji (na przykład otwarcie okna dialogowego lub zmianę danych)</p> <p>Pasek narzędzi zawiera listę przycisków. Wybór [▼] powoduje otwarcie listy podobnych funkcji. Ostatnio wybrany przycisk znajduje się na samej górze.</p>																					



Przycisk listy w pasku narzędzi

Pole wprowadzania		Pole danych, pole tekstowe	Pole służące do wprowadzania tekstu lub liczb
Pole przewijane		Lista przewijana	Dwa małe przyciski obok pola danych  Pozwala na stopniową zmianę wartości numerycznych.
Lista		Okno rozwijalne	Opcje dla pól danych  Czasami można dodać wartości określone przez użytkownika.
Pole wyboru		Pole wyboru	Wybór Tak/Nie poprzez zaznaczenie lub odznaczenie pola wyboru

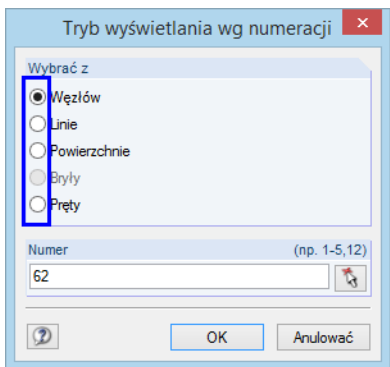
Lista wyboru		Przycisk opcji	Można wybrać tylko jedną z opcji.
--------------	--	----------------	-----------------------------------

Tabela 3.1: Wyrażenia w interfejsie użytkownika

### 3.3 Specjalne wyrażenia w programie RFEM

W tym rozdziale opisano specjalne wyrażenia używane w programie RFEM.

Wyrażenie	Objaśnienie
Węzły	W modelu 3D, węzeł jest definiowany przez swoje współrzędne (X/Y/Z). Węzły służą do modelowania geometrii konstrukcji.
Linia	Węzły są połączone liniami. Linie mogą być proste, krzywe lub zdefiniowane przez użytkownika, na przykład jako łuki i splajny.
Pręt	Pręt stanowi właściwość linii. Jego sztywność jest definiowana przez jego charakterystyki materiałowe oraz przekrój. Pręt jest elementem 1D.
Zbiór prętów	Pręty można połączyć w zbiór prętów. <b>Pręty ciągłe</b> stanowią pręty połączone w sposób ciągły podobnie jak w belce ciągłej. <b>Grupa prętów</b> utworzona z połączonych prętów może łączyć więcej niż dwa pręty w jednym węźle.
Powierzchnia	Powierzchnia jest ograniczona liniami granicznymi. Dzięki swojej grubości oraz właściwościom materiałów, do powierzchni przypisana jest konkretna sztywność. Powierzchnie są elementami 2D.
Bryła	Bryła ograniczona jest powierzchniami granicznymi (zwykle typu Zero). Jej sztywność definiowana jest poprzez charakterystyki materiałowe. Bryły są elementami 3D.
Podpora węzłowa	Stopnie swobody są ograniczone do węzła.
Podpora liniowa	Stopnie swobody są ograniczone do wszystkich węzłów na linii.
Obciążenie węzłowe	Siła lub moment przyłożone do węzła.
Obciążenie liniowe	Linia może być obciążona obciążeniem skupionym, równomiernym lub zmiennym liniowo. Obciążenie oddziałuje jako siła lub moment.
Obciążenie prętowe	Pręt może być obciążony obciążeniem liniowym lub pojedynczym. Wykres obciążenia może być równomierny lub trapezowy. Oprócz siły i momentów możliwe są również oddziaływania termiczne i naprężenia początkowe.
Obciążenie powierzchniowe	Powierzchnia może być obciążona obciążeniem równomiernym lub zmiennym liniowo. Oprócz sił na powierzchnię mogą działać oddziaływania termiczne i deformacje wymuszone.
Obciążenie bryłowe	Bryła może być obciążona przez oddziaływania termiczne lub deformacje wymuszone.

Przypadek obciążenia <i>PO</i>	<p>Wszystkie obciążenia od pojedynczego oddziaływania mogą być przechowywane w jednym przypadku obciążenia, na przykład „ciężar własny” lub „obciążenie ruchem”.</p> <p>Obciążenia powinny być zdefiniowane jako obciążenia charakterystyczne (a więc bez współczynników). Częściowe współczynniki bezpieczeństwa mogą być uwzględniane w kombinacjach obciążeń lub wyników.</p> <p>Przypadek obciążenia jest zwykle obliczany według liniowej analizy statycznej, ale możliwe są również obliczenia według analizy drugiego rzędu lub analizy dużych deformacji.</p>
Kombinacja obciążeń <i>KO</i>	<p>Kombinacja obciążeń służy do superpozycji przypadków obciążeń, czyli do sumowania wszystkich <b>obciążeń</b> z danych przypadków obciążeń.</p> <p>Kombinacja obciążeń jest zwykle obliczana według analizy drugiego rzędu lub analizy dużych deformacji, ale możliwe są również obliczenia według liniowej analizy statycznej.</p>
Kombinacja wyników <i>KW</i>	<p>Kombinacja wyników tworzy <b>obwiednie wyników</b> zawartych przypadków obciążeń.</p> <p>Przy użyciu kombinacji <i>Lub</i> można także określić ekstremalne siły wewnętrzne i deformacje z różnych przypadków obciążeń oraz kombinacji obciążeń i wyników.</p> <p>Dodatkowa reguła superpozycji nie ma jednak zastosowania w przypadku wyników obliczonych według analizy drugiego rzędu.</p>

Tabela 3.2: Specyficzne wyrażenia używane w programie RFEM

## 3.4 Interfejs użytkownika programu RFEM

Rozdział ten opisuje poszczególne elementy służące do obsługi programu RFEM (zobacz Rysunek 3.1 na stronie 15). Program został opracowany według ogólnych standardów dla aplikacji Windows.

### 3.4.1 Pasek menu

Pod paskiem tytułowym znajduje się pasek menu, w którym dostępne są wszystkie funkcje programu RFEM. Funkcje są zgrupowane w blokach logicznych.

Żądany element menu otwiera się poprzez jedno kliknięcie lewym przyciskiem myszy. W tym samym celu można również wykorzystać klawiaturę, przytrzymując klawisz [Alt] w połączeniu z literą podkreśloną w nazwie danego elementu menu. Następnie element menu zostanie otwarty i będzie można zobaczyć jego składowe. Żądane elementy wybiera się poprzez kliknięcie myszą lub poprzez naciśnięcie podkreślonej litery. Żądany element można wybrać także przy użyciu przycisków [↑] i [↓] oraz naciśnięcie przycisku [-].

Po otwarciu listy menu można przełączać się pomiędzy poszczególnymi elementami menu lub ich składowymi przy użyciu przycisków [→] i [←].

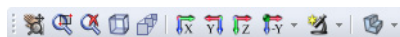
W przypadku niektórych elementów menu pokazany jest dodatkowo skrót klawiaturowy. Kombinacje klawiszy są zgodne ze standardami Windows. Skróty te służą do bezpośredniego uruchamiania danej funkcji przy użyciu klawiatury (na przykład [Ctrl] + [S] zapisuje dane).

### 3.4.2 Paski narzędzi

Pod paskiem menu znajdują się paski narzędzi. Ikony dostępne na paskach narzędzi pozwalają wywołać najważniejsze funkcje programu. Po zatrzymaniu kursora myszy nad ikoną, pojawi się krótki opis jego funkcji (podpowiedź ekranowa).

Niektóre ikony posiadają kilka funkcji składowych, które podobnie jak menu, zawierają spokrewnione ze sobą funkcje. Symbol [▼] znajdujący się obok ikony zapewnia dostęp do tych funkcji. Ostatnio wybrany przycisk znajduje się na początku listy.

Aby zmienić położenie paska narzędzi wystarczy kliknąć na początek paska lewym przyciskiem myszy, a następnie przesunąć go w wybrane miejsce.



Rysunek 3.2: Zakotwione położenie paska narzędzi *Widok*

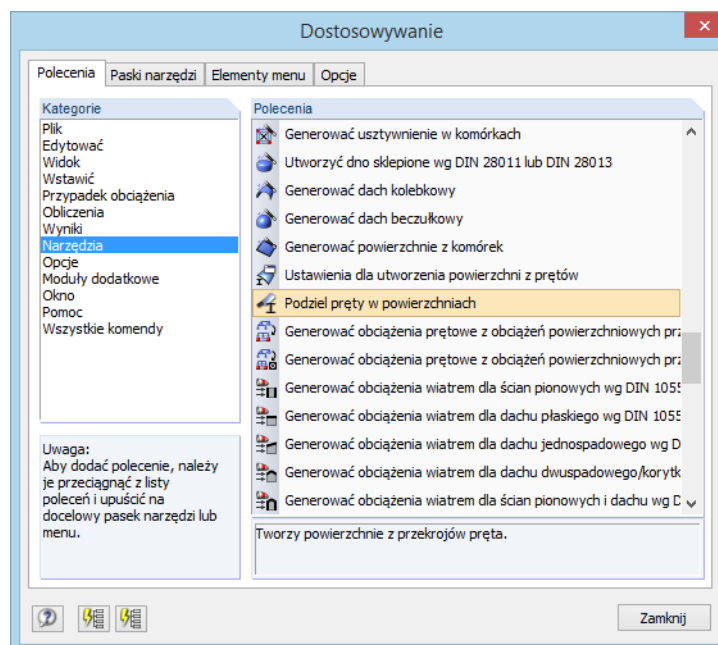
Po przeciągnięciu paska narzędzi w obszar przestrzeni roboczej, stanie się on 'przestawnym' paskiem narzędzi.



Rysunek 3.3: Przestawny pasek narzędzi *Widok*

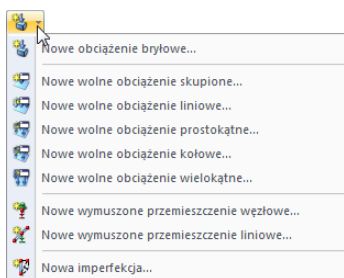
Aby ponownie zakotwić przestawny pasek narzędzi, wystarczy przenieść go z powrotem w obszar paska narzędzi przy użyciu przycisku myszy. W tym samym celu można również dwukrotnie kliknąć jego nagłówek.

Zawartość i wygląd pasków narzędzi można zmieniać w menu **Widok**, klikając opcję **Rozmieść paski narzędzi**, która otworzy odpowiednie okno dialogowe. Dostosowywanie pasków narzędzi odbywa się podobnie jak w innych aplikacjach systemu Windows.



Rysunek 3.4: Okno dialogowe *Dostosuj*, zakładka *Polecenia*

Wszystkie polecenia programu RFEM zgrupowane są w *Kategoriach*. Wybranie wpisu z listy powoduje, że zostaną pokazane ikony wszystkich związanych z nim *Poleceń* w prawej części okna. Należy kliknąć na ikonę, aby uzyskać objaśnienie funkcji, wyświetlane w dolnej części okna dialogowego. Wszystkie ikony można przesuwać w dowolne miejsce w pasku narzędzi przy użyciu funkcji „Przeciągnij-i-upuść”. Dodatkowe ikony zaleca się połączyć w jeden nowy



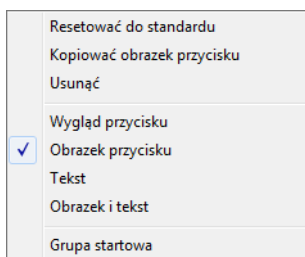
Przycisk listy w pasku narzędzi

pasek narzędzi (zobacz Rysunek 3.6), ponieważ pozostałe paski narzędzi mogą zostać przywrócone do postaci domyślnej podczas instalowania aktualizacji.

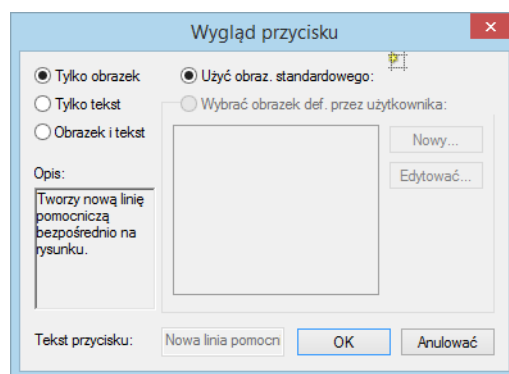
W celu usunięcia ikony z paska narzędzi, należy otworzyć okno dialogowe *Dostosuj*. Następnie należy przeciągnąć żądaną ikonę z paska narzędzi do przestrzeni roboczej. W tym samym celu można wykorzystać menu kontekstowe przycisku, pokazane na lewo od przycisku *Usunąć*.

Oprócz przeciągania poleceń do paska narzędzi, można również przenieść je do elementów menu. W ten sposób można utworzyć swoje własne menu, którego elementy można usuwać lub dostosowywać do własnych potrzeb w taki sam sposób, jak dokonuje się tego w przypadku pasków narzędzi.

Opcja *Wygląd przycisku* dostępna w menu kontekstowym otwiera następujące okno dialogowe:



Menu kontekstowe przycisku lub elementu menu

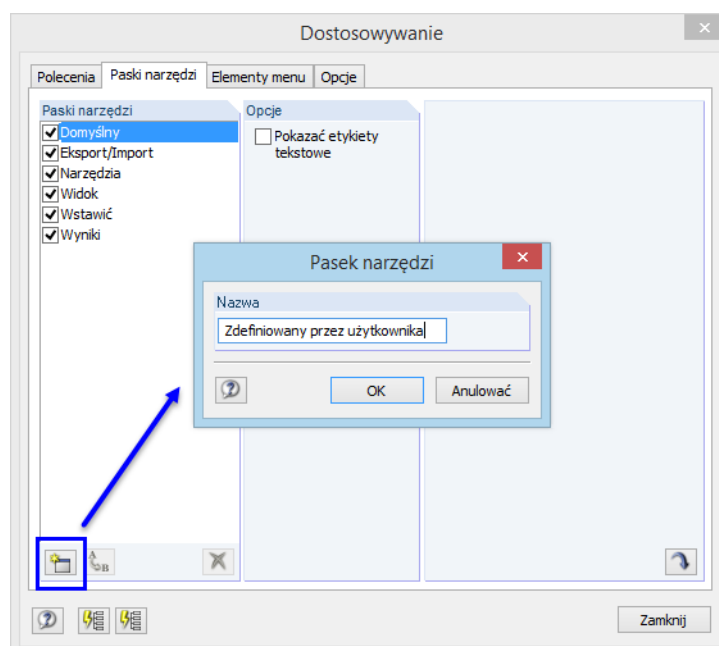


Rysunek 3.5: Okno dialogowe *Wygląd przycisku*

Okno to służy do zmiany *tekstu* przycisku lub elementu menu. Oprócz tego pozwala na zastąpienie domyślnego symbolu przez *ikonę zdefiniowaną przez użytkownika*.



Wszystkie dostępne paski narzędzi są wyszczególnione w zakładce *Paski narzędzi* w oknie dialogowym *Dostosuj*. Przy użyciu przycisku [Nowy] można wyłączyć lub tworzyć nowe paski narzędzi.



Rysunek 3.6: Tworzenie nowego paska narzędzi

W celu utworzenia nowego paska narzędzi, należy wprowadzić jego *Nazwę* w oknie dialogowym *Pasek narzędzi*, a następnie wybrać [OK]. Pojawi się on na ekranie w postaci paska przestawnego. W razie potrzeby, można przesunąć go w odpowiednie miejsce i dodać do niego przyciski przy użyciu zakładki *Polecenia*, jak zostało to opisane powyżej.

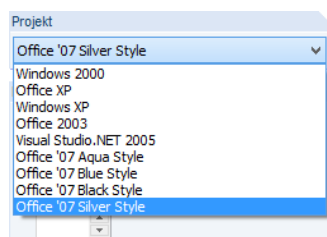


Przycisk [Resetuj wszystkie paski narzędzi określone przez użytkownika] przywraca początkowy stan pasków narzędzi. Jeżeli na liście znajdzie się zmodyfikowany pasek narzędzi, zostanie on usunięty. Domyślne paski narzędzi programu RFEM nie mogą zostać usunięte, a jedynie ukryte.



W zakładce *Elementy menu* można utworzyć menu rozwijane zdefiniowane przez użytkownika. Proces ten przebiega tak samo, jak zostało to opisane powyżej w przypadku tworzenia nowych pasków narzędzi.

Wygląd interfejsu użytkownika programu RFEM można zmienić w ostatniej zakładce okna dialogowego *Opcje*, gdzie można wybrać jeden z następujących *Stylów*:



Rysunek 3.7: Style dostępne dla interfejsu użytkownika

Nowe ustawienia będą natychmiast aktywne.

### 3.4.3 Nawigator projektu



W lewej części okna roboczego znajduje się nawigator, który swoim wyglądem przypomina Eksplorator Windows. Aby wyświetlić lub ukryć *Nawigator projektu*, w menu **Widok** należy wybrać **Nawigator** lub kliknąć odpowiedni przycisk w pasku narzędzi.



Rysunek 3.8: Przycisk *Nawigator* w *Domyślnym* pasku narzędzi

Nawigator ten pokazuje dane dotyczące modelu, które znajdują się w aktywnych plikach. W tym celu należy kliknąć [+], aby rozwinąć gałąź struktury drzewa lub [-], aby ją zamknąć. Można także dwukrotnie kliknąć na żądany wpis.

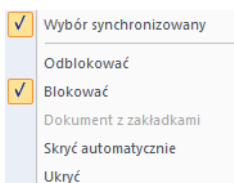


Podobnie jak w przypadku pasków narzędzi, przy użyciu myszy można „złapać” nawigator za pasek tytułowy i przenieść go do obszaru roboczego. Aby ponownie go zakotwić, wystarczy dwukrotnie kliknąć na pasek tytułowy lub przenieść w obszar obramowania okna. Podczas przesuwania nawigatora, dodatkowo pojawiają się przyciski kierunkowe pokazane na lewym marginesie tej strony. Przyciski te ułatwiają dokowanie na jednej z czterech stron okna roboczego, umożliwiając przeciągnięcie nawigatora w obszar wybranego przycisku ze strzałką i zwolnienie lewego przycisku myszy po najechaniu wskaźnikiem na ten przycisk.

Jeżeli nawigator nie ma być zadokowany w obramowaniu okna, należy odznaczyć odpowiednią opcję w menu kontekstowym nawigatora.

Jeżeli w menu zaznaczona jest opcja *Synchronizacja wyboru*, obiekt wybrany w nawigatorze zostanie podświetlony przy użyciu kolorów w grafice modelu.

Opcja menu kontekstowego *Autoukrywanie* pozwala minimalizować zadokowany nawigator. W momencie kliknięcia na dowolny obszar okna roboczego, nawigator przesunie się na jego krawędź i zamieni się w cienki pasek (zobacz Rysunek 3.9). Funkcję tę można wybrać również

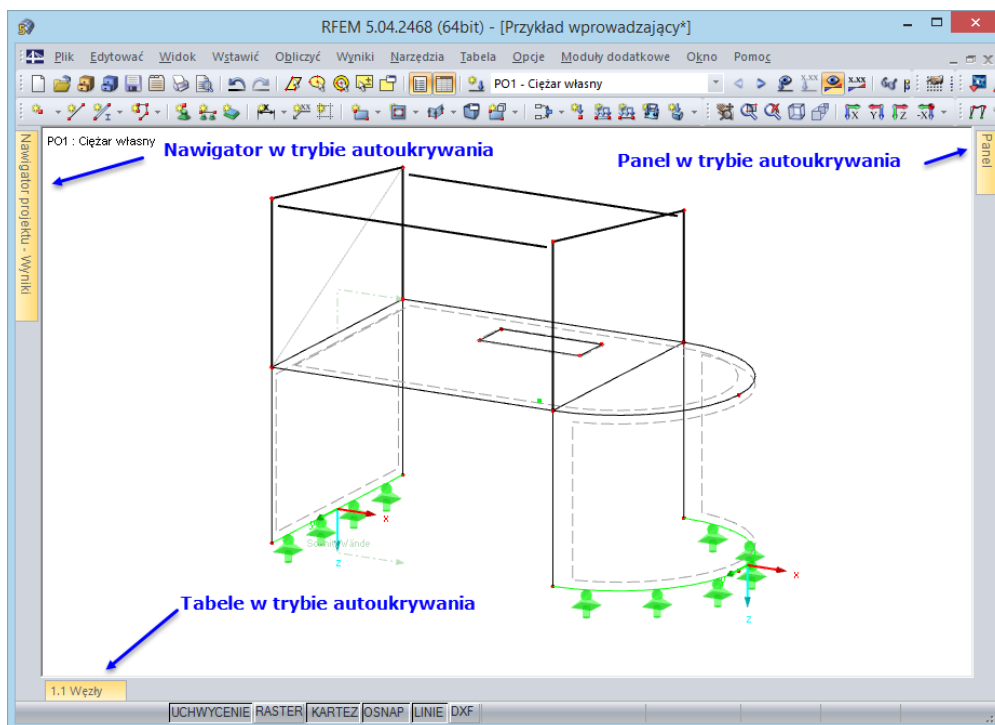


Menu kontekstowe nawigatora



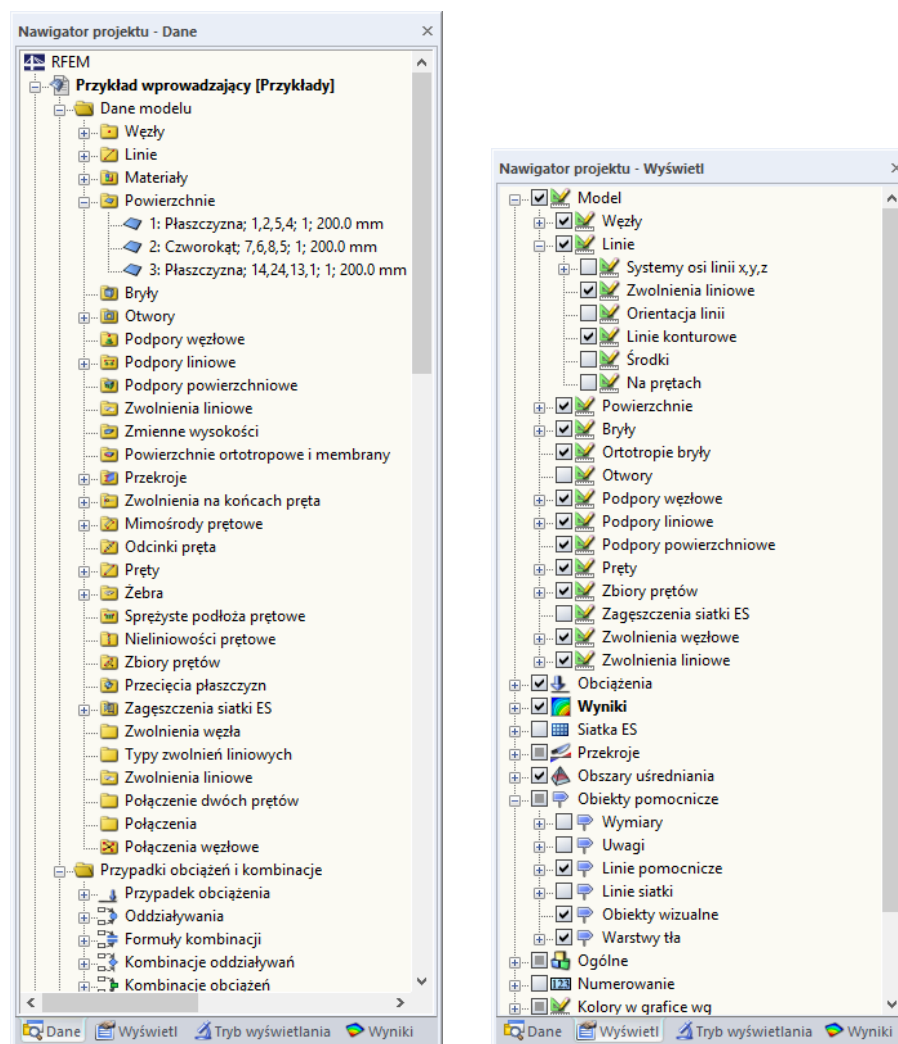
przy użyciu przycisku pinezki znajdującego się w górnym prawym rogu nawigatora (zobacz Rysunek 3.10 na stronie 26).

Nawigator otworzy się ponownie w swojej pełnej postaci po przesunięciu wskaźnika nad polem *Nawigator projektu*, podświetlonym w zadokowanym pasku nawigatora.



Rysunek 3.9: Nawigator, tabele i panel w trybie autoukrywania

Na dolnej krawędzi nawigatora znajdują się trzy zakładki (cztery po zakończeniu obliczeń), które służą do przełączania się pomiędzy nawigatorami *Dane*, *Wyświetl*, *Widoki* i *Wyniki*.

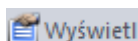
Rysunek 3.10: Zakładki nawigatorów *Dane* i *Wyświetl*

### Nawigator *Dane*



Nawigator *Dane* zarządza danymi dotyczącymi modelu i obciążeń oraz wynikami. Podwójne kliknięcie wpisu ("liścia" w strukturze drzewa) otwiera okno dialogowe, w którym można dokonać zmian wybranego obiektu. Kliknięcie wpisu prawym przyciskiem myszy powoduje otwarcie menu kontekstowego zawierającego funkcje pomocnicze służące do tworzenia lub modyfikowania obiektu.

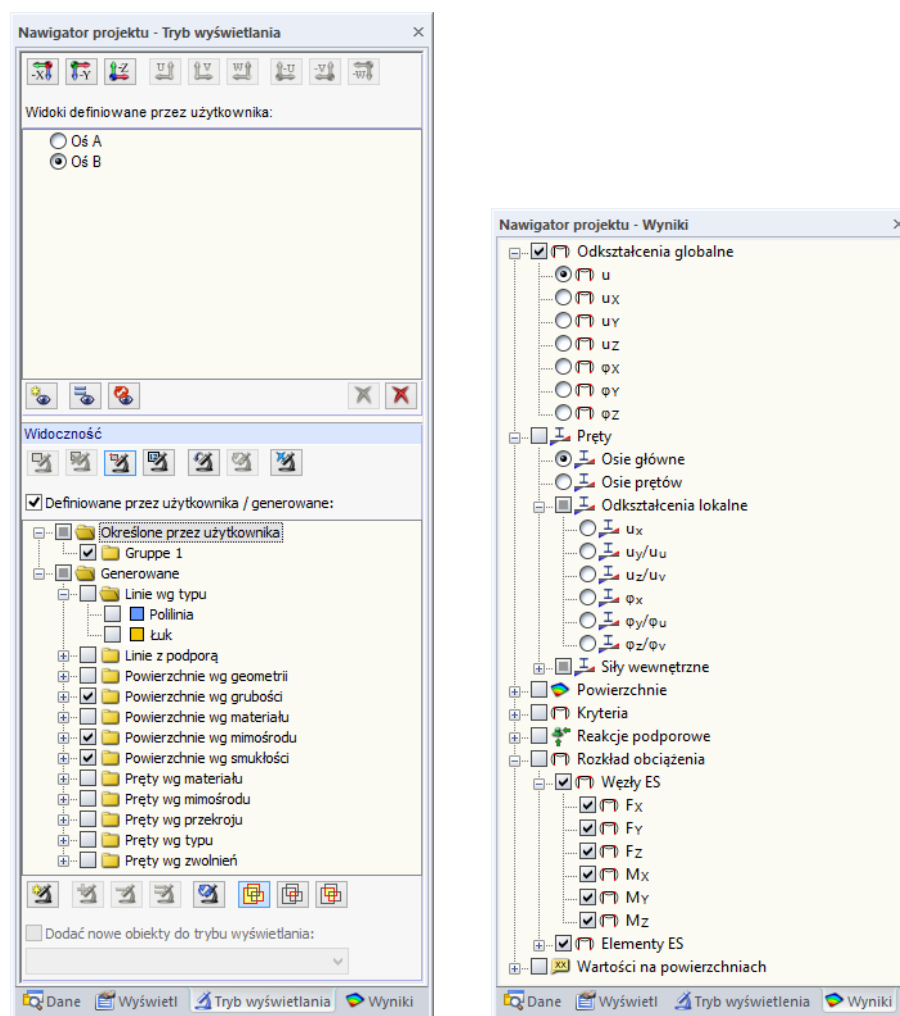
Niepoprawnie zdefiniowane obiekty są wyświetlane w kolorze czerwonym, natomiast nieużywane obiekty wyświetlane są przy użyciu niebieskich liter.



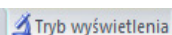
### Nawigator Wyświetl

Nawigator *Wyświetl* służy do kontroli wyświetlania graficznego w oknie roboczym. Po odznaczeniu opcji na liście wyboru, odpowiadający mu obiekt nie będzie wyświetlany graficznie.

Przy pomocy menu kontekstowego nawigatora, pokazanego na lewym marginesie tej strony, można zapisać lub zaimportować swoje własne ustawienia. W przypadku nowych modeli można również zastosować zapisane ustawienia jako domyślne.



Rysunek 3.11: Zakładki *Tryb wyświetlania* i *Wyniki* w Nawigatorze projektu



### Nawigator Widok

Nawigator *Widok* zarządza widokami zdefiniowanymi przez użytkownika, a także zdefiniowanymi przez użytkownika i automatycznie utworzonymi widocznościami obiektów (w programie RFEM 4 nazywane "widokami częściowymi" i "grupami"). Nawigator posiada przyciski służące do tworzenia widoków definiowanych przez użytkownika, ustawiania widoczności, integrowania obiektów z widocznościami definiowanymi przez użytkownika itp.

Praca z widokami i widocznościami została opisana w rozdziale 9.9.1 na stronie 424



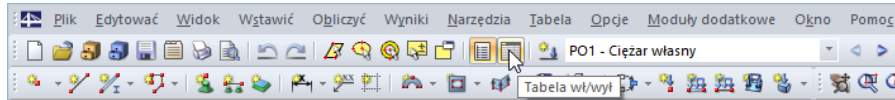
### Nawigator Wyniki

Przy użyciu końcowego nawigatora można kontrolować wyniki wyświetlane w grafice. Ilość dostępnych wpisów zależy od tego czy wyświetlane są wyniki z programu RFEM, czy z modułu dodatkowego.

### 3.4.4 Tabele



Na dolnej krawędzi okna programu RFEM znajdują się tabele. Aby włączyć lub wyłączyć tabele, w menu **Tabela** należy wybrać **Wyświetlanie**. W tym samym celu można użyć odpowiedni przycisk.



Rysunek 3.12: Przycisk *Tabela wł./wyt.* w Domyślnym pasku narzędzi

Istnieją cztery grupy tabel. Aby przechodzić między nimi należy użyć cztery przyciski wyświetlane na pasku narzędzi tabeli lub przejść do **Idź do** w menu **Tabela**.



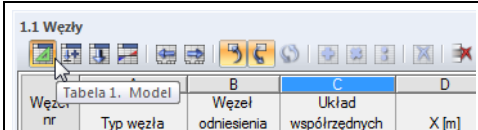
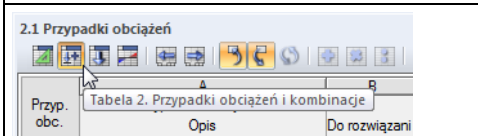
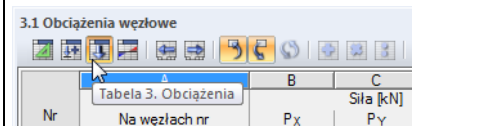
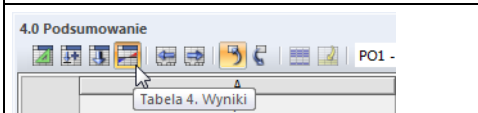
 <p>Menu <b>Tabela</b> → <b>Idź do</b> → <b>Dane modelu</b></p>	Tabele danych modelu
 <p>Menu <b>Tabela</b> → <b>Idź do</b> → <b>Przypadki obciążeń i kombinatoryka</b></p>	Tabele przypadków obciążeń i kombinacji
 <p>Menu <b>Tabela</b> → <b>Idź do</b> → <b>Obciążenia</b></p>	Tabele obciążeń
 <p>Menu <b>Tabela</b> → <b>Idź do</b> → <b>Wyniki</b></p>	Tabele wyników

Tabela 3.3: Przyciski służące do obsługi grup tabel

Tabele zawierają wszystkie dane numeryczne na temat modelu i obciążeń. szereg specjalnych funkcji umożliwi efektywne wprowadzanie danych (zobacz rozdział 11.5 na stronie 513).

Pracując kolejno za pomocą tabel programu RFEM, program ten zagwarantuje spójność wszystkich danych. Tabele odzwierciedlają wewnętrzną organizację danych w programie RFEM. Opisy danych początkowych i wyników, znajdujące się w rozdziałach 4, 5, 6 i 8, zostały przedstawione na podstawie układu tabel.



Podobnie jak w przypadku pasków narzędzi, przy użyciu myszy można "złapać" tabelę za pasek tytułowy i przenieść ją w obszar przestrzeni roboczej. Aby ponownie ją zakotwić, wystarczy dwukrotnie kliknąć jej pasek tytułowy lub przenieść ją w obszar obramowania okna albo jednego z przycisków kierunkowych pokazanych na lewym marginesie strony.

Zadokowane tabele można ukryć, jeżeli aktywna będzie opcja menu kontekstowego *Autoukrywanie*. W przypadku kliknięcia na dowolny obszar przestrzeni roboczej, tabele przesuną się automatycznie w stronę krawędzi (zobacz Rysunek 3.9 na stronie 25). Funkcję tę

464 można wybrać również przy użyciu przycisku pinezki znajdującego się w górnym prawym rogu tabeli. Tabele otworzą się w swojej pełnej postaci, po przesunięciu wskaźnika nad zadokowanym paskiem.



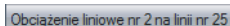
Po wybraniu rzędu tabeli poprzez kliknięcie myszą, obiekty powiązane zostaną podświetlone w grafice. W podobny sposób, po wybraniu obiektu w oknie roboczym, odpowiedni rząd tabeli również zostanie wyróżniony. Ustawieniami dla "synchronizacji wyboru" można zarządzać, wybierając opcję **Ustawienia** w menu **Tabela**. W tym samym celu można wykorzystać przycisk pokazany na lewym marginesie tej strony (zobacz 11.5.4, strona 519).

### 3.4.5 Pasek stanu

W dolnej części okna roboczego programu RFEM znajduje się pasek stanu. Aby go aktywować lub dezaktywować, należy kliknąć opcję **Pasek stanu** w menu **Widok**.

Pasek stanu składa się z trzech obszarów.

#### Lewy obszar



Rysunek 3.13: Lewy obszar paska stanu

Wyświetlany tekst zależy od aktywnej funkcji programu. Podczas przesuwania kursorem nad oknem roboczym, pojawiają się informacje na temat obiektu wskazywanego przez kursor.

Początkującym użytkownikom programu RFEM polecamy zwrócić szczególną uwagę na ww część paska stanu, ponieważ znajdują się tutaj użyteczne porady i opisy dotyczące przycisków paska narzędzi i okien dialogowych.

#### Obszar centralny

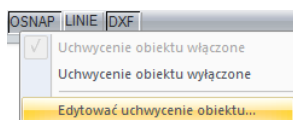


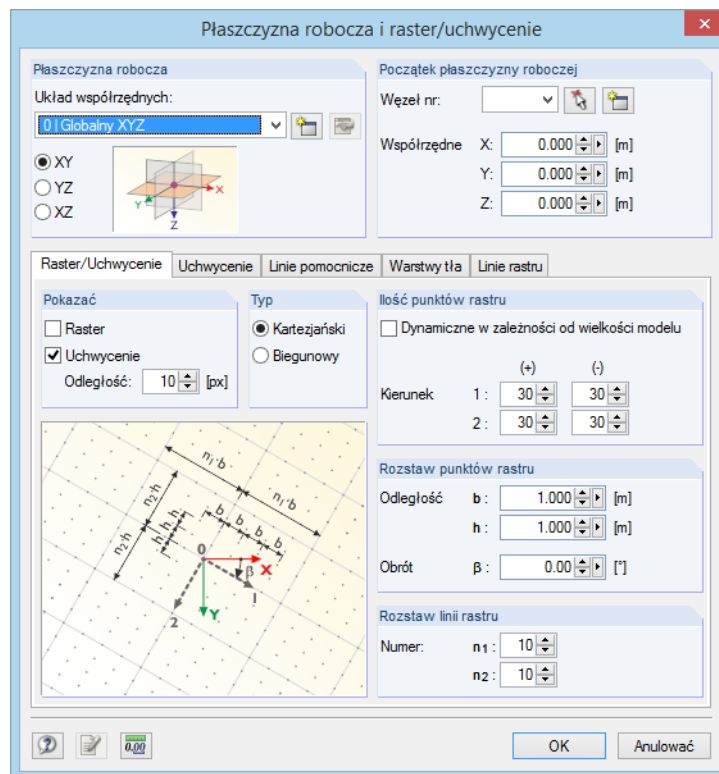
Rysunek 3.14: Centralny obszar paska stanu

Zasada działania obszaru jest podobna jak w przypadku dowolnego paska narzędzi. Służy on do kontroli wyświetlania okna roboczego.

#### UCHWYCENIE

Przycisk ten aktywuje lub dezaktywuje funkcję uchwycenia punktów rastru. Należy skorzystać z menu kontekstowego, aby otworzyć okno dialogowe z określonymi ustawieniami dla parametrów rastru (zobacz rozdział 11.3.2 strona 464).





Rysunek 3.15: Okno dialogowe *Płaszczyzna robocza i raster/uchwycenie*

**RASTER**

Przycisk ten włącza lub wyłącza punkty rastru. Funkcja *Edytować* w menu kontekstowym otwiera okno dialogowe pokazane na Rysunek 3.15.

Ponadto menu kontekstowe oferuje możliwość maksymalizacji lub minimalizacji rozstawu punktów rastru.

**ORTO / KARTEZ / BIEGUN**

Przycisk ten służy do wyboru rastru ortogonalnego, kartezjańskiego lub biegunowego. Przy użyciu menu kontekstowego można otworzyć okno dialogowe pokazane na Rysunek 3.15. Dodatkowo można stopniowo zwiększać lub zmniejszać rozstaw punktów rastru.

**OSNAP**

Przycisk ten włącza lub wyłącza uchwycenie obiektu (zobacz rozdział 11.3.3, strona 465).

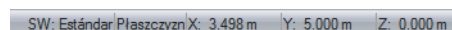
**LINIE**

Przycisk ten kontroluje wyświetlanie linii pomocniczych (zobacz rozdział 11.3.7, strona 477).

**DXF**

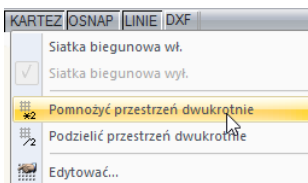
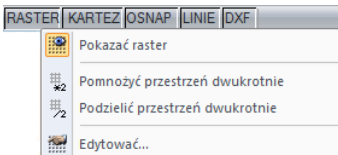
Przycisk ten służy do włączania i wyłączania wyświetlania warstw tła (zobacz rozdział 11.3.10, strona 485).

**Prawy obszar**



Rysunek 3.16: Prawy obszar paska stanu

W prawej części paska stanu wyświetlane są następujące informacje na temat danych wprowadzanych graficznie:



- Tryb widoczności (jeśli jest aktywny)
- Układ współrzędnych *UW*
- Płaszczyzna robocza
- Współrzędne aktualnego położenia wskaźnika myszy

### 3.4.6 Panel sterowania



Podczas graficznego wyświetlania sił wewnętrznych lub odkształceń, w oknie roboczym pojawi się **panel**. Panel ten oferuje wiele opcji wyświetlania i sprawdzania danych. Aby go włączyć lub wyłączyć,

należy wybrać polecenie **Panel sterowania (skala barw, współczynniki, filtr)** w menu **Widok** programu RFEM

lub kliknąć przycisk pokazany na lewym marginesie tej strony.

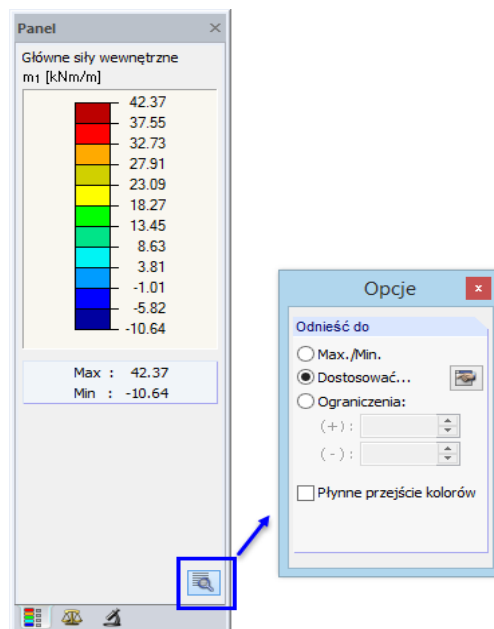


Przy użyciu myszy można uchwycić pasek tytułowy panelu i przesunąć go w obszar przestrzeni roboczej, podobnie jak dokonuje się tego w przypadku pasków narzędzi. Aby ponownie go zakotwić, wystarczy dwukrotnie kliknąć na pasek tytułowy lub przenieść go w obszar obramowania okna przy użyciu jednego z przycisków kierunkowych pokazanych na lewym marginesie tej strony.

Opcja menu kontekstowego *Autoukrywanie* pozwala minimalizować zadokowany panel. W momencie kliknięcia w dowolnym obszarze okna roboczego, panel przesunie się na jego krawędź (Rysunek 3.9 na stronie 25). Funkcję tę można wybrać również przy użyciu przycisku pinezki, znajdującego się w górnym prawym rogu panelu. Panel otworzy się w swojej pełnej postaci po przesunięciu wskaźnika nad zadokowanym paskiem.

Panel sterowania zawiera następujące zakładki: *Skala barw*, *Współczynniki*, *Filtr* i *Grubości*, jeżeli są one dostępne.

#### Skala barw

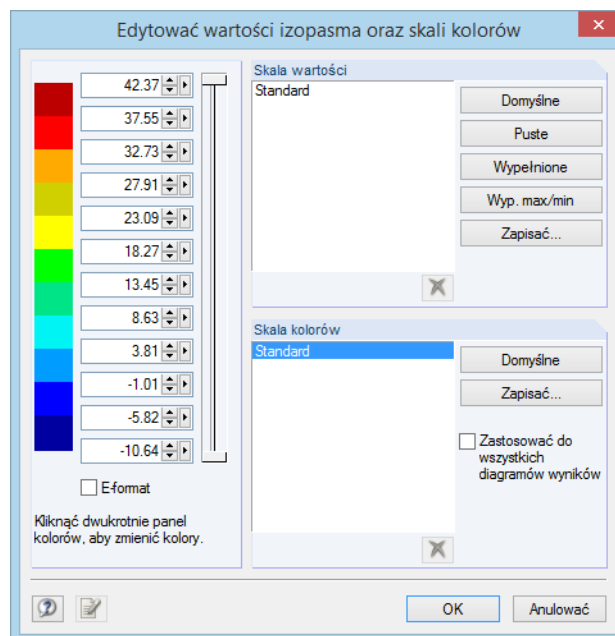


Rysunek 3.17: Panel sterowania, zakładka *Skala barw* z aktywnym oknem dialogowym *Opcje*

Jeżeli ustawione jest wyświetlanie wielobarwne, w pierwszej zakładce pokazane będzie spektrum barw z przydzielonymi wartościami. Domyślnie ustawione są równe zakresy barw, pokrywające przedział pomiędzy wartościami ekstremalnymi w interwałach o równej szerokości.



Aby dostosować spektrum barw, należy dwukrotnie kliknąć jedną z nich. W tym samym celu można wykorzystać przycisk [Opcje], znajdujący się w panelu. Otwarte zostanie okno dialogowe *Opcje* (Rysunek 3.18), w którym dostępny jest przycisk [Edytować] otwierający kolejne okno dialogowe, w którym można zmienić zakres barw i wartości.



Rysunek 3.18: Okno dialogowe *Edytować wartości izopasma oraz spektra barw*

Poziome suwaki znajdujące się na prawo od wartości służą do redukcji ilości barw na obu końcach spektrum.

Barwy można zmieniać również pojedynczo poprzez podwójne kliknięcie poszczególnych pól.

Oprócz tego wartości spektrum można zmieniać ręcznie. Należy zwrócić szczególną uwagę, aby zawsze używać tylko palety rosnącej lub malejącej.

Przyciski w sekcji okna dialogowego *Spektrum wartości* służą do przydzielania wartości i posiadają następujące funkcje:

Przycisk	Funkcja
Domyślnie	Zostaną przywrócone wartości domyślne dla jedenastu zakresów barw.
Puste	Wartości we wszystkich polach wprowadzania zostaną usunięte.
Wypełnione	Wartości zostaną równomiernie rozmieszczone pomiędzy maksimum a minimum w zależności od zakresu barw.
Wyp. max/min	Wartości interpolowane dla zredukowanego spektrum barw zostaną obliczone w odniesieniu do absolutnych lub wprowadzonych ręcznie wartości ekstremalnych.
Zapisa...	Spektrum wartości zostanie zapisane jako szablon.

Tabela 3.4: Przyciski w sekcji okna dialogowego *Spektrum wartości*

Zapisać...

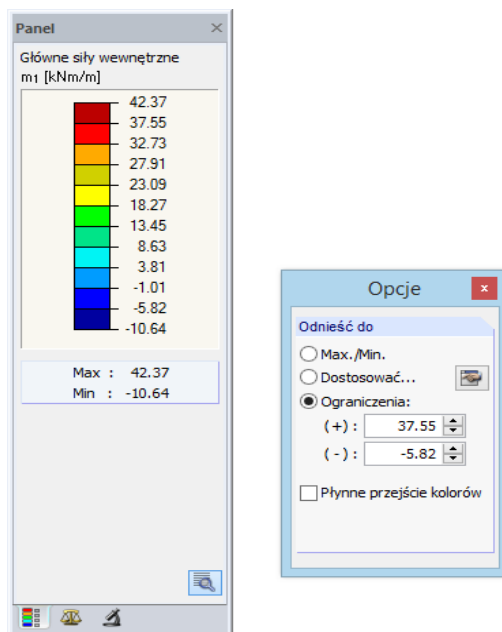
Zaznaczenie pola wyboru znajdującego się przed opcją *Zastosować do wszystkich wykresów wyników* spowoduje, że program będzie wykorzystywał bieżące spektrum barw do wyświetlania wyników wszystkich przypadków obciążeń oraz kombinacji obciążeń i wyników. Nie ulegnie natomiast zmianie spektrum wartości, ponieważ globalne przydzielenie



odkształceń, sił, momentów i naprężeń cechuje się wysokim stopniem skomplikowania. Kliknięcie opcji [Zapisać] spowoduje zapisanie spektrum barw zmodyfikowanego przez użytkownika.



Aby wybrać inne opcje w oknie dialogowym *Opcje*, należy kliknąć aktywny przycisk [Opcje] pokazany na Rysunek 3.17.

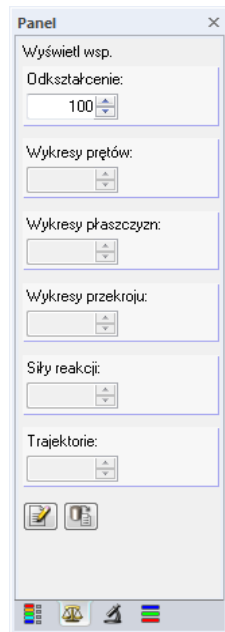


Rysunek 3.19: Okno dialogowe *Opcje*, opcja *Ograniczenia +/-*

Odniesienie do wartości granicznych pozwala na dokładną ocenę wyników w zdefiniowanych przedziałach. Przekroczenie górnych i dolnych wartości granicznych zostanie wyświetlone za pomocą innych kolorów. Przy użyciu wartości przedstawionych na Rysunek 3.19 można wyświetlić bardzo dokładne stopniowanie momentów  $m_1$  w przedziale  $\pm 30$  kNm/m. Wartości poza zdefiniowanym zakresem przedstawiane są w kolorze czerwonym lub niebieskim.

Aby wyłączyć wyświetlanie oddzielnych przedziałów barw, należy zaznaczyć pole wyboru dla *Płynnego przejścia barw* w oknie dialogowym *Opcje*. Płynne spektrum barw można ustawić niezależnie od tego, która z trzech opcji odniesienia została wybrana dla wartości wyników.

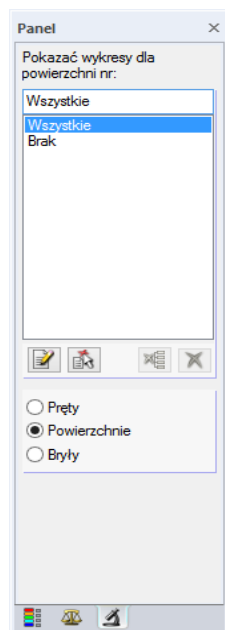
### Współczynniki



Rysunek 3.20: Panel sterowania, zakładka *Współczynniki*

Druga zakładka służy do kontrolowania współczynników skalujących dla wyświetlania graficznego. W zależności od aktualnie wybranej grafiki wyników, w polach wprowadzania można wprowadzić skalowanie *Odkształceń*, *Wykresów prętów*, *Wykresów płaszczyzn*, *Wykresów przekrojów*, *Reakcji* i *Trajektorii*.

### Filtr



Rysunek 3.21: Panel sterowania, zakładka *Filtr*

Przy użyciu zakładki *Skala barw* można ogólnie filtrować wartości wyników. W zakładce *Filtr* można wybrać różne sposoby wyświetlania wyników dla poszczególnych powierzchni, prętów lub brył.



Pole wyboru znajdujące się pod rzędem przycisków odpowiada trzem kategoriom obiektów, dla których można wyświetlić wykresy wyników. W tym celu należy wprowadzić numery odpowiednich prętów, powierzchni lub brył w polu wprowadzania *Pokaż wykresy dla*. Kliknięcie przycisku [Zastosować] uruchomi funkcję filtrowania grafiki.



Numery obiektów można również pobrać bezpośrednio z okna roboczego. W tym celu należy najpierw zaznaczyć pręty, powierzchnie lub bryły (wielokrotny wybór możliwy jest przy użyciu okna lub poprzez wciśnięcie przycisku [Ctrl]), a następnie kliknąć przycisk [Zaimportować z wybranych].

Ustawienia filtrowania mają również wpływ na obiekty w tabelach wyników: po ograniczeniu wyświetlania w panelu do, na przykład, dwóch prętów, w tabeli 4.6 Pręty – siły wewnętrzne pokazane będą tylko wyniki dla tych dwóch prętów.

### 3.4.7 Przyciski domyślne

Po umieszczeniu kursora nad przyciskiem okna dialogowego, wyświetlony zostanie krótki opis jego funkcji.

W poniższej tabeli znajduje się opis najczęściej używanych przycisków domyślnych.

Przycisk	Opis	Funkcja
	Nowy	Otwiera okno dialogowe służące do definiowania obiektu
	Edytować	Otwiera okno dialogowe służące do modyfikowania obiektu
	Usunąć	Usuwa obiekt lub wpis
	Wybrać	Umożliwia wybór graficzny
	Zastosować	Importuje zaznaczone elementy
	Biblioteka	Otwiera zbiór zapisanych danych
	Pomoc	Uruchamia funkcję pomocy
	Zastosować	Wprowadza zmiany bez zamykania okna dialogowego
	Ustawienia	Otwiera okno dialogowe służące do wprowadzania ustawień szczegółowych
	Komentarz	Umożliwia wybór komentarzy domyślnych → rozdział 11.1.4 na stronie 448
	Jednostki i miejsca dziesiętne	Ustawienia dla jednostek i miejsc dziesiętnych → rozdział 11.1.3 na stronie 447
	Domyślne	Przywraca domyślne ustawienia okna dialogowego
	Ustawić jako domyślne	Zapisuje bieżące ustawienia jako domyślne
	Czcionka	Służy do ustawiania typu i wielkości czcionki
	Barwy	Pozwala na dostosowanie barw
	Informacje	Wyświetla informacje na temat obiektu
	Przenieść wybrane	Przenosi wybrane elementy z jednej listy na drugą
	Przenieść wszystkie	Przenosi wszystkie elementy z jednej listy na drugą
	Zapisać	Zapisuje wpisy wprowadzone przez użytkownika
	Importować	Importuje zapisane wpisy
	Zaznaczyć	Zaznacza żądane lub wszystkie obiekty


	Odznaczyć	Usuwa lub anuluje wszystkie wpisy
---	-----------	-----------------------------------

Tabela 3.5: Przyciski domyślne

### 3.4.8 Funkcje klawiatury

Przy użyciu klawiatury można wywołać często używane funkcje w tabelach i graficznym interfejsie użytkownika.

[F1]	Pomoc
[F2]	Kolejna tabela
[F3]	Poprzednia tabela
[F4]	Sprawdzenie poprawności dla bieżącej tabeli
[F5]	Sprawdzenie poprawności dla wszystkich tabel
[F7]	Funkcja wyboru w tabelach
[F8]	Kopiuje komórkę tabeli, która znajduje się powyżej lub pokazuje cały model
[F9]	Kalkulator
[F10]	Pasek menu
[F12]	Zapisuje model pod nową nazwą
[Alt]	Pasek menu
[Ctrl]+[2]	Kopiuje wiersz tabeli do następnego wiersza
[Ctrl]+[A]	Funkcja <i>Powtórz</i>
[Ctrl]+[C]	Kopiowanie do schowka systemowego
[Ctrl]+[E]	Eksport danych
[Ctrl]+[F]	Wyszukiwanie w tabeli
[Ctrl]+[G]	Generuje wpisy w tabeli
[Ctrl]+[H]	Znajduje wpisy w tabeli i zastępuje je
[Ctrl]+[I]	Wstawia wiersz w tabeli lub importuje dane
[Ctrl]+[L]	Przechodzi do określonego numeru wiersza w tabeli
[Ctrl]+[N]	Tworzy nowy model
[Ctrl]+[O]	Otwiera istniejący model
[Ctrl]+[P]	Drukowanie grafiki
[Ctrl]+[R]	Usuwa wiersz tabeli
[Ctrl]+[S]	Zapisuje dane
[Ctrl]+[U]	Anuluje wybór w tabeli
[Ctrl]+[V]	Wkleja dane ze schowka systemowego
[Ctrl]+[X]	Wycina elementy z tabeli
[Ctrl]+[Y]	Usuwa zawartość wiersza tabeli
[Ctrl]+[Z]	Funkcja <i>Cofnąć</i>

[+] [-] NumPad	Zoom
----------------	------

Tabela 3.6: Skróty klawiaturowe



Jeżeli nie jest aktywne żadne okno dialogowe, przycisk [Enter] wywołuje ostatnio używaną funkcję, dzięki czemu jej ponowne użycie jest dużo szybsze. W ten sposób można na przykład ponownie zdefiniować obiekty konstrukcyjne lub obciążenia w oknie roboczym.

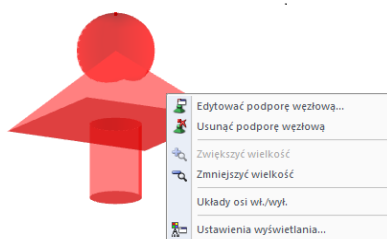
### 3.4.9 Funkcje myszy

Funkcje myszy odpowiadają ogólnym standardom dla aplikacji Windows. Aby wybrać obiekt do edycji, należy kliknąć **lewym** przyciskiem myszy. Podwójne kliknięcie obiektu spowoduje otwarcie okna dialogowego dla edycji. Funkcje te można zastosować w przypadku obiektów z okna roboczego oraz wpisów w nawigatorze *Dane*.

Obiekty konstrukcyjne i obciążenia można przesuwać w oknie roboczym przy użyciu funkcji przeciągnij-i-upuść. Aby skopiować obiekty, należy dodatkowo wcisnąć klawisz [Ctrl]. Funkcję przeciągnij-i-upuść można włączyć lub wyłączyć w ogólnym menu kontekstowym (Rysunek 11.53 na stronie 475).

W przypadku kliknięcia obiektu **prawym** przyciskiem myszy, pojawi się menu kontekstowe zawierające związane z nim polecenia i funkcje.

Menu kontekstowe dostępne jest w grafice, tabelach oraz w nawigatorze.



Rysunek 3.22: Menu kontekstowe podpory węzłowej w grafice



Przy użyciu **kółka myszy** można powiększać lub pomniejszać aktualnie wyświetlany model. Środek powiększanego obszaru znajduje się zawsze w pozycji wskaźnika.



Wciśnięcie kółka myszy służy do bezpośredniego przesuwania przestrzeni roboczej bez wcześniejszej aktywacji przycisku [Przesunąć, zoom] w pasku narzędzi. Dodatkowe wciśnięcie klawisza [Ctrl] pozwala obracać przestrzeń roboczą. Obracanie konstrukcji jest również możliwe przy użyciu kółka myszy przy wciśniętym prawym przycisku myszy. Symbole wskaźnika pokazane na lewym marginesie tej strony wskazują wybraną funkcję.

Aby obrócić widok względem wybranego węzła, należy najpierw zaznaczyć ten węzeł, a następnie wcisnąć i przytrzymać klawisz [Alt] i dodatkowo wcisnąć kółko myszy. Umożliwi to obrót względem tego węzła.



Podczas pracy w graficznym interfejsie użytkownika programu RFEM mogą być również używane opcje oferowane przez mysz 3D.

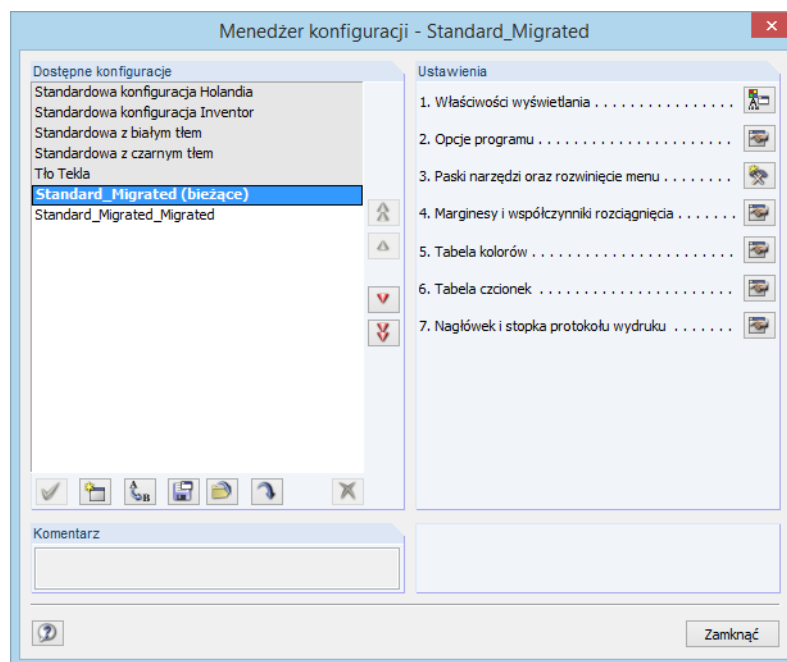


Oprócz tego program RFEM posiada przydatną funkcję do szybkiego wyświetlania wybranych obiektów w powiększeniu. W tym celu należy najpierw wybrać obiekty w oknie roboczym, a następnie przytrzymać wciśnięty klawisz shift [↑] i kliknąć jeden z przycisków dostępnych w pasku narzędzi *Widok*, które zostały pokazane na lewym marginesie tej strony. W oknie roboczym zostanie pokazany powiększony widok szczegółowy obiektu w wybranym kierunku.

### 3.4.10 Menedżer ustawień



Menedżer ustawień umożliwia dostęp do wszystkich ustawień dotyczących właściwości wyświetlania, czcionek, pasków narzędzi, nagłówków wydruku itp. Aby go uruchomić, należy wybrać polecenie **Menedżer ustawień** w menu **Opcje** lub wybrać przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony.









Rysunek 3.23: Okno dialogowe *Menedżer ustawień*

#### Dostępne ustawienia

Ta sekcja okna dialogowego wyświetla wszystkie ustawienia, które zostały zdefiniowane przez użytkownika lub utworzone podczas instalacji. Ustawienia używane aktualnie przez program są wyświetlane przy użyciu czcionki pogrubionej i oznaczone jako *bieżące*.

Domyślnie ustawiona jest konfiguracja *Standardowa*, której nie można usunąć.

Przyciski znajdujące się w tej sekcji okna dialogowego posiadają następujące funkcje:

Przycisk	Funkcja
	Ustawia nowowprowadzony wpis jako nową konfigurację <i>bieżącą</i>
	Tworzy nową konfigurację na podstawie bieżących ustawień (zobacz Rysunek 3.24)
	Zmienia nazwę wybranej konfiguracji
	Eksportuje wybraną konfigurację w postaci pliku
	Importuje konfigurację z pliku
	Przywraca wartości domyślne


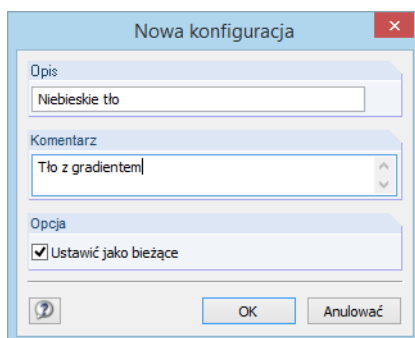
	Usuwa wybraną konfigurację (opcja niedostępna w przypadku konfiguracji typu <i>Standardowa</i> i <i>Bieżąca</i> )
---	---

Tabela 3.7: Przyciski dla *Dostępnych konfiguracji*

Przy użyciu przycisku [Nowe] zapisuje się bieżące ustawienia jako nową konfigurację. Otworzy się okno dialogowe, w którym należy wprowadzić *Opis*. Opcjonalny *Komentarz* ułatwia późniejsze odnalezienie żądanych ustawień spośród wielu innych zdefiniowanych przez użytkownika.

Rysunek 3.24: Okno dialogowe *Nowe ustawienia*

## Ustawienia

Przyciski dostępne w sekcji okna dialogowego *Ustawienia* pozwalają edytować parametry konfiguracji. Przyciski te zostały opisane w poniższej tabeli.








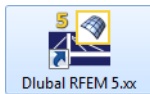
Przycisk	Opis	Funkcja
	Właściwości wyświetlania	Otwiera okno dialogowe <i>Właściwości wyświetlania</i> → rozdział na stronie
	Opcje programu	Otwiera okno dialogowe <i>Opcje programu</i> → rozdział 7.3.3 na stronie 296 → rozdział 9.10 na stronie 406 → rozdział 11.1.1 na stronie 443 → rozdział 11.1.4 na stronie 449
	Paski narzędzi oraz rozwinięcie menu	Otwiera okno dialogowe <i>Personalizuj</i> → rozdział 3.4.2 na stronie 22
	Wyświetl marginesy i współczynniki rozciągnięcia	Otwiera okno dialogowe <i>Wyświetl marginesy i współczynniki rozciągnięcia</i> → rozdział 11.3.11 na stronie 489
	Kolory tabel	Otwiera okno dialogowe <i>Kolory</i> służące do ustawiania kolorów w tabelach → rozdział 11.5.4 na stronie 519
	Czcionki tabel	Otwiera okno dialogowe <i>Czcionka</i> służące do ustawiania czcionki w tabelach → rozdział 11.5.4 na stronie 519
	Nagłówek i stopka protokołu wydruku	Otwiera okno dialogowe <i>Nagłówek protokołu wydruku</i> → rozdział 10.1.4 na stronie 416

Tabela 3.8: Funkcje przycisków w sekcji okna dialogowego *Ustawienia*



## 4. Dane modelu



### Uruchamianie programu RFEM

Program można uruchomić w menu Start systemu Windows lub poprzez wybranie ikony Dlubal na pulpicie.

W celu wprowadzenia danych należy utworzyć nowy model lub otworzyć istniejący już model (zobacz rozdział 12.2 na stronie 591).

Program RFEM oferuje różne możliwości wprowadzania danych. Obiekty można definiować w **oknie dialogowym**, w **tabeli**, a często również bezpośrednio w **oknie roboczym**. Wszystkie sposoby wprowadzania są interaktywne, co oznacza, że wprowadzanie graficzne odwzorowane będzie natychmiast w tabelach, a dane w tabelach na przedstawienie graficzne.

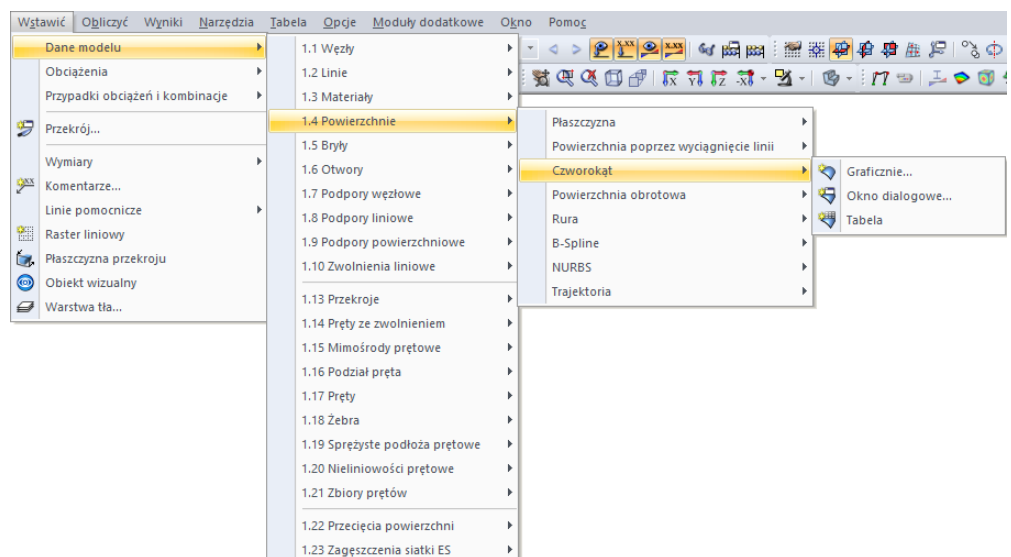
Przed rozpoczęciem pracy w programie RFEM, zalecamy prześledzić przykład wprowadzający, pozwalający zapoznać się z podstawowymi obliczeniami i zasadami działania programu.

Przykład ten można pobrać z naszej strony internetowej: [www.dlubal.com/pl/pobieranie-instrukcji.aspx](http://www.dlubal.com/pl/pobieranie-instrukcji.aspx)

### Otwieranie okna dialogowego do wprowadzania danych

Wprowadzanie danych w oknach dialogowych lub w sposób graficzny można przeprowadzić na wiele sposobów.

#### Menu *Wstawić*



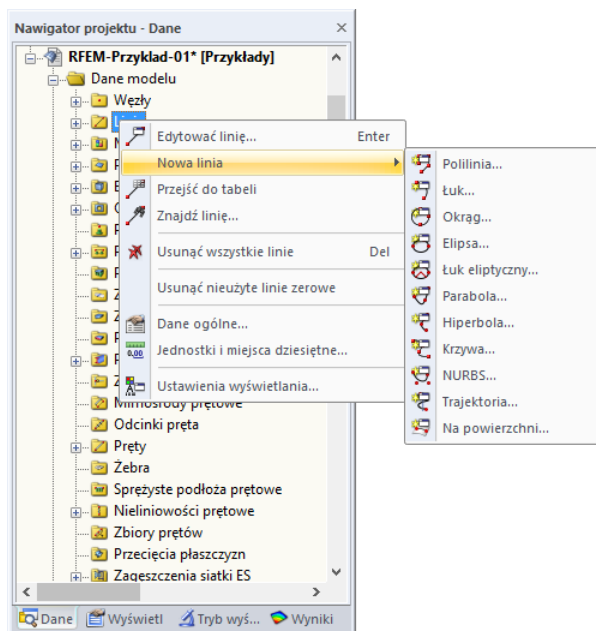
Rysunek 4.1: Menu *Wstawić* → *Dane modelu*

#### Pasek narzędzi *Wstawić*



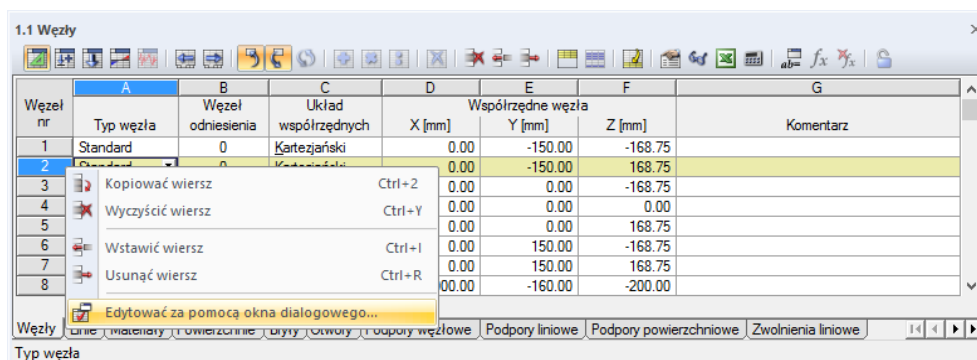
Rysunek 4.2: Pasek narzędzi *Wstawić*

Menu kontekstowe w nawigаторze Dane



Rysunek 4.3: Menu kontekstowe obiektów danych modelu w nawigаторze Dane

Menu kontekstowe lub podwójne kliknięcie w tabeli



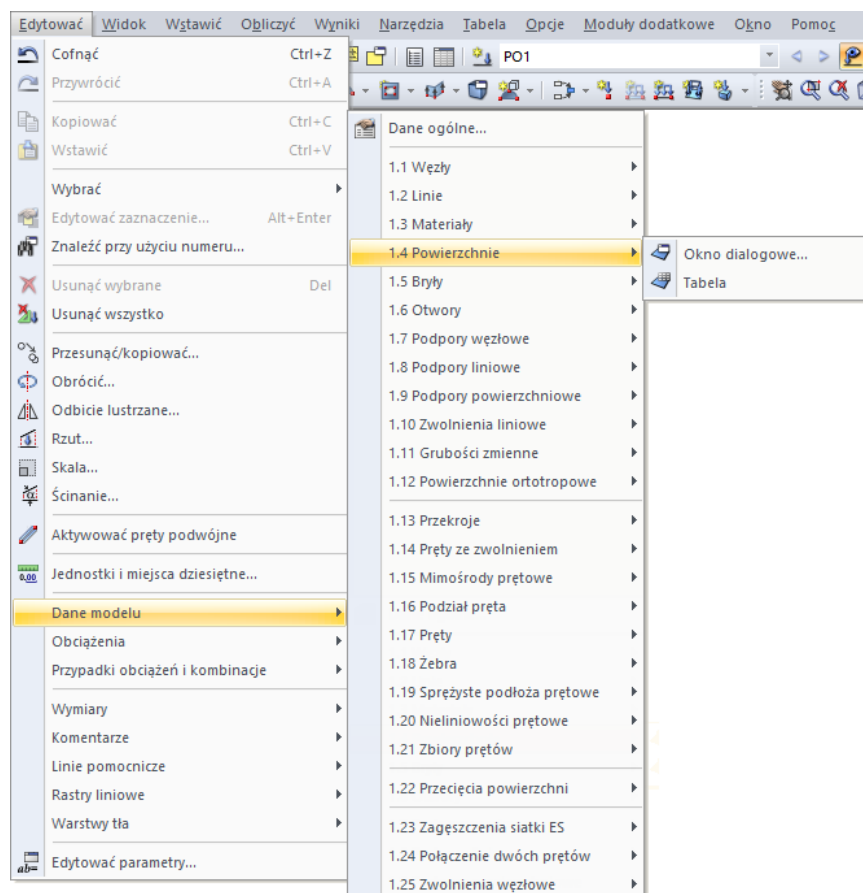
Rysunek 4.4: Menu kontekstowe w tabelach danych modelu

Okno dialogowe do wprowadzania danych można otworzyć przy użyciu menu kontekstowego (lub poprzez podwójne kliknięcie) numeru wiersza.

## Otwieranie okna dialogowego edycji

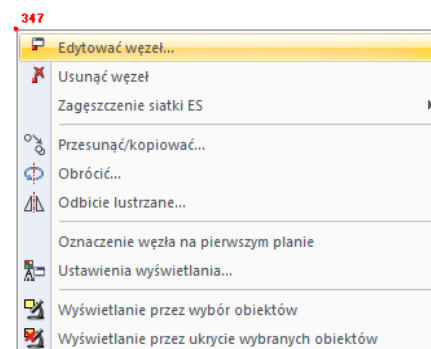
Okno dialogowe edycji obiektów modelu można otworzyć w programie RFEM na wiele sposobów.

### Menu *Edytować*



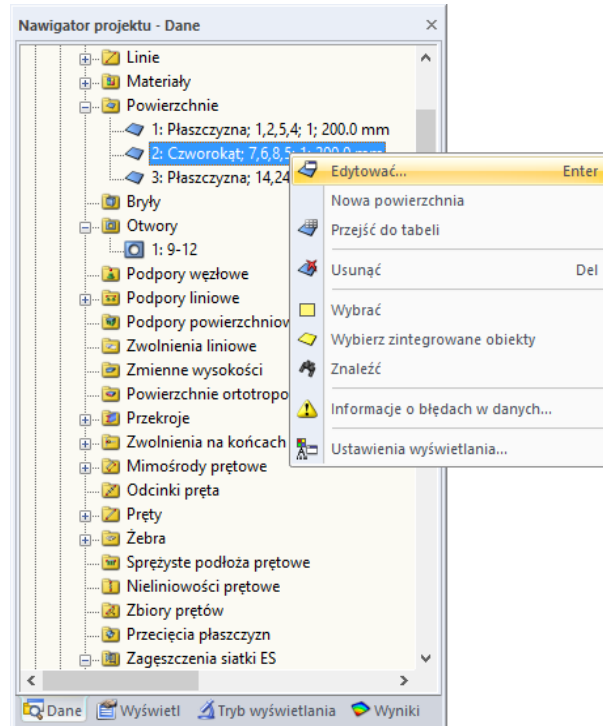
Rysunek 4.5: Menu *Edytować* → *Dane modelu*

### Menu kontekstowe lub podwójne kliknięcie w grafice



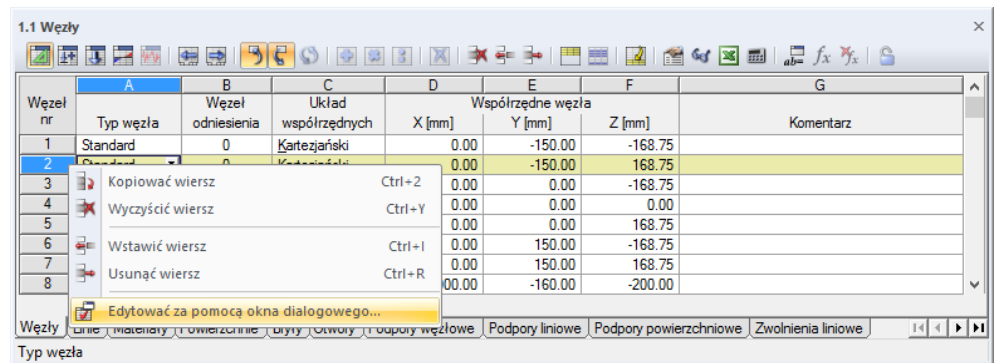
Rysunek 4.6: Menu kontekstowe węzła w oknie roboczym

**Menu kontekstowe lub podwójne kliknięcie w nawigatorze Dane**



Rysunek 4.7: Menu kontekstowe danych obiektów modelu w nawigatorze Dane

**Menu kontekstowe lub podwójne kliknięcie w tabeli**



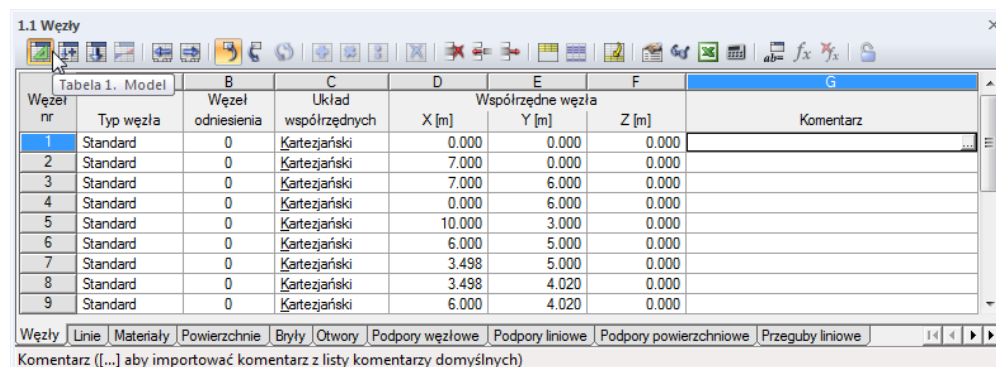
Rysunek 4.8: Menu kontekstowe w tabelach danych modelu

Okno dialogowe dla edycji można otworzyć przy użyciu menu kontekstowego (lub poprzez podwójne kliknięcie) numeru wiersza.

### Tabela danych



Dane i modyfikacje prowadzone w graficznym interfejsie użytkownika są natychmiast wyświetlane w tabelach i na odwrót. Aby otworzyć tabelę danych modelu, należy wybrać przycisk znajdujący się w lewej części paska narzędzi tabeli, pokazany na lewym marginesie tej strony.



Wzety nr	Typ węzła	Wzety odniesienia	Układ współrzędnych	Współrzędne węzła			Komentarz
				X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	Standard	0	Kartezjański	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	0	Kartezjański	7.000	0.000	0.000	
3	Standard	0	Kartezjański	7.000	6.000	0.000	
4	Standard	0	Kartezjański	0.000	6.000	0.000	
5	Standard	0	Kartezjański	10.000	3.000	0.000	
6	Standard	0	Kartezjański	6.000	5.000	0.000	
7	Standard	0	Kartezjański	3.498	5.000	0.000	
8	Standard	0	Kartezjański	3.498	4.020	0.000	
9	Standard	0	Kartezjański	6.000	4.020	0.000	

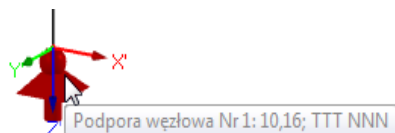
Rysunek 4.9: Przycisk [Tabela 1. Dane modelu]

Dane w postaci arkusza danych można szybko edytować i importować do tabeli (zobacz rozdział 11.5 na stronie 513).



Nie używane obiekty są podświetlane w kolorze niebieskim w tabelach i w nawigаторze Dane.

W każdym oknie dialogowym i w tabeli można dodać *Komentarz* szczegółowo opisujący obiekt. Można również wykorzystać wstępnie zdefiniowane komentarze (zobacz rozdział 11.1.4 na stronie 448). Oprócz tego komentarze wchodzą w skład etykiet ekranowych (ScreenTips) dla obiektów graficznych.

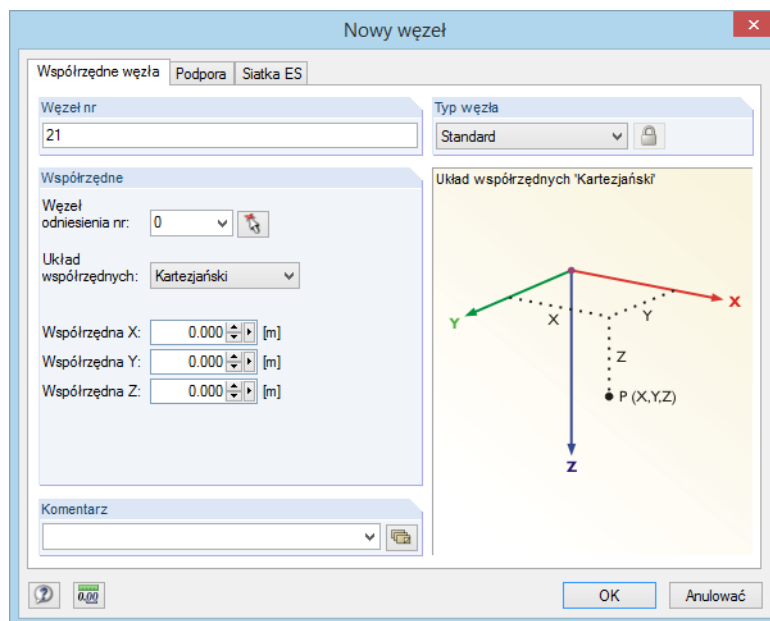


Rysunek 4.10: Etykieta ekranowa dla podpory węzłowej

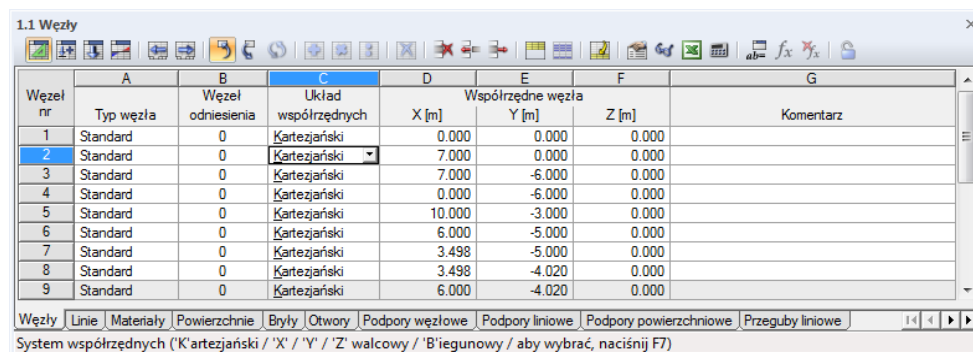
## 4.1 Węzły

### Opis ogólny

Geometria modelu definiowana jest przez węzły. Węzły są niezbędne do tworzenia linii, a przez to także prętów, powierzchni i brył. Każdy węzeł określany jest przez swoje współrzędne (X,Y,Z). Współrzędne te zwykle odnoszą się do początku globalnego układu współrzędnych, ale można również zdefiniować je w odniesieniu do innego węzła.



Rysunek 4.11: Okno dialogowe *Nowy węzeł*



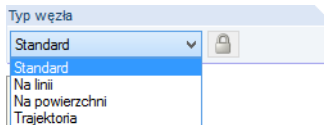
Węzeł nr	Współrzędne węzła			Współrzędne węzła			Komentarz
	Typ węzła	Węzeł odniesienia	Układ współrzędnych	X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	Standard	0	Kartezjański	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	0	Kartezjański	7.000	0.000	0.000	
3	Standard	0	Kartezjański	7.000	-6.000	0.000	
4	Standard	0	Kartezjański	0.000	-6.000	0.000	
5	Standard	0	Kartezjański	10.000	-3.000	0.000	
6	Standard	0	Kartezjański	6.000	-5.000	0.000	
7	Standard	0	Kartezjański	3.498	-5.000	0.000	
8	Standard	0	Kartezjański	3.498	-4.020	0.000	
9	Standard	0	Kartezjański	6.000	-4.020	0.000	

Rysunek 4.12: Tabela 1.1 *Węzły*

Numer węzła przydzielany jest automatycznie w oknie dialogowym *Nowy węzeł*, ale można zmienić go w polu wprowadzania. Kolejność numerowania węzłów nie ma znaczenia, a przerwy w numeracji są dozwolone.

Aby dostosować kolejność numeracji węzłów na późniejszym etapie, należy wybrać opcję **Zmienić numerację** w menu **Narzędzia** (rozdział 11.4.18 na stronie 510).

Oprócz tego program RFEM posiada specjalną funkcję służącą do tworzenia węzła na linii łączącej dwa istniejące już węzły (rozdział 11.4.12 na stronie 505).



## Typ węzła

### Standardowy

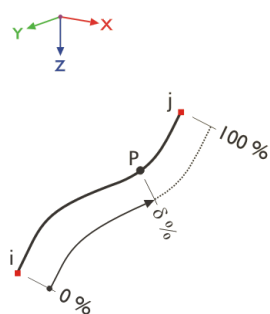
Ten typ węzła jest najczęściej używany. Standardowe węzły można wstawiać graficznie w płaszczyźnie roboczej lub w dowolnym miejscu przestrzeni roboczej poprzez określenie jego współrzędnych. Podczas graficznego wprowadzania linii lub powierzchni obróconych zostaną utworzone węzły standardowe.

Węzły standardowe są wyświetlane w oknie roboczym w kolorze czerwonym.

### Na linii

Ten typ węzła wprowadza się w przypadku, jeśli użytkownik nie chce docelowo rozdzielać istniejącej linii. Parametr węzła  $\delta$  opisuje względną odległość od węzła początkowego linii.

Utworzenie węzłów na linii pozwala na zastosowanie obciążeń węzłowych w dowolnym punkcie linii lub na obciążenie węzła ES.



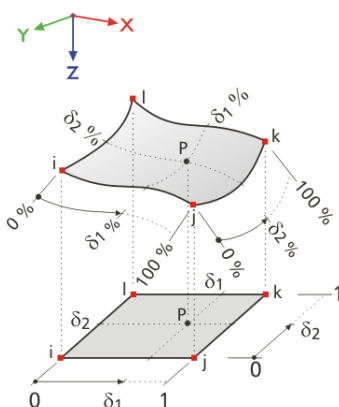
Rysunek 4.13: Węzeł na linii

Węzły na linii są wyświetlane domyślnie w kolorze jasnoniebieskim.

### Na powierzchni

W przypadku powierzchni czworobocznych ciężko jest określić współrzędne węzłów umieszczonych na powierzchni zakrzywionej. Komenda *Węzeł na powierzchni* wprowadza węzeł na korzystając z parametrów  $\delta_1$  i  $\delta_2$  odnoszących się do węzłów narożnych.

Utworzenie węzłów na powierzchni pozwala na zastosowanie obciążeń węzłowych w dowolnym punkcie powierzchni zakrzywionej lub w węźle ES.



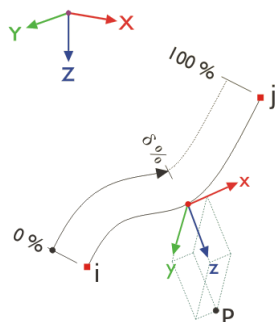
Rysunek 4.14: Węzeł na powierzchni

Węzły w tabeli zapisywane są w kartezjańskim układzie współrzędnych. Domyślnie są wyświetlane w oknie roboczym w kolorze jasnoniebieskim.

Podczas pracy z powierzchniami płaskimi, zaleca się używać węzłów standardowych.

### Trajektoria

Ten typ węzła tworzony jest podczas definiowania spiralnej krzywej trajektorii (zobacz rozdział 4.2 na stronie 62). Parametr węzłowy  $\delta$  określa względną odległość od węzła początkowego linii.



Rysunek 4.15: Trajektoria

Węzły trajektorii wyświetlane są domyślnie w kolorze ciemnozielonym.

### Węzeł odniesienia

Współrzędne węzła odnoszą się do początku globalnego układu współrzędnych. Dzięki temu nie ma potrzeby definiowania węzła (0/0/0), ponieważ program RFEM automatycznie rozpoznaje początek.

Jako węzeł odniesienia można zdefiniować dowolny węzeł. Również węzeł o wyższym numerze może być używany jako węzeł odniesienia. Odniesienie do innego węzła może okazać się pomocne na przykład podczas definiowania nowego węzła w określonej odległości od położenia, które jest już znane. Ułatwia to lista w tabeli posiadająca opcję "Poprzedni węzeł".



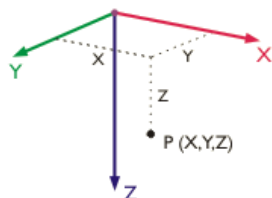
W oknie dialogowym *Nowy węzeł* można bezpośrednio wprowadzić węzeł odniesienia, wybrać go z listy lub zdefiniować go graficznie przy użyciu przycisku [^].

### Układ współrzędnych

Współrzędne węzła zawsze odnoszą się do układu współrzędnych, który opisuje położenie węzła w przestrzeni roboczej. W zależności od geometrii modelu, można wybrać jeden z wielu układów współrzędnych. Wszystkie układy współrzędnych są zorientowane zgodnie z ruchem wskazówek zegara.

### Kartezjański

Globalne osie X, Y i Z opisują kierunki rozwinięcia (liniowo). Wszystkie kierunki współrzędnych mają takie samo znaczenie.



Rysunek 4.16: Kartezjański układ współrzędnych

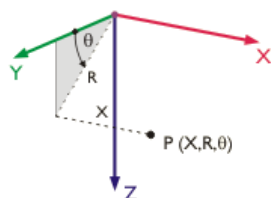
W większości przypadków węzły można definiować w kartezjańskim układzie współrzędnych.



### X-cylindryczny

Oś X opisuje kierunek rozwinięcia. Promień  $R$  definiuje odległość węzła od osi X. Kąt  $\theta$  określa obrót współrzędnych względem osi X.

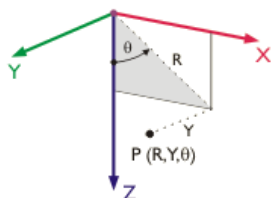
X-cylindryczny układ współrzędnych można zastosować na przykład dla konstrukcji rurowych, których oś środkową stanowi oś X.



Rysunek 4.17: X-cylindryczny układ współrzędnych

### Y-cylindryczny

Ten układ współrzędnych jest podobny do układu X-cylindrycznego, z tą różnicą, że oś podłużną stanowi oś Y.



Rysunek 4.18: Y-cylindryczny układ współrzędnych

### Z-cylindryczny

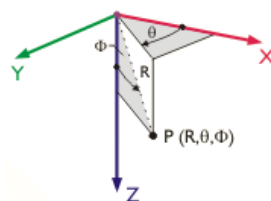
Ten układ współrzędnych jest podobny do układu X-cylindrycznego, z tą różnicą, że oś podłużną stanowi oś Z.



Rysunek 4.19: Z-cylindryczny układ współrzędnych

### Biegunowy

W biegunowym układzie współrzędnych, położenie węzła jest opisywane przez promień określający odległość od punktu początkowego oraz przez kąty  $\theta$  i  $\Phi$ .

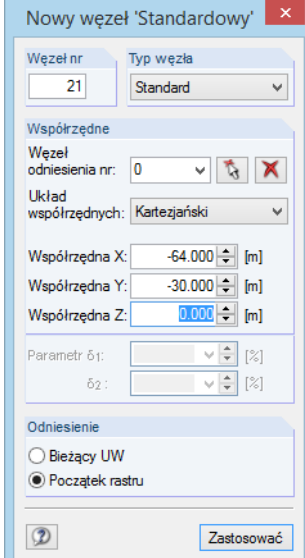


Rysunek 4.20: Biegunowy układ współrzędnych



Zaleca się wprowadzać dane konstrukcyjne w odniesieniu do globalnego układu współrzędnych, tak aby jego osie X, Y i Z odpowiadały głównym kierunkom konstrukcji.

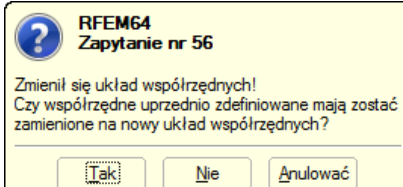
Aby zdefiniować węzły bezpośrednio w przestrzeni roboczej, należy wybrać przycisk paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony. Po wybraniu ww ikony zostanie otwarte okno dialogowe *Nowy węzeł*. Węzły, dzięki funkcji przyciągania (snap), wprowadzane mogą być bezpośrednio w punktach rastru, odpowiadającym aktywnemu, globalnemu lub zdefiniowanemu przez użytkownika, układowi współrzędnych (*UW*).



Rysunek 4.21: Pływające okno dialogowe *Nowy węzeł*

Więcej informacji na temat układów współrzędnych definiowanych przez użytkownika znajduje się w rozdziale 11.3.4 na stronie 470.

W przypadku zmiany układu współrzędnych w tabeli można automatycznie dostosować współrzędne węzła. Wyświetlone zostanie następujące zapytanie.



Rysunek 4.22: Zapytanie programu RFEM

W ten sam sposób można zamienić współrzędne węzła przy użyciu *Poprzedniego* węzła odniesienia związanego z początkiem układu.

### Współrzędne węzła

Współrzędne węzła definiowane są we wcześniej ustawionym układzie współrzędnych. Podczas modelowania konstrukcji 3D, węzeł jest jednoznacznie zdefiniowany przez współrzędne X, Y i Z lub przez promień i kąt. Parametry współrzędnych i tytuły kolumn tabeli zmieniają się w zależności od układu współrzędnych.

Jeżeli typ modelu ograniczony jest do płyty lub ściany 2D, dostęp do wszystkich trzech pól wprowadzania nie jest możliwy.

*Długości i Kąty* można dostosować przy użyciu opcji **Jednostki i miejsca dziesiętne** w menu **Edytować** lub poprzez kliknięcie odpowiedniego przycisku w oknie dialogowym.

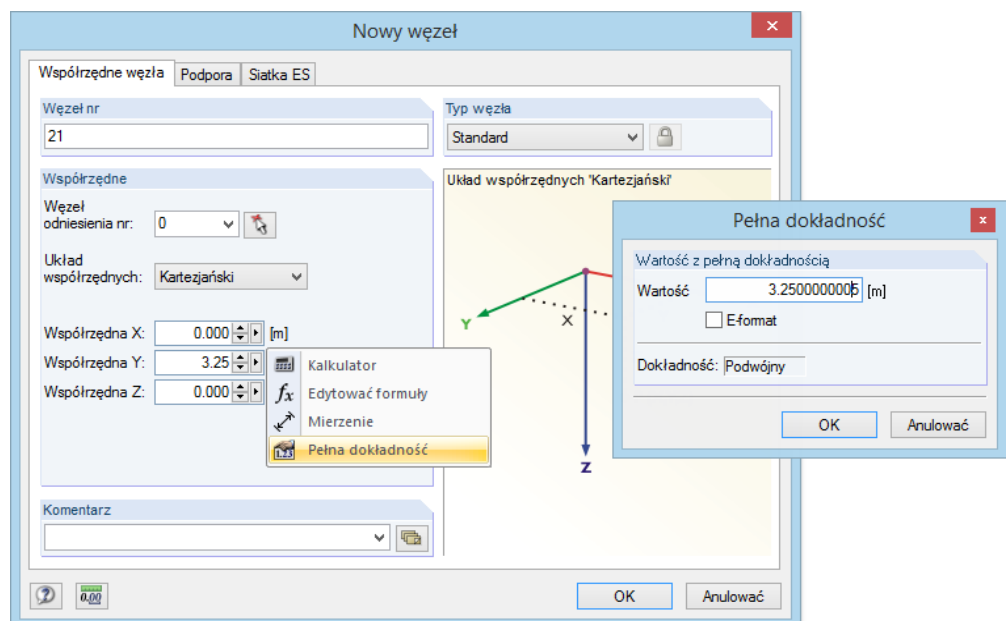




Przy użyciu poniższej procedury można sprawdzić czy wszystkie węzły powierzchni zostały umieszczone w jednej płaszczyźnie. W tym celu należy zaznaczyć odpowiednie węzły i dwukrotnie kliknąć jeden z nich, aby otworzyć okno dialogowe *Edytować węzeł*. Dane na temat współrzędnych zostaną wypełnione jedynie w tych polach, w których wartości są zgodne dla wszystkich zaznaczonych węzłów. W przeciwnym wypadku można teraz przydzielić jednakową współrzędną płaszczyzny wszystkim zaznaczonym węzłom.

Współrzędne węzła można importować z arkusza aplikacji Excel (zobacz rozdział 11.5.6 na stronie 522). Oprócz tego współrzędne węzła można określać przy użyciu Edytora równań programu RFEM (zobacz rozdział 11.6 na stronie 525). Dodatkowo można wykorzystać wiele generatorów konstrukcji ułatwiających wprowadzanie (zobacz rozdział 11.7.2 na stronie 540).

Aby wprowadzić dokładne, niezaokrąglone współrzędne, należy wybrać opcję *Pełna dokładność* w oknie dialogowym *Nowy węzeł*.



Rysunek 4.23: Menu kontekstowe w oknie dialogowym *Nowy węzeł* oraz okno dialogowe *Pełna dokładność*

## Komentarz



Pole to pozwala na wprowadzenie swoich własnych uwag. Przycisk [Zastosować komentarz...] służy do importu zapisanych komentarzy (zobacz rozdział 11.1.4 na stronie 448).

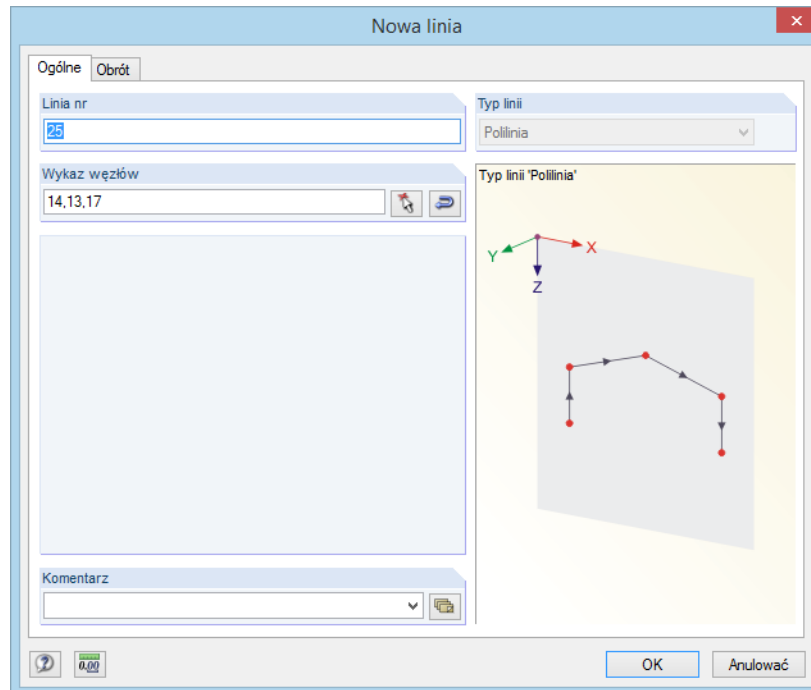


Komentarz *Wygenerowane* wyświetlany jest dla węzłów, które zostały wygenerowane przez program RFEM podczas tworzenia przecięcia lub powierzchni obróconej. Przycisk pokazany na lewym marginesie tej strony dostępny w oknie dialogowym i tabeli, służy do "odblokowywania" wygenerowanych węzłów, umożliwiając ich modyfikowanie.

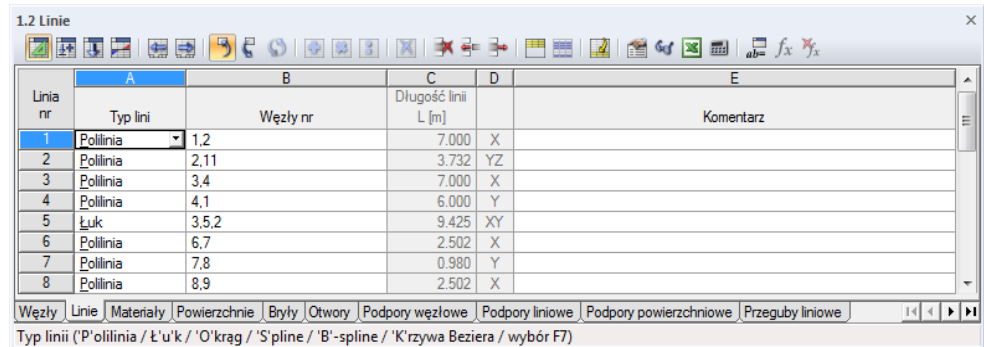
## 4.2 Linie

### Opis ogólny

Geometria modelu definiowana jest przez linie, które są niezbędne do tworzenia prętów, powierzchni oraz brył. Każda linia definiowana jest przez węzeł początkowy i końcowy. Definiowanie skomplikowanych typów linii wymaga dodatkowego użycia węzłów pośrednich.



Rysunek 4.24: Okno dialogowe *Nowa linia*



Linia nr	Typ linii	Węzły nr	Długość linii L [m]	D	E
1	Polinia	1,2	7.000	X	
2	Polinia	2,11	3.732	YZ	
3	Polinia	3,4	7.000	X	
4	Polinia	4,1	6.000	Y	
5	Łuk	3,5,2	9.425	XY	
6	Polinia	6,7	2.502	X	
7	Polinia	7,8	0.980	Y	
8	Polinia	8,9	2.502	X	

Węzły | Linie | Materiały | Powierzchnie | Bryły | Otwory | Podpory węzłowe | Podpory liniowe | Podpory powierzchniowe | Przeguby liniowe

Typ linii ('P'olinia / 'Ł'uk / 'O'krąg / 'S'pline / 'B'-spline / 'K'rzywa Beziera / wybór F7)

Rysunek 4.25: Tabela 1.2 *Linie*

Numer linii przydzielany jest automatycznie w oknie dialogowym *Nowa linia*, ale można zmienić go w polu wprowadzania. Kolejność numerowania linii nie ma znaczenia.

Aby zmienić kolejność numerowania linii w dalszych etapach obliczeń, należy wybrać opcję **Zmienić numerację** w menu **Narzędzia** (zobacz rozdział 11.4.18 na stronie 510).

## Typ linii

Do wyboru w menu oraz na listach w tabelach dostępne są następujące typy linii.

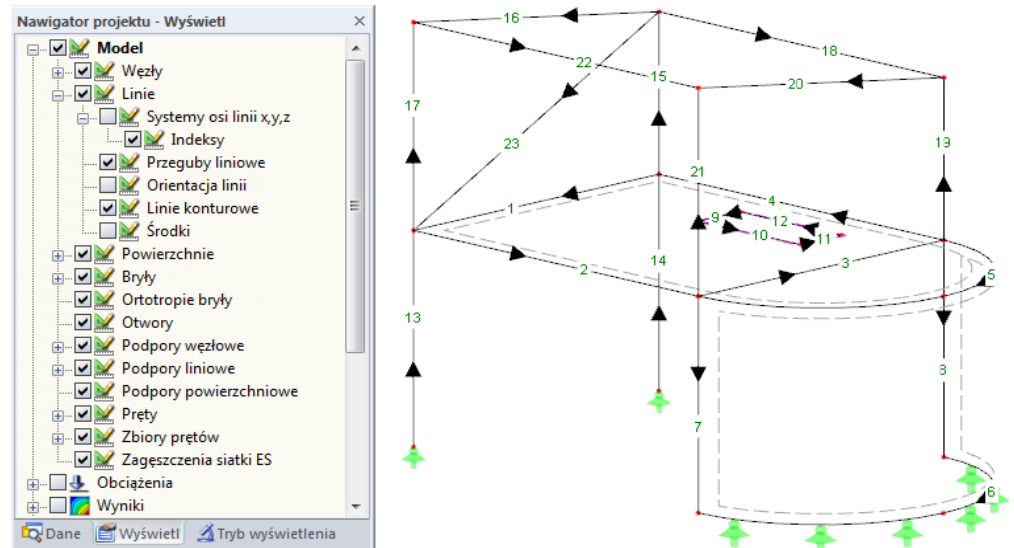
- Linia pojedyncza
- Polilinia
- Łuk
- Okrąg
- Elipsa
- Łuk eliptyczny
- Parabola
- Hiperbola
- Spline
- NURBS
- Trajektoria
- Na powierzchni

Poszczególne typy linii zostały opisane w dalszej części instrukcji.

## Węzły

Każda linia jest geometrycznie zdefiniowana przez węzeł początkowy i końcowy, które określają jej orientację mającą wpływ na położenie jej układu współrzędnych. Węzły te można wprowadzić ręcznie, wybrać graficznie lub zmienić definicję istniejącego węzła (zobacz rozdział 4.1 na stronie 46). Jeżeli dla linii wymagane są punkty kontrolne lub węzły pośrednie, wejdą one w skład listy węzłów.

Wyświetlanie orientacji linii można aktywować w nawigаторze *Wyświetl*.



Rysunek 4.26: Aktywacja *Orientacji linii* w nawigаторze *Wyświetl*



Orientację linii można zmieniać na rysunku. W tym celu należy kliknąć linię prawym przyciskiem myszy i w menu kontekstowym wybrać opcję *Odwróć orientację linii*. Numery węzła początkowego i końcowego zostaną zamienione.

Układ współrzędnych linii można aktywować w nawigаторze *Wyświetl*. W tym celu należy wybrać opcję *Model*, kliknąć *Linie*, a następnie zaznaczyć *Systemy osi linii x, y, z* wraz z opcją *Indeksy* (zobacz Rysunek 4.96 na stronie 109).

## Długość linii

Kolumny te podają długość całkowitą linii.

## Położenie

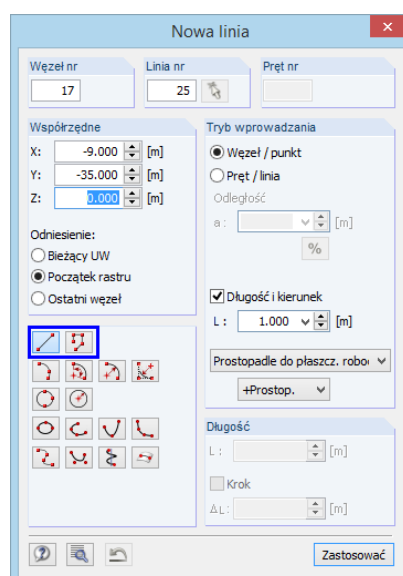
Kolumna **D** zawiera informacje na temat osi globalnej przebiegającej równolegle do linii lub wskazuje płaszczyznę ograniczoną osiami globalnymi w miejscu, w którym przebiega linia. Brak wpisu oznacza, że linia przebiega dowolnie w przestrzeni.

## Komentarz

Pole to pozwala na wprowadzenie swoich własnych uwag. Przycisk [Zastosować komentarz...] służy do importu zapisanych komentarzy (zobacz rozdział 11.1.4 na stronie 448). Komentarz *Wygenerowane* wyświetlany jest dla linii, które zostały wygenerowane przez program RFEM (na przykład dla rury).



## Linia / Polilinia



Rysunek 4.27: Okno dialogowe *Nowa linia* dla wprowadzania graficznego

Wybranie wpisu linii w menu rozwijanym powoduje otwarcie okna dialogowego *Nowa linia* pokazanego na Rysunek 4.24 na stronie 52. Rysunek zaprezentowany powyżej przedstawia ogólne okno dialogowe służące do graficznego wprowadzania linii. Otwiera się je przy użyciu przycisku listy w pasku narzędzi.



“Rzeczywista” **linia** definiowana jest przez tylko przez jeden węzeł początkowy i jeden węzeł końcowy, stanowiąc bezpośrednie połączenie pomiędzy tymi dwoma punktami.



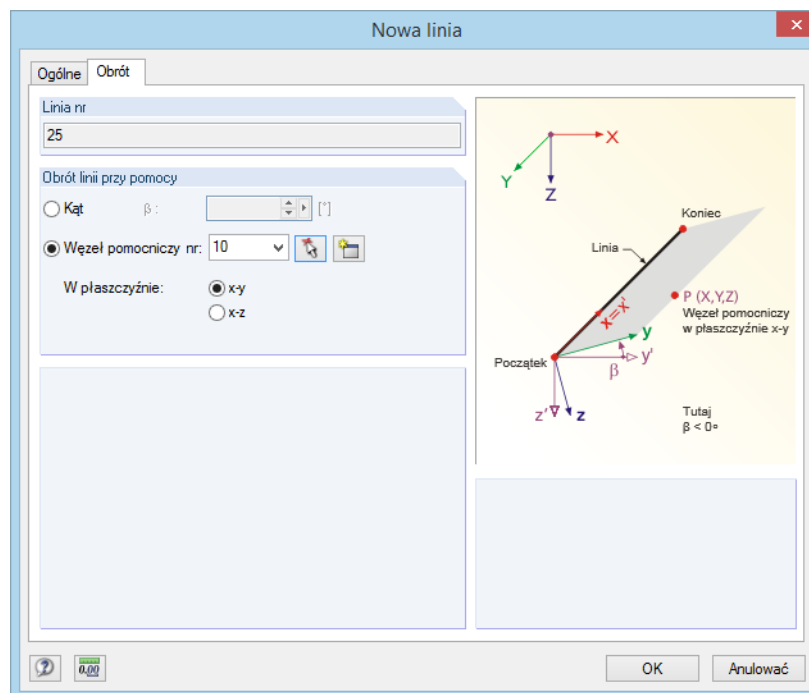
**Polilinia** jest wielokątnym łańcuchem składającym się z wielu prostych odcinków linii. Z tego powodu, oprócz numerów węzłów początkowych i końcowych, w oknie dialogowym wyświetlane są również węzły pośrednie (zobacz Rysunek 4.24). W celu uproszczenia zarządzania liniami, linie “rzeczywiste” traktowane są jako polilinie.

Podczas graficznego wprowadzania polilinii, jako węzły definicji mogą zostać wybrane istniejące już węzły, punkty rastru lub obiekty skoku. Węzły można również dowolnie wstawiać w obszarze płaszczyzny roboczej.



Na przykład, jeżeli obciążenie liniowe lub podpory liniowe są efektywne tylko dla odcinków polilinii, można podzielić tę polilinię na linie “rzeczywiste”. W tym celu należy kliknąć polilinię prawym przyciskiem myszy i w menu kontekstowym wybrać opcję *Rozłącz polilinię*. W tym

samym celu można również otworzyć menu *Edytować*, w którym należy wskazać *Dane modelu*, a następnie *Linie* i wybrać opcję *Rozłącz polilinie*.



Rysunek 4.28: Okno dialogowe *Nowa linia*, zakładka *Obrót*

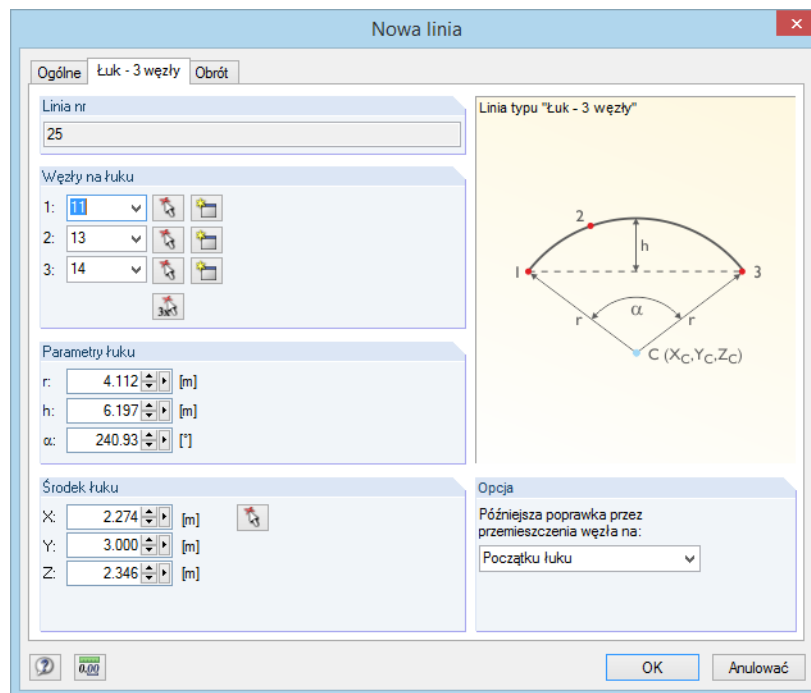


W drugiej zakładce okna dialogowego można zdefiniować *Obrót* linii. W tym celu należy określić *Kąt* lub *Węzeł pomocniczy*, według którego zostanie zorientowana oś *y* lub *z* linii. *Węzeł pomocniczy* można wybrać z listy lub zdefiniować graficznie. W tym samym celu można również utworzyć nowy węzeł.

Obrócenie linii ułatwia wprowadzanie obciążeń liniowych oddziałujących w jej lokalnym kierunku. Obrócenie linii nie wpływa na powierzchnie ani pręty, ponieważ posiadają one swój własny układ współrzędnych.

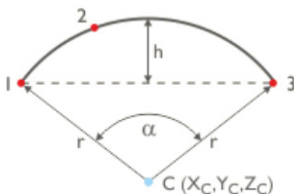
Lokalne układy współrzędnych linii zostały pokazane na Rysunek 4.96 na stronie 109.

## Łuk

Rysunek 4.29: Okno dialogowe *Nowa linia*, zakładka *Łuk*

Łuk można zdefiniować przy użyciu następujących parametrów:

- trzy węzły
- węzeł środkowy, węzeł krawędziowy i kąt
- węzły krawędziowe oraz promień, kąt lub wzniesienie
- linie styczne i promień



Początek oraz węzeł pośredni i końcowy można bezpośrednio zdefiniować w sekcji okna dialogowego *Węzły na łuku*. Oprócz tego można wybrać je graficznie lub utworzyć nowe węzły. Kolejność węzłów pokazana jest na małym rysunku w oknie dialogowym.

Na podstawie tych trzech węzłów, program RFEM określa *Parametry łuku* pokazane w sekcji okna dialogowego znajdującej się w jego dolnej części. Możliwa jest zmiana promienia  $r$ , wzniesienia  $h$  oraz kąta rozwarcia  $\alpha$ . Współrzędne węzła zostaną odpowiednio dostosowane.

Współrzędne środka wynikają z węzłów łuku lub parametrów wyświetlanych w sekcji okna dialogowego *Środek łuku*. Podczas ręcznej zmiany danych lub graficznego wybrania węzłów przy użyciu przycisku [↖], współrzędne węzłów również zostaną dostosowane.

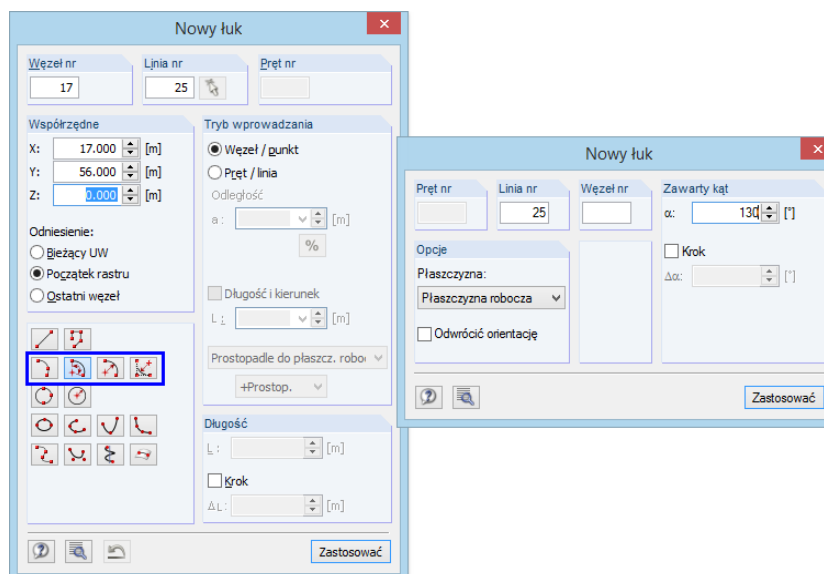
Przy użyciu listy *Późniejsza poprawka przez przemieszczenie węzła na* można zdefiniować węzeł, którego współrzędne zostaną zmienione.



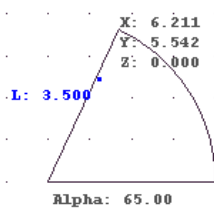
Podczas graficznego definiowania łuku przy użyciu przycisku z paska narzędzi *Łuk przez trzy węzły*, węzły można wybrać lub utworzyć bezpośrednio w grafice.

W przypadku wybrania jednej z pozostałych opcji wprowadzania z przedstawionych po lewej stronie na Rysunek 4.30 i Rysunek 4.31, należy najpierw wybrać dwa węzły. Po zdefiniowaniu drugiego węzła pojawi się kolejne okno dialogowe (pokazane po prawej stronie), w którym definiuje się parametry łuku.



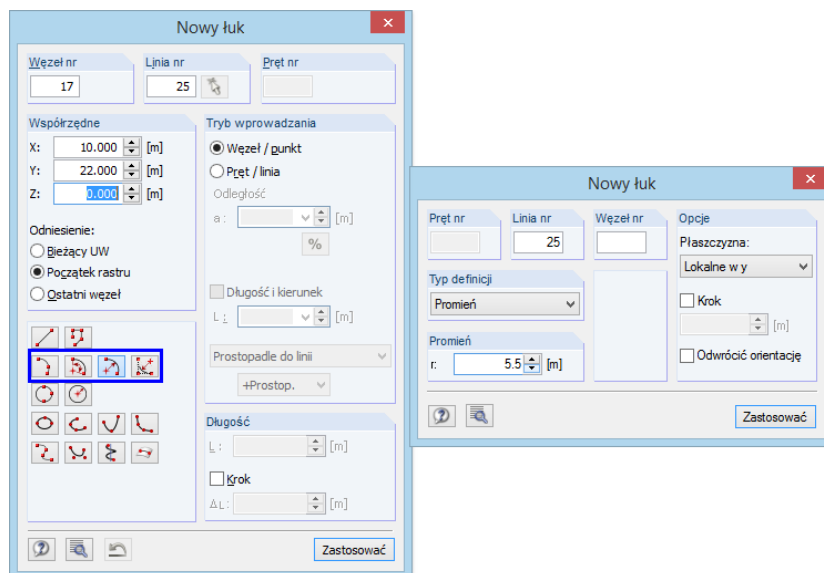


Rysunek 4.30: Okno dialogowe *Nowy łuk*, definiowanie przy użyciu opcji *Łuk przy użyciu węzła środkowego, krawędziowego oraz kąta*



W sekcji okna dialogowego *Opcje* (Rysunek 4.30 i Rysunek 4.31 po prawej stronie) można wybrać płaszczyznę łuku z listy. *Kąt zawarty  $\alpha$*  można zdefiniować bezpośrednio w grafice lub prowadzić ręcznie. Operację kończy się poprzez przycisk [Zastosować].

Aby dostosować łuk, który został wcześniej zdefiniowany, należy dwukrotnie kliknąć jego linię. Otworzy się okno dialogowe *Edytować linię*, pozwalające na modyfikację wpisów w zakładce *Łuk – 3 węzły* (zobacz Rysunek 4.29 na stronie 56).



Rysunek 4.31: Okno dialogowe *Nowy łuk*, definiowanie z wykorzystaniem opcji *Łuk przy użyciu węzłów krawędziowych oraz promienia kąta lub wzniesienia*

W sekcji okna dialogowego *Typ definicji* (okno po prawej stronie), należy wybrać z listy odpowiedni parametr łuku. Następnie łuk ten wstawia się bezpośrednio w grafice lub wprowadza się ręcznie, po czym klika się przycisk [Zastosować].

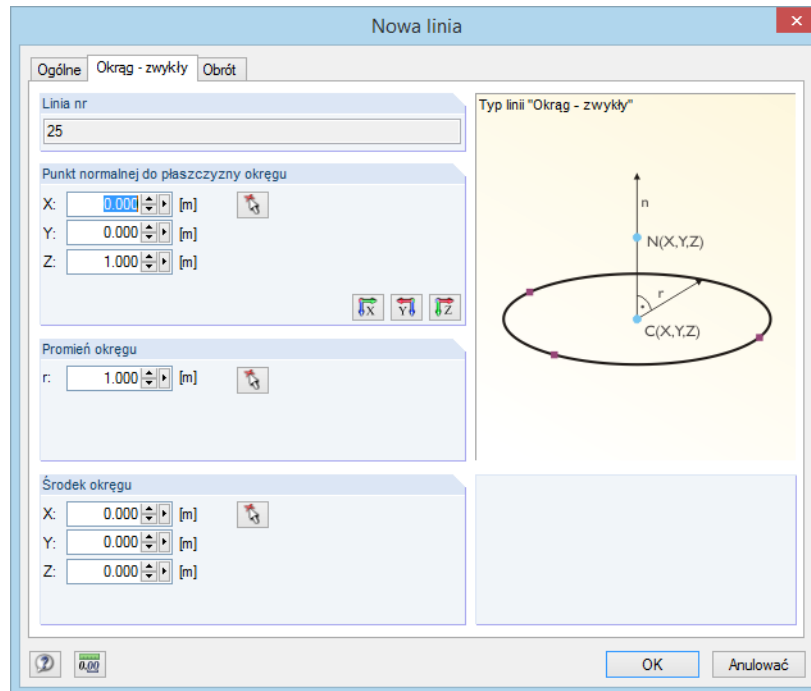
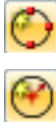
W polu wprowadzania *Krok* można wprowadzić odległość skoku promienia, kąta lub wzniesienia łuku.

Orientację łuku kołowego można dostosowywać poprzez zaznaczenie pola wyboru *Odwróć orientację*, które określa czy łuk zostanie wstawiony "na prawo" czy "na lewo" od obu węzłów.

## Okrąg

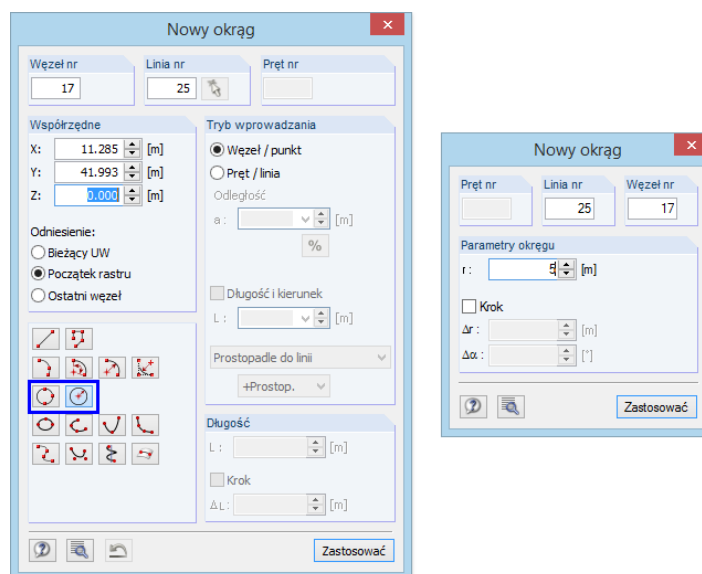
Okrąg można zdefiniować przy użyciu następujących parametrów:

- trzy punkty
- punkt środkowy i promień.

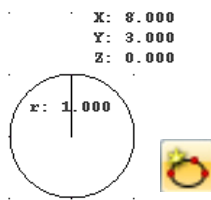


Rysunek 4.32: Okno dialogowe *Nowa linia*, zakładka *Okrąg - normalny*

*Promień okręgu* oraz współrzędne *Środka okręgu* można wprowadzić ręcznie lub graficznie przy użyciu przycisku [~]. *Punkt normalnej do płaszczyzny okręgu* oznacza płaszczyznę, w której wygenerowany zostanie okrąg. Trzy przyciski w oknie dialogowym służą do wyboru jednej z osi globalnych.



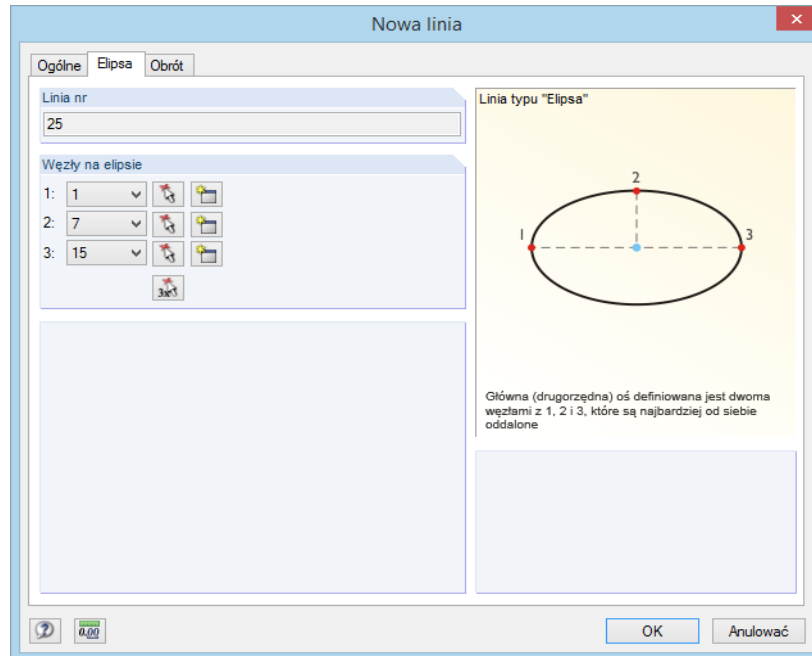
Rysunek 4.33: Okno dialogowe *Nowy okrąg*, definiowanie przy użyciu opcji *Środek i promień*



Podczas graficznego definiowania okręgu przy użyciu jednego z przycisków z paska narzędzi, trzy węzły oraz środek i promień można wybrać lub utworzyć bezpośrednio w oknie roboczym.

## Elipsa

Do zdefiniowania elipsy potrzebne są trzy węzły.



Rysunek 4.34: Okno dialogowe *Nowa linia*, zakładka *Elipsa*



Elipsa generowana jest przy użyciu *Węzłów na elipsie*. Jako główna oś elipsy przyjmowana jest największa odległość pomiędzy trzema wprowadzonymi węzłami.

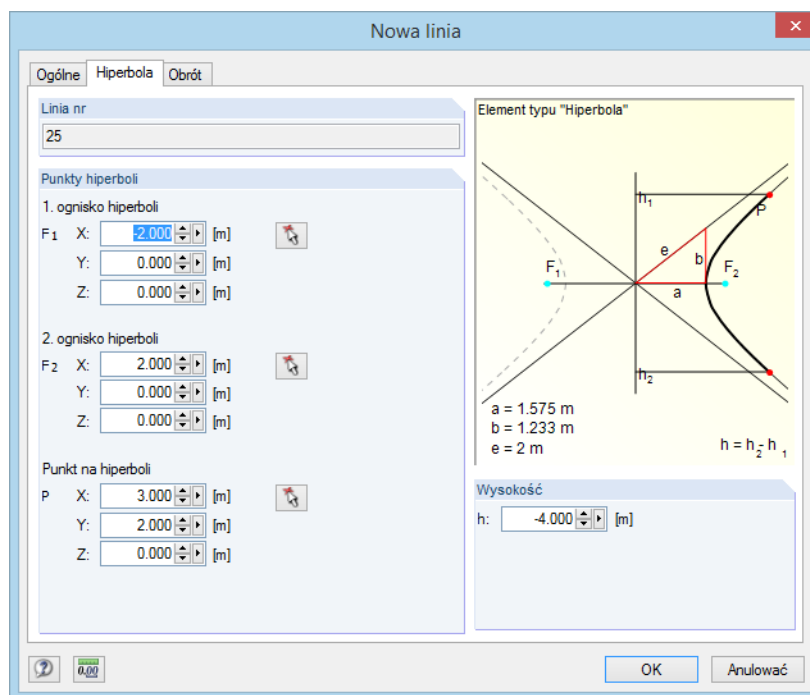
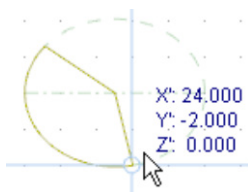
W przypadku graficznego definiowania elipsy przy użyciu przycisku z paska narzędzi, można wprowadzić ją bezpośrednio poprzez wybranie trzech węzłów w płaszczyźnie roboczej.

## Łuk eliptyczny / parabola / hiperbola

W programie można zdefiniować następujące krzywe przekrojów stożkowych:

- Łuk eliptyczny
- Parabola
- Hiperbola



Rysunek 4.35: Okno dialogowe *Nowa linia*, zakładka *Hiperbola*

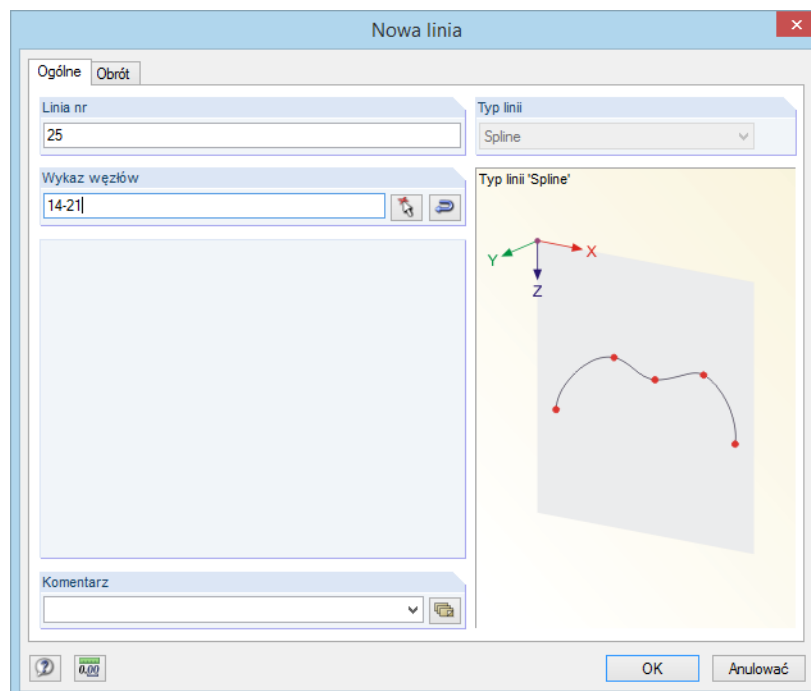
Parametry krzywej (ognisko, kąt, oś obrotu itp.) można wprowadzić ręcznie w odpowiedniej zakładce okna dialogowego *Nowa linia*. Oprócz tego można zdefiniować je graficznie.

Podczas graficznego wprowadzania danych dla linii przy użyciu jednego z przycisków z paska narzędzi, parametry krzywej można zdefiniować bezpośrednio w oknie roboczym.

## Spline



Ten typ linii służy do definiowania dowolnych krzywych. Krzywą typu spline można wprowadzić graficznie poprzez wybór kolejnych węzłów wyznacznikowych zakrzywionej linii lub poprzez utworzenie węzłów przy użyciu myszy.

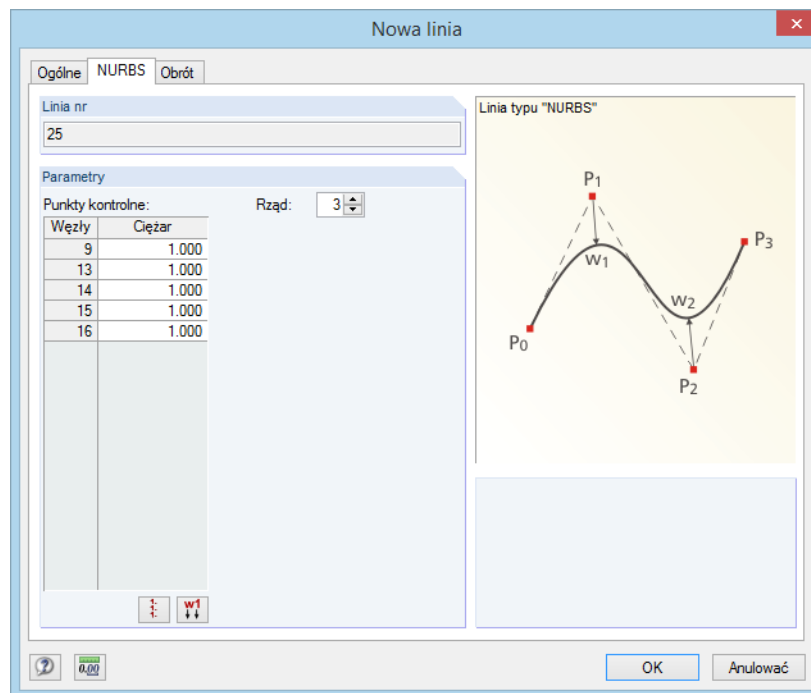


Rysunek 4.36: Okno dialogowe *Nowa linia* – linia typu *Spline*

## NURBS



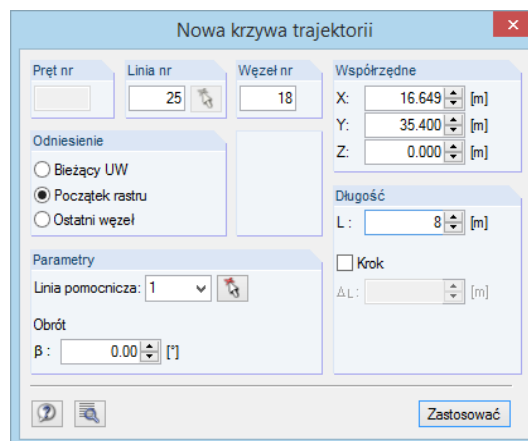
Linie NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*) wykorzystywane są podczas modelowania powierzchni o dowolnych kształtach. Linie NURBS stanowią krzywe, których punkty kontrolne nie są umieszczone bezpośrednio na krzywej. Zazwyczaj linie te są wprowadzane graficznie poprzez wybór punktów kontrolnych jeden po drugim lub poprzez utworzenie punktów przy użyciu myszy.

Rysunek 4.37: Okno dialogowe *Nowa linia* – linia typu NURBS

### Krzywa trajektorii



Krzywe trajektorii słuŹą do tworzenia linii Źrubowych. Zwykle wprowadza się je graficznie przy uŹyciu przycisku pokazanego na lewym marginesie tej strony. Otwiera on następujące okno dialogowe:

Rysunek 4.38: Okno dialogowe *Nowa krzywa trajektorii*

Na początku naleŹy zdefiniować *Współrzędne* początku linii. Uaktywni to sekcję okna dialogowego *Parametry*, w której można określić całkowity *Obrót* linii Źrubowej.

*Współrzędne* linii definiuje się graficznie lub wprowadza ręcznie, po czym klika się przycisk [Zastosować]. W tym samym celu można wykorzystać równieŹ pole wprowadzania *Długość*. *Współrzędne* końca linii zostaną okreŹlone z uwzględnieniem zdefiniowanego obrotu w płaszczyźnie roboczej.

Aby dostosować zdefiniowaną wcześnieŹ krzywą trajektorii, naleŹy dwukrotnie kliknąć jej linię. Otworzy się okno dialogowe *Edytować linię*, w który można zmodyfikować wpisy w zakładce *Trajektoria*.

### Linia na powierzchni



Linie na powierzchniach płaskich są zazwyczaj automatycznie rozpoznawane jako obiekty zintegrowane, a więc w tym wypadku wystarczy jedynie wprowadzić linię typu *Polilinia*. Aby jednak wprowadzić linię na powierzchni zakrzywionej, należy użyć linii typu *Linia na powierzchni*. Opcję tę można wykorzystać również w celu wprowadzenia linii na powierzchniach płaskich, które nie są zdefiniowane jako równoległe do osi globalnych. W tym wypadku nie będzie wymagane utworzenie nowego układu współrzędnych definiowanego przez użytkownika.

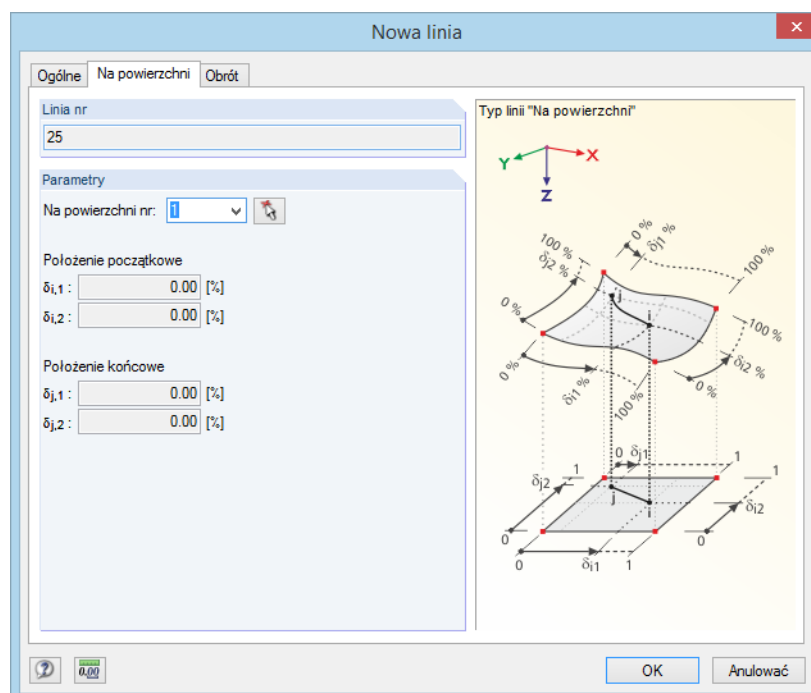
Okno dialogowe do wprowadzania danych jest podobne do okna dla polilinii (zobacz Rysunek 4.24 na stronie 52).



Węzły początkowe i końcowe linii można wprowadzić w oknie dialogowym lub wybrać graficznie. Aby wprowadzić węzły bezpośrednio na powierzchni zakrzywionej, należy wykorzystać pływające okno dialogowe *Nowa linia typu 'Na powierzchni'*. Należy zwrócić uwagę, aby najpierw wybrać powierzchnię oraz oznaczyć jako aktywną opcję wyświetlania modelu jako *Model bryły* lub *Pełny model przezroczysty*. Program RFEM wygeneruje węzły typu *Na powierzchni*.



Powierzchnia, w której zintegrowana jest linia, definiowana jest w drugiej zakładce *Na powierzchni* okna dialogowego *Nowa linia*. Pozwala ono również na sprawdzenie parametrów  $\delta_1$  oraz  $\delta_2$  węzła początkowego i końcowego (zobacz Rysunek 4.14 na stronie 47), ale nie można ich tutaj zmienić.



Rysunek 4.39: Okno dialogowe *Nowa linia*, zakładka *Na powierzchni*



W przypadku wybrania graficznego wprowadzania linii przy użyciu przycisku z paska narzędzi [*Linia na powierzchni*] można umieścić węzły bezpośrednio na powierzchniach zakrzywionych. W trakcie tego wprowadzania nie można używać opcji *Model prętowy*.

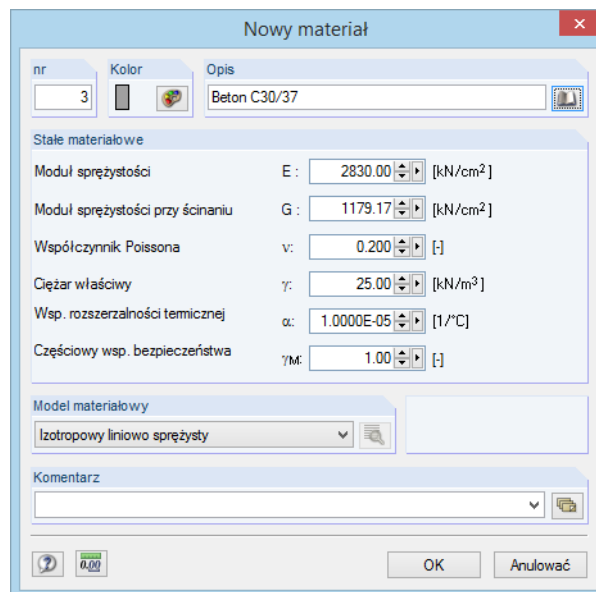
## 4.3 Materiały

### Opis ogólny

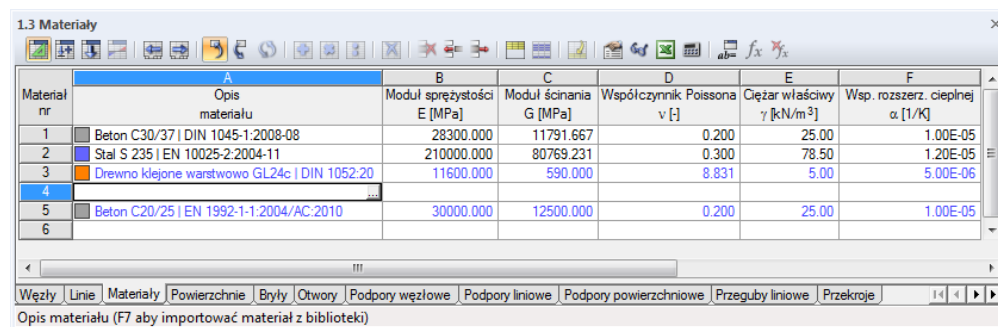
Materiały wymagane są do definiowania powierzchni, przekrojów oraz brył. Charakterystyki materiałowe wpływają na sztywności obiektów modelu.

Każdemu materiałowi przydzielany jest jeden *Kolor*. Kolory są standardowo używane w renderowanym modelu w celu przedstawienia obiektów (zobacz rozdział 11.1.9 na stronie 454).

W przypadku nowych modeli, program RFEM przydziela dwa ostatnio używane materiały.



Rysunek 4.40: Okno dialogowe *Nowy materiał*



Materiał nr	A Opis materiału	B Moduł sprężystości E [MPa]	C Moduł ścinania G [MPa]	D Współczynnik Poissona ν [-]	E Ciężar właściwy γ [kN/m³]	F Wsp. rozszerz. cieplnej α [1/K]
1	Beton C30/37   DIN 1045-1:2008-08	28300.000	11791.667	0.200	25.00	1.00E-05
2	Stal S 235   EN 10025-2:2004-11	210000.000	80769.231	0.300	78.50	1.20E-05
3	Drewno klejone warstwowo GL24c   DIN 1052:20	11600.000	590.000	8.831	5.00	5.00E-06
4						
5	Beton C20/25   EN 1992-1-1:2004/AC:2010	30000.000	12500.000	0.200	25.00	1.00E-05
6						

Rysunek 4.41: Tabela 1.2 *Materiały*

### Opis materiału

Dla *Opisu* materiału można wybrać dowolne słowo. Jeżeli wprowadzona nazwa odpowiada jednemu z wpisów w bibliotece, program RFEM zaimportuje jego charakterystyki. Import materiałów z biblioteki został opisany w dalszej części instrukcji.

### Moduł sprężystości E (moduł Younga)

Moduł sprężystości (moduł Younga) opisuje stosunek naprężenia normalnego do odkształcenia.



Aby dostosować naprężenia dla *Materiałów*, należy kliknąć opcję **Jednostki i miejsca dziesiętne** w menu **Edytować** lub wcisnąć odpowiedni przycisk.



### Moduł odkształcalności postaciowej $G$ (moduł Kirchhoffa)

Moduł odkształcalności postaciowej  $G$  (moduł Kirchhoffa) jest drugim parametrem używanym do opisu sprężystego zachowania się materiału liniowego, izotropowego i homogenicznego.



Moduł Kirchhoffa materiałów znajdujących się w bibliotece obliczany jest według równania 4.1 z modułu sprężystości  $E$  oraz współczynnika Poissona  $\nu$ . Z tego powodu dla materiałów izotropowych przyjmuje się symetryczną macierz sztywności. Określone w ten sposób wartości modułu ścinania mogą nieznacznie różnić się od specyfikacji w Eurokodach.

### Współczynnik Poissona $\nu$

Pomiędzy modułem sprężystości i ścinania oraz współczynnikiem Poissona  $\nu$  istnieje następująca zależność:

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Równanie 4.1



Podczas ręcznego definiowania charakterystyk materiału izotropowego, program RFEM automatycznie określi współczynnik Poissona na podstawie wartości modułów Younga i Kirchhoffa (na tej samej zasadzie, moduł ścinania zostanie określony na podstawie modułu sprężystości i współczynnika Poissona).

Współczynnik Poissona dla materiałów izotropowych zwykle znajduje się w przedziale od 0,0 do 0,5. Z tego powodu, jeżeli wartość ta przekroczy 0,5 (na przykład dla gumy), przyjmuje się, że materiał nie jest izotropowy. Przed rozpoczęciem obliczeń pojawi się zapytanie czy ma zostać użyty ortotropowy model materiałowy.

### Ciężar właściwy $\gamma$

Ciężar właściwy  $\gamma$  stanowi ciężar materiału na jednostkę jego objętości.

Specyfikacja ta ma szczególnie duże znaczenie dla obciążenia typu 'ciężar własny'. Ciężar własny przyjmowany dla konstrukcji określany jest na podstawie ciężaru właściwego i pól przekroju wykorzystywanych prętów, powierzchni oraz brył.

### Współczynnik rozszerzalności cieplnej $\alpha$

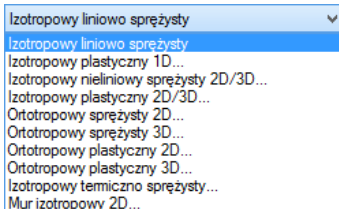
Współczynnik ten opisuje liniową zależność pomiędzy zmianami temperatury a odkształceniami osiowymi (wydłużenie spowodowane ogrzewaniem, skurcz spowodowany ochłodzeniem).

Wartość ta ma duże znaczenie dla obciążeń typu 'zmiana temperatury' oraz 'różnica temperatury'.

### Częściowy współczynnik bezpieczeństwa $\gamma_M$

Wartość ta opisuje współczynnik bezpieczeństwa dla wytrzymałości materiału. Z tego powodu używany jest indeks  $M$ . Współczynnik  $\gamma_M$  wykorzystywany jest do redukcji sztywności podczas obliczeń według analizy drugiego rzędu i analizy dużych deformacji (zobacz rozdział 7.3.1 na stronie 287).

Nie należy mylić współczynnika  $\gamma_M$  ze współczynnikami bezpieczeństwa służącymi do określania obliczeniowych sił wewnętrznych. Częściowe współczynniki bezpieczeństwa  $\gamma$  po stronie oddziaływania są uwzględniane podczas łączenia przypadków obciążeń w kombinacji obciążeń i wyników.



## Model materiałowy

Z listy można wybrać dziewięć modeli materiałowych. Przy pomocy przycisku [Szczegóły], znajdującego się w oknie dialogowym lub tabeli, otwiera się okna dialogowe, w których można zdefiniować parametry wybranego modelu.

W przypadku braku licencji dla modułu dodatkowego **RF-MAT NL**, można wykorzystać jedynie modele materiałowe typu *Izotropowy liniowo sprężysty* oraz *Ortotropowy sprężysty 2D/3D*.

### Izotropowy liniowo sprężysty

Sprężyste liniowo charakterystyki sztywności materiału nie zależą od kierunków. Opisywane są one przy pomocy Równanie 4.1 oraz następujących warunków:

- $E > 0$
- $G > 0$
- $-1 < \nu \leq 0,5$  (jedynie dla powierzchni i brył; dla prętów: brak górnej granicy)

Macierz sprężystości (odwrócona macierz sztywności) dla powierzchni przyjmuje następującą postać:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & & & \\ -\frac{\nu}{E} & \frac{1}{E} & & & \\ & & \frac{1}{G} & & \\ & & & \frac{1}{G} & \\ & & & & \frac{1}{G} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{Bmatrix}$$

Równanie 4.2

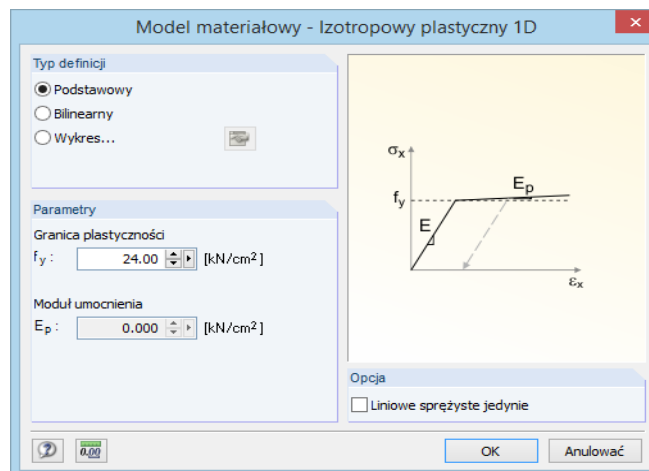
### Izotropowy plastyczny 1D

Otworzy się okno dialogowe, w którym można określić plastyczne charakterystyki materiału izotropowego, które zostaną zastosowane. Program RFEM uwzględni te charakterystyki dla elementów prętowych, na przykład podczas plastycznych obliczeń łańcucha kinematycznego.

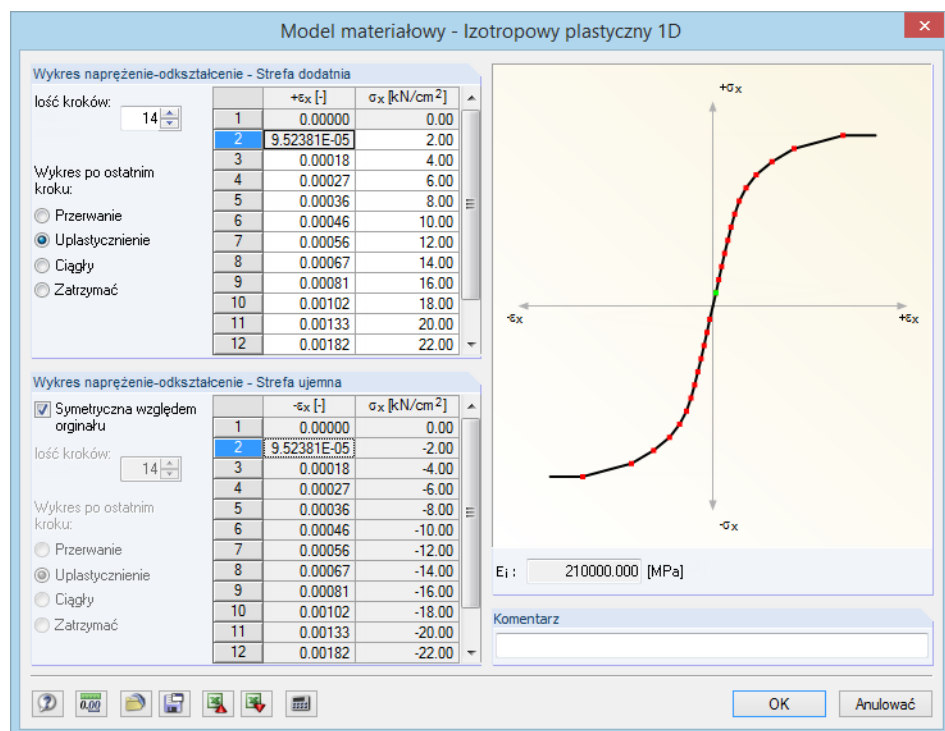
Nieliniowe zachowanie materiału zostanie poprawnie określone podczas obliczeń jedynie w przypadku, gdy na pręcie została utworzona wystarczająca ilość węzłów ES. W tym celu można wykorzystać następujące opcje:

- Okno dialogowe *Podziel pręt używając n węzłów pośrednich* (zobacz Rysunek 11.91 na stronie 501), metoda podziału *nie dziel*
- Okno dialogowe *Ustawienia siatki ES* (zobacz Rysunek 7.10 na stronie 278), opcja *Użyć podziałów dla prętów prostych z Minimalną ilością podziałów pręta* wynoszącą 10



Rysunek 4.42: Okno dialogowe *Model materiałowy - Izotropowy plastyczny 1D*

Następnie należy zdefiniować parametry podstawowe lub bilinearne plastycznego materiału. Możliwe jest również zdefiniowanie *Wykresu* naprężenie-odkształcenie w celu odwzorowaniu zachowania materiału w sposób zbliżony do rzeczywistości.

Rysunek 4.43: Okno dialogowe *Model materiałowy - Izotropowy plastyczny 1D*, wykres naprężenie-odkształcenie

Charakterystyki materiałowe można zdefiniować osobno dla *Strefy dodatniej* i *Strefy ujemnej*. Ilość kroków określa ilość dostępnych punktów definicji. Odkształcenia  $\varepsilon$  i odpowiednie naprężenia normalne  $\sigma$  wprowadza się w dwóch kolumnach.

Istnieją kilka postaci *Wykresu po ostatnim kroku*. *Przerwanie* dla uszkodzenia materiału po przekroczeniu określonego naprężenia, *Uplastycznienie* dla ograniczenia przenoszenia naprężenia maksymalnego, *Ciągły*, jak w ostatnim kroku lub *Zatrzymanie* dla ograniczenia do maksymalnego dozwolonego odkształcenia.

Parametry można zaimportować również z arkusza aplikacji [Excel].

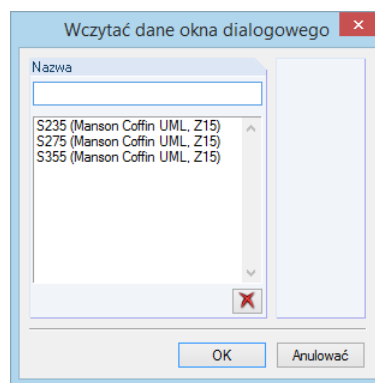


Charakterystyki materiałowe przedstawiane są na dynamicznym rysunku po prawej stronie. Pole  $E_i$  w oknie dialogowym poniżej tego rysunku pokazuje moduł sprężystości dla bieżącego punktu definicji.



Przycisk [Zapisać jako] w oknie dialogowym służy do zapisywania wykresu naprężenie-odkształcenie w celu wykorzystania go w innych modelach. Wykresy zdefiniowane przez użytkownika można zaimportować przy użyciu przycisku [Wczytaj zapisane dane...] (zobacz na poniższym rysunku).

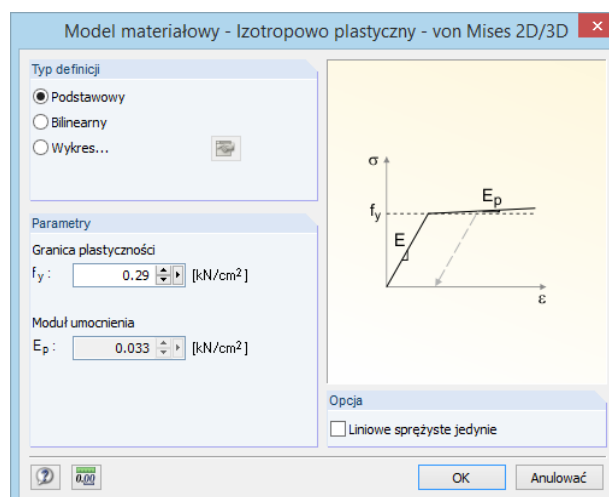
Pole wyboru *Aktywować sztywność prętów przy ścinaniu (pole przekroju  $A_y, A_z$ )* w oknie dialogowym *Parametry obliczeń* (zobacz Rysunek 7.22 na stronie 292) nie ma wpływu na pręty o izotropowych sprężysto-plastycznych charakterystykach materiałowych. Ten model materiałowy wykorzystuje teorię zginania belek według BERNOULLIEGO-EULERA, w której zaniedbywane są zniekształcenia od ścinania.



Rysunek 4.44: Okno dialogowe *Wczytać dane okna dialogowego*

### Izotropowy sprężysto-plastyczny 2D/3D

Ten model materiałowy odwzorowuje zachowanie materiału izotropowego w strefie sprężystej. Strefa plastyczna opiera się na kryteriach naprężeń według VON MISESA (plastyczność  $J_2$ ) przy użyciu zdefiniowanej przez użytkownika *Granicy plastyczności* dla naprężenia równoważnego dla powierzchni i brył.



Rysunek 4.45: Okno dialogowe *Model materiałowy - Izotropowo sprężysto-plastyczny - von Mises 2D/3D*

Następnie należy zdefiniować parametry idealnie lub bilinearne plastycznego materiału. Możliwe jest również zdefiniowanie *Wykresu* naprężenie-odkształcenie w celu odwzorowania zachowania materiału w sposób zbliżony do rzeczywistości (zobacz Rysunek 4.43). Te same zależności występują w przypadku rozciągania i ściskania.

Kryteria naprężeń są następujące:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad \text{elementy 2D}$$

Równanie 4.3

$$\sigma_v = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)} \quad \text{elementy 3D}$$

Równanie 4.4

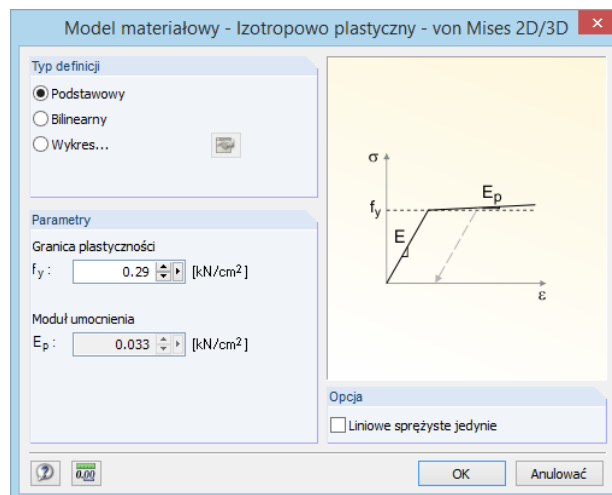


Obliczenia dla plastycznych charakterystyk materiałowych prowadzone są w sposób iteracyjny z przyrostami obciążenia (zobacz rozdział 7.3 na stronie 296). W przypadku przekroczenia naprężenia w elemencie skończonym, zostanie tam zredukowany moduł sprężystości i rozpocznie się nowy cykl obliczeń. Proces ten jest powtarzany aż do osiągnięcia zbieżności. Po zakończeniu obliczeń, redukcję sztywności można sprawdzić również w sposób graficzny (zobacz rozdział 9.3.2 na stronie 373).

Podczas oceny wyników zaleca się wykorzystać opcję wygładzania *Stałe na elementach* (zobacz Rysunek 9.31 na stronie 389). Ustawienie to zapewnia, że zdefiniowana granica naprężenia wyświetlana jest jako wartość maksymalna w panelu wyników. Oddziaływania plastyczne można uwzględnić w obliczeniach jedynie element po elemencie. W przypadku pozostałych opcji wygładzania, program RFEM interpoluje lub ekstrapoluje wyniki, co może prowadzić do powstania zniekształceń, których wielkość zależy od ustawień siatki.

### Izotropowy nieliniowo-sprężysty 2D

Ten model materiałowy jest podobny do modelu *Izotropowy sprężysto-plastyczny 2D/3D* opisanego powyżej, z tą różnicą, że model ten nie posiada energii (analiza zachowawcza). Ponieważ występują takie same zależności pomiędzy naprężeniem i odkształceniem dla obciążenia i odciążenia, po odciążeniu nie są dostępne stałe zniekształcenia plastyczne.



Rysunek 4.46: Okno dialogowe *Model materiałowy – Izotropowy nieliniowo-sprężysty 2D*

Macierz sprężystości tłumiona jest izotropowo w celu zapewnienia związku naprężenie-odkształcenie dla naprężeń zastępczych i zniekształceń według VON MISESA. Związek ten jest zdefiniowany przez następujące warunki:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

$$\varepsilon_v = \frac{\sigma_v}{E}$$

Równanie 4.5

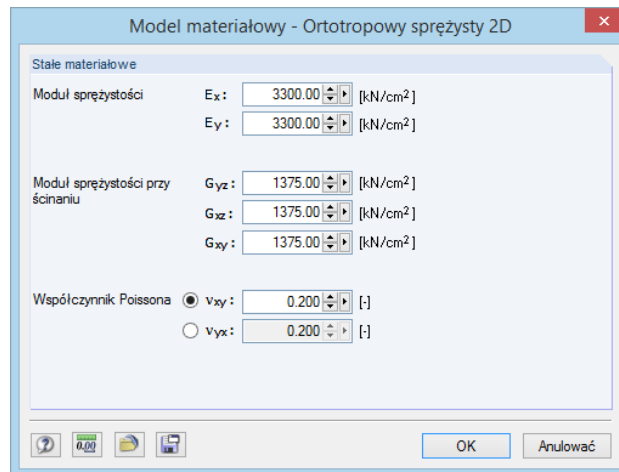
Na Wykresie można zdefiniować związki pomiędzy naprężeniami i odkształceniami osobno dla strefy rozciąganej i ściskanej (zobacz Rysunek 4.43).

### Ortotropowy sprężysty 2D

Pozwala na definiowanie charakterystyk sztywności, które różnią się w obu kierunkach (x i y) powierzchni. W ten sposób można modelować na przykład stropy żebrowane lub kierunki naprężeń zbrojonych stropów. Osie powierzchni x i y są do siebie prostopadłe w płaszczyźnie powierzchni (zobacz Rysunek 4.73 na stronie 90).



Modele materiałowe *Ortotropowy* i *Ortotropowy ekstra* z programu RFEM4 są zamieniane na ten właśnie model.



Rysunek 4.47: Okno dialogowe *Model materiałowy – Ortotropowy sprężysty 2D*

Przy użyciu tego modelu można przydzielać właściwości ortotropowe globalnie do wszystkich powierzchni utworzonych z danego materiału. Alternatywnie można zdefiniować te parametry osobno dla każdej powierzchni (zobacz rozdział 4.12 *Powierzchnie ortotropowe* na stronie 121).

Materiał ortotropowy sprężysty charakteryzowany jest przez moduły sprężystości  $E_x$  i  $E_y$ , moduły ścinania  $G_{yz}$ ,  $G_{xz}$  i  $G_{xy}$  oraz współczynniki Poissona  $\nu_{xy}$  i  $\nu_{yx}$ . Macierz sprężystości (odwrotność macierzy sztywności) definiowana jest w następujący sposób:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{xy}}{E_x} \\ -\frac{\nu_{yx}}{E_y} & \frac{1}{E_y} \\ & & \frac{1}{G_{xy}} \\ & & & \frac{1}{G_{yz}} \\ & & & & \frac{1}{G_{xz}} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{Bmatrix}$$

Równanie 4.6

Pomiędzy głównym współczynnikiem Poissona  $\nu_{xy}$  a drugorzędym współczynnikiem Poissona  $\nu_{yx}$  istnieje następująca zależność:

$$\frac{v_{yx}}{E_y} = \frac{v_{xy}}{E_x}$$

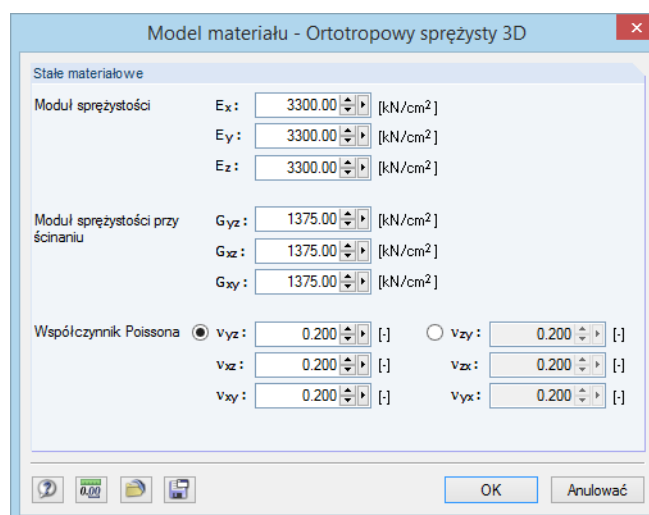
Równanie 4.7

Poniższe warunki muszą zostać spełnione w przypadku dodatnio określonej macierzy sztywności:

- $E_x > 0$ ;  $E_y > 0$
- $G_{yz} > 0$ ;  $G_{xz} > 0$ ;  $G_{xy} > 0$
- $|v_{xy}| < \sqrt{\frac{E_x}{E_y}}$

### Ortotropowy sprężysty 3D

W trójwymiarowym modelu materiałowym można zdefiniować sztywności sprężyste osobno dla wszystkich kierunków bryły. W ten sposób można odwzorować na przykład charakterystyki wytrzymałościowe dla materiałów na bazie drewna.

Rysunek 4.48: Okno dialogowe *Model materiałowy – Ortotropowy sprężysty 3D*

Macierz sztywności definiowana jest w następujący sposób:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{v_{xy}}{E_x} & -\frac{v_{xz}}{E_x} \\ -\frac{v_{yx}}{E_y} & \frac{1}{E_y} & -\frac{v_{yz}}{E_y} \\ -\frac{v_{zx}}{E_z} & -\frac{v_{zy}}{E_z} & \frac{1}{E_z} \\ & & & \frac{1}{G_{yz}} \\ & & & & \frac{1}{G_{xz}} \\ & & & & & \frac{1}{G_{xy}} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

Równanie 4.8

Pomiędzy głównymi współczynnikami Poissona  $v_{yz}$ ,  $v_{xz}$ ,  $v_{xy}$  a drugorzędnymi współczynnikami Poissona  $v_{zy}$ ,  $v_{zx}$ ,  $v_{yx}$  istnieje następująca zależność:

$$\frac{\nu_{zy}}{E_z} = \frac{\nu_{yz}}{E_y}; \quad \frac{\nu_{zx}}{E_z} = \frac{\nu_{xz}}{E_x}; \quad \frac{\nu_{yx}}{E_y} = \frac{\nu_{xy}}{E_x}$$

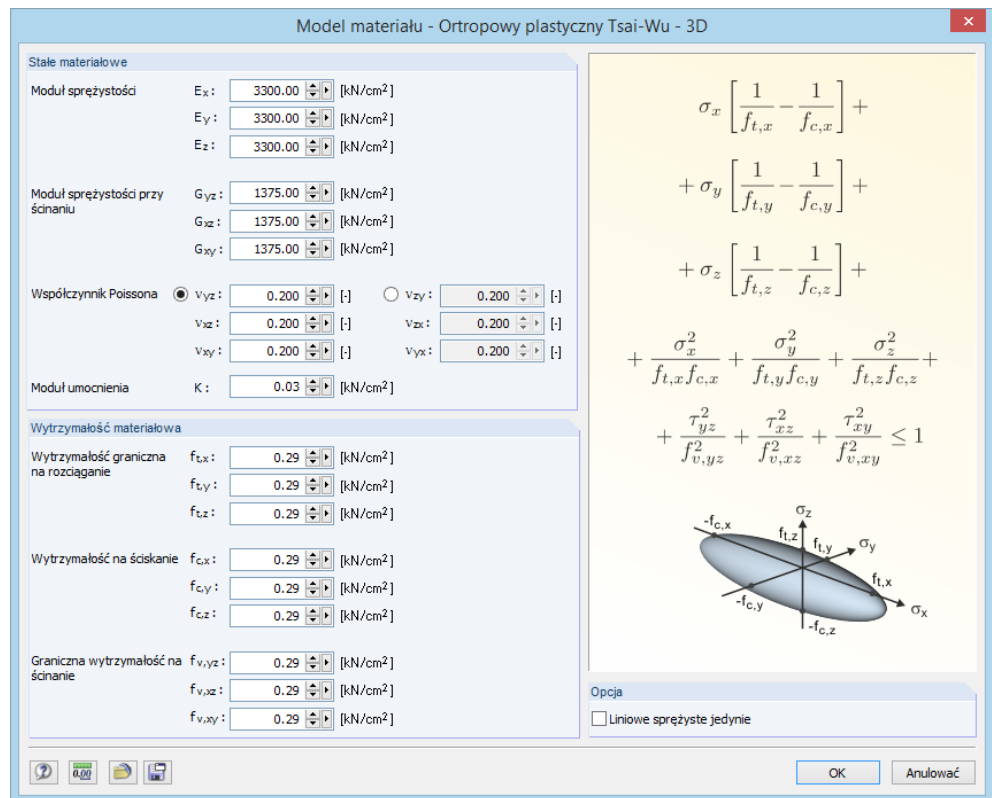
Równanie 4.9

Poniższe warunki muszą zostać spełnione w przypadku dodatnio określonej macierzy sztywności:

- $E_x > 0; E_y > 0; E_z > 0$
- $G_{yz} > 0; G_{xz} > 0; G_{xy} > 0$
- $|\nu_{yz}| < \sqrt{\frac{E_y}{E_z}}; |\nu_{xz}| < \sqrt{\frac{E_x}{E_z}}; |\nu_{xy}| < \sqrt{\frac{E_x}{E_y}}$
- $1 - \nu_{yz}^2 \frac{E_z}{E_y} - \nu_{xz}^2 \frac{E_z}{E_x} - \nu_{xy}^2 \frac{E_y}{E_x} - 2 \frac{E_z}{E_x} \nu_{yz} \nu_{xz} \nu_{xy} > 0$

### Ortotropowy sprężysto-plastyczny 3D

Model materiałowy według TSAI-WU łączy charakterystyki plastyczne z ortotropowymi. Pozwala to na specjalne modelowanie materiałów o charakterystykach anizotropowych, takich jak plastik lub drewno. Podczas uplastycznienia materiału, naprężenie pozostaje stałe. Rozkład prowadzony jest według sztywności występujących w poszczególnych kierunkach.



Rysunek 4.49: Okno dialogowe *Model materiały - Ortotropowy sprężysto-plastyczny - Tsai-Wu 3D*

Strefa sprężysta odpowiada modelowi materiałowemu typu *Ortotropowy sprężysty 3D* (zobacz powyżej). Dla strefy plastycznej mają zastosowanie następujące kryteria naprężeniowe według TSAI-WU:



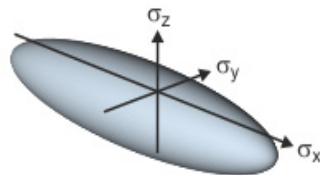
$$f_y(\sigma) = \sigma_x \left( \frac{1}{f_{t,x}} - \frac{1}{f_{c,x}} \right) + \sigma_y \left( \frac{1}{f_{t,y}} - \frac{1}{f_{c,y}} \right) + \sigma_z \left( \frac{1}{f_{t,z}} - \frac{1}{f_{c,z}} \right) + \frac{\sigma_x^2}{f_{t,x}f_{c,x}} + \frac{\sigma_y^2}{f_{t,y}f_{c,y}} + \frac{\sigma_z^2}{f_{t,z}f_{c,z}} + \frac{\tau_{yz}^2}{f_{v,yz}^2} + \frac{\tau_{xz}^2}{f_{v,xz}^2} + \frac{\tau_{xy}^2}{f_{v,xy}^2}$$

gdzie  $f_{t,x}, f_{t,y}, f_{t,z}$       Plastyczna graniczna wytrzymałość na rozciąganie w kierunku x, y lub z  
 $f_{c,x}, f_{c,y}, f_{c,z}$       Plastyczna graniczna wytrzymałość na ściskanie w kierunku x, y lub z  
 $f_{v,yz}, f_{v,xz}, f_{v,xy}$       Plastyczna wytrzymałość na ścinanie w kierunku yz, xz lub xy

Równanie 4.10

Wszystkie wytrzymałości muszą zostać określone jako dodatnie.

Kryteria naprężeniowe można wyobrazić sobie jako powierzchnię w kształcie elipsy, na którą działają naprężenia w sześciowymiarowej przestrzeni. Jeżeli jedna z tych trzech składowych naprężenia zostanie zastosowana jako wartość stała, powierzchnia ta może być rzutowana do trójwymiarowej przestrzeni naprężenia:



Rysunek 4.50: Rzutowanie powierzchni uplastycznienia dla naprężeń normalnych według TSAI-WU

Jeżeli wartość  $f_y(\sigma)$  według Równanie 4.10 jest mniejsza niż 1, naprężenia leżą w strefie plastycznej. Strefa plastyczna zostanie osiągnięta, gdy tylko  $f_y(\sigma) = 1$ . Wartości wyższe niż 1 nie są dozwolone. Zachowanie modelu jest idealnie plastyczne, co oznacza, że nie zachodzi zwiększenie wytrzymałości.

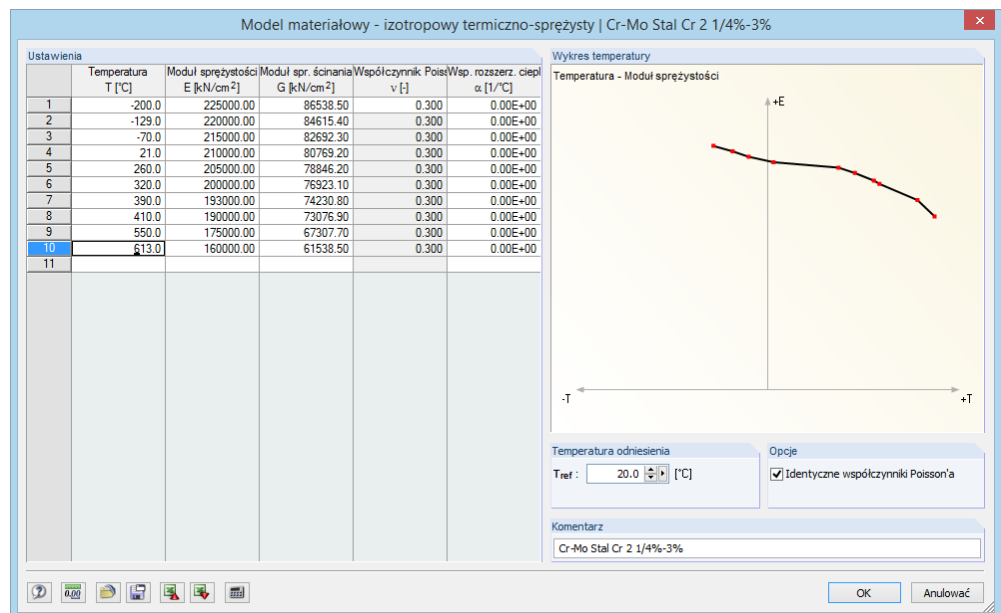


Równanie 4.10 ma zastosowanie jedynie w przypadku lokalnego układu współrzędnych ES. Jeżeli nie jest on zgodny z układem współrzędnych bryły używanej do przedstawiania naprężeń w programie RFEM, wartości te należy odpowiednio zmienić.



#### Izotropowy termiczno-sprężysty

Charakterystyki naprężeń i odkształceń zależne od temperatury dla sprężystego materiału izotropowego mogą być definiowane przy użyciu wykresu lub importowane z aplikacji [Excel]. Charakterystyki te zostaną uwzględnione w przypadku elementów prętowych i powierzchniowych na które oddziałuje obciążenie termiczne (zmiany lub różnice temperatury).

Rysunek 4.51: Okno dialogowe *Model materiałowy - Izotropowy termiczno-sprężysty*

Temperatura odniesienia określa sztywności dla prętów lub powierzchni, które nie posiadają obciążeń termicznych. Jeżeli zostanie ustawiona na przykład temperatura odniesienia wynosząca 300 °C, program RFEM zastosuje zredukowany moduł sprężystości tego punktu z krzywej temperatury dla wszystkich prętów i powierzchni.

Przy użyciu ustawień w sekcji okna dialogowego *Opcje* można wybrać, czy dla całego wykresu temperatury zostaną zastosowane *identyczne współczynniki Poissona*. Usunięcie zaznaczenia pozwala na wprowadzenie danych w kolumnie *Współczynnik Poissona*.



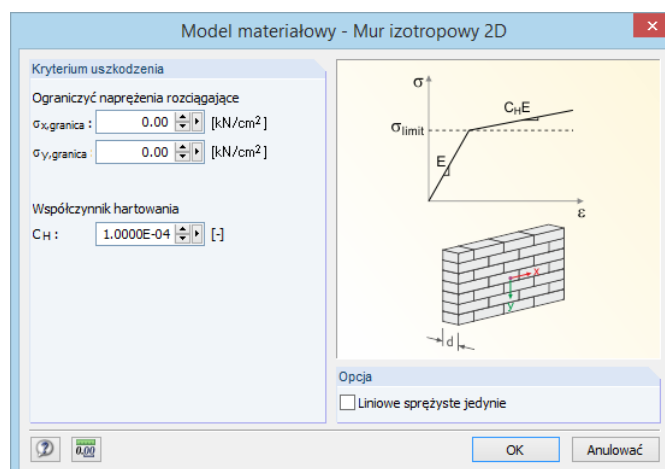
Przycisk [Załadwoać] pozwala zaimportować wstępnie zdefiniowane wykresy temperatury dla różnych stopów żelaznych (zobacz Rysunek 4.44 na stronie 68).



Przycisk [Zapisać] służy do zapisywania wykresów temperatury zdefiniowanych przez użytkownika, w celu ich późniejszego wykorzystania w innych modelach.

### Mur izotropowy 2D

Ten model materiałowy służy do uwzględniania ścian z cegły, które nie mogą przenosić sił rozciągających i odpowiadają poprzez tworzenie się rys.

Rysunek 4.52: Okno dialogowe *Model materiałowy - Mur izotropowy 2D*

Przedstawione okno dialogowe pozwala na zdefiniowanie *Granicznych naprężeń rozciągających* w kierunku osi x i y powierzchni, czyli poziomo i pionowo do przerwy w podporze. Następnie podczas obliczania danych, program RFEM sprawdza w kilku krokach iteracyjnych, które elementy skończone zostają uwolnione od naprężeń dzięki kryterium uszkodzenia.



W przypadku ustawienia wartości zerowej dla granicznego naprężenia rozciągającego, ze względu na stateczność, program RFEM używa w obliczeniach wartość graniczną wynoszącą  $10^{-11}$  N/mm<sup>2</sup>. Dzięki temu nie są całkowicie pomijane naprężenia rozciągające o małej wartości.

Jeżeli podczas obliczeń pojawią się problemy numeryczne, zgodność można spróbować osiągnąć poprzez zwiększanie *Współczynnika hartowania*  $C_H$ .

Jeżeli mur został już wprowadzony w bibliotekę materiałów, można otworzyć okno dialogowe *Model materiałowy*, w którym będą ustawione następujące wartości graniczne:

Norma	$\sigma_{x,limit}$	$\sigma_{y,limit}$
DIN 1053-100	$f_{x2}$ naprężenie rozciągające równoległe do przerwy w podporze	0
EN 1996-1-1	$f_{xk2}$ naprężenie rozciągające równoległe do przerwy w podporze	$f_{xk1}$ naprężenie rozciągające prostopadłe do przerwy w podporze

Tabela 4.1: Graniczne naprężenia rozciągające według norm dla murów

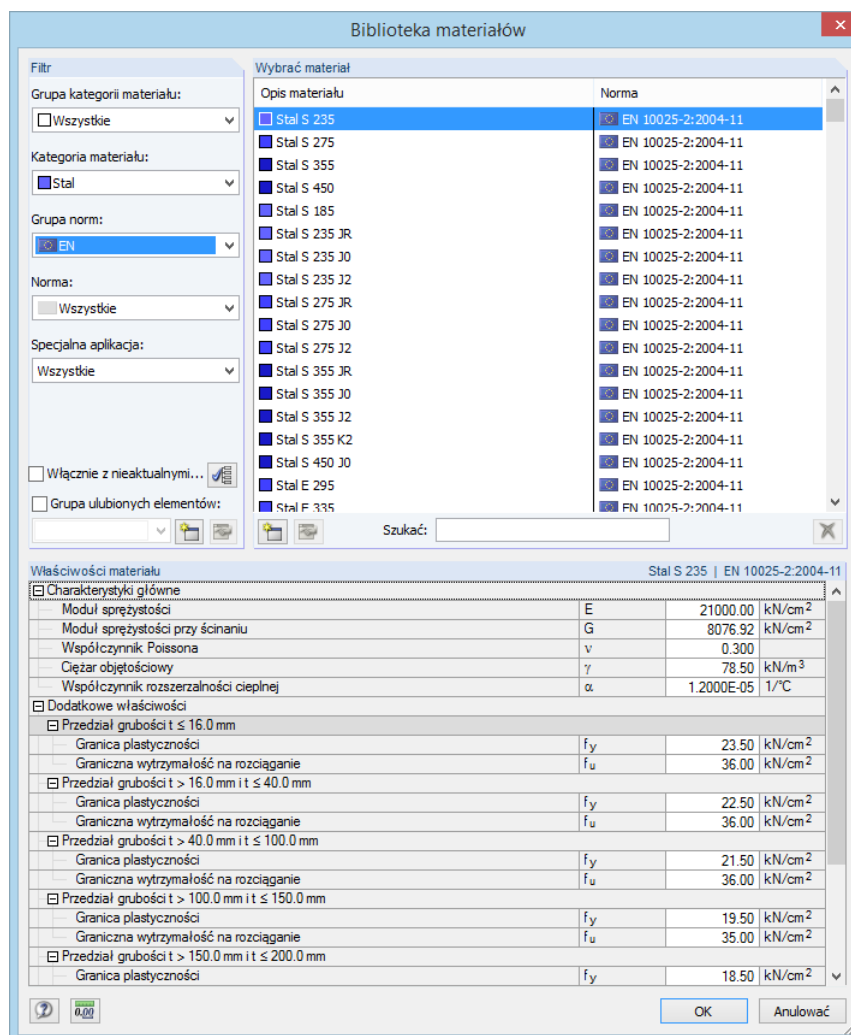
### Biblioteka materiałów

Właściwości wielu materiałów przechowywane są w obszernej bazie danych, którą można dodatkowo rozszerzać.

#### Otwieranie biblioteki

Aby otworzyć bibliotekę, należy kliknąć przycisk [Biblioteka materiałów] (zob. Rysunek 4.40 na stronie 64) w oknie dialogowym *Nowy materiał*. Bibliotekę można otworzyć również w tabeli 1.3 *Materiały* (zob. Rysunek 4.41 na stronie 64). W tym celu należy umieścić kursor w kolumnie A, a następnie kliknąć przycisk [...], pokazany również na lewym marginesie tej strony lub wykorzystać klawisz funkcyjny [F7] klawiatury.

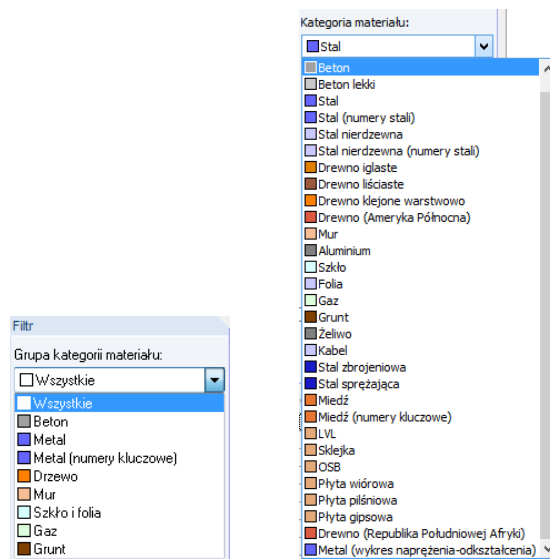


Rysunek 4.53: Okno dialogowe *Biblioteka materiałów*

Z listy *Wybrać materiał* można wybrać wymagany materiał, a następnie w dolnej części okna dialogowego zaznaczyć odpowiednie parametry. Kliknięcie [OK] lub klawisza [↵] spowoduje przeniesienie ich do poprzedniego okna dialogowego lub tabeli.

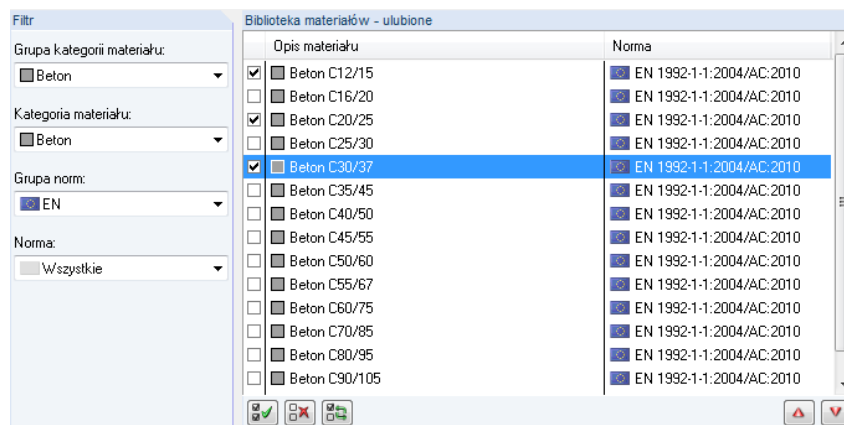
### Filtrowanie biblioteki

Ponieważ biblioteka materiałów jest bardzo obszerna, w sekcji *Filtr* dostępnych jest wiele opcji wyboru. Listę materiałów można filtrować według *Grup kategorii materiału*, *Kategorii materiału*, *Grupy norm* oraz *Normy*. W ten sposób można znacznie zredukować ilość wyświetlanych danych.

Rysunek 4.54: Filtr dla *Grup kategorii materiału* i *Kategorii materiału*

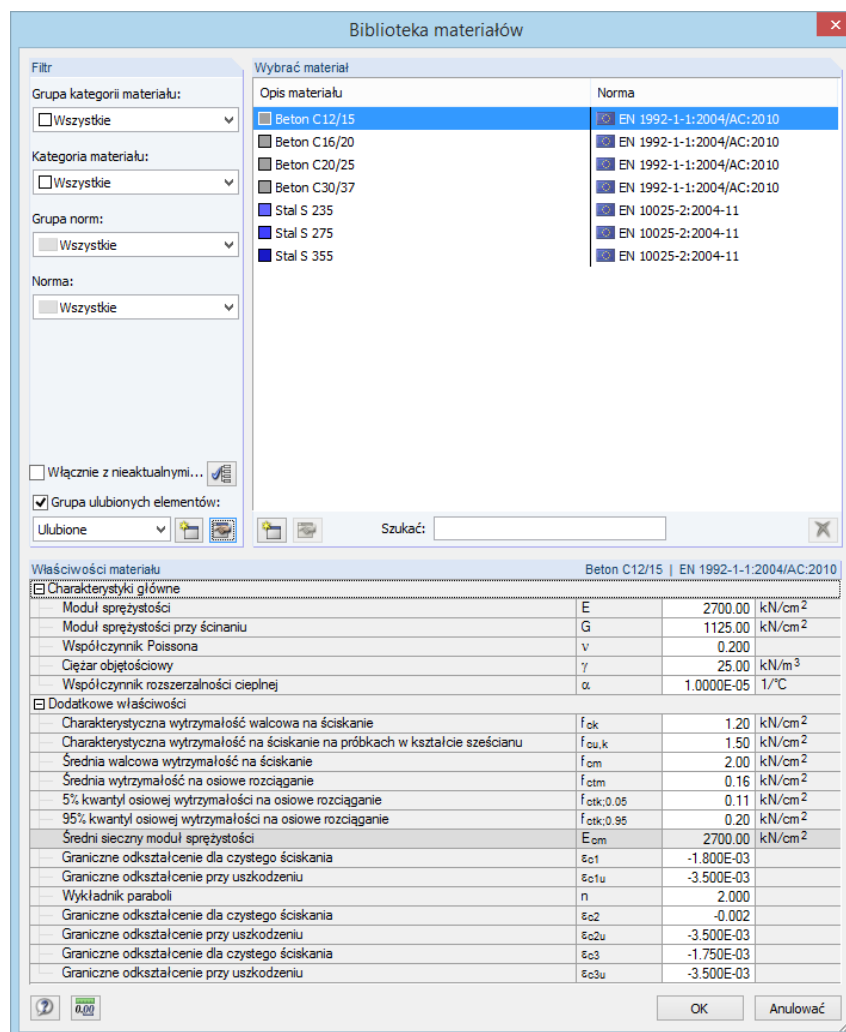
### Tworzenie ulubionych

Kilka wybranych materiałów często wystarczy podczas codziennej pracy. Materiały te można oznaczyć jako ulubione. W tym celu należy kliknąć przycisk [Edytować ulubione] (zobacz Rysunek 4.56), aby otworzyć okno dialogowe służące do definiowania ulubionych materiałów.

Rysunek 4.55: Okno dialogowe *Biblioteka materiałów - Ulubione* (fragment okna)

To okno dialogowe wygląda tak samo jak biblioteka materiałów. Można w nim także wykorzystywać opcje filtrowania opisane powyżej. W sekcji *Biblioteka materiałów - Ulubione*, poprzez zaznaczenie pól wyboru, można wybrać najczęściej używane materiały. Kolejność wyświetlania materiałów można zmienić przy użyciu przycisków [▲] i [▼].

Po zamknięciu tego okna dialogowego, biblioteka materiałów będzie wyświetlać przejrzysty przegląd ulubionych. W tym celu wystarczy jedynie aktywować opcję *Tylko ulubione*.

Rysunek 4.56: Okno dialogowe *Biblioteka materiałów* z opcją *Tylko ulubione*

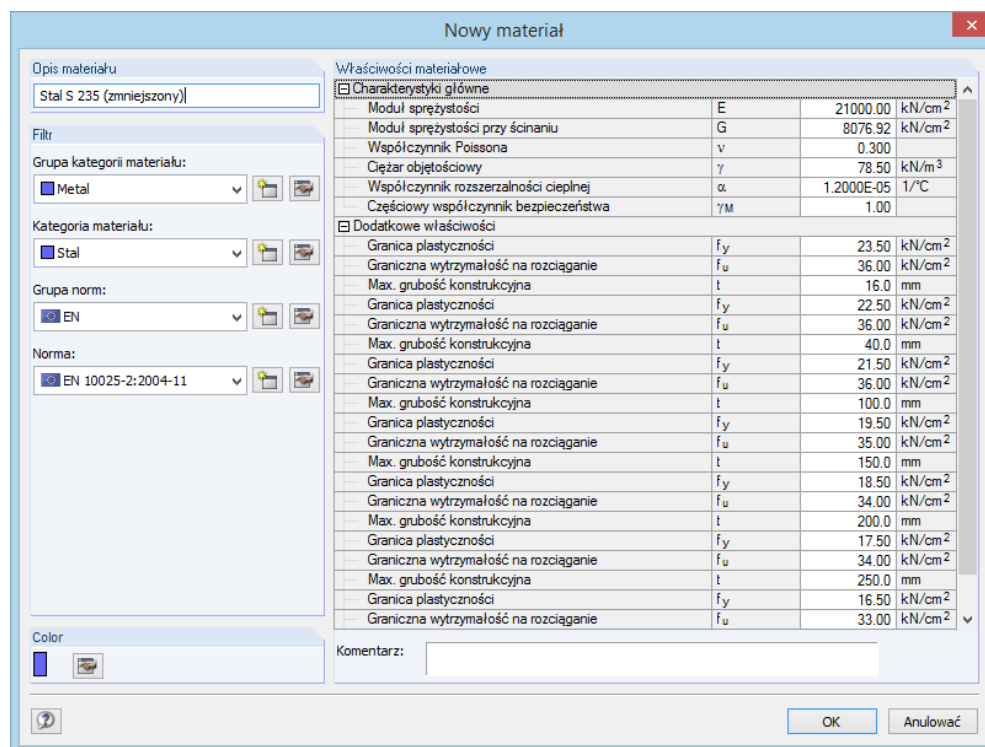
Przy użyciu opcji *Włącznie z nieaktualnymi* w sekcji okna dialogowego *Filtr*, do biblioteki można włączyć również materiały ze 'starych' norm.

### Rozszerzanie biblioteki

Bibliotekę materiałów można rozszerzać. Po dodaniu nowego materiału, można go wykorzystać we wszystkich dostępnych modelach.



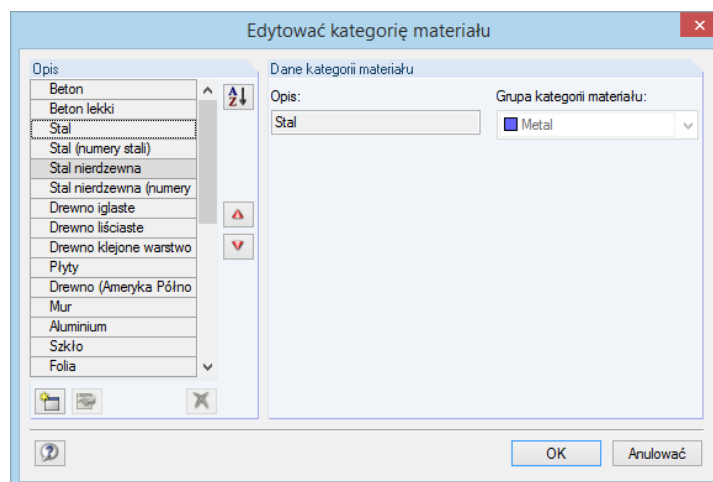
W tym celu należy kliknąć przycisk [Utworzyć nowy materiał] w bibliotece (po prawej stronie od przycisku [Ulubione], zobacz Rysunek 4.56). Otworzy się okno dialogowe *Nowy materiał*. Ustawione w nim będą parametry wpisu zaznaczonego na liście *Wybrać materiał*. Tworzenie nowego materiału jest więc łatwiejsze, jeżeli przed otwarciem tego okna dialogowego, zostanie zaznaczony materiał o podobnych charakterystykach.

Rysunek 4.57: Okno dialogowe *Nowy materiał*

Następnie należy wprowadzić *Opis materiału*, zdefiniować *Charakterystyki materiałowe* oraz przydzielić materiał do odpowiednich kategorii funkcji *Filtr*.



Przy użyciu przycisków pokazanych na lewym marginesie tej strony można tworzyć i edytować kategorie.

Rysunek 4.58: Okno dialogowe *Edytować kategorię materiału*

Kolejność wpisów można dostosować przy użyciu przycisków [▲] i [▼].

### Zapisywanie materiałów zdefiniowanych przez użytkownika

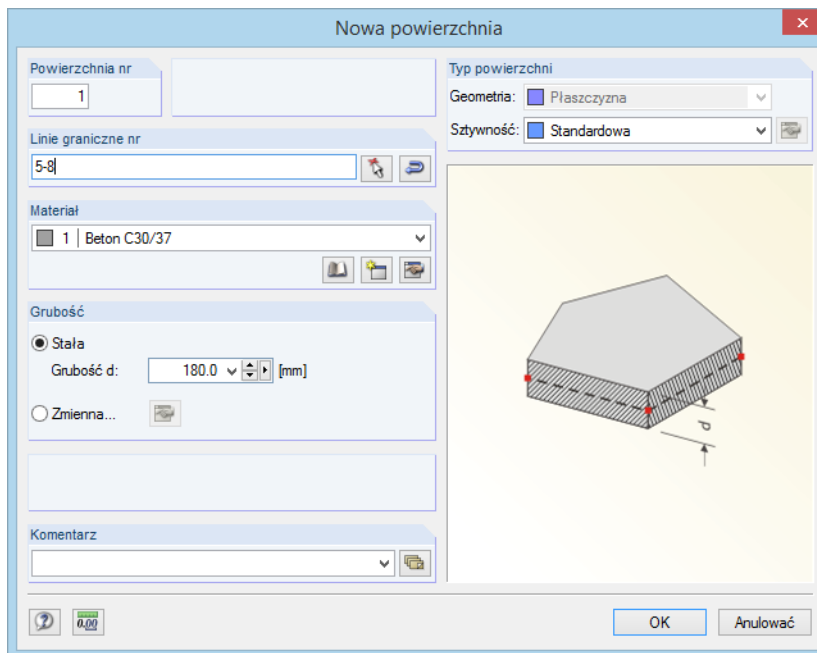
W przypadku używania swoich własnych materiałów, przed instalacją aktualizacji programu zaleca się zapisać plik **Materialien\_User.dbd** w bezpiecznym miejscu. Plik ten znajduje się w głównym folderze danych programu RFEM 5 C:\Program Files\Dlubal\RFEM 5.01\General Data.

## 4.4 Powierzchnie

### Opis ogólny

Poza geometrią konstrukcji, powierzchnie opisują również sztywność wynikającą z charakterystyk materiałowych i grubości. Podczas generowania siatki ES, na powierzchniach tworzone są elementy 2D. Szczegółowe informacje na temat wykorzystywanych elementów znajdują się w rozdziale 7.2.1 na stronie 275.

Typ sztywności Zero powinien być używany do opisu geometrii brył.



Rysunek 4.59: Okno dialogowe *Nowa powierzchnia*

Pow. nr	Typ powierzchni		C		D	E		G	H	I
	Geometria	Sztywność	Oś nr / Promień r		Materiał nr	Typ	Grubość d [mm]	Mimośród e <sub>z</sub> [mm]	Węzły nr	Obiekty zini Linie
18	Płaszczyzna	Standardowa	59-62		2	Staća	180.0	0.0		
19	Czworokąt	Standardowa	20-25		2	Staća	180.0	0.0		
20	Płaszczyzna	Ototropowy	13-17		4	Staća	180.0	0.0		
21	Rura	Standardowa	0/0.000		4	Staća	180.0	0.0		
22										
23										

Rysunek 4.60: Tabela 1.4 *Powierzchnie*

Do modelowania konstrukcji dostępne są różne charakterystyki *Geometrii* i *Sztywności*. Wpisy z obu list *Typ powierzchni* lub z kolumn tabeli można łączyć w granicach i na warunkach zależnych od danego typu.

Typ powierzchni	
Geometria	Sztywność
Płaszczyzna	Standardowa
Czworokąt	Ototropowy
B-Spline	Szkło
Obrócona	Laminat
Rura	Membrana - Izotropowa
Trajektoria	Zero

Kolorowe symbole pomagają przydzielać różne typy *Geometrii* i *Sztywności*. Kolory można wykorzystać w modelu do przedstawienia poszczególnych typów powierzchni. Zarządzanie kolorami odbywa się w nawigаторze *Wyświetl* przy użyciu ustawień w sekcji *Kolory w renderowaniu według* (zobacz rozdział 11.1.9 na stronie 454).

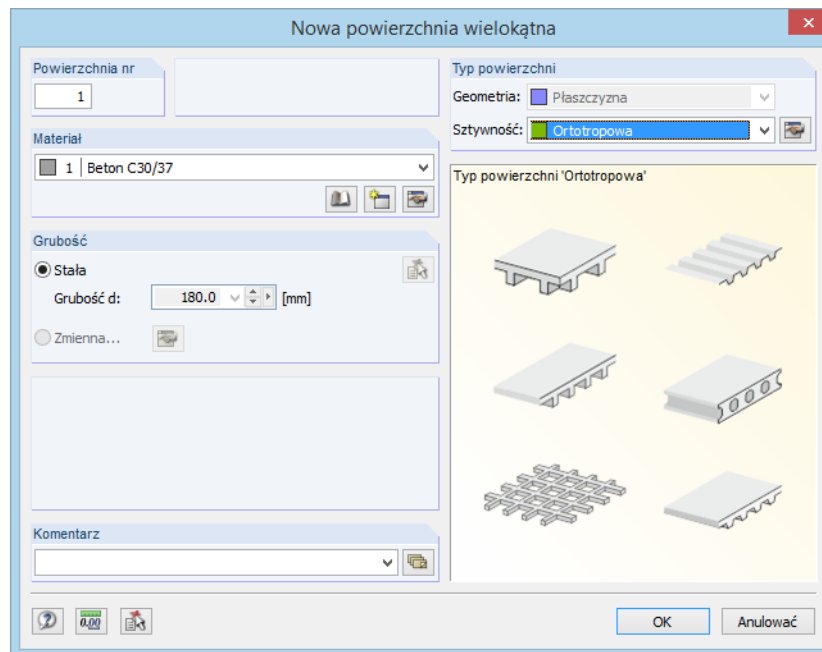
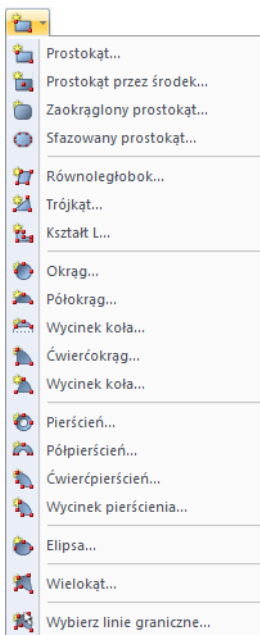


## Typ powierzchni - geometria

### Płaszczyzna

Płaszczyzny mogą być definiowane graficznie poprzez narysowanie prostokąta, równoległoboku, okręgu, pierścienia, wielokąta itp. Przycisk menu lub listy w pasku narzędzi, pokazany na lewym marginesie tej strony, zapewnia dostęp do różnych kształtów płaszczyzn.

Podczas wprowadzania danych płaszczyzny przy użyciu jednego z przycisków w pasku narzędzi pojawia się następujące okno dialogowe.

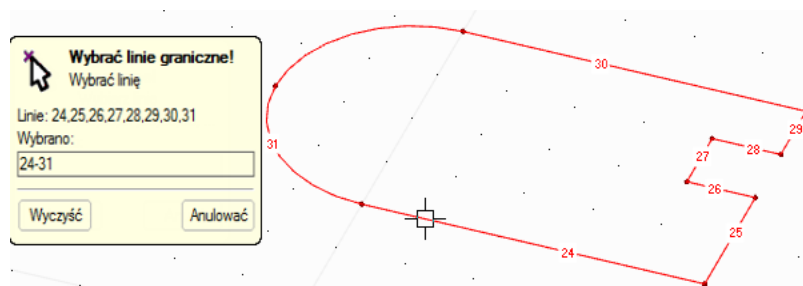


Rysunek 4.61: Okno dialogowe *Nowa powierzchnia wielokątna*

Oprócz numeru powierzchni, należy w nim wprowadzić parametry dla *Materiału*, *Grubości* oraz *Szywności*. Następnie należy kliknąć [OK] i poprzez zaznaczenie odpowiednich punktów narożnych, zdefiniować w oknie roboczym linie graniczne powierzchni.



Przy użyciu opcji menu [Wybrać linie graniczne] można graficznie wybrać istniejące linie. Linie te muszą być ułożone w wieloboczny łańcuch leżący w jednej płaszczyźnie. Typy linii zostały opisane w rozdziale 4.2 na stronie 56.



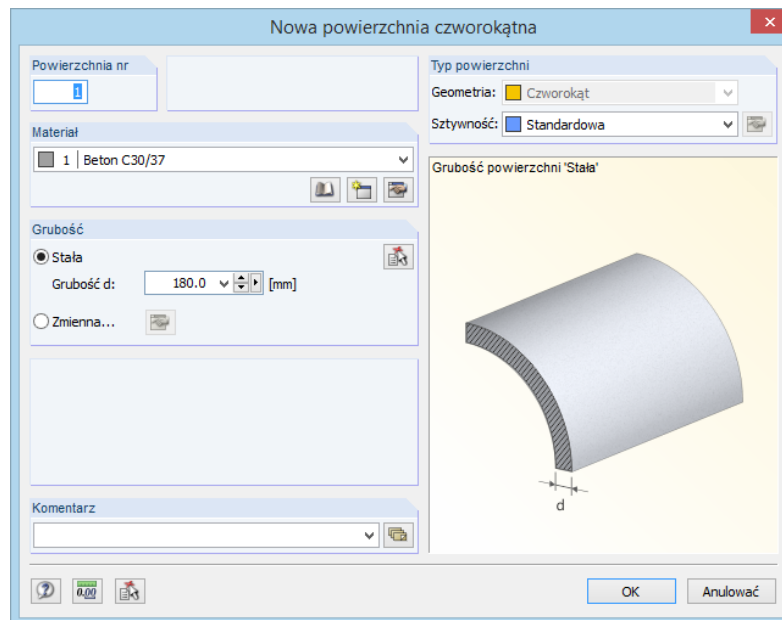
Rysunek 4.62: Graficzne wybieranie linii granicznych

Program RFEM automatycznie rozpoznaje powierzchnię, jeżeli została zdefiniowana wystarczającą ilością linii granicznych.

### Czworobok



Ten typ powierzchni stanowi ogólną powierzchnię czworoboczną. Oprócz linii prostych, jako linie graniczne można wykorzystać łuki, polilinie i krzywe. Powierzchnia ta jest używana do modelowania powłok, ponieważ linie graniczne nie muszą być ułożone w jednej płaszczyźnie.



Rysunek 4.63: Okno dialogowe *Nowa powierzchnia czworoboczna*

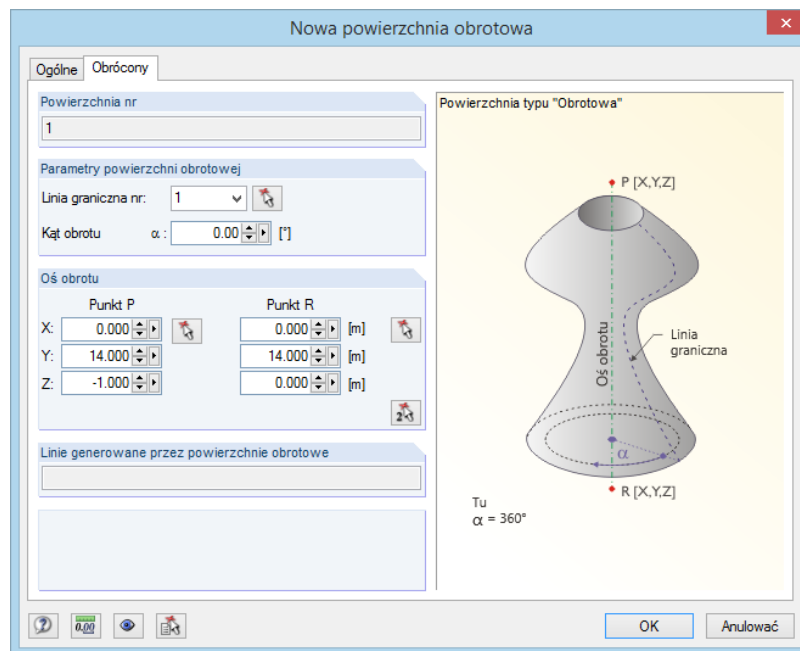
Po kliknięciu przycisku [OK], linie graniczne można wybrać w grafice.

### Powierzchnia obrotowa



Powierzchnia obrotowa tworzona jest przez obrócenie linii względem nieruchomej osi. Powierzchnia ta jest wynikiem pozycji początkowej i końcowej linii oraz jej obroconych punktów definicji.

Okno dialogowe *Nowa powierzchnia obrotowa* składa się z dwóch zakładek. *Materiał*, *Grubość* oraz *Sztynność* powierzchni definiuje się w zakładce *Ogólne* (zob. Rysunek 4.64). Zmienna grubość powierzchni nie jest dozwolona.

Rysunek 4.64: Okno dialogowe *Nowa powierzchnia obrotowa*, zakładka *Obrócony*

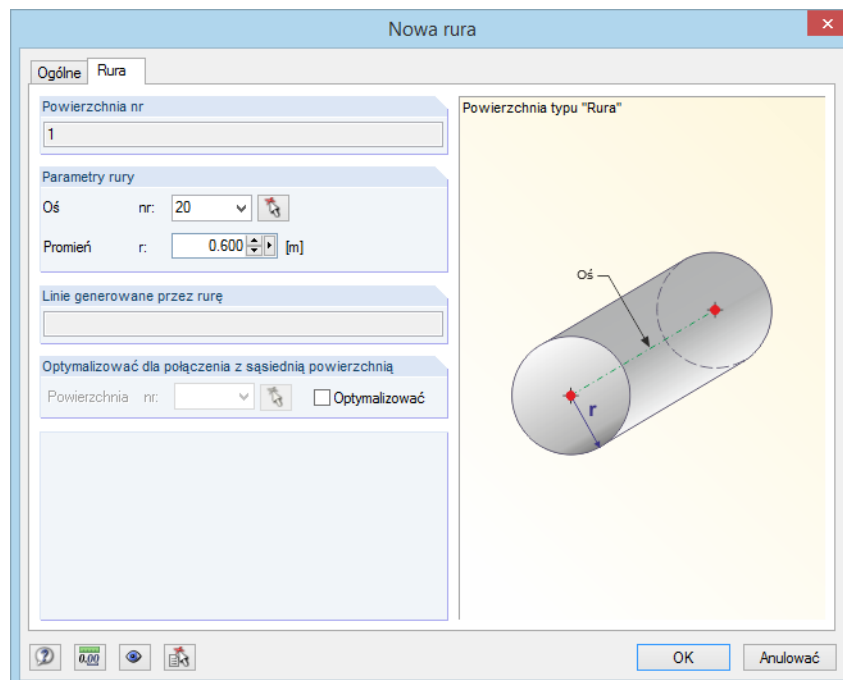
Zakładka *Obrócony* pozwala na określenie *Kąta obrotu*  $\alpha$ . Oba punkty *Osi obrotu* mogą być zdefiniowane poprzez wprowadzenie ich współrzędnych lub przy użyciu funkcji [^]. Po kliknięciu [OK], w oknie graficznym należy zdefiniować linię graniczną dla obrotu.

Oprócz tego powierzchnie obrócone mogą być tworzone z wygenerowanych linii.

### Rura



Powierzchnia rurowa tworzona jest poprzez obrót osi rury względem osi środkowej w odległości równej określonemu promieniowi.

Rysunek 4.65: Okno dialogowe *Nowa rura*, zakładka *Rura*



Okno dialogowe *Nowa rura* posiada dwie zakładki. W zakładce *Ogólne* wprowadza się parametry dla *Materiału*, *Grubości* oraz *Sztywności* powierzchni. W zakładce *Rura* określa się *Oś* i *Promień r*. *Oś* można zdefiniować również graficznie.

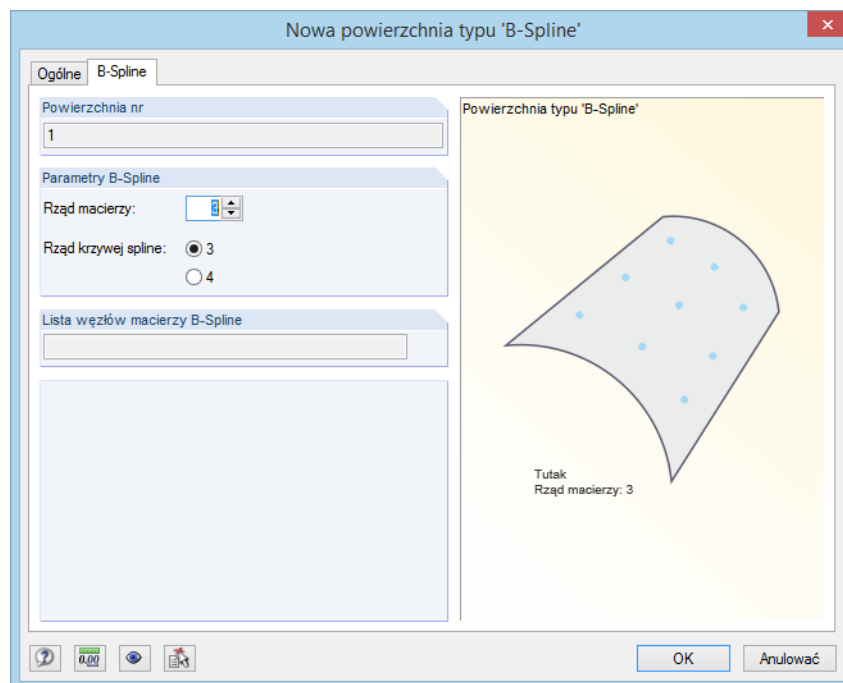
Ten typ powierzchni służy do tworzenia dwóch okręgów i jednej polilinii równoległej do osi linii.

### Powierzchnia B-Spline



Powierzchnia B-Spline jest podobna do powierzchni czworobocznej (zobacz Rysunek 4.63) z tym wyjątkiem, że na powierzchni tworzone są dodatkowo węzły pomocnicze. Na kształt tej powierzchni można wpłynąć poprzez późniejsze dostosowanie współrzędnych węzłów pomocniczych.

Okno dialogowe służące do wprowadzania danych posiada dwie zakładki. W zakładce *Ogólne* można zdefiniować parametry dla *Materiału*, *Grubości* oraz *Sztywności* powierzchni. Zmienna grubość powierzchni nie jest dozwolona.



Rysunek 4.66: Okno dialogowe *Nowa powierzchnia typu 'B-Spline'*, zakładka *B-Spline*

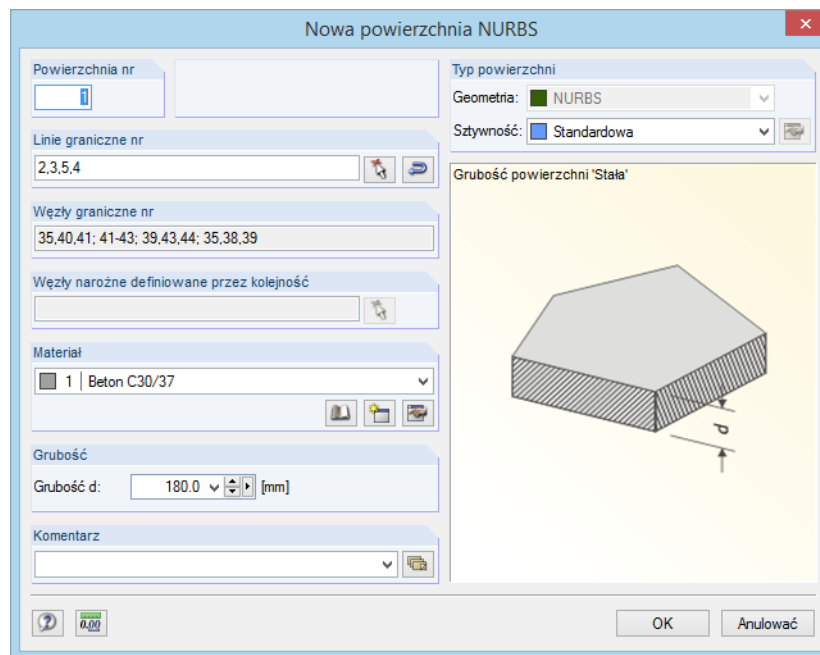
W zakładce *B-Spline* wprowadza się ilość węzłów pomocniczych w polu *Rząd macierzy*. Jeżeli na przykład zostanie wprowadzona liczba "3", utworzona zostanie siatka 3 x 3 węzłów pomocniczych rozmieszczonych na powierzchni. Pole wyboru *Rząd krzywej spline* określa, czy do obliczenia powierzchni zostanie użyta wielokrotność trzeciego lub czwartego rzędu.

### Powierzchnia NURBS



Powierzchnie NURBS definiowane są przez cztery połączone linie NURBS (zobacz rozdział 4.2 na stronie 62). Przy użyciu powierzchni NURBS można modelować prawie wszystkie powierzchnie o dowolnym kształcie.

Podczas wprowadzania linii granicznych należy upewnić się, że przeciwne pary linii NURBS są ze sobą "zgodne". Przeciwnie linie NURBS są układane w tej samej kolejności, jedynie gdy ilość punktów kontrolnych jest taka sama.

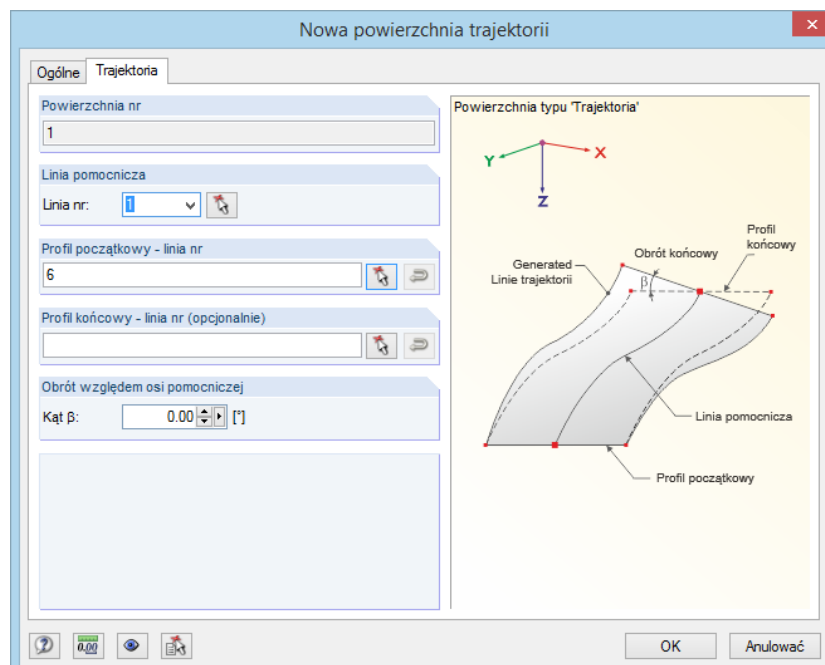
Rysunek 4.67: Okno dialogowe *Nowa powierzchnia NURBS*

### Powierzchnia trajektorii



Ten typ powierzchni służy do tworzenia przestrzennie zakrzywionej powierzchni na podstawie określonego profilu początkowego w odniesieniu do dowolnej trajektorii.

Okno dialogowe *Nowa powierzchnia trajektorii* posiada dwie zakładki. Z zakładki *Ogólne* definiuje się parametry dla *Materiału*, *Grubości* oraz *Szywności* powierzchni.

Rysunek 4.68: Okno dialogowe *Nowa powierzchnia trajektorii*, zakładka *Trajektoria*

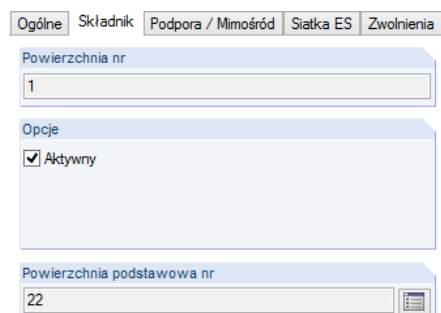
W zakładce *Trajektoria* należy wprowadzić numer linii pomocniczej stanowiącej linię odniesienia dla powierzchni. Linię tę można wprowadzić również graficznie. W oknie roboczym należy następnie określić *Profil początkowy*. W razie potrzeby można zdefiniować

drugą linię jako *Profil końcowy*. Kąt  $\beta$  opisuje obrót równoległej linii granicznej, wygenerowanej w odniesieniu do trajektorii.

### Składnik

Wpis ten pojawia się w kolumnie tabeli i w nawigаторze tylko w przypadku, gdy zostało utworzone przecięcie powierzchni (zobacz rozdział 4.22 na stronie 175). Funkcje edycji dla składników przecięcia powierzchni dostępnych w programie RFEM są takie same jak dla "zwykłych" powierzchni. Charakterystyki składników powierzchni można więc szybko modyfikować bez ponownego tworzenia przecięcia.

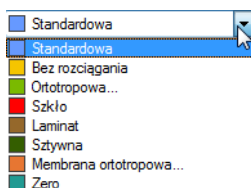
Oryginalna powierzchnia składnika wskazywana jest w zakładce *Składnik* okna dialogowego *Edytować powierzchnię*.



Rysunek 4.69: Okno dialogowe *Edytować powierzchnię*, zakładka *Składnik*



Przycisk [Idź do powierzchni macierzystej] pozwala na otwarcie okna dialogowego do edycji oryginalnej powierzchni.



### Typ powierzchni - sztywność

Lista dostępna w tym oknie dialogowym lub w tabeli zawiera wiele modeli sztywności, które można wybrać w celu modelowania konstrukcji w sposób zbliżony do rzeczywistości.

#### Standardowa

Ten typ powierzchni przenosi momenty i siły osiowe. Wykorzystywane podejście opisuje ogólne zachowanie materiału homogenicznego i izotropowego. Charakterystyki sztywności tej powierzchni nie są zależne od kierunków.

#### Bez rozciągania

Przenoszone są momenty i siły membranowe. Jednakże w przypadku sił osiowych wywołujących rozciąganie następuje uszkodzenie obciążonych elementów powierzchniowych.

#### Ortotropowa

Ten typ sztywności powierzchni ustawia się w przypadku występowania różnych sztywności w obu kierunkach powierzchni (zobacz rozdział 4.12 na stronie 121). Przycisk [Edytować parametry sztywności] pozwala zdefiniować jej parametry.

Oprócz tego można przydzielić charakterystykę ortotropową do materiału (zobacz rozdział 4.3 na stronie 70). W ten sposób można uniknąć definiowania charakterystyk dla każdej pojedynczej powierzchni.

#### Szkło

Ten typ sztywności wymagany jest w przypadku używania dodatkowego modułu RF-GLASS. Przenoszone są momenty i siły membranowe, ale naprężenia nie są określane w programie RFEM. Rzeczywiste obliczenia naprężeń prowadzone są później w dodatkowym module RF-GLASS.



### Laminat

Ten typ sztywności przenosi momenty i siły osiowe. Do obliczenia modelu warstwowego wymagany jest dodatkowy moduł RF-LAMINATE. Odpowiednie naprężenia nie wchodzi w skład wyników z programu RFEM, ponieważ obliczenia te prowadzone są w module dodatkowym.

### Sztywna

Ten typ sztywności służy do generowania bardzo sztywnych powierzchni tworzących sztywne połączenie pomiędzy przyległymi obiektami.

### Membrana izotropowa

Powierzchnia taka ma jednakową sztywność we wszystkich kierunkach. Przenoszone są tylko siły membranowe.

### Membrana ortotropowa

Przenoszone są tylko siły membranowe. Występują różne sztywności w obu kierunkach powierzchni (rozdział 4.12 na stronie 121). Przycisk [Edytować parametry sztywności...] służy do definiowania parametrów.



### Zero

Powierzchnie typu zero wymagane są do definiowania brył (zobacz rozdział 4.5 na stronie 91).

### Linie graniczne

Linie graniczne powierzchni wyświetlane są w odpowiednich polach wprowadzania lub w kolumnach tabeli i muszą być wprowadzane jako wielokątny łańcuch.

Jeżeli generowana jest powierzchnia obrócona, parametry generowania wyświetlane są w kolumnie tabeli.

### Materiał

Wyboru materiału dokonuje się z listy materiałów, które zostały już utworzone. Kolory materiałów ułatwiają to zadanie.

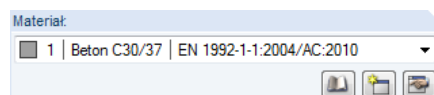


Tabela 4.70: Przyciski w sekcji *Materiał* w oknie dialogowym

W oknie dialogowym *Nowa powierzchnia* pod listą znajdują się trzy przyciski służące do otwierania biblioteki materiałów oraz do tworzenia i edycji materiałów.

Więcej szczegółowych informacji na temat materiałów znajduje się w rozdziale 4.3 na stronie 64.

### Grubość

#### Typ

Dostępne są dwa typy grubości powierzchni.

- **Stała**  
Powierzchnia ma taką samą grubość w dowolnym punkcie.
- **Zmienna**  
Grubość powierzchni zmienia się liniowo (zobacz rozdział 4.11 na stronie 120). Przy użyciu przycisku [Edytować grubość zmienną...] definiuje się jej parametry.



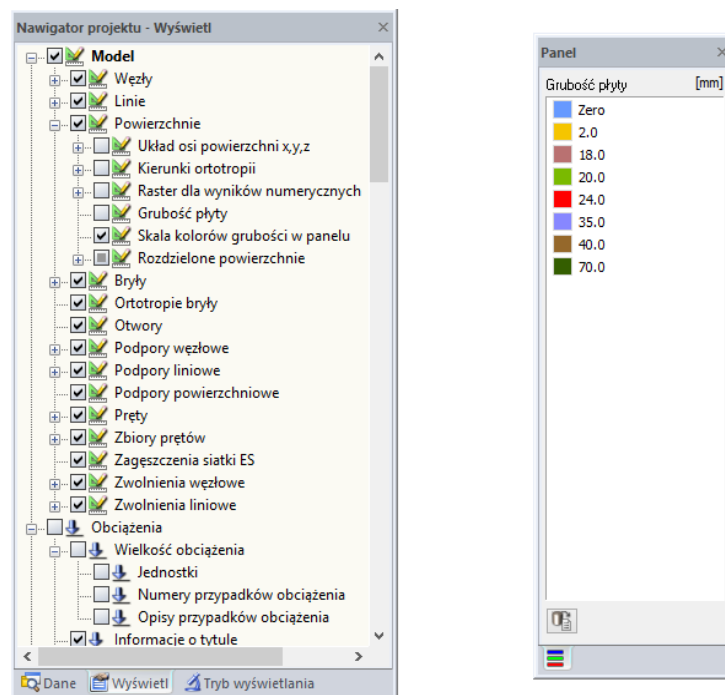
#### Grubość $d$

Jeżeli nie została zdefiniowana powierzchnia o zmiennej grubości lub powierzchnia typu Zero, należy określić grubość powierzchni  $d$ . Grubość używana jest do określania ciężaru własnego i

sztwności dla sztywności typu *Standardowa*, *Bez rozciągania*, *Szkoło* oraz *Membrana izotropowa*. W przypadku sztywności *Ortotropowej*, wartość ta jest używana jedynie do obliczenia ciężaru własnego (sztywność należy zdefiniować osobno dla powierzchni ortotropowych).



Grubości powierzchni można wyświetlić na modelu przy użyciu różnych kolorów. W tym celu w nawigаторze *Wyświetl* należy wybrać *Model* i *Powierzchnie*, a następnie zaznaczyć pole wyboru dla *Skala kolorów grubości w panelu* (zobacz na poniższym rysunku).



Rysunek 4.71: Nawigator *Wyświetl*: *Powierzchnie* → *Skala kolorów grubości w panelu*

## Mimośród

Płaszczyzna w środku powierzchni stanowi powierzchnię odniesienia dla grubości, którą przyjmuje się jako równą na obu stronach tej płaszczyzny stanowiącej "środek ciężkości". Aby sprawdzić położenie tego środka, w nawigаторze *Wyświetl* należy wybrać opcje *Renderowanie*, *Model*, *Model bryłowy*, *Powierzchnia* oraz *Wypełnianie włącznie z grubością* (zobacz Rysunek 4.110 na stronie 121).

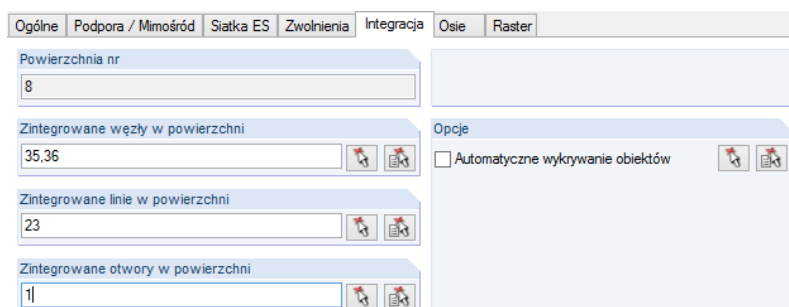
Poprzez określenie *Mimośrodu*  $e_z$ , można zdefiniować odsunięcie od wysokości dla powierzchni. W ten sposób można utworzyć jednakowe górne lub dolne krawędzie dla stykających się powierzchni posiadających różne grubości.

Mimośród wywiera określony wpływ na siły wewnętrzne powierzchni w postaci dodatkowych momentów.

## Obiekty zintegrowane

Program RFEM zazwyczaj automatycznie rozpoznaje wszystkie obiekty leżące na powierzchni, które nie są używane do jej definicji. W kolumnach tabeli lub polach wprowadzania okna dialogowego wyświetlane są wszystkie numery węzłów, linii i otworów.



Rysunek 4.72: Okno dialogowe *Edytować powierzchnię*, zakładka *Zintegrowane*

Jeżeli obiekt nie zostanie rozpoznany, można zintegrować go ręcznie. W tym celu należy kliknąć powierzchnię dwukrotnie, aby otworzyć okno dialogowe *Edytować powierzchnię*. Następnie w zakładce *Zintegrowane* należy wyłączyć opcję *Automatyczne wykrywanie obiektów*. Uaktywnią się pola wprowadzania w sekcji okna dialogowego po lewej stronie. Przy użyciu przycisku [↵] można teraz wybrać obiekty graficznie.

### Pole

Pole powierzchni wyświetlane jest w kolumnie tabeli, pozwalając w ten sposób na sprawdzenie danych dla powierzchni. Nie są przy tym uwzględniane pola otworów, a więc wartość ta stanowi pole netto.

### Ciężar

Kolumna ta wskazuje masę każdej z powierzchni. Określana jest ona na podstawie pola powierzchni i ciężaru właściwego materiału.

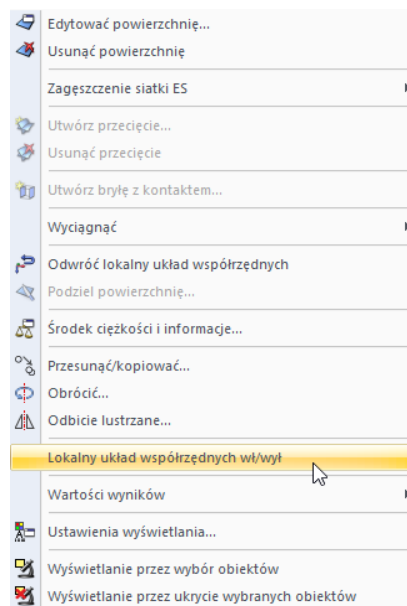
### Komentarz

Można tutaj wprowadzić swoją własną uwagę lub wybrać gotowy wpis z listy.

### Układ osi

Każda powierzchnia posiada lokalny układ współrzędnych. Układ osi powierzchni ma duże znaczenie dla wielu parametrów, takich jak charakterystyki ortotropowe i charakterystyki posadowienia lub kierunki obciążeń powierzchniowych. Podstawowe siły wewnętrzne również związane są z układem osi powierzchni.

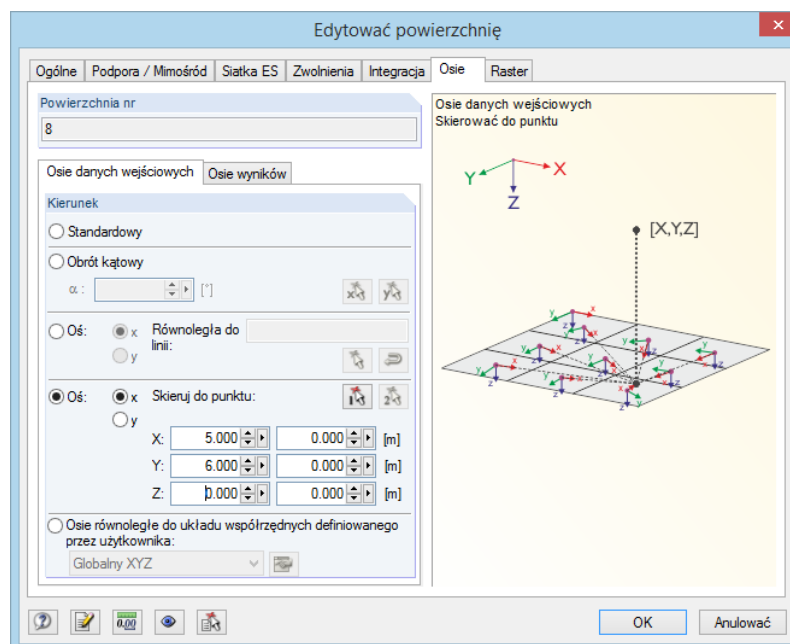
Program RFEM wyświetla układy współrzędnych od razu po najechnaniu wskaźnikiem na powierzchnię. Przy użyciu menu kontekstowego powierzchni można je włączyć lub wyłączyć.



Rysunek 4.73: Menu kontekstowe powierzchni

W razie potrzeby można dostosować lokalne osie powierzchni:

- Opcja menu kontekstowego *Odwróć lokalny układ współrzędnych*  
Orientacja osi z zostanie odwrócona, pozostałe osie układane są według reguły prawej dłoni. Po wykonaniu tej operacji fundamenty umieszczone zostają na drugiej stronie powierzchni lub "górne" i "dolne" warstwy zbrojenia dla obliczeń żelbetu zmieniają strony powierzchni.
- Okno dialogowe *Edytować powierzchnię*  
Aby otworzyć okno dialogowe *Edytować powierzchnię*, należy dwukrotnie kliknąć powierzchnię. W zakładce *Osie* można dostosować lokalne *Osie danych początkowych* oraz *Osie wyników* powierzchni (zobacz na poniższym rysunku).

Rysunek 4.74: Okno dialogowe *Edytować powierzchnię*, zakładka *Osie*

W obu zakładkach można skierować lokalne osie powierzchni  $x$  lub  $y$  do linii, punktu lub układu współrzędnych definiowanego przez użytkownika (zob. rozdział 11.3.4 na stronie 470).

## 4.5 Bryły

### Opis ogólny



W programie RFEM, obiekty 3D opisywane są za pomocą brył. Podczas generowania siatki ES, tworzone są elementy 3D. Bryły można wykorzystywać również do modelowania charakterystyk ortotropowych lub zagadnień kontaktu pomiędzy powierzchniami. Oprócz tego bryły mogą posiadać właściwości gazu.

Powierzchnie graniczne brył są zwykle definiowane ze sztywnością typu *Zero* (zobacz rozdział 4.4 na stronie 87). Niemniej, jeśli do modelu nie jest przyłączona żadna inna bryła stanowiąca kontakt pomiędzy dwiema powierzchniami, obie powierzchnie kontaktowe muszą mieć przydzieloną sztywność.

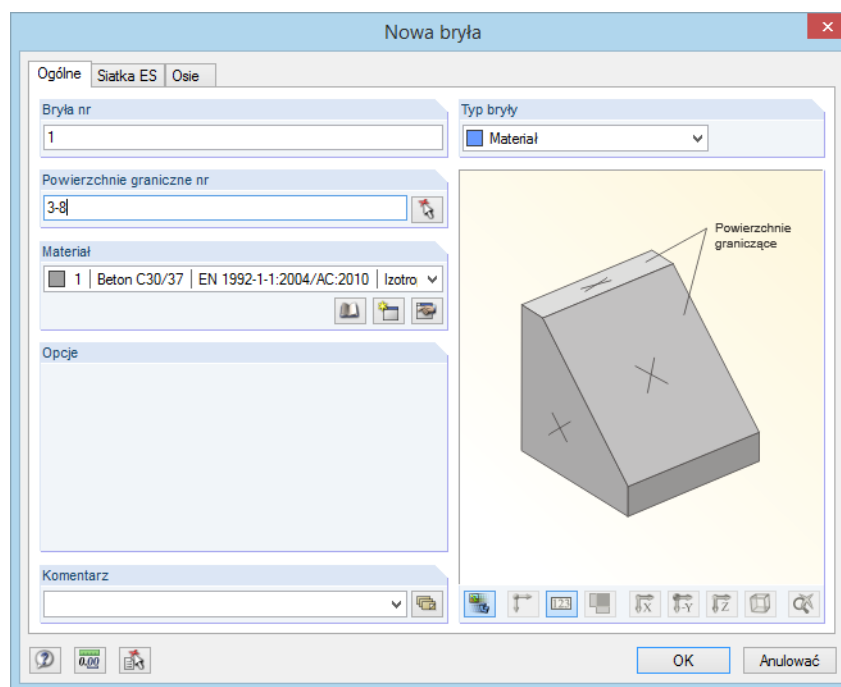


Grafika pozwala na szybkie tworzenie brył z powierzchni. Odpowiednie funkcje generowania zostały opisane w rozdziałach 11.7.1.3 i 11.7.1.4 na stronie 534.

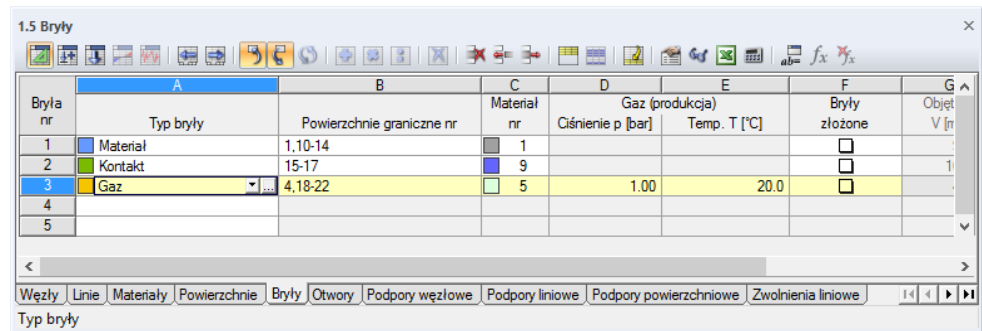


Dodatkowo można określić zagęszczenie siatki ES dla elementów 3D.

Wymiarowanie elementów żebletowych nie jest jeszcze możliwe w przypadku brył.

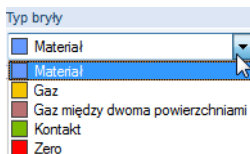


Rysunek 4.75: Okno dialogowe *Nowa bryła*



Bryła nr	Typ bryły	Powierzchnie graniczne nr	Material nr	Gas (produkcja) Ciśnienie p [bar]	Temp. T [°C]	Bryły złożone	Objętość V [m³]
1	Material	1,10-14	1			<input type="checkbox"/>	
2	Kontakt	15-17	9			<input type="checkbox"/>	1
3	Gaz	4,18-22	5	1.00	20.0	<input type="checkbox"/>	
4							
5							

Rysunek 4.76: Tabela 1.5 Bryły



## Typ bryły

Z tabel i list dostępnych w tym oknie dialogowym można wybrać wiele różnych typów sztywności, w celu modelowania konstrukcji w sposób zbliżony do rzeczywistości. Każdy typ ma swój własny kolor, który pozwala na rozróżnienie brył w modelu. Kolorami tymi zarządza się w nawigаторze *Wyświetl* przy użyciu ustawień *Kolory w renderowaniu według* (zobacz rozdział 11.1.9 na stronie 454).

### Material

Standardowy model reprezentowany jest przez obiekty 3D posiadające homogeniczne i izotropowe charakterystyki materiałowe specyficzne dla brył. Z tego powodu powierzchnie graniczne powinny być definiowane przy użyciu typu *Zero*.

W przypadku brył o właściwościach ortotropowych, sztywności wynikają także z charakterystyk materiałowych. W oknie dialogowym *Model materiałowy - Ortotropowy sprężysty 3D* (zobacz Rysunek 4.48 na stronie 71) definiuje się sztywności sprężyste trójwymiarowego modelu materiałowego.

### Gaz

Przy użyciu tej opcji można modelować bryły posiadające właściwości gazu idealnego. Parametry gazu muszą zostać określone w osobnej zakładce okna dialogowego (zobacz Rysunek 4.79).

### Gaz pomiędzy dwiema powierzchniami

Bryłę posiadającą właściwości gazu idealnego zaleca się utworzyć jako obiekt, który będzie względnie małej grubości (na przykład warstwa gazu w szkłe izolacyjnym). Przy użyciu tej opcji, program RFEM tworzy dokładnie dwa elementy skończone pomiędzy powierzchnią podstawy górnej i dolnej bryły, a więc obliczenia osiągną zbieżność szybciej niż podczas wykorzystania typu *Gaz*. Parametry należy zdefiniować w osobnej zakładce okna dialogowego (zobacz Rysunek 4.79). Niemniej w sytuacjach ogólnych (na przykład zbiornik, dmuchany zamek) należy wykorzystać typ *Gaz*.

### Kontakt

Ten typ bryły służy do modelowania właściwości kontaktu pomiędzy dwiema powierzchniami. Parametry definiuje się w osobnej zakładce okna dialogowego (zobacz Rysunek 4.80).

### Zero

Bryła typu *Zero* oraz jej obciążenia nie zostaną uwzględnione w obliczeniach. Bryły typu *Zero* używane są na przykład do analizowania zmian w zachowaniu konstrukcyjnym modelu, jeśli bryła nie jest efektywna. Nie ma potrzeby usuwania tej bryły ani jej obciążeń.

## Powierzchnie graniczne

Bryła definiowana jest przez powierzchnie całkowicie ograniczające określoną przestrzeń. Numery tych powierzchni można wprowadzić w polu wprowadzania lub wybrać graficznie przy użyciu funkcji [**↵**].





Po zdefiniowaniu wszystkich powierzchni granicznych w oknie dialogowym *Nowa bryła*, można kliknąć przycisk [Pokaż rysunek lub renderowanie] znajdujący się pod grafiką, w celu wyświetlenia podglądu bryły.

### Materiał

Z listy materiałów, które zostały wcześniej utworzone, można wybrać jeden z wpisów. Kolory materiałów ułatwiają ich przydzielanie.

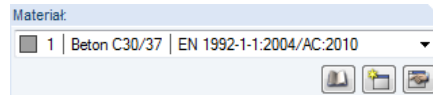


Tabela 4.77: Przyciski w sekcji okna dialogowego *Materiały*



W oknie dialogowym *Nowa bryła*, poniżej listy znajdują się trzy przyciski służące do otwierania biblioteki materiałów, pozwalające na tworzenie lub edycję materiałów.

Więcej szczegółowych informacji na temat materiałów znajduje się w rozdziale 4.3 na stronie 64.

### Bryły złożone

Kolumna ta zostanie wyświetlona w tabeli, po utworzeniu przecięcia brył.

Przecięcia można generować nie tylko dla powierzchni, ale również dla brył. Program RFEM określa linie przecięcia przecinających się brył oraz tworzy obiekty bryłowe 3D jako połączenie, przecięcie lub jako czysty przecinający się zbiór. W ten sposób z dwóch oryginalnych obiektów tworzona jest nowa bryła.



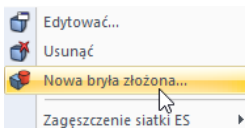
Określanie przecięcia bryły jest bardzo pracochłonne i zajmuje wiele zasobów komputera. Po każdej zmianie modelu, wymagane jest ponowne obliczenie geometrii.

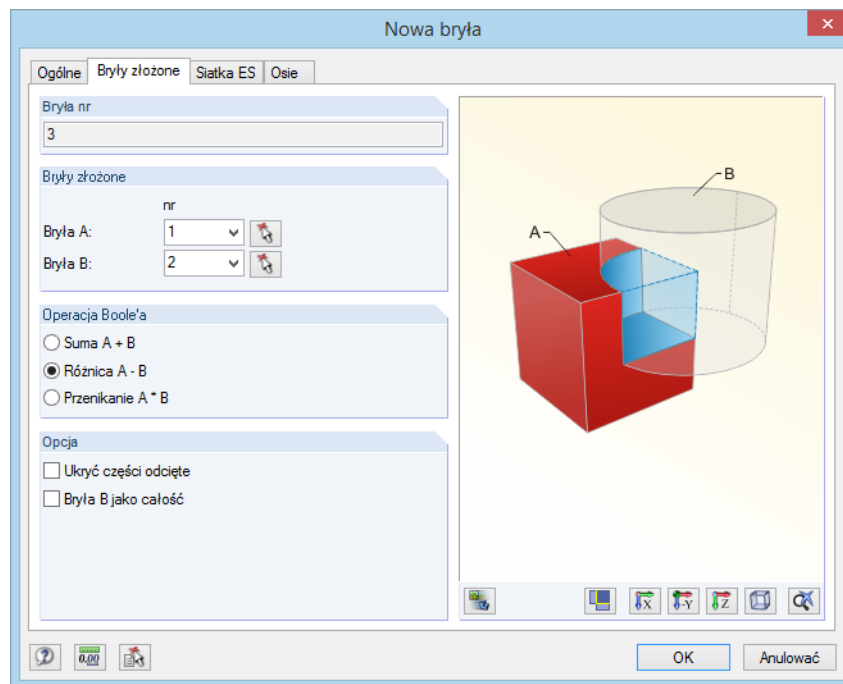
### Tworzenie przecięcia

Przecięcia brył można w szybki sposób tworzyć na rysunku. W tym celu należy zaznaczyć dwie bryły poprzez nakreślenie nad nimi okna wyboru lub wykorzystać funkcję wielokrotnego wyboru poprzez wciśnięcie przycisku [Ctrl]. Następnie należy kliknąć jedną z tych brył prawym przyciskiem myszy, w celu otwarcia jej menu kontekstowego, w którym należy

wskazać opcję **Bryła** i wybrać **Nowa bryła złożona**.

Otworzy się okno dialogowe *Nowa bryła*. Przy użyciu opcji w jego zakładce *Bryły złożone* określa się, w jaki sposób łączone są obie bryły.



Rysunek 4.78: Okno dialogowe *Nowa bryła*, zakładka *Bryły złożone*

Numery obu zaznaczonych brył wprowadza się w oknie wprowadzania. Wpisy te można mienić przy użyciu listy lub funkcji [↵].

### Operacja boolowska

Istnieją trzy możliwości łączenia brył w nowy obiekt:

- *Połącz:* Bryły A i B są łączone w jeden obiekt.
- *Odejmij:* Bryła B jest wycinana z bryły A.
- *Zachodzenie:* Program RFEM określa obszar współdzielony przez bryły A i B.



Grafika w prawej części okna dialogowego pokazuje zasadę tych połączeń. Przy użyciu przycisku [Pokaż rysunek lub renderowanie] można przełączać pomiędzy wyświetlaniem schematu i modelu.

W sekcji *Opcje* okna dialogowego można wybrać, które z odciętych części będą wyświetlane w grafice okna roboczego.

Kliknięcie przycisku [OK] spowoduje utworzenie połączonych brył. W wyniku generowane są przecięcia powierzchni (zobacz rozdział 4.22 na stronie 175) z aktywnymi lub nieaktywnymi składnikami powierzchni (zobacz rozdział 4.4 na stronie 86). W tym samym czasie program RFEM zamienia typ oryginalnych brył na *Zero*.

### Objętość V

Kolumna ta pokazuje objętość każdej z brył.

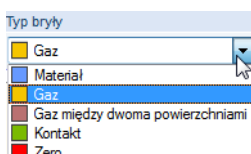
### Ciężar W

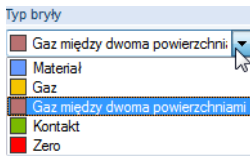
Wskazywana jest masa każdej z brył, określana na podstawie objętości i ciężaru właściwego materiału.

### Gaz

Zakładka ta jest dostępna jedynie w przypadku wybrania bryły typu *Gaz* w zakładce *Ogólne*.

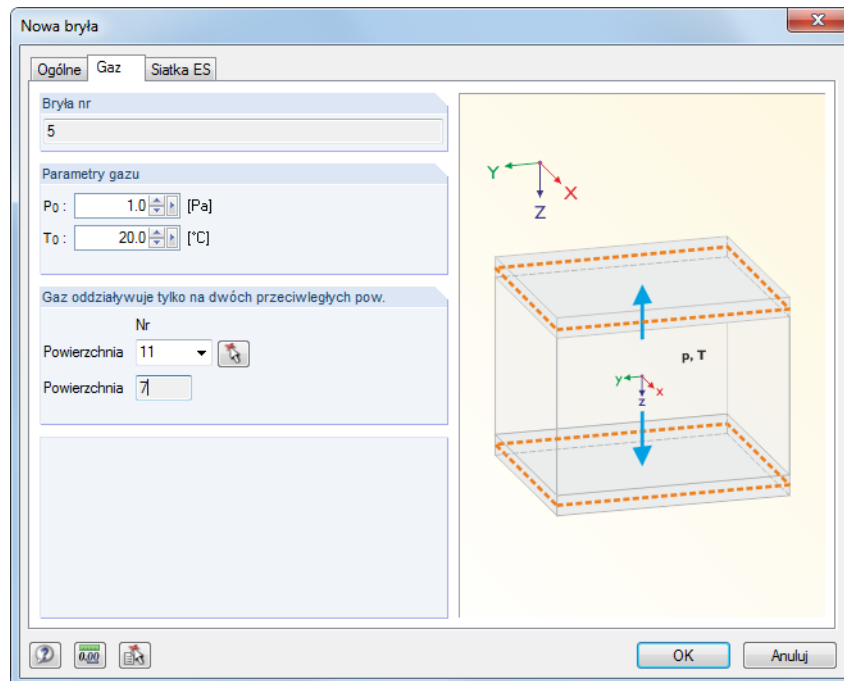
Należy w niej zdefiniować *Parametry gazu*, do których należą ciśnienie  $p_p$  oraz temperatura  $T_p$  (zobacz Rysunek 4.79).





### Gaz pomiędzy dwiema powierzchniami

Zakładka ta jest dostępna jedynie w przypadku wybrania bryły typu *Gaz pomiędzy dwiema powierzchniami* w zakładce *Ogólne*. Przy użyciu ustawień w tej zakładce można modelować bryły kontaktowe specyficzne dla gazu, reprezentujące oddziaływanie parcia wywieranego na dwie przeciwległe powierzchnie (na przykład szkło izolacyjne).



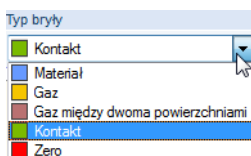
Rysunek 4.79: Okno dialogowe *Nowa bryła*, zakładka *Gaz*

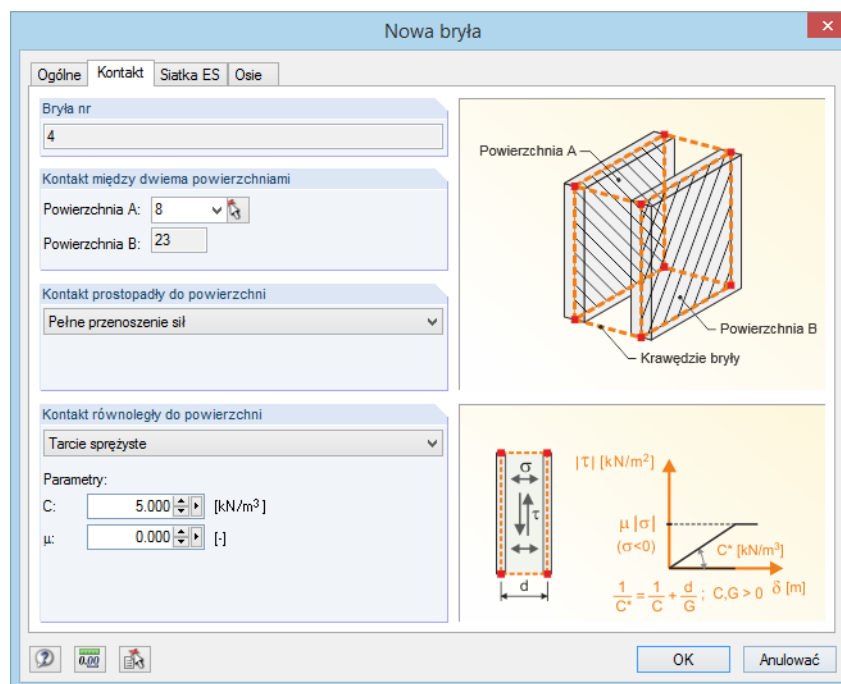


Oprócz *Parametrów gazu*: ciśnienia  $p_p$  i temperatury  $T_p$ , należy określić również dwie powierzchnie, pomiędzy którymi zamknięta jest warstwa gazu. *Powierzchnia A* może zostać wybrana z listy lub zdefiniowana graficznie przy użyciu funkcji [^]. Równoległa *Powierzchnia B* zostanie wstawiona automatycznie.

### Kontakt

Zakładka ta jest dostępna jedynie w przypadku wybrania bryły typu *Kontakt* w zakładce *Ogólne*.



Rysunek 4.80: Okno dialogowe *Nowa bryła*, zakładka *Kontakt*

Podczas wprowadzania brył kontaktowych należy zwrócić uwagę na następujące elementy:

- Obie powierzchnie kontaktowe muszą być do siebie równoległe i zostać utworzone w ten sam sposób. Drugą powierzchnię kontaktową zaleca się tworzyć poprzez skopiowanie pierwszej.
- Każda boczna powierzchnia łącząca istniejąca pomiędzy powierzchniami kontaktowymi musi zostać zdefiniowana jako prosta powierzchnia utworzona przez cztery linie graniczne. Nie jest dozwolone dzielenie powierzchni łączącej na przykład na dwa składniki powierzchni w połowie wysokości.
- Podczas modelowania zakrzywionych powierzchni łączących, należy rozdzielić bryłę kontaktową na kilka prostych części.
- Program RFEM generuje niepodzielone elementy 3D (równoległe "słupy") pomiędzy elementami skończonymi powierzchni kontaktowych, tworząc połączenie bezpośrednie. Z tego powodu podział ES powierzchni musi być dostosowany do odległości pomiędzy powierzchniami kontaktowymi.
- Zamiast brył trójkątnych, zaleca się używać bryły wielokątne.



Program RFEM automatycznie wyszukuje powierzchnie kontaktowe. W sekcji okna dialogowego *Kontakt pomiędzy dwiema powierzchniami*, przy użyciu listy można zmienić *Powierzchnię A*. Oprócz tego można również wykorzystać funkcję [^], aby wybrać powierzchnię graficznie. Program RFEM automatycznie wprowadza *Powierzchnię B* jako powierzchnię bryłową równoległą do pierwszej linii.

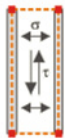
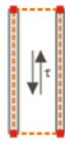
W sekcji *Kontakt prostopadły do powierzchni* można wybrać jedną z trzech opcji:

- Pełne przenoszenie sił
- Brak przenoszenia ściskania
- Brak przenoszenia rozciągania

Kryteria uszkodzenia *Brak przenoszenia ściskania* i *Brak przenoszenia rozciągania* są uwzględniane w obliczeniach poprzez deformacje węzłów siatki ES bryły.

*Kontakt równoległy do powierzchni* można zdefiniować niezależnie od właściwości kontaktowych oddziałujących prostopadle do obu powierzchni kontaktowych.





Kontakt	Wykres	Opis
Pełne przenoszenie sił		Przenoszone są wszystkie siły.
Tarcie sprężyste		<p>"Tarcie" odwzorowuje zachowanie sprężyste. Siła tnąca wzrasta proporcjonalnie do odkształcenia. Nie istnieje granica dla odkształcenia.</p> <p>Jako parametr musi zostać wprowadzona sztywność sprężysta <b>C</b> (oznaczająca siłę wymaganą do przesunięcia powierzchni o wymiarze 1 m<sup>2</sup> na odległość 1 m).</p>
Tarcie kulombowskie		<p>Ten typ kontaktu jest podobny do tarcia sprężystego, z tym wyjątkiem, że nie występuje oddziaływanie nieliniowe. Po osiągnięciu naprężenia tnącego <math>\sigma \cdot f_c</math>, pozostaje ono stałe nawet w przypadku wzrostu odkształcenia. Naprężenie <math>\sigma</math> stanowi naprężenie normalne w odpowiednim elemencie skończonym.</p> <p>Jako parametr musi zostać wprowadzona sztywność sprężysta <b>C</b> oraz współczynnik tarcia kulombowskiego <b>f<sub>c</sub></b>.</p>
Tarcie kulombowskie z granicą		<p>W przeciwieństwie do sprężystego tarcia kulombowskiego, maksymalne naprężenie tnące nie zależy od naprężenia normalnego. Przejęte może być tylko jedno zdefiniowane naprężenie tnące.</p> <p>Jako parametr musi zostać wprowadzona sztywność sprężysta <b>C</b> oraz naprężenie tnące <b>τ<sub>max</sub></b>.</p>
Tarcie sztywne		<p>Ten typ nieliniowości jest podobny do sprężystego tarcia kulombowskiego. Ponieważ nie występuje strefa plastyczna, tarcie kulombowskie staje się natychmiast efektywne.</p> <p>Jako parametr musi zostać wprowadzony współczynnik tarcia kulombowskiego <b>f<sub>c</sub></b>.</p>
Tarcie sztywne z granicą		<p>Ten typ nieliniowości jest podobny do sprężystego tarcia kulombowskiego z granicą. Ponieważ nie występuje strefa plastyczna, ograniczenie spowodowane naprężeniem tnącym staje się natychmiast efektywne.</p> <p>Jako parametr musi zostać wprowadzone naprężenie tnące <b>τ<sub>max</sub></b>.</p>

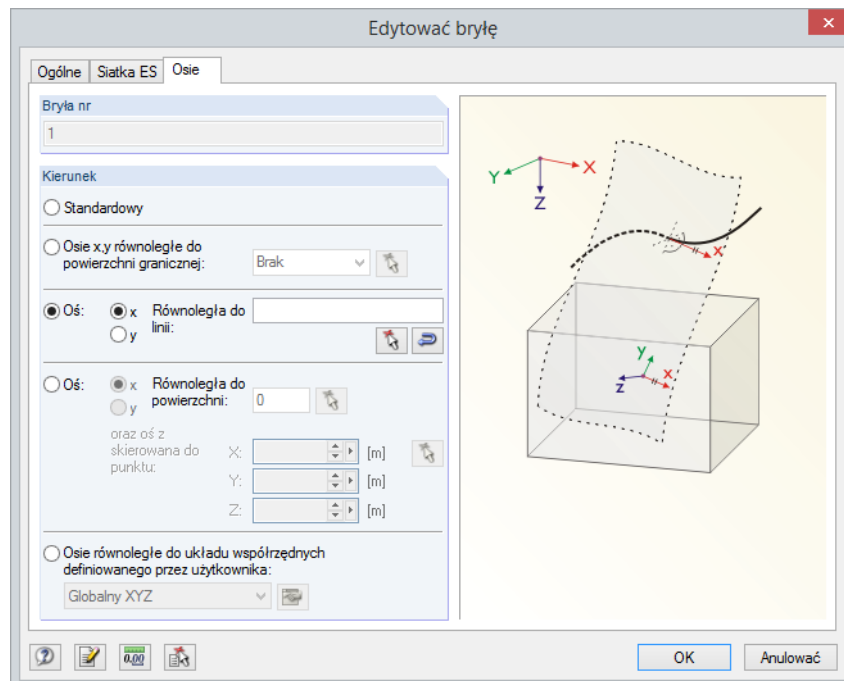
Tabela 4.2: Właściwości kontaktowe równoległe do powierzchni kontaktowych

## Układ osi

Wszystkie bryły posiadają swój własny lokalny układ współrzędnych. Układ osi ma duże znaczenie na przykład dla właściwości ortotropowych. Naprężenia i zniekształcenia są również odnoszone do lokalnego układu osi.

Program RFEM wyświetla układy współrzędnych po umieszczeniu wskaźnika nad powierzchnią. Przy użyciu menu kontekstowego bryły można je włączać lub wyłączać.

Układ współrzędnych bryły można dostosować w oknie dialogowym *Edytować bryłę*, które otwiera się poprzez jej podwójne kliknięcie. Orientację osi lokalnych można dostosować w zakładce okna dialogowego *Osie*.



Rysunek 4.81: Okno dialogowe *Edytować bryłę*, zakładka *Osie*

Lokalne osie  $x$  i  $y$  bryły można ustawić równoległe do osi *powierzchni granicznej*, *linii*, *powierzchni* lub w kierunku *układu współrzędnych zdefiniowanego przez użytkownika* (zobacz rozdział 11.3.4 na stronie 470).

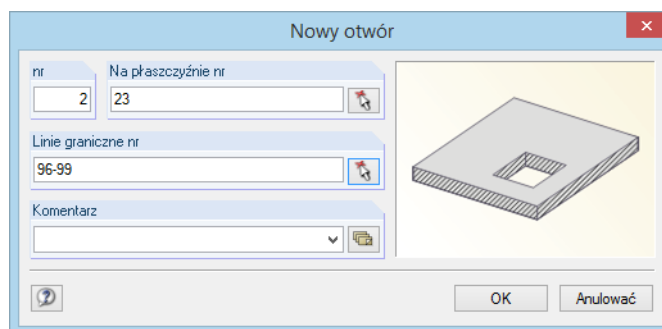
## 4.6 Otwory

### Opis ogólny



Otwory służą do tworzenia wycięć w powierzchniach. W obszarach, gdzie umieszczone są otwory, nie są generowane elementy skończone ani obciążenia powierzchniowe.

Otwory w powierzchni można wstawiać graficznie. Program RFEM tworzy linię łamaną dla różnych typów otworów i integruje je z powierzchniami.

Rysunek 4.82: Okno dialogowe *Nowy otwór*

Otwór nr	A	B	C	D
nr	Linie graniczne nr	W powierzchni nr	Powierzchnia A [m <sup>2</sup> ]	Komentarz
1	107-110	5	0.496	Schody
2	96-99	5	14.340	
3				
4				
5				
6				
7				

Rysunek 4.83: Tabela 1.6 *Otwory*

## Linie graniczne

Ten typ linii otacza otwór. Są one definiowane jako linia łamana. Dozwolone są także otwory na krawędzi powierzchni.



Podczas używania wyboru graficznego, należy kliknąć linie graniczne otworu jedna po drugiej na rysunku. Program RFEM automatycznie rozpoznaje otwór zaraz po zdefiniowaniu wystarczającej ilości linii granicznych.



Przycisk menu *Wybrać linie graniczne* służy do graficznego wyboru zdefiniowanych wcześniej linii. Linie te muszą tworzyć linię łamaną.

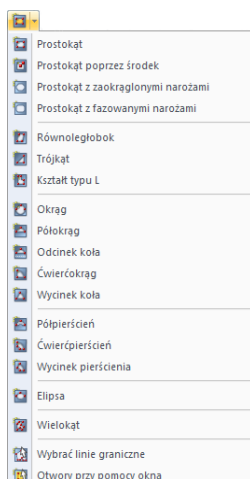
Otwory można wstawiać bezpośrednio w powierzchni leżącej w płaszczyźnie roboczej przy użyciu jednego z przycisków pokazanych na lewym marginesie tej strony. Typy definicji otworów opierają się na typach linii opisanych w rozdziale 4.2 na stronie 52 (na przykład okrąg, elipsa). Otwór tworzony jest zaraz po określeniu linii konturowych. Podczas używania tego sposobu wprowadzania, nie ma potrzeby wcześniejszego tworzenia linii dla otworu.

## W powierzchni

Automatyczna integracja jest domyślnie aktywna dla powierzchni płaskich. W przypadku powierzchni zakrzywionych, otwory należy zintegrować ręcznie. W tym celu w oknie dialogowym *Edytować powierzchnię*, należy wybrać zakładkę *Zintegrowane*, a następnie w polu wyboru wprowadzić numer otworu (zobacz Rysunek 4.72 na stronie 89).

## Pole

Ta kolumna tabeli podaje pole otworu.



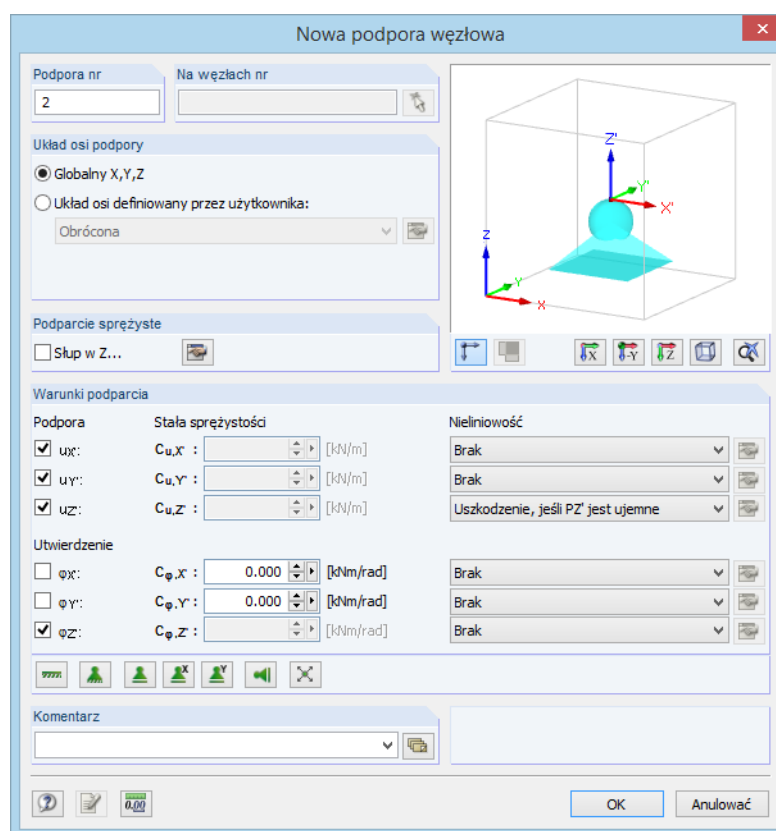
## 4.7 Podpory węzłowe

### Opis ogólny

Podpory służą do przenoszenia obciążeń z konstrukcji na fundament. Bez żadnej podpory, wszystkie węzły byłyby wolne i mogłyby się przemieszczać lub obracać. Jeżeli węzeł ma pracować jako podpora, należy zablokować przynajmniej jeden z jego stopni swobody, ograniczyć sprężystością lub obciążyć go odkształceniem wymuszonym. Oprócz tego węzeł ten musi być częścią powierzchni lub pręta. Dodatkowo muszą być uwzględnione warunki brzegowe prętów w celu wykluczenia podwójnych zwolnień na podpieranych węzłach.

Podpory węzłowe wymagane są do stosowania odkształceń wymuszonych.

Możliwe jest utworzenie podpór węzłowych o charakterystykach nieliniowych (kryteria uszkodzenia dla sił rozciągających lub ściskających, wykresów roboczych oraz wykresów sztywności).



Rysunek 4.84: Okno dialogowe *Nowa podpora węzłowa*

1.7 Podpory węzłowe

Podpora nr	A W węzłach nr	B Sekwencja	C Obrót podpory [°]			F Słup w Z	G Podpora lub sprężyna [MN/m]			J Ograniczenie obrotu lub sprężyna [MN]		
			względem X	względem Y	względem Z		u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	u <sub>z</sub>	φ <sub>x</sub>	φ <sub>y</sub>	φ <sub>z</sub>
1	10,16	XYZ	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	20	XYZ	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11320	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	4	XYZ	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4												
5												
6												
7												
8												
9												

Węzły | Linie | Materiały | Powierzchnie | Bryły | Otwory | Podpory węzłowe | Podpory liniowe | Podpory powierzchniowe

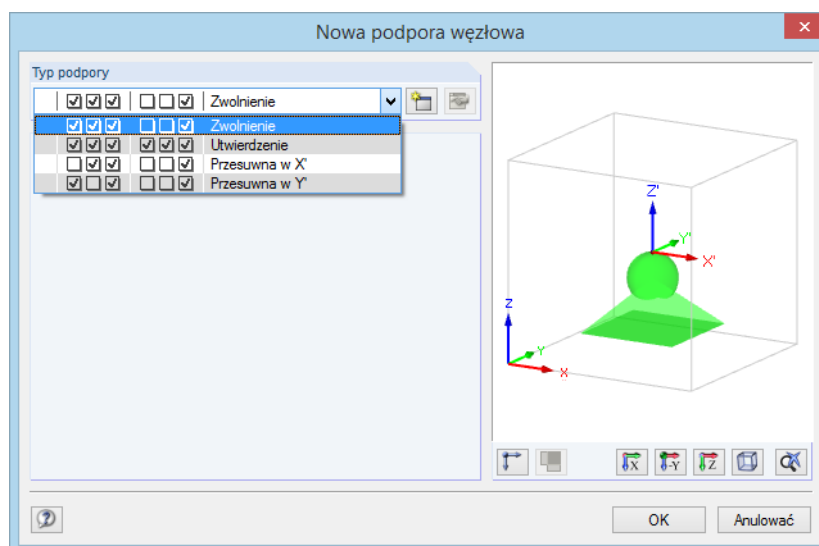
Stan utwierdzenia dla ruchu posuwego (T'ak / 'Nie / Stała sprężystości / Nieefektywność / Wybór)

Tak  
Nie  
Stała sprężystości  
Uszkodzenie, jeśli PZ' ujemne  
Uszkodzenie, jeśli PZ' dodatnie  
Uszkodzenie jeśli PZ' ujemne  
Uszkodzenie jeśli PZ' dodatnia  
Częściowa aktywność...  
Wykres...  
Tarcie PX'...  
Tarcie PY'...  
Tarcie PX' PY'...  
Tarcie PX'+PY'...

Rysunek 4.85: Tabela 1.7 Podpory węzłowe



Aby otworzyć poniższe okno dialogowe, należy kliknąć menu **Wstawić**, wskazać element **Dane modelu** oraz **Podpory węzłowe**, a następnie wybrać opcję **Graficznie** lub kliknąć przycisk pokazany na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 4.86: Okno dialogowe Nowa podpora węzłowa

Poniższe typy podpór są wstępnie zdefiniowane i mogą zostać wybrane z listy:

- Zwolnienie (YYY NNY)
- Utwierdzenie (YYY YYY)
- Przemieszczenie w X' (NYY NNY)
- Przemieszczenie w Y' (YNY NNY)

Po kliknięciu przycisku [OK], można przydzielić wybrany typ podpory do węzłów w grafice.

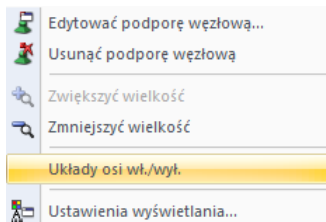


Przycisk [Nowy] służy do tworzenia innego typu podpory. Pojawi się okno dialogowe pokazane na Rysunek 4.84.



### Na węzłach

Pojedyncze podpory mogą być definiowane tylko na węzłach. Numer węzła wprowadza się w kolumnie tabeli lub w polu wprowadzania w oknie dialogowym. Węzeł ten można również wybrać graficznie.

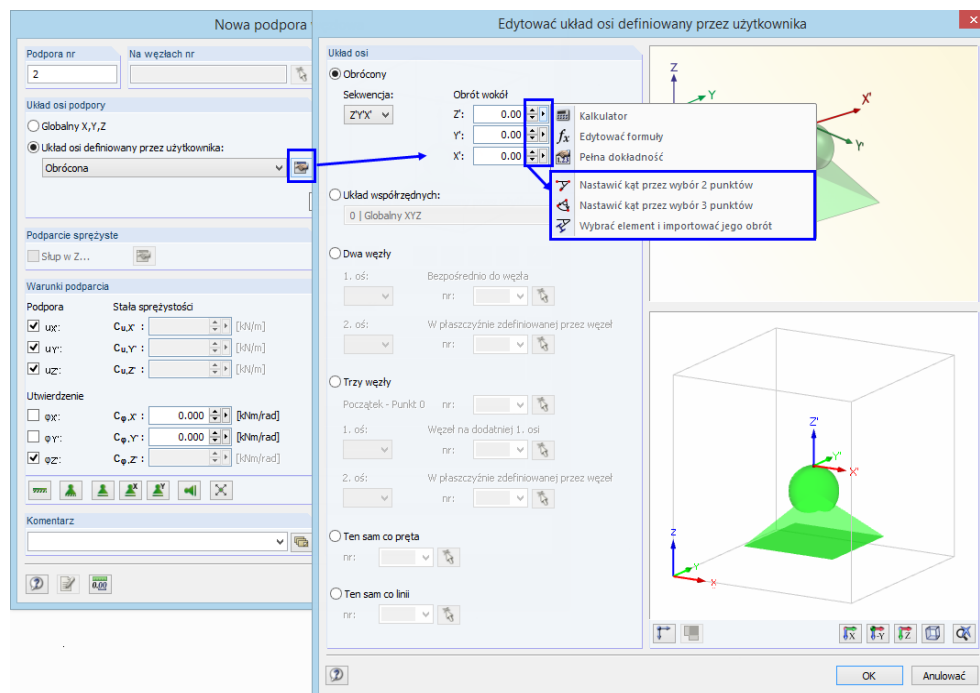


Menu kontekstowe podpory węzłowej

## Obrót podpory

Każda podpora węzłowa posiada lokalny układ współrzędnych, który jest domyślnie skierowany równoległe do globalnych osi X, Y oraz Z. Przy użyciu menu kontekstowego podpory węzłowej można aktywować wyświetlanie układu współrzędnych podpory.

W celu obrócenia lokalnego układu współrzędnych podpory, należy najpierw wybrać *Sekwencję*, która określa układ lokalnych osi X', Y' oraz Z' podpory. Następnie należy wprowadzić kąt obrotu dla osi globalnych X, Y oraz Z w polach wprowadzania poniżej opcji *Obrót wokół*. Aby zdefiniować obrót podpory w sposób graficzny, należy wykorzystać przyciski okna dialogowego [►].

Rysunek 4.87: Okno dialogowe *Nowa podpora węzłowa* z opcjami dla obrotu podpory

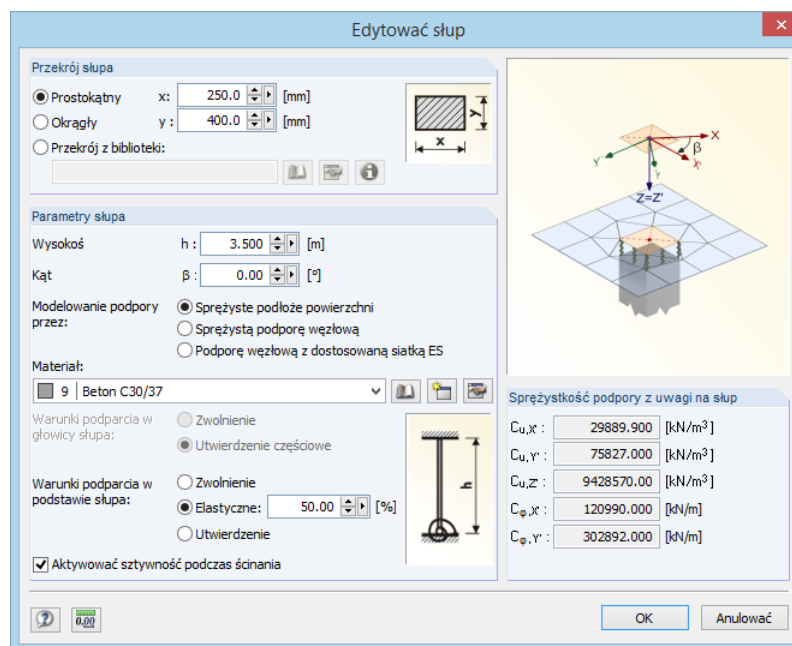
Wprowadzony obrót podpory wyświetlany jest dynamicznie w grafice okna dialogowego.



Po zakończeniu obliczeń, można ocenić reakcje podporowe obróconej podpory węzłowej w odniesieniu do globalnego oraz lokalnego układu osi.

## Słup w Z

Rzeczywiste warunki konstrukcyjne często nie są odwzorowywane w sposób wystarczający przez podporę węzłową. Dzieje się tak na przykład, gdy strefa podparcia posiada znaczne wymiary. Takie warunki podparcia mogą zostać odwzorowane w programie RFEM przy użyciu specjalnych słupowych makroelementów uwzględniających materiał i geometrię słupa. Program RFEM oblicza sztywność sprężystą i dostosowuje warunki podparcia. Dzięki temu realistycznemu modelowaniu można uniknąć osłabienia, które powstałyby w pojedynczym węźle ES, w przypadku zdefiniowania podpory sztywnej.

Rysunek 4.88: Okno dialogowe *Edytować słup*

W sekcji okna dialogowego *Typ słupa* definiuje się przekrój słupa. Pola wprowadzania zmieniają się według wybranego typu słupa (*Prostokątny*, *Okrągły* lub *Przekrój z biblioteki*). Dzięki temu, oprócz słupów żelbetonowych, jako przekroje słupa można wykorzystywać również przekroje stalowe.

*Wysokość słupa h* wpływa na stałe sprężystości przy przesuwie i sprężystości obrotowej. W sekcji okna dialogowego *Parametry* definiuje się sposób modelowania słupów w konstrukcji:

- *Sprężyste podłoże powierzchni* stanowi wewnętrzną podpowierzchnię (obszar wycięty) pola słupa, która jest podparta w sposób sprężysty. Współczynniki podłoża obliczane są na podstawie geometrii i materiału słupa.
- *Sprężysta podpora węzłowa* również stanowi wewnętrzną podpowierzchnię, z tą różnicą, że jest ona podparta tylko w jednym węźle. Podpora modelowana jest przy użyciu sprężystości przy przesuwie i obrotowej, które są obliczane na podstawie geometrii i materiału słupa. Grubość powierzchni jest wewnętrznym podwajana, w celu zwiększenia sztywności na zginanie w polu słupa.
- *Podpora węzłowa z dostosowaną siatką ES* odpowiada sprężystej podporze węzłowej, z tym wyjątkiem, że w przypadku podpór punktowych nie są stosowane sprężystości.



W dodatkowym module RF-CONCRETE Surfaces, powierzchnie wycięte nie mogą być wymiarowane według żadnej z tych trzech opcji modelowania. Zamiast tego używane są siły wewnętrzne na liniach granicznych słupa.



W przypadku wybrania opcji *Sprężyste podłoże powierzchni* lub *Sprężysta podpora węzłowa*, należy wprowadzić pozostałe dane dla słupa. W tym celu należy wybrać *Materiał słupa* z listy zdefiniowanych uprzednio materiałów lub utworzyć nowy materiał słupa (zobacz rozdział 4.3 na stronie 64).

Aby określić sztywności sprężyste, wymagane są specyfikacje dla *Warunków podparcia w głowicy słupa* oraz *w podstawie słupa*. W przypadku zaznaczenia pola wyboru, w celu *Aktywowania sztywności podczas ścinania*, sztywność na ścinanie wpłynie również na stałe *Sprężystości podpory z uwagi na słup*.

Sztywności węzłowe określone na podstawie wprowadzonych parametrów są pokazywane w sekcji znajdującej się po prawej stronie okna dialogowego.

### Podpora lub sprężystość

Aby zdefiniować podporę, należy wybrać odpowiednią opcję w oknie dialogowym lub w tabeli. Zaznaczenie oznacza, że odpowiedni stopień swobody jest zablokowany i nie jest możliwe przemieszczenie węzła w związonym z nim kierunku.

Jeżeli podpora nie ma zostać zdefiniowana, należy odznaczyć odpowiednie pole. Po tym kroku w oknie dialogowym *Podpora węzłowa* program RFEM ustawia stałą sprężystości przy przesuwie na zero. Stałą sprężystości można w dowolnym momencie zmodyfikować, aby odwzorować sprężystą podporę węzłową. Stała ta wprowadzana jest bezpośrednio w kolumnie tabeli.



Sztywności sprężyste należy wprowadzać jako wartości obliczeniowe.

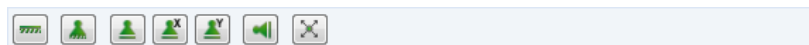
Przydzielanie nieliniowych charakterystyk podpory zostało opisane poniżej.

### Utwierdzenie lub sprężystość

Utwierdzenia definiuje się podobnie jak podpory. Tutaj również zaznaczenie oznacza, że odpowiedni stopień swobody jest zablokowany, a przemieszczenie węzła w związonym z nim kierunku nie jest możliwe. Stałe dla sprężystości obrotowej można definiować po odznaczeniu odpowiednich pól. W tabeli należy wprowadzić stałą sprężystości bezpośrednio w odpowiedniej kolumnie.



Okno dialogowe *Nowa podpora węzłowa* (zobacz Rysunek 4.84 na stronie 100) posiada przyciski dla różnych warunków podparcia, ułatwiające definiowanie stopni swobody.



Rysunek 4.89: Przyciski w oknie dialogowym *Nowa podpora węzłowa*

Przyciski posiadają następujące funkcje:








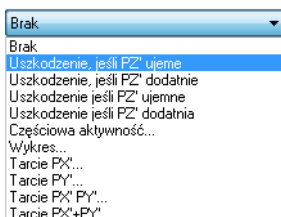
Przycisk	Typ podparcia
	Utwierdzenie
	Zwolnienie z utwierdzeniem względem Z'
	Przemieszczenie w X' i Y' z utwierdzeniem względem Z'
	Przemieszczenie w X' z utwierdzeniem względem Z'
	Przemieszczenie w Y' z utwierdzeniem względem Z'
	Przemieszczenie w Z' z utwierdzeniem względem Z'
	Wolne

Tabela 4.3: Przyciski w oknie dialogowym *Podpora węzłowa*

### Nieliniowości

Szczegółowa kontrola przenoszenia sił wewnętrznych jest możliwa poprzez dodanie podpór węzłowych o właściwościach nieliniowych. Lista nieliniowości zawiera następujące opcje:

- Uszkodzenie elementu, jeżeli siła podporowa lub moment będą dodatnie lub ujemne
- Całkowite uszkodzenie podpory, jeżeli siła podporowa lub moment będą dodatnie lub ujemne
- Aktywność częściowa
- Wykres





- Tarcie zależne od pozostałych sił podporowych

Charakterystyki nieliniowe można edytować w oknie dialogowym oraz w tabeli przy użyciu listy (zobacz Rysunek 4.84 i Rysunek 4.85). W ten sposób dla każdego stopnia swobody podpory można definiować, czy i które siły lub momenty są przenoszone na podpierany węzeł.

Podpory posiadające nieliniowości są wyświetlane przy użyciu innego koloru. W tabeli, elementy podporowe posiadające charakterystyki nieliniowe wskazywane są przy użyciu niebieskiego pola.

#### Uszkodzenie, jeśli siła podporowa/moment będą ujemne lub dodatnie

Te dwa ustawienia pozwalają na definiowanie dla każdego składnika podporowego, czy na podpierany węzeł przenoszone są tylko dodatnie czy ujemne siły lub momenty. Jeżeli warunek ten nie będzie spełniony, element podporowy zostanie uszkodzony, ale pozostałe ograniczenia i utwierdzenia pozostaną efektywne.

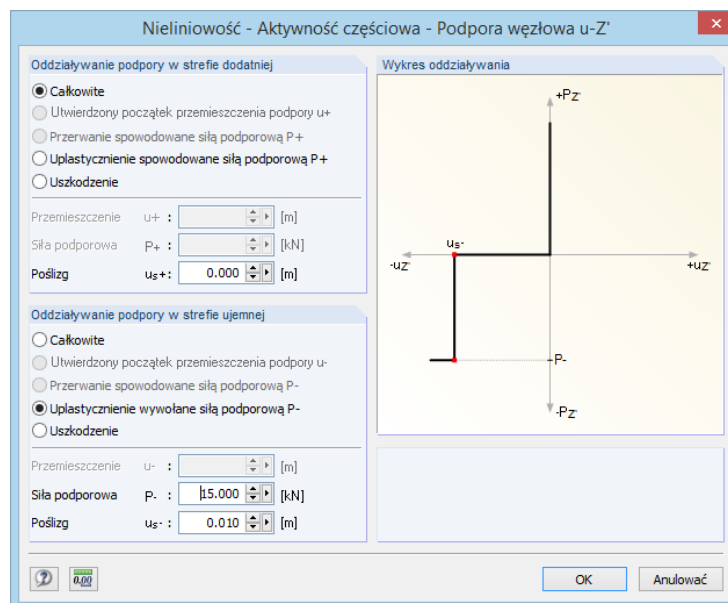
Termin *Dodatnie* lub *Ujemne* odnosi się do sił lub momentów, które są wprowadzane na podporę węzłową w odniesieniu do odpowiednich osi (nie odnoszą się one do sił reakcji podpory). Znaki te wynikają więc z kierunku osi globalnych. Jeżeli globalna oś Z jest skierowana w dół, przypadek obciążenia 'Ciężar własny' wywołuje dodatnią siłę podporową  $P_z$ .

#### Uszkodzenie całkowite, jeżeli siła podporowa/moment będą ujemne lub dodatnie

W przeciwieństwie do częściowego uszkodzenia podpory opisanego powyżej, podpora zostanie całkowicie uszkodzona, jeżeli składnik nie będzie efektywny.

Aby otworzyć poniższe okna dialogowe, należy wykorzystać przycisk [Edytować nieliniowość] lub [▼] znajdujące się na prawo od listy dostępnej w oknie dialogowym i w tabeli.

#### Aktywność częściowa



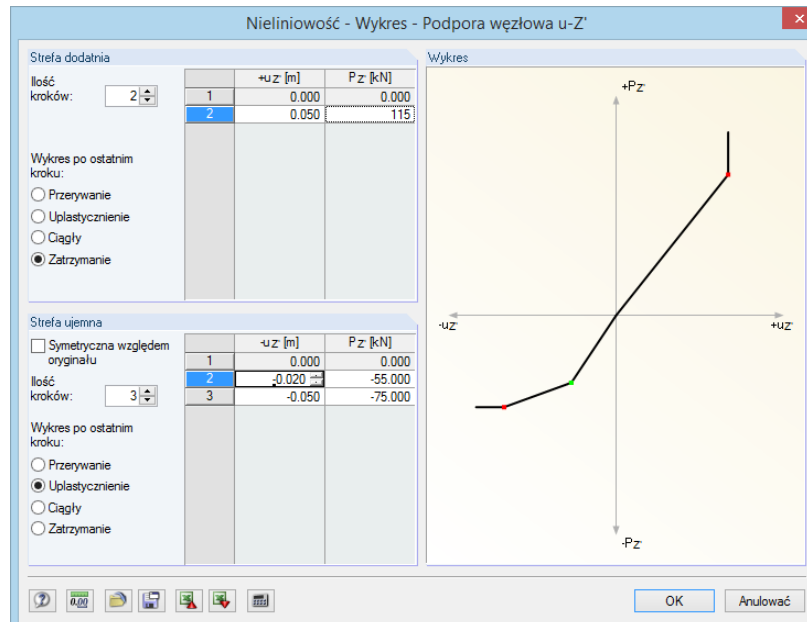
Rysunek 4.90: Okno dialogowe *Nieliniowość – Aktywność częściowa*

Oddziaływanie podpory można zdefiniować osobno dla *Strefy dodatniej* i *Strefy ujemnej*. Reguła stosowania tych znaków została opisana w poprzednim paragrafie. Oprócz *Pełnej* aktywności lub pełnego *Uszkodzenia*, podporę można ustawić jako efektywną, jedynie w przypadku, gdy zostanie ona przemieszczona lub obrócona o określony stopień. W takim przypadku należy uprzednio zdefiniować sprężystość przy przesuwie lub sprężystość obrotową.

Oprócz tego można ustawić *Przerwanie* (uszkodzenie podpory po przekroczeniu określonej siły lub momentu) oraz *Uplastycznienie* (efektywność jedynie do chwili osiągnięcia siły lub momentu) w połączeniu z *Poślizgiem*.

Właściwości podpory można sprawdzić na dynamicznej rysunku okna dialogowego o nazwie *Wykres aktywności*.

### Wykres



Rysunek 4.91: Okno dialogowe *Nieliniowość - Wykres*

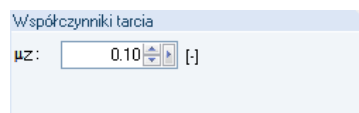
Oddziaływanie podpory można zdefiniować osobno dla *Strefy dodatniej* i *Strefy ujemnej*. W tym celu należy najpierw zdefiniować *Ilość kroków* (a więc punktów definicji) dla wykresu roboczego. Następnie na listę po prawej stronie należy wprowadzić wartości odciętej przemieszczeń lub obrotów wraz z odpowiednimi siłami podporowymi lub momentami.

*Wykres po ostatnim kroku* posiada wiele różnych opcji, do których należą *Przerwanie* dla uszkodzenia podpory po przekroczeniu, *Uplastycznienie* dla ograniczenia przenoszenia do maksymalnej dozwolonej siły podporowej lub momentu, *Ciągły* jak w ostatnim kroku lub *Zatrzymanie* dla ograniczenia do maksymalnego dozwolonego przemieszczenia lub obrotu, po którym następuje oddziaływanie podpory sztywnej lub utwierdzonej.

### Tarcie zależne od siły ściskającej

Te cztery opcje służą do ustawiania przenoszonych sił podporowych w odniesieniu do sił ściskających oddziałujących w innym kierunku. W zależności od dokonanego wyboru, tarcie może zależeć od samej siły podporowej lub od siły całkowitej, będącej sumą dwóch sił podporowych działających jednocześnie.

Przycisk [Edytować] w oknie dialogowym służy do otwierania okna dialogowego, w którym można zdefiniować *Współczynnik tarcia*  $\mu$ .

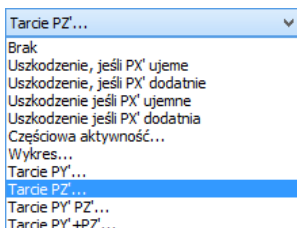


Rysunek 4.92: Okno dialogowe *Tarcie w ux' - Siła normalna z Z* (sekcja okna dialogowego)

Pomiędzy siłą osiową a siłą tarcia podpory występuje następująca zależność:

$$P_{\text{tarcia}} = \mu \cdot P_{\text{siła\_osiowa}}$$

Równanie 4.11

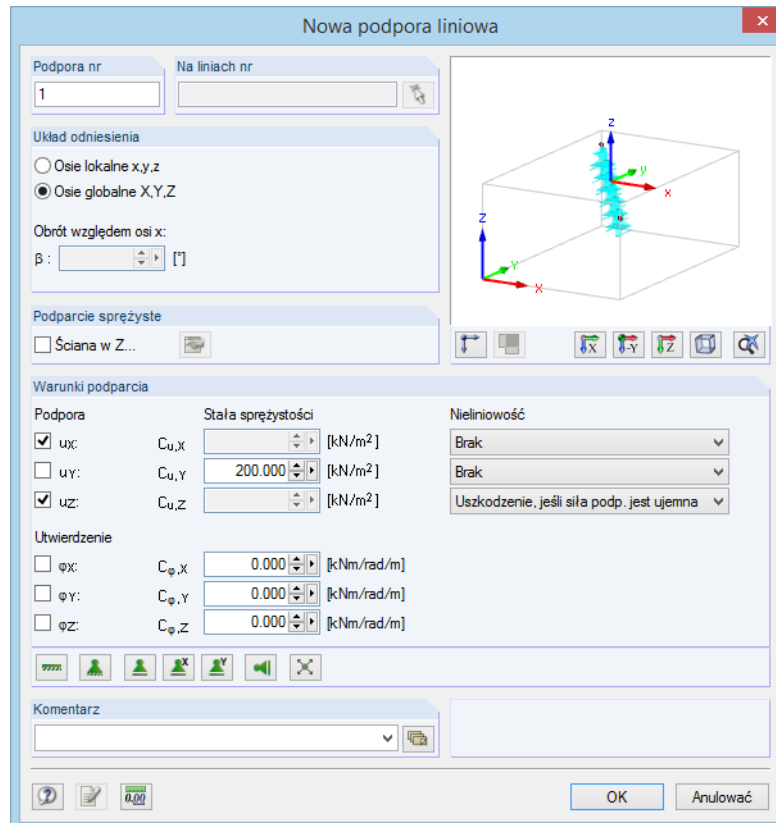


## 4.8 Podpory liniowe

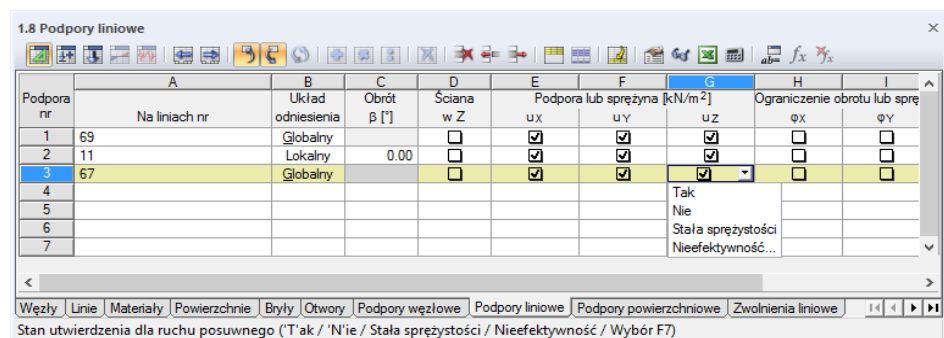
### Opis ogólny

Podpory liniowe opisują warunki brzegowe wszystkich węzłów dostępnych wzdłuż linii. Przemieszczenia i obroty tych węzłów wewnętrznych mogą zostać uniknięte lub ograniczone poprzez sprężystości przy przesuwie lub sprężystość obrotową.

Charakterystyki nieliniowe można przydzielić do przemieszczeń podpór liniowych w taki sposób, aby podpory były nieefektywne w przypadku wystąpienia rozciągania lub ściskania.



Rysunek 4.93: Okno dialogowe *Nowa podpora liniowa*

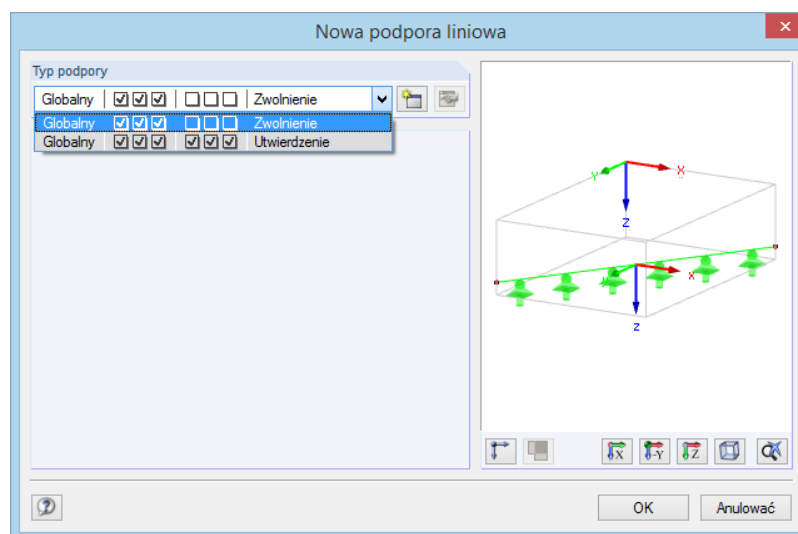


Podpora nr	Na liniach nr	Układ odniesienia	Obrót $\beta$ [°]	Ściana w Z	Podpora lub sprężyna [kN/m <sup>2</sup> ]	Ograniczenie obrotu lub spręż.
					ux uy uz	φx φy
1	69	Globalny		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2	11	Lokalny	0.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3	67	Globalny		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4						Tak
5						Nie
6						Stała sprężystości
7						Nieefektywność...

Rysunek 4.94: Tabela 1.8 *Podpory liniowe*



Aby otworzyć poniższe okno dialogowe, należy najpierw otworzyć menu **Wstawić**, najechać kursorem na opcję **Dane modelu** oraz **Podpory liniowe**, a następnie wybrać **Graficznie** lub kliknąć przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony:



Rysunek 4.95: Okno dialogowe *Nowa podpora liniowa*

Typy podparcia *Zwolnienie* (YYY NNN) i *Utwardzenie* (YYY YYY) są zdefiniowane jako domyślne i mogą zostać wybrane z listy. Po kliknięciu przycisku [OK], można przydzielić wybrany typ podpory do linii w grafice.



Przycisk [Nowa] pozwala utworzyć inny typ podpory. Po jego użyciu pojawi się okno dialogowe pokazane na Rysunek 4.93.



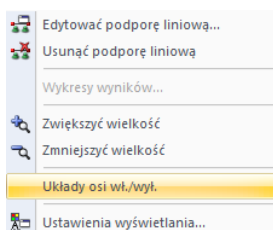
### Na liniach

Podpory liniowe mogą być definiowane jedynie na liniach należących do powierzchni lub bryły. W tym celu należy wprowadzić numer linii w kolumnie tabeli lub w polu wprowadzania okna dialogowego. Oprócz tego można wybrać go z rysunku.

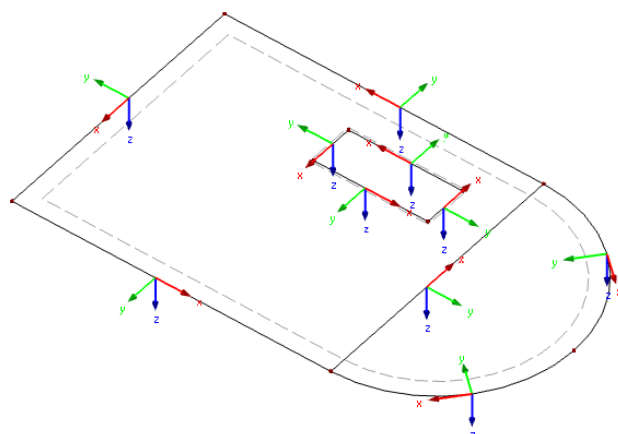
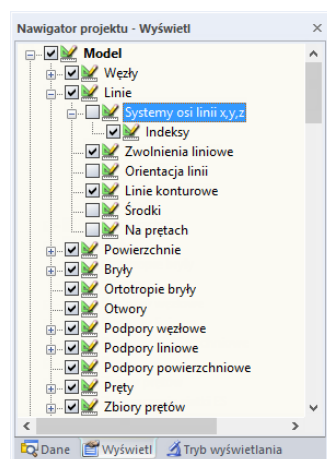
### Układ odniesienia

Parametry podpory można odnieść do *Lokalnych* osi linii x, y oraz z lub do *Globalnych* osi X, Y oraz Z. Indeksy w sekcji okna dialogowego *Warunki podparcia* oraz nagłówki kolumn od E do J zmieniają się w zależności od wybranych ustawień.

Wyświetlanie lokalnego układu współrzędnych linii wraz z numerowaniem można ustawić w nawigatorze *Wyświetl*. W tym samym celu można wykorzystać również menu kontekstowe podpory liniowej.



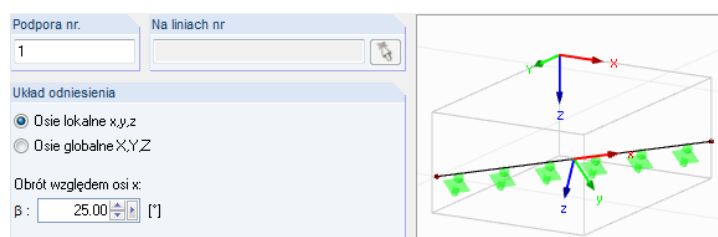
Menu kontekstowe podpory liniowej



Rysunek 4.96: Aktywowanie lokalnego układu osi linii x,y,z w nawigatorze Wyświetl

## Obrót podpory

W programie istnieje możliwość obrócenia układu osi lokalnej podpory liniowej. Obrót o dodatni kąt  $\beta$  powoduje obrócenie podpory zgodnie z ruchem wskazówek zegara według dodatniej osi x linii.



Rysunek 4.97: Obrót podpory

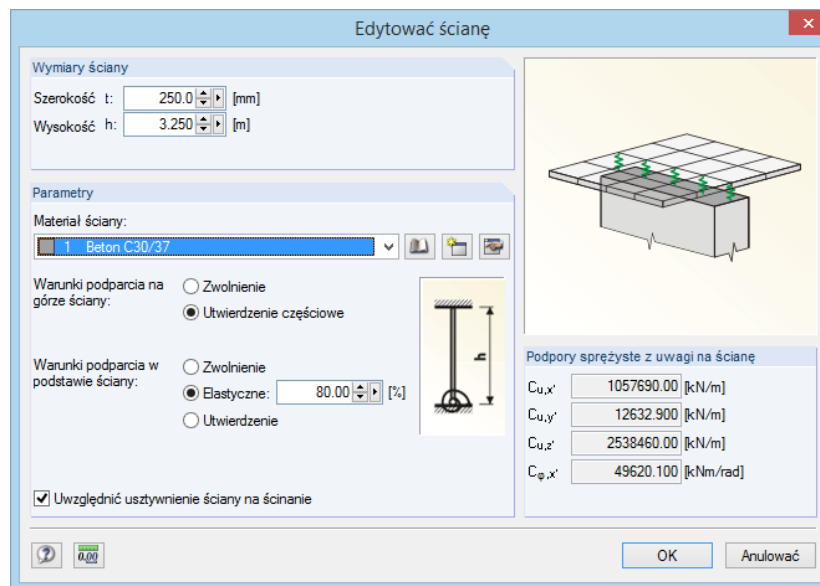
Wprowadzony obrót podpory wyświetlany jest na interaktywnym rysunku w oknie dialogowym.



Po zakończeniu obliczeń, reakcje podporowe obróconej podpory liniowej można ocenić w odniesieniu do globalnego i lokalnego układu osi.

## Ściana w Z

W przypadku, gdy powierzchnia podpierana jest przez ścianę, program RFEM nie określa w tej strefie rzeczywistego fundamentu dla utwierdzonej podpory liniowej. Dla podpory tego typu można zdefiniować *Ścianę*, która pozwoli programowi RFEM obliczyć stałe sprężystości przy przesuwie lub sprężystości obrotowe na podstawie materiału i geometrii ściany. Opcja ta jest szczególnie użyteczna w przypadku płyt 2D, pozwalając na uniknięcie osobliwości, które powstałyby podczas używania linii podpartej w sposób sztywny.

Rysunek 4.98: Okno dialogowe *Edytować ścianę*

W sekcji okna dialogowego *Wymiary ściany* definiuje się geometrię. Oprócz *Szerokości t*, na sprężystości przy przesuwie i obrotową ma wpływ również *Wysokość h*.



W sekcji okna dialogowego *Parametry* wybiera się *Materiał ściany* z listy wstępnie zdefiniowanych materiałów lub tworzy się swój własny materiał dla ściany (zobacz rozdział 4.3 na stronie 64).

Aby określić sztywności sprężyste, wymagane są specyfikacje dla *Warunków podparcia na górze ściany* oraz *w podstawie ściany*. W przypadku zaznaczenia pola wyboru *Uwzględnij usztywnienie ściany na ścinanie*, usztywnienie na ścianie również będzie miało wpływ na stałe *Podpory sprężyste z uwagi na ścianę*.

Stałe sprężystości określone na podstawie wprowadzonych parametrów są pokazywane w sekcji znajdującej się po prawej stronie okna dialogowego.

Szerokości ściany wyświetlane są graficznie na podpieranej linii.

### Podpora lub sprężystość

Aby zdefiniować podporę, należy zaznaczyć odpowiednią opcję w oknie dialogowym lub w tabeli. Zaznaczenie oznacza, że odpowiedni stopień swobody jest zablokowany, a przemieszczenie węzła w związanym z nim kierunku nie jest możliwe.

Jeżeli podpora nie ma zostać zdefiniowana, należy odznaczyć odpowiednie pole. Po tym kroku program RFEM ustawia stałą sprężystości przy przesuwie na zero w oknie dialogowym *Podpora liniowa*. Stałą sprężystości można w dowolnym momencie zmodyfikować, aby odwzorować podparcie sprężyste linii. Stałą tę wprowadza się bezpośrednio w kolumnie tabeli.



Sztywności sprężyste uwzględniane są jako wartości obliczeniowe.

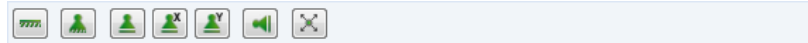
Przydzielanie kryterium uszkodzenia zostało opisane w dalszej części instrukcji.

### Utwierdzenie lub sprężystość

Utwierdzenia definiuje się w podobny sposób jak podpory. Tutaj również zaznaczenie oznacza, że odpowiedni stopień swobody jest zablokowany, a przemieszczenie linii w związanym z nim kierunku nie jest możliwe. Stałe dla sprężystości obrotowej można definiować po odznaczeniu odpowiednich pól. W tabeli należy wprowadzić stałą sprężystości bezpośrednio w odpowiedniej kolumnie.



Okno dialogowe *Nowa podpora liniowa* (zobacz Rysunek 4.93 na stronie 107) posiada przyciski dla różnych typów podparcia, ułatwiające definiowanie stopni swobody.



Rysunek 4.99: Przyciski w oknie dialogowym *Nowa podpora liniowa*

Przyciski posiadają następujące funkcje:








Przycisk	Typ podparcia
	Utwierdzenie
	Zwolnienie z utwierdzeniem względem Z'
	Przemieszczenie w X' i Y' z utwierdzeniem względem Z'
	Przemieszczenie w X' z utwierdzeniem względem Z'
	Przemieszczenie w Y' z utwierdzeniem względem Z'
	Przemieszczenie w Z' z utwierdzeniem względem Z'
	Wolne

Tabela 4.4: Przyciski w oknie dialogowym *Podpora liniowa*

### Nieliniowość

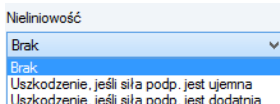
W przypadku podpór lub sprężystości podpory liniowej przy przesuwie można przydzielić następujące właściwości nieliniowe:

- Uszkodzenie, jeżeli siła podporowa będzie dodatnia
- Uszkodzenie, jeżeli siła podporowa będzie ujemna

Właściwości nieliniowe można edytować w oknie dialogowym oraz w tabeli przy użyciu listy (zobacz Rysunek 4.93 i Rysunek 4.94). W ten sposób dla każdego stopnia swobody podpory można zdefiniować, czy na podporę liniową przenoszone będą tylko siły dodatnie czy ujemne.

Termin *Dodatnie* lub *Ujemne* odnosi się do sił, które są wprowadzane na podporę w kierunku odpowiednich osi (nie odnoszą się one do sił reakcji podpory liniowej). Znaki te wynikają więc z kierunku osi globalnych. Na przykład, jeżeli lokalna oś z linii jest skierowana w dół, przypadek obciążenia 'Ciężar własny' wywołuje dodatnią siłę podporową  $p_z$ .

Podpory liniowe, które są efektywne nieliniowo, wyświetlane są w grafice w innym kolorze. Elementy podporowe z kryterium uszkodzenia wyświetlane są w tabeli w niebieskim polu.



## 4.9 Podpory powierzchniowe

### Podstawy teoretyczne

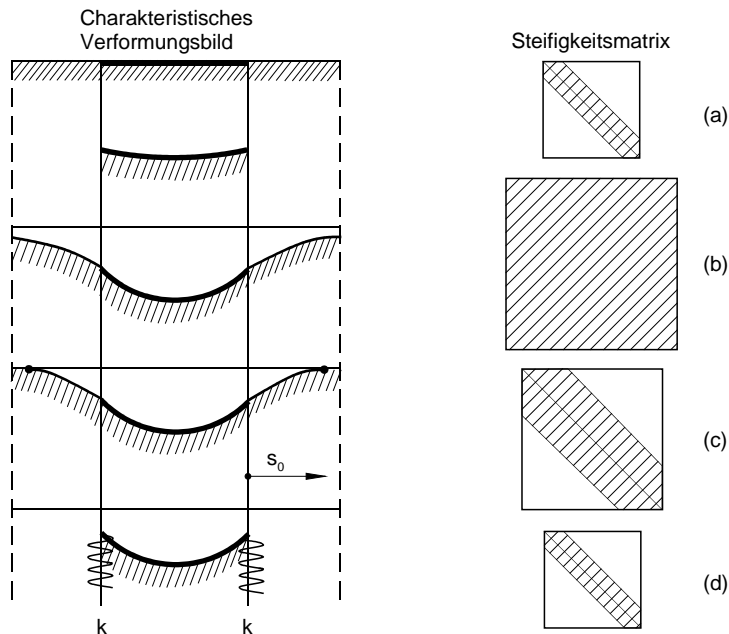
Sprężyste podłoże powierzchni stanowi podporę sprężystą wszystkich elementów 2D powierzchni.

W modelu podłoża WINKLERA zakłada się, że grunt jest cieczą idealną, na której unosi się płyta fundamentowa. Model ten opiera się na znacznych różnicach pomiędzy modułami sprężystości dla betonu i (linearyzowanego) gruntu, które zwykle charakteryzują się stosunkiem 1000:1 lub większym. Założenie WINKLERA można przedstawić matematycznie w następujący sposób:

$$p_z = C_z \cdot w_z$$

Równanie 4.12

W każdym punkcie tworzony jest związek ciśnienia kontaktowego  $p_z$  i przemieszczenia  $w_z$  przy użyciu stałej posadowienia  $C_z$ . Założenie to zakłada jednak, że każdy punkt jest przemieszczany niezależnie od wszystkich innych węzłów w rzucie poziomym. Z tego powodu otaczający grunt nie ma znaczenia dla odkształcenia powierzchni (Rysunek 4.100a).



Rysunek 4.100: Zależność pomiędzy wykresem odkształcenia a szerokością wstęgi macierzy sztywności

Elementarny model podłoża nie odpowiada już najnowszym wymagom budowlanym.

Ulepszony sposób modelowania podłoży sprężystych opiera się na *metodzie modułu sztywności*. Model ten zakłada, że grunt stanowi sprężystą półprzestrzeń, a wszystkie jego węzły korelują ze sobą matematycznie i mechanicznie. Prowadzi to do powstania "nieskończonej" niecki obniżenia z oddziaływaniami tłumienia. Wadą tego modelu podłoża gruntowego jest bardzo duża macierz układu (Rysunek 4.100b).

Algorytm programu RFEM wykorzystuje efektywny model gruntu według KOLARA / NEMERCA, łączący zalety obu modeli. Ten model podłoża gruntowego opiera się na teorii PASTERNAKA [8]:

- W przypadku płyty posiadającej kontakt z gruntem, znaczenie mają tylko mechaniczne właściwości nieliniowo sprężystej lub plastycznej półprzestrzeni w strefie międzystykowej. Dzięki temu trójwymiarowe oddziaływania fundamentu skupione są w strefie międzystykowej, a więc zamieniane na zagadnienie 2D.

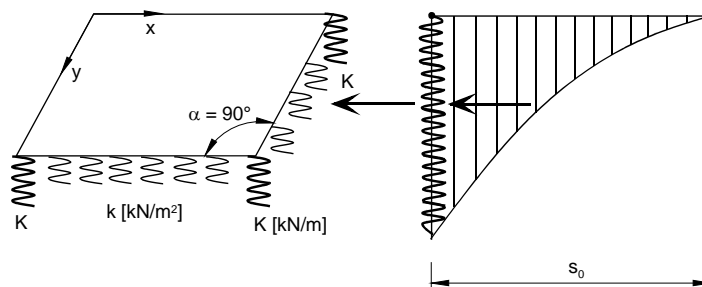


- Model WINKLERA dokonuje tego skupienia w 2D (zobacz równanie 5.4), pomimo że jest ono wadliwe z energetycznego punktu widzenia. Poprzez wykorzystanie drugiego współczynnika  $C_v$  dla nośności gruntu na ścinanie, ustanawiana jest współpraca gruntu poza krawędzią płyty. Tworzy się naturalna niecka obniżen o skończonych wymiarach, która powstaje również w sytuacji rzeczywistej.
- Tworzony jest układ dwuparametrowy ( $C_u, C_v$ ).  $C_{u,z}$  odpowiada w przybliżeniu stałej podłoża WINKLERA i może być stosowany w ten sposób w obliczeniach praktycznych. Z dokładnego punktu widzenia, cały układ składa się z pięciu parametrów:  $C_{u,x}, C_{u,y}, C_{u,z}, C_{v,x}$  oraz  $C_{v,y}$ .

Rysunek 4.100c pokazuje porównanie tego modelu gruntu. Numerycznie, model ES jest tak samo stabilny jak model WINKLERA. Niemniej wprowadzenie elementów gruntowych w nieckę obniżen powoduje powstanie dużo większej macierzy układu.

Model KOLARA/NEMECA również został rozszerzony. Doświadczenie pokazało, że elementy gruntowe mogą zostać wyeliminowane z układu przy pomocy odpowiednich zabiegów. *Efektywny model gruntowy* zaimplementowany w programie RFEM został symbolicznie przedstawiony na Rysunek 4.100d. Dzięki temu wyeliminowana została niedogodność dużej macierzy układu. Szczegółowy opis efektywnego modelu ośrodka gruntowego znajduje się w [4].

Otoczający grunt ("klin gruntu") eliminowany jest z modelu powierzchni poprzez zamianę jego sztywności na sprężystą linię graniczną oraz narożną podporę węzłową.



Rysunek 4.101: Zamiana otaczającego gruntu na linię oraz narożne podpory węzłowe

Podczas pierwszego przybliżenia, stałe sprężystości  $k$  oraz  $K$  linii i narożnej podpory węzłowej obliczane są według następujących równań:

$$k = \sqrt{C_{u,z} \cdot C_{v, \text{prostokątny}}}$$

Równanie 4.13: Stała sprężystości podpory liniowej

$$K = \frac{C_{v,x} + C_{v,y}}{4}$$

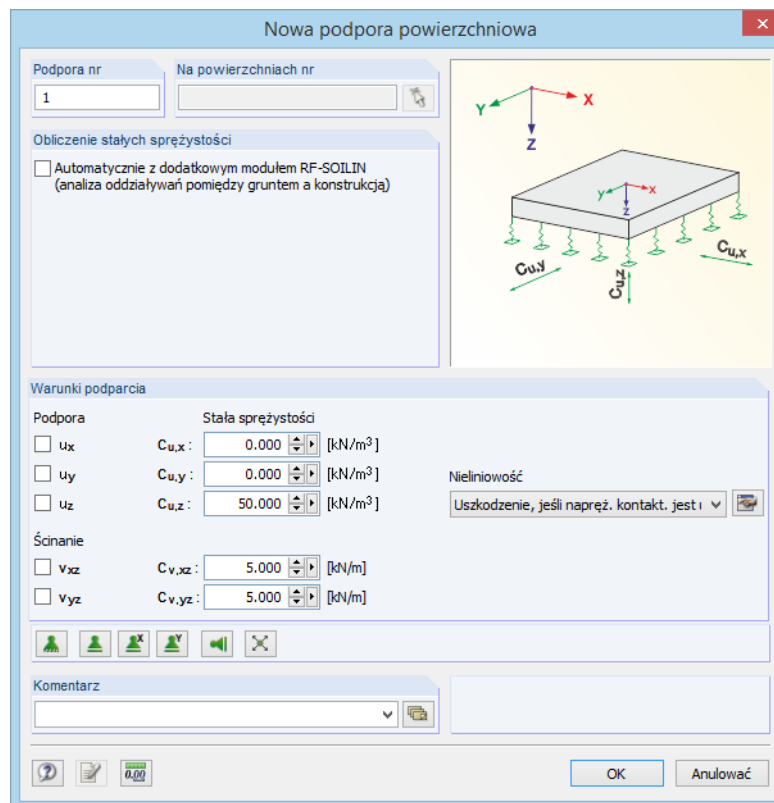
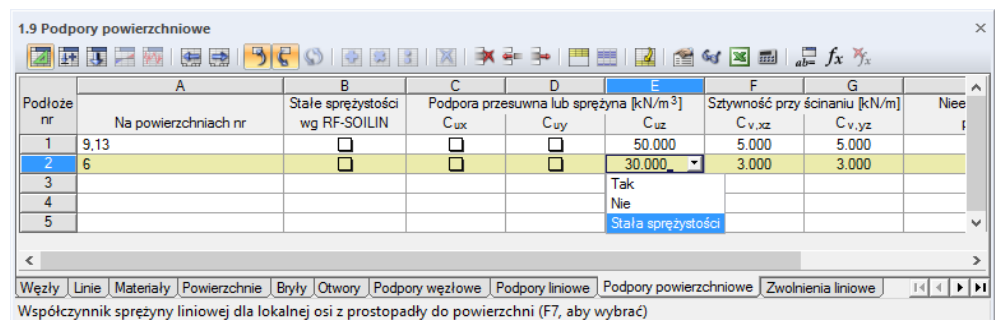
Równanie 4.14: Stała sprężystości narożnej podpory węzłowej

W Równanie 4.13 należy wprowadzić parametr  $C_v$ , który oddziałuje prostopadle do linii granicznej.

Równanie 4.14 wykorzystywane jest w przypadku naroży posiadających kąt  $\alpha = 90^\circ$  (zobacz [17] dla innych wartości kąta). Kąty większe niż  $90^\circ$  dają mniejsze wartości  $K$ , jednak w przypadku, gdy  $\alpha = 0^\circ$ , również  $K = 0$ .



Sprężystości określone w ten sposób muszą być rozmieszczone w modelu, wraz ze sprężystym posadowieniem powierzchni, jako podpory liniowe i węzłowe.

Rysunek 4.102: Okno dialogowe *Nowa podpora powierzchniowa*


Podłoże nr	Na powierzchniach nr	Stałe sprężystości wg RF-SOILIN	Podpora przesuwna lub sprężyna		Stężalność przy ścinaniu	Nie	
			$C_{u,x}$	$C_{u,y}$	$C_{u,z}$	$C_{v,xz}$	$C_{v,yz}$
1	9,13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50.000	5.000	5.000
2	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30.000	3.000	3.000
3					Tak		
4					Nie		
5					Stała sprężystości		

Rysunek 4.103: Tabela 1.9 *Podpory powierzchniowe*

## Na powierzchniach

Numer powierzchni, która ma zostać podparta, wprowadza się w kolumnie tabeli lub w polu wprowadzania okna dialogowego. Oprócz tego można wybrać je również graficznie.

## Stałe sprężystości wg RF-SOILIN

Każdy grunt posiada swoje własne nieliniowe charakterystyki sprężyste lub plastyczne. W celu ułatwienia określenia współczynników posadowienia, firma Dlubal przygotowała dodatkowy moduł RF-SOILIN. Program ten prowadzi obliczenia osiadań oparte na oddziaływaniu obciążeń oraz na wynikach sondowania gruntu. Następnie określa on współczynniki sprężystości w każdym elemencie skończonym. Moduł ten pozwala na uwzględnienie różnych warstw gruntu w kilku różnych punktach.

Po wybraniu tej opcji, w przypadku braku wyników z modułu RF-SOILIN, przed rozpoczęciem obliczeń w programie RFEM zostaną określone współczynniki posadowienia.



### Podpory $u_x / u_y / u_z$ lub stałe sprężystości $C_{u,x} / C_{u,y} / C_{u,z}$

Kierunki podpór lub stałe sprężystości odnoszą się do lokalnych osi  $x$ ,  $y$  oraz  $z$  powierzchni. Przy użyciu nawigatora *Wyświetl* lub menu kontekstowego powierzchni można wyświetlić je w grafice (zobacz Rysunek 4.73 na stronie 90).



Sztywności sprężyste muszą być wprowadzone jako wartości obliczeniowe.

Jeżeli podpora oddziałuje pionowo do powierzchni, należy wprowadzić podporę lub stałą sprężystości w polu wprowadzania  $C_{u,z}$ . Parametr ten jest praktycznie równy modułowi podłoża WINKLERA  $C_z$ . Wartość tę można otrzymać podczas badań gruntu.

Parametry  $C_{u,x}$  i  $C_{u,y}$  stanowią sprężystości przy przesuwie opisujące wytrzymałość posadowienia na przemieszczenie w kierunkach  $x$  lub  $y$  powierzchni. W przypadku płyty stropowej, określają one (niezależną od obciążenia) wytrzymałość w kierunkach poziomych.



W grafice, sprężystości są zawsze wstawiane w kierunku dodatnich osi powierzchni  $z$ . Jeżeli symbole sprężyn znajdują się po "złej" stronie powierzchni, można dokonać szybkiej zmiany orientacji lokalnej osi  $z$ . W tym celu należy kliknąć powierzchnię prawym przyciskiem myszy, w celu otwarcia menu kontekstowego i wybrania opcji *Odwróć lokalny układ osi*. Opcja ta jest dostępna dla konstrukcji 3D i niedostępna dla modeli płaszczyznowych. Podczas zmieniania ustawień, należy pamiętać, że kryterium uszkodzenia zmieni również kierunek oddziaływania.

Podpory sztywne umożliwiają przedstawienie tylko jednej części modelu, na przykład w przypadku symetrycznych modeli bryłowych. Pozwala to na znaczące zwiększenie szybkości obliczeń.

### Stała sprężystości ścinania $C_{v,x} / C_{v,y}$

Te pola wprowadzania służą do uwzględniania nośności gruntu na ścinanie w kierunku osi  $x$  lub  $y$  powierzchni. W większości przypadków stała PASTERNAKA  $C_v$  leży w zakresie od  $0,1 \cdot C_z$  (mniejsza nośność na ścinanie) do  $0,5 \cdot C_z$  (średnia nośność na ścinanie). Ogólnie można przyjąć, że  $C_{v,x} = C_{v,y}$ .

Głównym celem modelu efektywnego jest połączenie parametrów  $C_{u,z}$  i  $C_v$  przy użyciu współczynnika  $s$  według następujących równań.

$$C_{v,x} = C_{u,z} \cdot s_x^2$$

Równanie 4.15: Stała sprężystości ścinania  $C_{v,x}$

$$C_{v,y} = C_{u,z} \cdot s_y^2$$

Równanie 4.16: Stała sprężystości ścinania  $C_{v,y}$

Wartość  $s$  stanowi analogię długości sprężystej dla belek posiadających podłoże sprężyste. Równanie empiryczne zostało opracowane na podstawie pomiarów osiadania (zobacz Rysunek 4.100c na stronie 112):

$$s_0 = 4,0 \text{ s do } 5,0 \text{ s}$$

$$\text{Średnio: } s_0 = 4,5 \text{ s}$$

Równanie 4.17: Niecka obniżeń  $s_0$

Niecka obniżeń  $s_0$ , wymieniana w: Równanie 4.17, rozumiana jest bardziej w energetycznym niż geometrycznym znaczeniu tego słowa. W konstrukcjach praktycznych,  $s_0$  jest definiowane jako odległość od krawędzi płyty, gdzie osiadanie spada poniżej 1 % wartości krawędzi fundamentu. Jeżeli znana jest wartość odniesienia dla  $s_0$ , wartość  $s$  jest obliczana według: Równanie 4.17. W wyniku otrzymywana jest wartość  $C_v$  według: Równanie 4.15 i Równanie 4.16. W przypadku braku wymiarów, gdy możliwe jest jedynie określanie lub szacowanie wartości  $C_v$  na podstawie typu gruntu, wartość  $s$  można wyprowadzić w następujący sposób:

$$s_x = \sqrt{\frac{C_{v,x}}{C_{u,z}}} \quad \text{lub} \quad s_y = \sqrt{\frac{C_{v,y}}{C_{u,z}}}$$

Równanie 4.18

Określenie  $C_v$  stanowi główny problem podczas stosowania modelu podłoża według PASTERNAKA. Jeżeli  $C_v$  osiągnie wartość zero, model ten zamienia się na wadliwy energetycznie model WINKLERA. Jeżeli  $C_v$  osiągnie nieskończoność, zasięg niecki obniżeń  $s_0$  również stanie się nieskończony. W takim przypadku energia odkształcenia gruntu staje się wyrażeniem nieskończonym, a zmiany osiadania oraz same osiadania osiągają wartość zero. Z tego powodu nierealistycznie wysokie wartości  $C_v$  powodują problemy numeryczne w algorytmie ES.

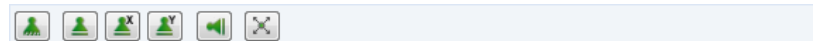
Przykładowo dla piasków sypkich  $C_v$  osiąga wartość zerową. W przypadku skał litych, można natomiast założyć, że wynosi ona prawie  $1,0 \cdot C_{u,z}$ .

KOLAR [17] przygotował streszczoną tabelę z następującymi wartościami orientacyjnymi. Należy pamiętać, że nie zastępują one wartości z badań gruntu.

Konsystencja gruntu	$C_{u,z}$	Nośność na ścinanie $C_v$		
		Brak	Średnia	Wysoka
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
Bardzo miękka	1 000	0	500	1 000
Średnio-gęsta	10 000	0	5 000	10 000
Zbita	100 000	0	50 000	100 000

Tabela 4.5: Wartości orientacyjne dla  $C_{u,z}$  i  $C_v$ 

Okno dialogowe *Nowa podpora powierzchniowa* (zobacz Rysunek 4.102 na stronie 114) posiada przyciski dla różnych typów podparcia, ułatwiające definiowanie stopni swobody.

Rysunek 4.104: Przyciski w oknie dialogowym *Nowa podpora powierzchniowa*

Przyciski te posiadają następujące funkcje:







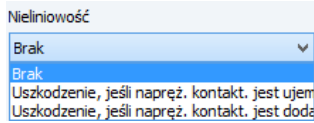
Przycisk	Typ podparcia
	Utwierdzenie
	Przemieszczenie w x i y
	Przemieszczenie w x
	Przemieszczenie w y
	Przemieszczenie w z
	Wolne

Tabela 4.6: Przyciski w oknie dialogowym *Podpora powierzchniowa*



### Nieliniowość

Podporę można wyłączyć dla dodatnich lub ujemnych naprężeń kontaktowych pojawiających się w kierunku przemieszczenia  $u_z$ : fundament przykładowo ulega uszkodzeniu w przypadku sił wyciągających. Ustawienia określa się przy użyciu listy dostępnej w oknie dialogowym lub w tabeli (zobacz Rysunek 4.103 na stronie 114).

Określenia *Dodatnie* lub *Ujemne* odnoszą się do naprężeń oddziałujących w kierunku lokalnej osi z powierzchni (lub w kierunku przeciwnym). Dodatnie naprężenia kontaktowe powstają, gdy płyta stropowa jest obciążona ciężarem własnym, a globalna oś Z oraz lokalna oś z są skierowane w dół. Jeżeli oś z powierzchni byłaby zorientowana w górę, naprężenie kontaktowe byłoby ujemne.

Opcja wyświetlania lokalnych osi powierzchni została pokazana na: Rysunek 4.73 na stronie 90.

Podpory powierzchniowe efektywne nieliniowo wyświetlane są w grafice w innym kolorze. W tabeli, wartości charakterystyczne  $u_z$  tych podpór wyświetlane są w kolorze niebieskim.

W przypadku wystąpienia nieliniowości, program RFEM oblicza odkształcenia i naprężenia w kilku krokach iteracyjnych. Program wyszukuje, które elementy skończone zostaną uwolnione od naprężeń, jeżeli fundament nie będzie już aktywny z powodu uszkodzenia.



Należy zauważyć, że w przypadku kombinacji wyników z podporami oddziałującymi nieliniowo, może się zdarzyć, że wyniki zostaną połączone z uszkodzeniem podpory wykazującym różnice w poszczególnych miejscach. W takich przypadkach zaleca się wykorzystać kombinacje obciążeń (zobacz przykład na Rysunek 5.28 na stronie 211).

## 4.10 Zwolnienia liniowe

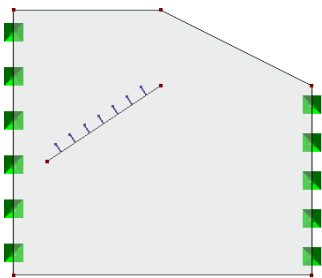
### Opis ogólny

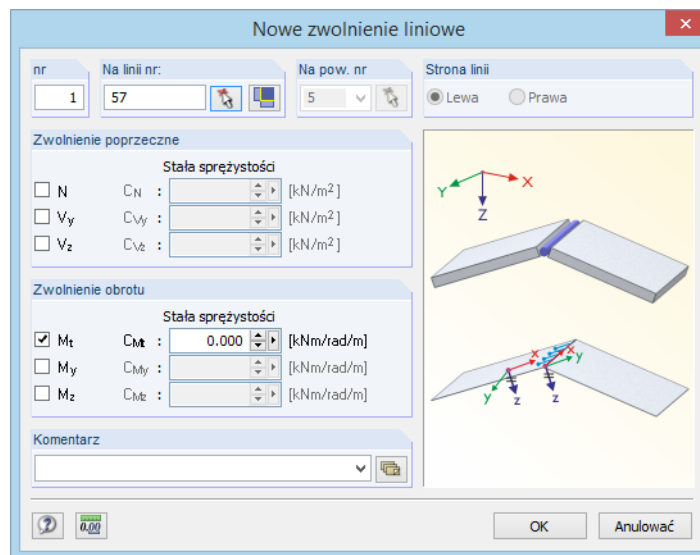
Powierzchnie stykające się na jednej linii są przyłączone do niej sztywno. Przy użyciu zwolnienia liniowego można wykluczyć przenoszenie oddziaływań przez poszczególne stopnie swobody.

Zwolnienia liniowe można umieścić na liniach granicznych powierzchni. Oprócz tego można przydzielić je do linii zintegrowanych w powierzchni, jak zostało to pokazane na lewym marginesie tej strony.

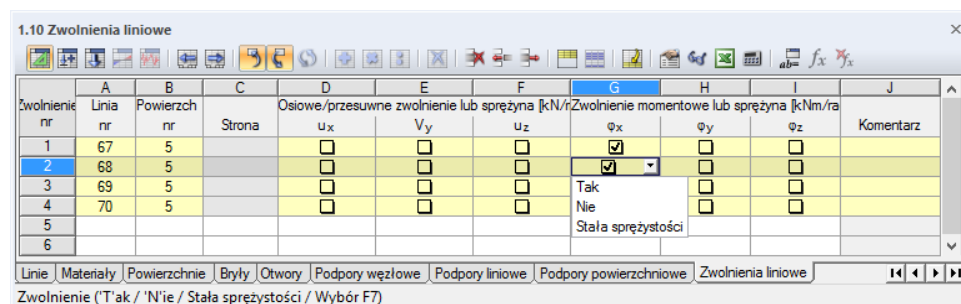
Zwolnienie liniowe stanowi atrybut powierzchni, a nie linii. Z tego powodu musi ono zostać przydzielone do powierzchni. W celu graficznego przydzielenia zwolnienia liniowego,

należy wybrać opcję **Dane modelu** w menu **Wstawić**, wskazać opcję **Zwolnienia liniowe**, a następnie kliknąć **Przydzielić liniom graficznie**.





Rysunek 4.105: Okno dialogowe *Nowe zwolnienie liniowe*



Zwolnienie nr	A Linia nr	B Powierzch nr	C Strona	D Osiowe/przesuwne zwolnienie lub sprężyna [kN/r]	E Vy	F uz	G φx	H φy	I φz	J Komentarz
1	67	5		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	68	5		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	69	5		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tak	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	70	5		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5							Stała sprężystości			
6										

Rysunek 4.106: Tabela 1.10 *Zwolnienia liniowe*

### Na linii



Należy tutaj wprowadzić numer linii, na której ma zostać zdefiniowane zwolnienie. W tym samym celu można również wykorzystać listę lub wybrać linię graficznie. W przypadku wybrania powierzchni przez zdefiniowanie ustawień w oknie dialogowym, można zaimportować wszystkie linie graniczne powierzchni poprzez kliknięcie przycisku [Wszystkie linie graniczne].

### Na powierzchni

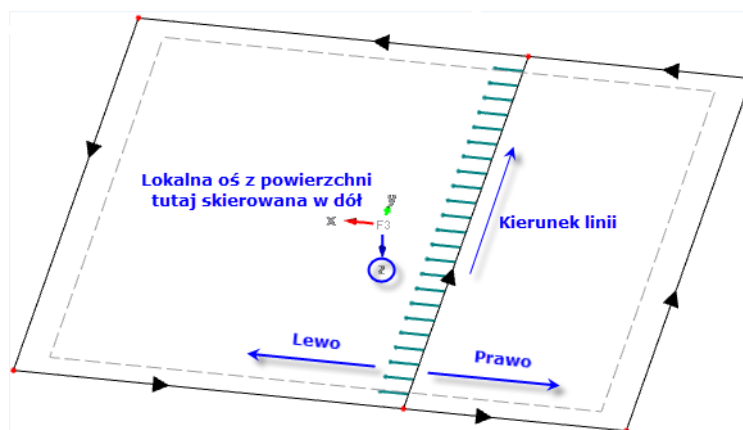


Opcja ta przydziela zwolnienie liniowe do powierzchni. Ponieważ zwolnienie stanowi charakterystykę powierzchni, można dostosować je później w oknie dialogowym *Edytować powierzchnię*.

### Strona linii

Opcje w oknie dialogowym lub odpowiednia kolumna w tabeli są dostępne, jeżeli linia jest zintegrowanym obiektem powierzchni. Umieszczenie zwolnienie określa sposób, w jaki elementy skończone znajdujące się po obu stronach linii są uwzględniane dla sztywności.

Stopnie swobody odnoszą się do układu osi linii (zob. Rysunek 4.96 na stronie 109), a nie do układu osi powierzchni. Niemniej oś z powierzchni wpływa na definiowanie *Lewej* lub *Prawej* strony według następującej reguły opisowej: "Podczas patrzenia na linię, lokalna oś z powierzchni skierowana jest w dół, a podczas patrzenia w kierunku linii, lewa i prawa strona znajdują się po stronie lewej i prawej ręki".



Rysunek 4.107: Definiowanie stron linii

Opcja wyboru strony nie jest dostępna dla linii granicznej powierzchni, ponieważ strona linii, na której zwolnienie jest efektywne, jest jednoznacznie zdefiniowana poprzez jego przydzielenie do powierzchni.

### Osiowe/przesuwne zwolnienie lub sprężystość

Te pola wprowadzania okna dialogowego i kolumny tabeli służą do kontrolowania stopni swobody dla sił osiowych i tnących. Jeśli pole wyboru jest zaznaczone, przesuw w danym kierunku jest możliwy, a siła nie zostanie przeniesiona. Możliwe jest również wprowadzenie stałej sprężystości przy przesuwie.

Stopnie swobody odnoszą się do lokalnego układu osi linii  $x,y,z$ . Osie te można wyświetlić przy użyciu nawigatora *Wyświetl* (zobacz Rysunek 4.96 na stronie 109) lub menu kontekstowego linii.

### Zwolnienie momentowe lub sprężystość

Stopnie swobody dla momentów odnoszą się do lokalnego układu osi linii  $x,y,z$ . Po zaznaczeniu pola wyboru, nie zostanie przeniesiony odpowiedni moment. Możliwe jest również wprowadzenie stałej sprężystości obrotowej.



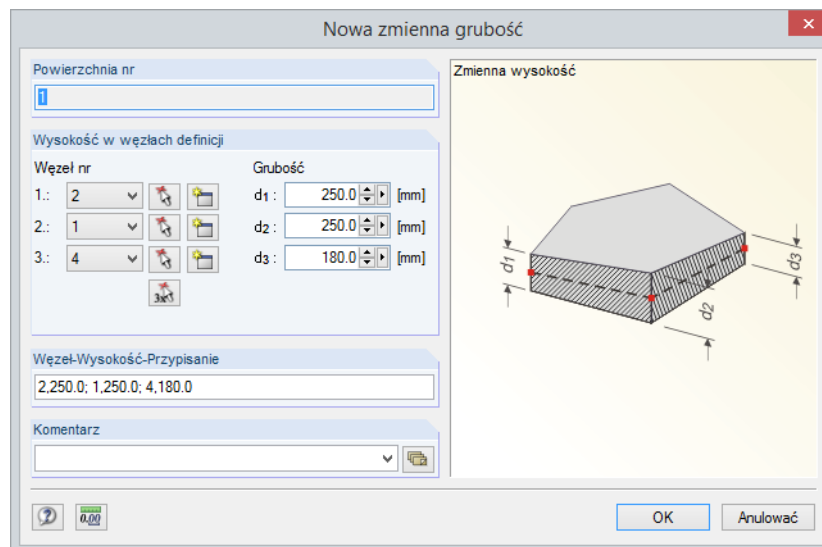
Mały rysunek w oknie dialogowym *Nowe zwolnienie liniowe* pokazuje kierunek momentów. Zwolnienie liniowe zazwyczaj wykorzystywane jest jako "połączenie przegubowe" pomiędzy dwiema powierzchniami. W takim przypadku stosowany jest typ zwolnienia  $M_r$ , oznaczający zwolnienie względem podłużnej osi  $x$  linii.

## 4.11 Grubości zmienne

### Opis ogólny

Grubość zmienna opisuje liniowy spadek lub wzrost grubości powierzchni. Grubości zmienne służą do modelowania powierzchni o zmiennej grubości przekroju. Grubość zmienna musi być zdefiniowana w trzech punktach, w celu umożliwienia liniowej interpolacji pomiędzy nimi.

Grubość zmienna nie jest wprowadzana bezpośrednio, ale ustawiana jako parametr w trakcie definiowania powierzchni. W tym celu, podczas tworzenia powierzchni, należy zdefiniować **Grubość** jako **Zmienną** (zobacz rozdział 4.4 na stronie 87). Opcja ta uaktywni przyciski [Edytować] okna dialogowego i tabeli, pokazane na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 4.108: Okno dialogowe *Edytować grubość zmienną*

Pow. nr	1. węzeł		2. węzeł		3. węzeł		Komentarz
	nr	d <sub>1</sub> [mm]	nr	d <sub>2</sub> [mm]	nr	d <sub>3</sub> [mm]	
2	45	250.0	46	250.0	48	180.0	

Rysunek 4.109: Tabela 1.11 *Grubości zmienne*

### Powierzchnia

Grubość zmienna może zostać zdefiniowana jedynie w przypadku powierzchni płaskich. Grubości zmiennych nie można używać, na przykład, podczas używania powierzchni zakrzywionych.

### Grubość zmienna w trzech węzłach

W celu zdefiniowania grubości zmiennej, należy określić trzy węzły, aby program RFEM mógł dokonać liniowej interpolacji pomiędzy nimi. W tym celu można wybrać dowolne węzły w płaszczyźnie powierzchni. Węzły te nie muszą należeć do powierzchni, ale wymagane jest, aby w tych punktach definicji mogły być generowane węzły ES.

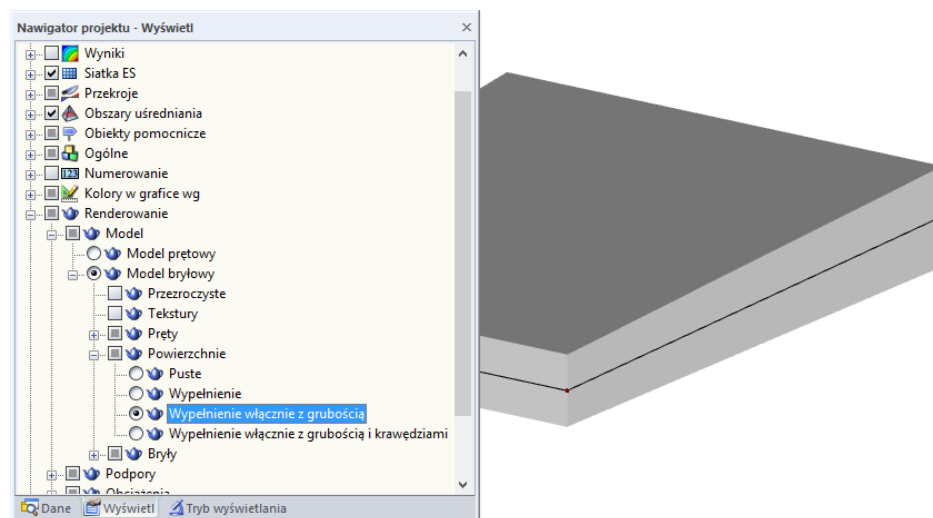
Wymagane trzy węzły można wybrać z listy lub użyć funkcji [↖], aby wybrać je z rysunku. Możliwe jest również utworzenie [Nowych] węzłów. Następnie należy przydzielić odpowiednią **Grubość d**.





Sekcja okna dialogowego *Przydzielanie grubości węzła* stanowi krótki przegląd danych. Numery węzłów i grubości oddzielone są przecinkiem, a pojedyncze pary węzeł-grubość oddzielone są średnikiem.

Możliwe jest wyświetlenie rozkładu grubości powierzchni w trybie renderowania, w celu sprawdzenia danych. W tym celu w nawigаторze *Wyświetl* należy wybrać opcję *Wypełnianie włącznie z grubością*.



Rysunek 4.110: Nawigator *Wyświetl*: Renderowanie → Model → Model bryłowy → Powierzchnia → Wypełnianie włącznie z grubością

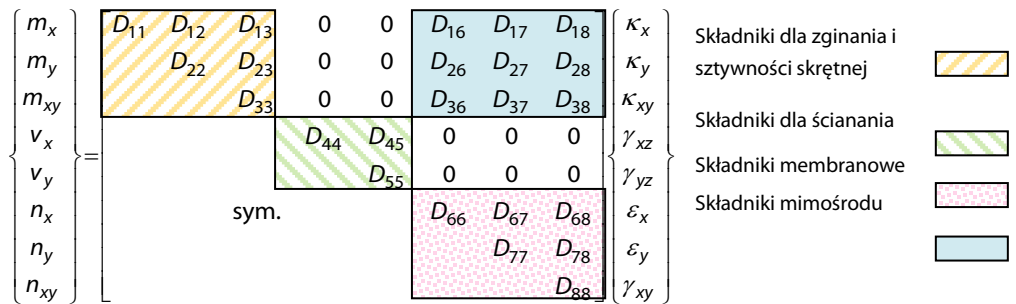
## 4.12 Powierzchnie ortotropowe

### Opis ogólny

Powierzchnie ortotropowe posiadają różne sztywności w kierunku lokalnych osi  $x$  i  $y$  powierzchni. Ortotropowe charakterystyki powierzchni używane są do modelowania na przykład dźwigarów z drewna glu-lam lub stropów żebrowych. Charakterystyki ortotropowe można ustawić w przypadku powierzchni płaskich i czworokątnych.

Charakterystyki ortotropowe można ustawić poprzez wybór odpowiedniego materiału (ortotropia materiału o stałej geometrii), geometrii (nieregularny kształt powierzchni z materiałem izotropowym) lub poprzez kombinację obu tych możliwości.

Poniższy rysunek przedstawia ogólną macierz sztywności powierzchni ortotropowej w programie RFEM.



Rysunek 4.111: Macierz ze współczynnikami sztywności

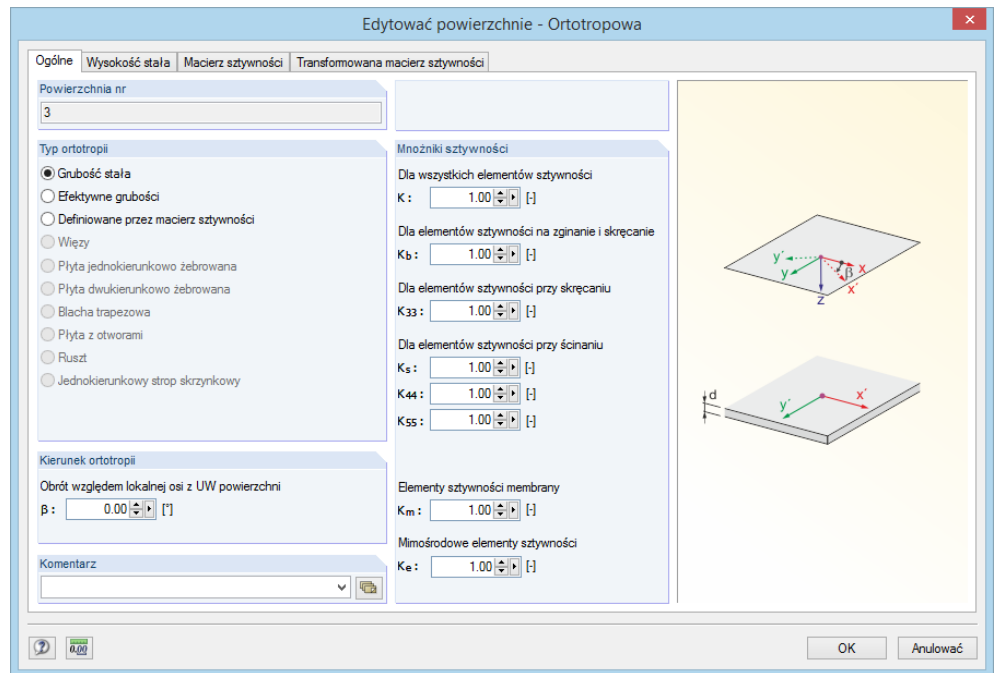
Powierzchnie ortotropowe można obliczać według liniowej analizy statycznej, analizy drugiego rzędu lub analizy dużych deformacji. W przypadku macierzy zawierających tylko współczynniki membranowe, możliwa jest jedynie analiza dużych deformacji.



Szczegółowe informacje na temat *Ortotropii* znajdują się w osobnym dokumencie, który można pobrać ze strony internetowej firmy Dlubal pod adresem [www.dlubal.com/pl/pobieranie-instrukcji.aspx](http://www.dlubal.com/pl/pobieranie-instrukcji.aspx).



Ortotropia nie jest wprowadzana bezpośrednio, ale jako parametr, podczas definiowania powierzchni. Podczas tworzenia nowej powierzchni, należy zdefiniować *Sztywność* jako **Ortotropową** lub jako **Ortotropową membranę** (zobacz rozdział 4.4 na stronie 86). Opcja ta uaktywni przyciski [Edytować] w oknie dialogowym i tabeli, pokazane na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 4.112: Okno dialogowe Edytować powierzchnię – Ortotropowa

1.12 Powierzchnie ortotropowe i membrany

Pow. nr	Szywność	Typ ortotropii	Ortotropowy				Współczynniki redukcji sztyw		
			Kierunek $\beta$ [°]	K	$K_b$	$K_{33}$	$K_s$	$K_{44}$	
3	Ortotropowy	Wysokość stała	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
4	Ortotropowy	Wysokość stała	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
7	Ortotropowy	Wysokość stała	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

Podpory liniowe | Podpory powierzchniowe | Zwolnienia liniowe | Zmienne wysokości | Powierzchnie ortotropowe i membrany | Przekroje

Typ szywności

Rysunek 4.113: Tabela 1.12 Powierzchnie ortotropowe

Okno dialogowe podzielone jest na kilka zakładek, które zależą od wybranego *Typu ortotropii*.

W sekcji okna dialogowego *Mnożniki sztywności* można globalnie zredukować sztywność przy użyciu współczynnika  $K$  lub dokonać redukcji indywidualnie dla zginania, skręcania, ścinania oraz membranowych składowych sztywności (zobacz na stronie 126).

W zakładce *Macierz sztywności* pokazane są odpowiednie elementy macierzy (zobacz Rysunek 4.114).

Elementy sztywności macierzy zostaną dostosowane według Równanie 4.1 podczas importu z programu RFEM 4.

## Definicja

Powierzchnie ortotropowe można zdefiniować poprzez parametry materiału i geometrii lub bezpośrednio poprzez współczynniki lokalnej macierzy sztywności. Zakładki okna dialogowego zmieniają się w zależności od wprowadzanych specyfikacji.

Typy ortotropii zostały opisane w dalszej części instrukcji. Dla każdego typu definicji należy określić grubość zastępczą, która zostanie zastosowana podczas określania ciężaru własnego.

### Grubość stała

Program RFEM wykorzystuje ortotropowe charakterystyki materiału, które zostały zdefiniowane w oknie dialogowym *Model materiały - Ortotropowy sprężysty 2D* (zobacz Rysunek 4.47 na stronie 70). Typ ten jest odpowiedni jedynie w przypadku powierzchni homogenicznych o jednakowej grubości, których materiał posiada różne charakterystyki ortotropowe.

### Efektywne grubości

W zakładce okna dialogowego *Grubości efektywne* można zdefiniować różne grubości w kierunku  $x'$  i  $y'$ , w celu odwzorowania niejednakowych warunków sztywności.

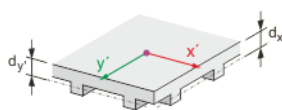
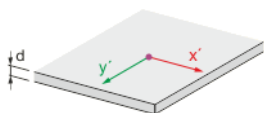
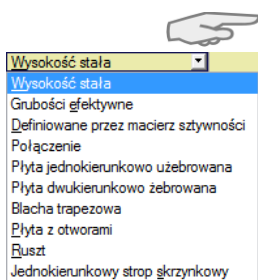
Ciężar własny nie jest określany na podstawie grubości wprowadzonych w tym oknie dialogowym. Program RFEM określa go na podstawie grubości powierzchni wprowadzonej w oknie dialogowym *Edytować powierzchnię* lub w tabeli 1.4 *Powierzchnie*. Wykorzystywana jest ona również podczas obliczania naprężeń.

Program RFEM pokazuje moduły sprężystości oraz ścinania materiału, który jest używany (zobacz rozdział 4.3 na stronie 70), pozwalając tym samym na sprawdzenie odpowiednich danych. Alternatywnie można kontrolować charakterystyki ortotropowe w ustawieniach materiału oraz definiować takie same grubości dla kierunków  $x'$  i  $y'$ .

RFEM nie oblicza żadnych naprężeń dla powierzchni ortotropowych: poszczególne współczynniki sztywności powodują "rozmycie" wyników, ponieważ odnoszą się do średniej grubości. Naprężenia te nie odpowiadają modelowi ortotropowemu.

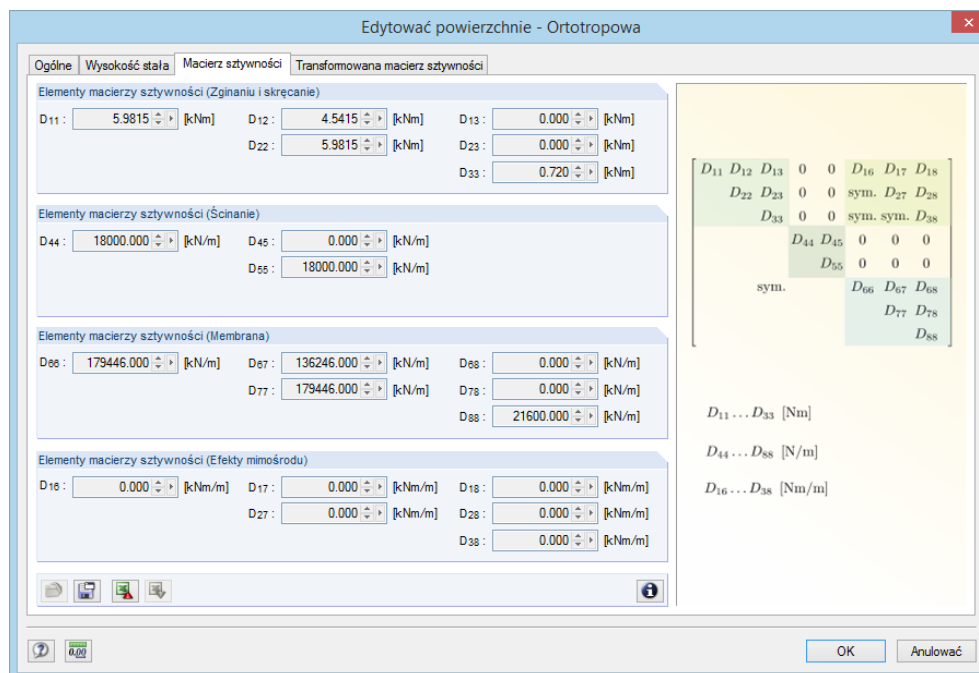
### Definiowane przez macierz sztywności

Współczynniki lokalnej macierzy sztywności można zdefiniować ręcznie.





Przy użyciu tej opcji można również dostosować wygenerowane współczynniki (na przykład więź lub strop żebrowy) przy użyciu ustawień zdefiniowanych przez użytkownika.



Rysunek 4.114: Okno dialogowe *Edytować powierzchnię - Ortotropowa*, zakładka *Macierz sztywności*



Przycisk [Informacje] podaje informacje na temat poprawności współczynników w macierzy sztywności.

Jeżeli osie ortotropii nie zgadzają się z osiami układu współrzędnych elementów, należy dokonać transformacji macierzy (zobacz [16] na stronie 305-313).

Odpowiednie modyfikacje współczynników są wymagane, gdy podczas sprawdzania danych przed rozpoczęciem obliczeń okaże się, że macierz sztywności nie jest dodatnio określona.

### Więzy

Opcja ta służy do modelowania więzi pomiędzy powierzchniami lub prętami, które są reprezentowane przez elementy łączące utworzone z materiału izotropowego.

W zakładce okna dialogowego *Więzy* wprowadza się parametry grubość więzi  $d_p$ , rozstaw więzi  $a$  oraz szerokość więzi  $b$  według schematu. Realistyczny model więzi powstanie, gdy odległość  $a$  będzie większa niż szerokość  $b$  połączonych elementów.

Grubość efektywna  $d^*$  określana jest według równania:

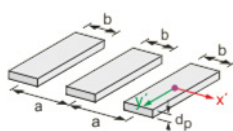
$$d^* = d_p \cdot \frac{b}{a}$$

Równanie 4.19

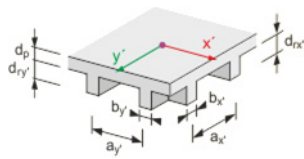
### Płyta jednokierunkowo żebrowana

Ortotropowe charakterystyki stropu żebrowego zakładane są na zasadzie jednoosiowo obciążonego stropu z belek teowych. Program RFEM określa sztywności na podstawie parametrów geometrii grubości płyty  $d_p$ , wysokości żebra  $d_r$ , rozstawu żebrow  $a$  oraz szerokości żebra  $b$ , które należy określić według schematu pokazanego w zakładce *Płyta jednokierunkowo żebrowana*.

Należy pamiętać, że podczas określania sztywności nie jest uwzględniane powstawanie rys (np. stan II dla betonu). Dozwolone są jedynie materiały izotropowe.



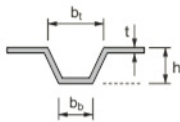
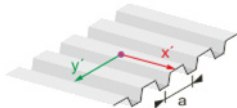
### Płyta dwukierunkowo żebrowana



Ten typ stropu charakteryzowany jest przez średniki krzyżujące się prostopadle, tworzące równomierną siatkę dzielącą strop na kasetony. Charakterystyki ortotropowe można opisać, tak jak dla stropów żebrowych przy użyciu geometrii (zobacz powyżej). Parametry sztywności należy określić dla dwóch kierunków.

W zakładce *Płyta dwukierunkowo żebrowana* określa się parametry dla grubości płyty  $d_p$ , wysokości żebra  $d_r$ , rozstawu żebrow  $a$  oraz szerokości żebra  $b$  dla kierunków  $x'$  oraz  $y'$  według schematu.

### Blacha trapezowa

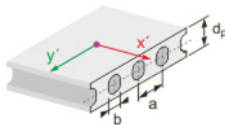


Możliwość przedstawienia blach trapezowych za pomocą powierzchni o charakterystykach ortotropowych znacząco ułatwia modelowanie powierzchni. Program RFEM określa współczynniki sztywności na podstawie parametrów geometrii przekroju. Dozwolone są tylko materiały izotropowe.

W zakładce okna dialogowego *Blacha trapezowa* określa się parametry dla grubości arkusza  $t$ , całkowitej wysokości profilu  $h$ , rozstawu żebrow  $a$ , szerokości górnej półki  $b_t$  oraz szerokości dolnej półki  $b_b$  według schematu.

Dozwolone są tylko materiały izotropowe tak, jak w przypadku wszystkich innych ortotropii geometrycznych (grubości efektywne, stropy żebrowe, stropy kasetonowe, betonowy strop zespolony).

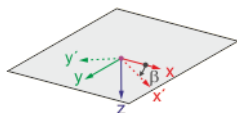
### Płyta z otworami



Puste elementy wbudowane w strop pozwalają zredukować ciężar własny, ale prowadzą do powstania ortotropowego zachowania się konstrukcji. Program RFEM określa sztywności na podstawie parametrów geometrii grubości płyty  $d_p$ , rozmieszczenia wolnych przestrzeni  $a$  oraz średnicy wolnej przestrzeni  $b$ , które należy określić według schematu pokazanego w zakładce okna dialogowego *Płyta z otworami*.

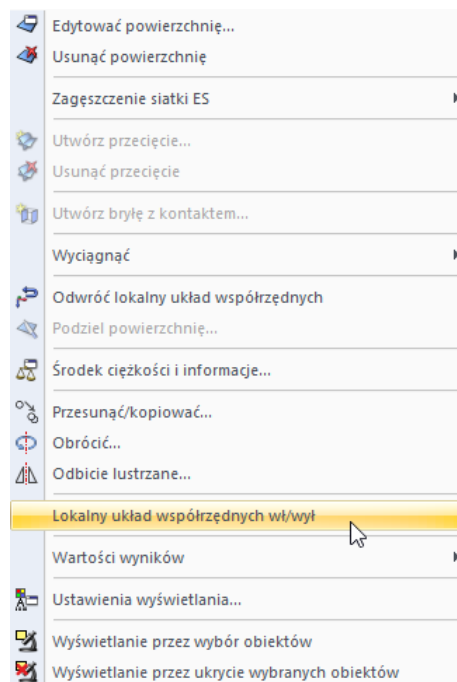
Szczegółowe informacje na temat składowych sztywności określanych na podstawie specyfikacji geometrycznych znajdują się w dokumencie, który można pobrać z naszej strony internetowej [www.dlubal.com/pl/pobieranie-instrukcji.aspx](http://www.dlubal.com/pl/pobieranie-instrukcji.aspx).

### Kierunek ortotropii $\beta$



Kierunek ortotropii odnosi się do lokalnych osi  $x$  i  $y$  powierzchni. Kąt  $\beta$  opisuje obrót osi  $x'$  względem lokalnej osi  $x$  powierzchni. Odpowiada on za transformację macierzy dostępnych w zakładce okna dialogowego *Transformowana macierz sztywności*.

Przy użyciu nawigatora *Wyświetl* lub menu kontekstowego powierzchni można wyświetlić w grafice układy współrzędnych powierzchni.



Rysunek 4.115: Menu kontekstowe powierzchni używane do wyświetlania lokalnych układów współrzędnych powierzchni  $xyz$

Dodatni kąt  $\beta$  jest określany zgodnie z ruchem wskazówek zegara względem dodatniej lokalnej osi z powierzchni.

### Współczynniki redukujące sztywność

Sztywność można zredukować globalnie przy użyciu współczynnika  $K$  lub indywidualnie dla zginania, skręcania, ścinania oraz membranowych składników macierzy (zobacz Rysunek 4.111 na stronie 122).

#### Dla wszystkich składników sztywności

Wszystkie współczynniki macierzy sztywności są globalnie mnożone przez wprowadzony mnożnik.

#### Dla składników sztywności na zginanie

Przy użyciu mnożnika  $K_b$  dostosowuje się współczynniki  $D_{11}$ ,  $D_{12}$ ,  $D_{22}$  i  $D_{33}$  macierzy sztywności; stanowią one składowe zginania. Wartości tego mnożnika można wprowadzać w zakresie od 0 (brak nośności na zginanie) do 1 (pełna nośność na zginanie).

#### Dla składników sztywności przy skręcaniu

Przy użyciu wartości wprowadzanej w polu wprowadzania  $K_{33}$  można ustawić mnożnik dla sztywności przy skręcaniu  $D_{33}$  względem osi  $x'$  i  $y'$ . Wartości tego mnożnika można wprowadzać w zakresie od 0 (brak sztywności przy skręcaniu) do 1 (pełna sztywność przy skręcaniu). Na przykład w przypadku konstrukcji kompozytowych z połączeniami półsztywnymi zalecane są niższe wartości tego mnożnika.

#### Dla składowych sztywności przy ścinaniu

Mnożniki  $K_{44}$  i  $K_{55}$  wpływają na współczynniki  $D_{44}$  i  $D_{55}$  macierzy (składowe dla ścinania).

#### Składowe sztywności macierzy

Przy użyciu mnożnika  $K_m$  dostosowuje się współczynniki  $D_{66}$ ,  $D_{77}$ ,  $D_{67}$  i  $D_{88}$  macierzy sztywności; stanowią one składowe siły osiowej. Wartości tego mnożnika można wprowadzać w zakresie od 0 (brak sztywności membranowej) do 1 (pełna sztywność membranowa).

## 4.13 Przekroje

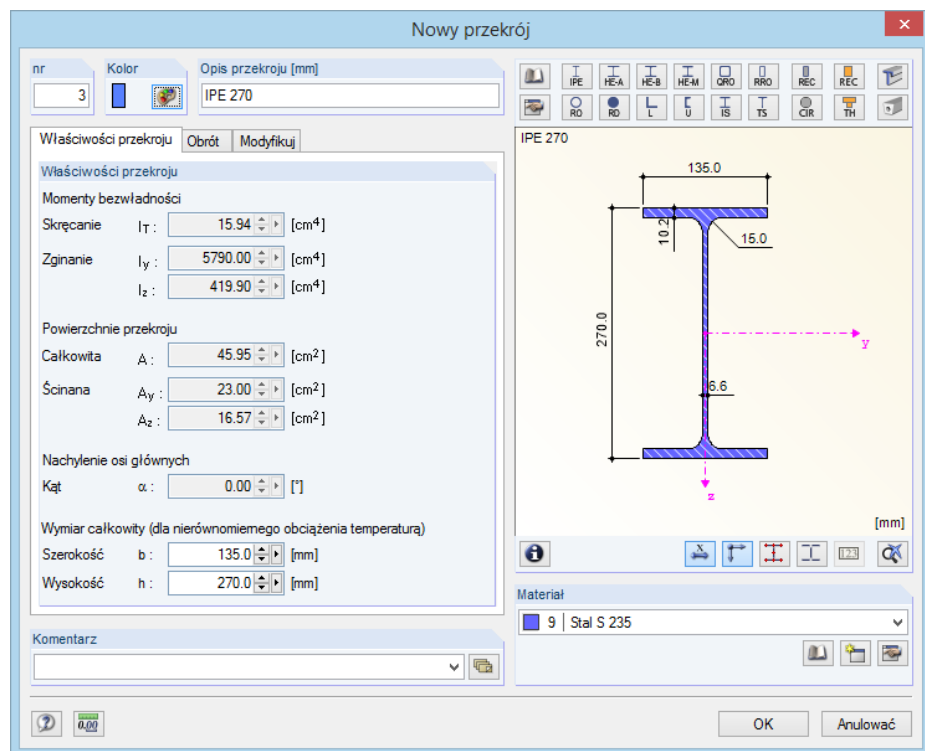
### Opis ogólny

Pręt można wprowadzić jedynie po zdefiniowaniu przekroju. Przydzielone charakterystyki przekroju i materiału określają sztywność pręta.

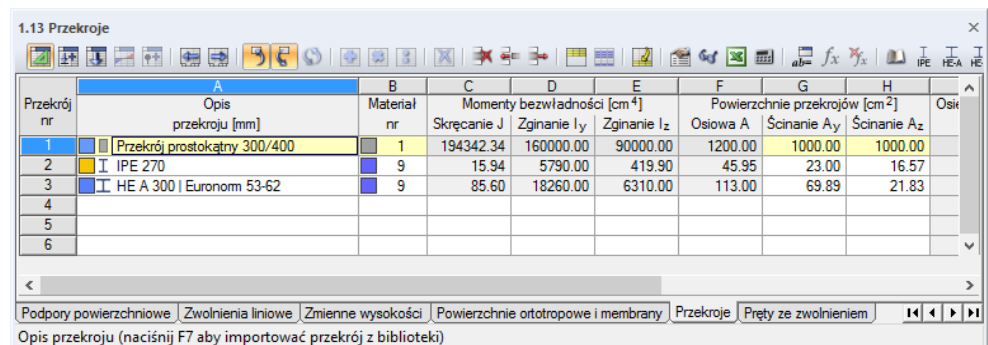
Każdy przekrój posiada swój własny *Kolor*, który w modelu może zostać wykorzystany do przedstawienia różnych profili. Kolorami zarządza się w nawigatorze *Wyświetl*, przy użyciu ustawień w sekcji *Kolory w renderowaniu według* (zobacz rozdział 11.1.9 na stronie 454).

Podczas wprowadzania modelu nie trzeba wykorzystywać każdego ze zdefiniowanych przekrojów. Dzięki temu w trakcie modelowania konstrukcji można eksperymentować bez potrzeby usuwania przekrojów. Należy jednak przy tym pamiętać, że nie jest możliwa zmiana numeracji przekrojów.

Aby zamodelować belkę o zmiennym przekroju, należy zdefiniować różne przekroje na początku i na końcu pręta. Program RFEM automatycznie określa sztywności zmienne wzdłuż pręta.



Rysunek 4.116: Okno dialogowe *Nowy przekrój*, zakładka *Charakterystyki przekroju*



Przekrój nr	Opis przekroju [mm]	Materiał nr	Momenty bezwładności [cm <sup>4</sup> ]			Powierzchnie przekrojów [cm <sup>2</sup> ]			Oś
			Skęrcanie J	Zginanie I <sub>y</sub>	Zginanie I <sub>z</sub>	Osiowa A	Ścinanie A <sub>y</sub>	Ścinanie A <sub>z</sub>	
1	Przekrój prostokątny 300/400	1	194342.34	160000.00	90000.00	1200.00	1000.00	1000.00	
2	IPE 270	9	15.94	5790.00	419.90	45.95	23.00	16.57	
3	HE A 300   Euronorm 53-62	9	85.60	18260.00	6310.00	113.00	69.89	21.83	
4									
5									
6									

Rysunek 4.117: Tabela 1.13 *Przekroje*

Charakterystyk przekroju nie trzeba wprowadzać ręcznie. Program RFEM posiada obszerną i rozszerzalną bibliotekę przekrojów oraz opcje importu.

### Opis przekroju

*Opis przekroju* może być dowolny. Jeżeli wprowadzona nazwa przekroju odpowiada wpisowi w bibliotece przekrojów, program RFEM automatycznie zaimportuje jego parametry. W tym przypadku nie można jednak zmienić wartości dla *Momentów bezwładności* ani wpisów w polu *Całkowita A*. W przypadku opisów przekroju zdefiniowanych przez użytkownika, można ręcznie wprowadzić skracające momenty bezwładności oraz pola przekroju.

Wartości charakterystyczne parametryzowanych przekrojów są również importowane automatycznie. Na przykład w przypadku wprowadzenia "Prostokąta 80/140", automatycznie pojawią się parametry tego przekroju.

Wybieranie przekrojów z biblioteki zostało opisane w dalszej części instrukcji.



Dodatkowo możliwe jest wykorzystanie sztywnego przekroju fikcyjnego w celu zamodelowania połączeń. Program RFEM stosuje sztywności dla tego typu przekroju tak, jak w przypadku prętów łączących. W tym celu należy wprowadzić nazwę **Dummy Rigid**, jako opis przekroju, bez definiowania szczegółowych wartości przekroju. W ten sposób można wykorzystać pręty o dużym stopniu sztywności, uwzględniając zwolnienia lub inne właściwości prętów. Nowym wariantem w programie RFEM 5 jest pręt typu *Pręt sztywny*, który pozwala na pominięcie definiowania *Dummy Rigid*.

### Materiał

Materiał przekroju można wybrać z listy wstępnie zdefiniowanych materiałów. Przydzielanie ułatwiają kolory materiału używane domyślnie dla renderowanego przedstawienia graficznego.



Pod listą w oknie dialogowym *Nowy przekrój* znajdują się trzy przyciski służące do otwierania biblioteki materiałów, tworzenia nowego materiału lub edycji istniejących materiałów.

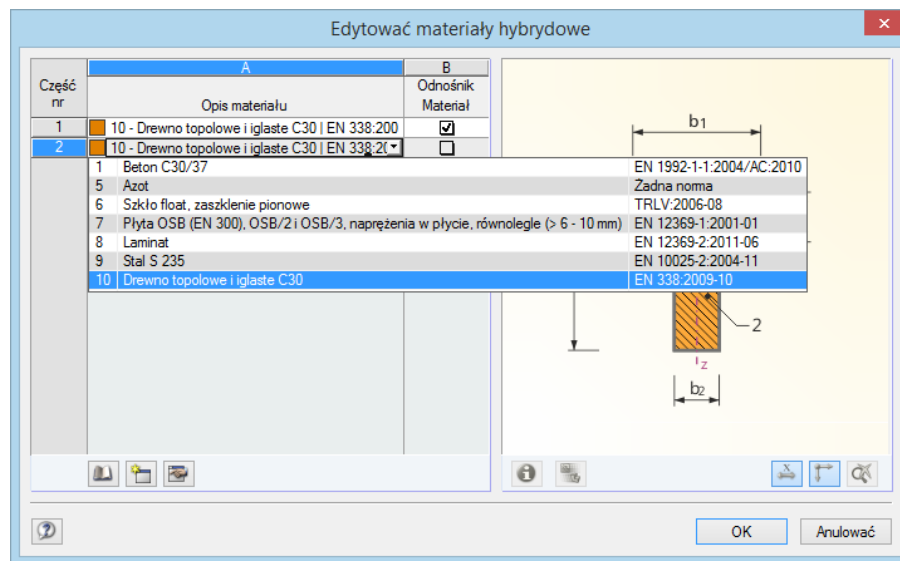
Więcej szczegółowych informacji na temat materiałów, znajduje się w rozdziale 4.3 na stronie 64.

Opcja *Hybrydowy*, znajdująca się w oknie dialogowym dla prostokątnych przekrojów drewnianych, dostępna jest jedynie w przypadku parametryzowanych przekrojów drewnianych. Opcja ta służy do przydzielania specyficznych charakterystyk materiałowych do elementów przekroju w przypadku występowania różnych klas materiału (na przykład drewno niskiej klasy dla środków).



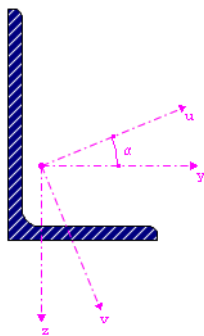
Klikając przycisk [Edytować], można otworzyć okno dialogowe *Edytować materiały hybrydowe*.





Rysunek 4.118: Okno dialogowe *Edytować materiały hybrydowe*

Należy przydzielić w nim materiały do poszczególnych części przekroju według schematu graficznego. Materiały te można wybrać z listy. Jeden z materiałów musi zostać zdefiniowany jako *Materiał odniesienia* używany do określania właściwości przekroju idealnego.

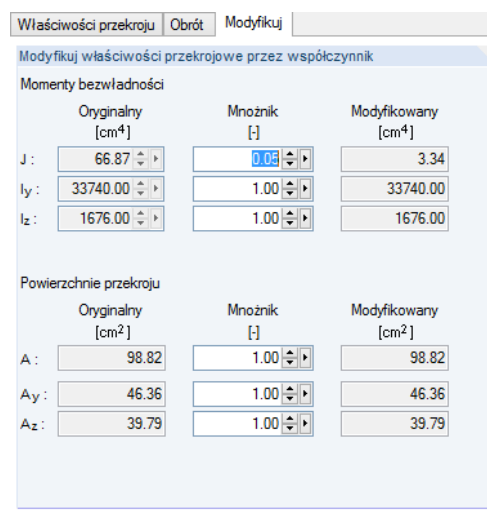


### Momenty bezwładności

Momenty bezwładności są wymagane dla sztywności przekroju. Stała skręcania  $J$  opisuje sztywność podczas obrotu względem osi podłużnej. Geometryczne momenty bezwładności  $I_y$  oraz  $I_z$  opisują sztywność podczas zginania względem lokalnych osi  $y$  i  $z$ . Oś  $y$  przyjmowana jest jako oś "silna". Lokalne osie przekroju są wyświetlane w grafice okna dialogowego *Nowy przekrój*.

Momenty bezwładności dla przekrojów niesymetrycznych wyświetlane są względem osi głównych  $u$  i  $v$  przekroju.

Momenty bezwładności oraz pola przekroju można dostosować w zakładce okna dialogowego *Modyfikuj*, poprzez wprowadzenie mnożników. Zakładkę tę można również otworzyć z tabeli. W tym celu należy kliknąć dowolną komórkę tabeli, aby uaktywnić przycisk [...].



Rysunek 4.119: Okno dialogowe *Nowy przekrój*, zakładka okna dialogowego *Modyfikuj*

Przy użyciu specyfikacji pokazanych na Rysunek 4.119, program RFEM uwzględni skręcający moment bezwładności jedynie w 5 %.

### Pola przekroju

Parametry przekroju w postaci pól przekroju są rozdzielone na pole całkowite *Osiowa A* oraz na pola na ścinanie *Ścinanie*  $A_y$  i  $A_z$ .

Pole na ścinanie  $A_y$  odnosi się do momentu bezwładności  $I_z$ , natomiast pole na ścinanie  $A_z$  odnosi się do  $I_y$ . W przypadku użycia współczynnika poprawkowego  $\kappa$ , można zaobserwować następującą korelację pomiędzy polami na ścinanie  $A_y$  i  $A_z$  oraz polem całkowitym  $A$ .

$$A_y = \frac{A}{\kappa_y}; \quad A_z = \frac{A}{\kappa_z}$$

Równanie 4.20

$$\kappa_{y/z} = \frac{A}{I_{z/y}^2} \cdot \iint_A \frac{Q_{z/y(x)}^2}{t(x)^2} dA$$

Równanie 4.21

gdzie	$A$	Całkowite pole przekroju
	$I_{z/y}$	Momenty bezwładności przekroju
	$Q_{z/y(x)}$	Momenty statyczne przekroju w położeniu $x$
	$t(x)$	Szerokość przekroju w położeniu $x$

Pola na ścinanie  $A_y$  i  $A_z$  wpływają na odkształcenie od ścinania, którą należy uwzględnić w szczególności w przypadku krótkich, masywnych prętów. Jeżeli pola na ścinanie będą miały wartość zero, nie zostanie uwzględniony wpływ ścinania. Parametry można również kontrolować w zakładce okna dialogowego *Globalne parametry obliczeń* okna dialogowego *Parametry obliczeń* (zobacz Rysunek 7.22 na stronie 292). Jeżeli dla pól na ścinanie zostaną ustawione ekstremalnie niskie wartości, mogą pojawić się problemy numeryczne, ponieważ są one wykorzystywane jako mianownik w równaniach.



Wartości pól przekroju należy wybierać w sposób realistyczny. Ekstremalne różnice pomiędzy polami przekroju wywołują znaczące różnice w sztywności, które mogą prowadzić do powstania problemów numerycznych podczas rozwiązywania układu równań.

### Kąt osi głównych $\alpha$

Osie główne są opisane jako  $y$  i  $z$  w przypadku przekrojów symetrycznych oraz jako  $u$  i  $v$  w przypadku przekrojów niesymetrycznych (zobacz powyżej). Kąt obrotu osi głównych  $\alpha$  opisuje położenie osi głównych w odniesieniu do standardowego układu współrzędnych dla przekrojów symetrycznych. W przypadku przekrojów niesymetrycznych jest to kąt pomiędzy osią  $y$  a osią  $u$  (zobacz rysunek pokazany powyżej na lewym marginesie strony). Kąt ten jest definiowany zgodnie z ruchem wskazówek zegara jako kąt dodatni. W przypadku ustawienia przekrojów symetrycznych, kąt  $\alpha$  wynosi 0. Pochylenie osi głównych dla przekrojów z biblioteki nie może zostać zmienione.

Kąt obrotu dla osi głównych określany jest przy użyciu następującego równania:

$$\tan 2\alpha = \frac{2 \cdot I_{yz}}{I_z - I_y}$$

Równanie 4.22

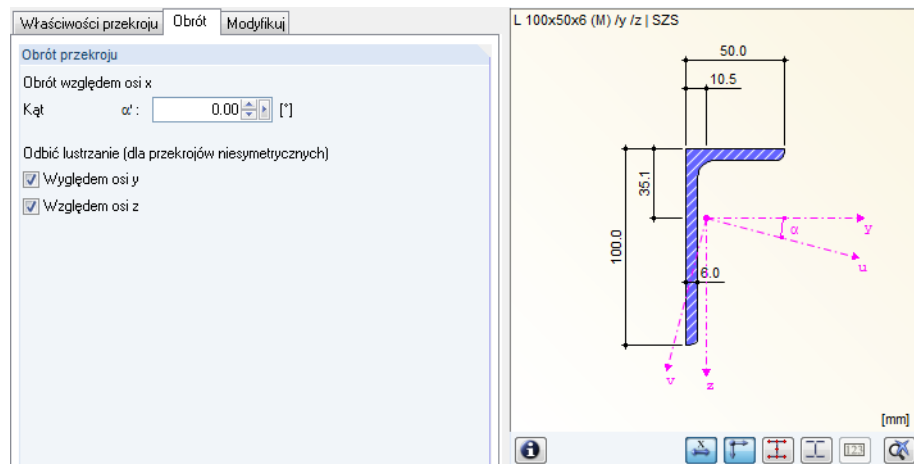


Podczas pracy z konstrukcjami 2D można ustawić jedynie  $0^\circ$  i  $180^\circ$  jako kąt obrotu przekroju.

### Obrót przekroju $\alpha'$

Kąt obrotu  $\alpha'$  opisuje kąt, o który są obrócone przekroje wszystkich prętów wykorzystujących ten przekrój. Stanowi on globalny kąt obrotu przekroju. Oprócz tego każdy pręt może zostać indywidualnie obrócony o kąt obrotu pręta  $\beta$ .

Oprócz tego zakładka okna dialogowego *Obrót* posiada opcję służącą do *Lustrzanego odbicia* przekrojów niesymetrycznych. Opcję tę można wykorzystać na przykład w celu ustawienia przekroju L w poprawnej pozycji.



Rysunek 4.120: Okno dialogowe *Nowy przekrój*, zakładka *Obrót*

Podczas importu przekroju z biblioteki przekrojów lub z dodatkowego modułu SHAPE-THIN, nie trzeba przejmować się kątem  $\alpha'$ . Program RFEM importuje ten kąt w taki sam sposób, jak inne charakterystyki przekroju. W przypadku przekrojów zdefiniowanych przez użytkownika, należy natomiast samemu określić kąt osi głównej i dostosować go ręcznie poprzez obrót przekroju.

### Wymiary całkowite

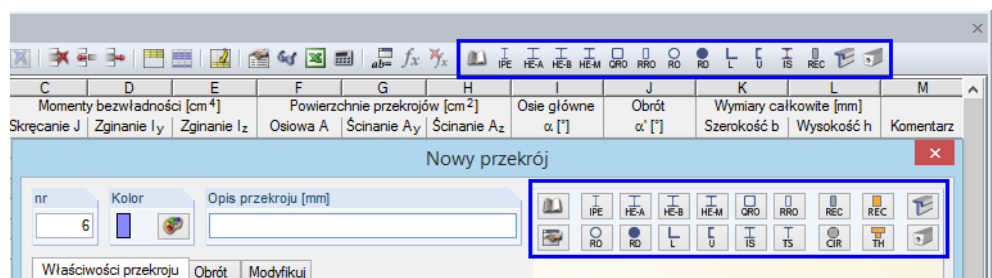
*Szerokość b* i *Wysokość h* przekroju mają duże znaczenie dla obciążeń termicznych.

### Biblioteka przekrojów

W bibliotece przekrojów jest dostępna duża ilość przekrojów.

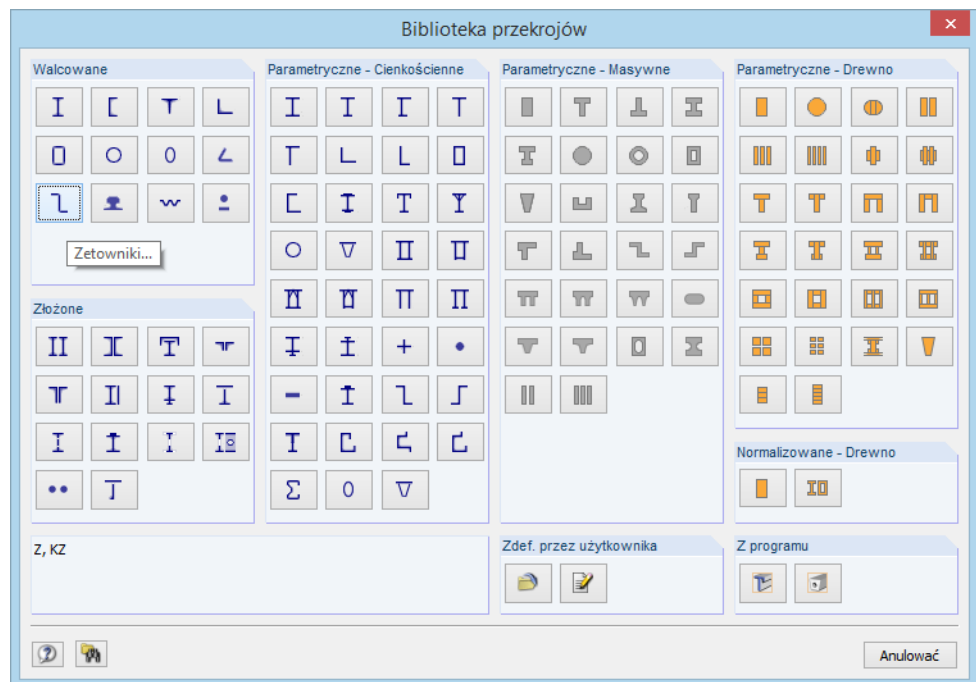
### Otwieranie biblioteki

Okno dialogowe *Nowy przekrój* i tabela 1.13 *Przekroje* pozwalają na bezpośredni dostęp do najczęściej używanych tabel przekrojów:



Rysunek 4.121: Przyciski najczęściej używanych przekrojów w tabeli (powyżej) i w oknie dialogowym (poniżej)

Przy użyciu przycisku [Biblioteka przekrojów] można otworzyć pełną bibliotekę przekrojów. Podczas pracy w tabeli, należy umieścić kursor w kolumnie A, w celu uaktywnienia przycisku [...], który można wykorzystać w ten sam sposób, jak klawisz funkcyjny [F7] do otwarcia biblioteki przekrojów.



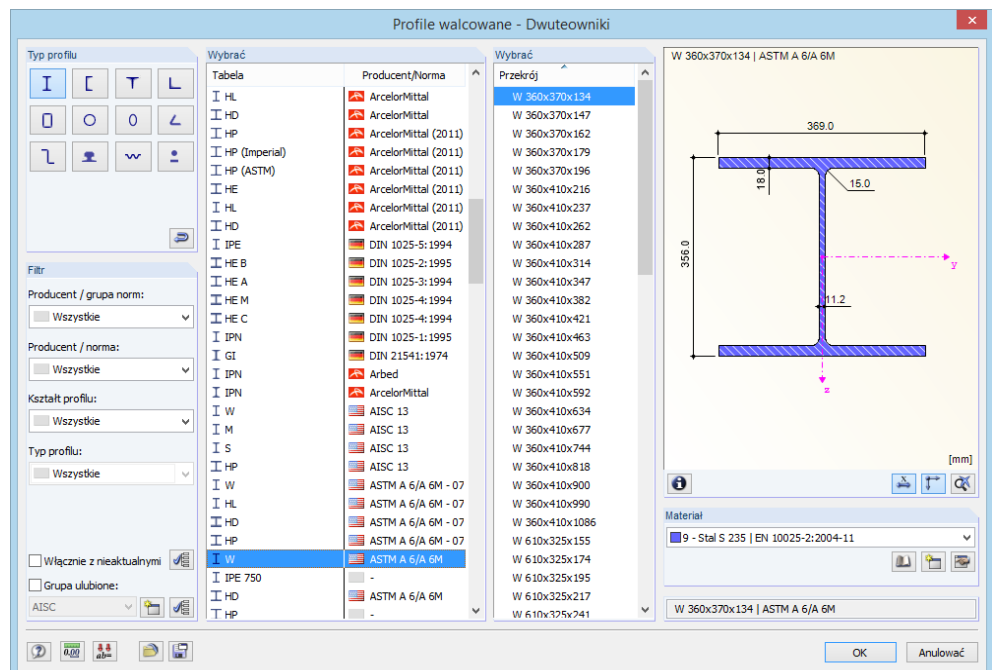
Rysunek 4.122: Biblioteka przekrojów

Biblioteka przekrojów jest podzielona na kilka sekcji, które zostały opisane poniżej.

### Przekroje walcowane

Wartości tabelaryczne wielu przekrojów walcowanych przechowywane są w bibliotece.

Na początku należy kliknąć jeden z dziesięciu przycisków, w celu zdefiniowania *Typu przekroju*. Otworzy się kolejne okno dialogowe, w którym można wybrać *Tabełę*. Następnie wybiera się odpowiedni *Przekrój*.



Rysunek 4.123: Wybieranie przekroju walcowanego

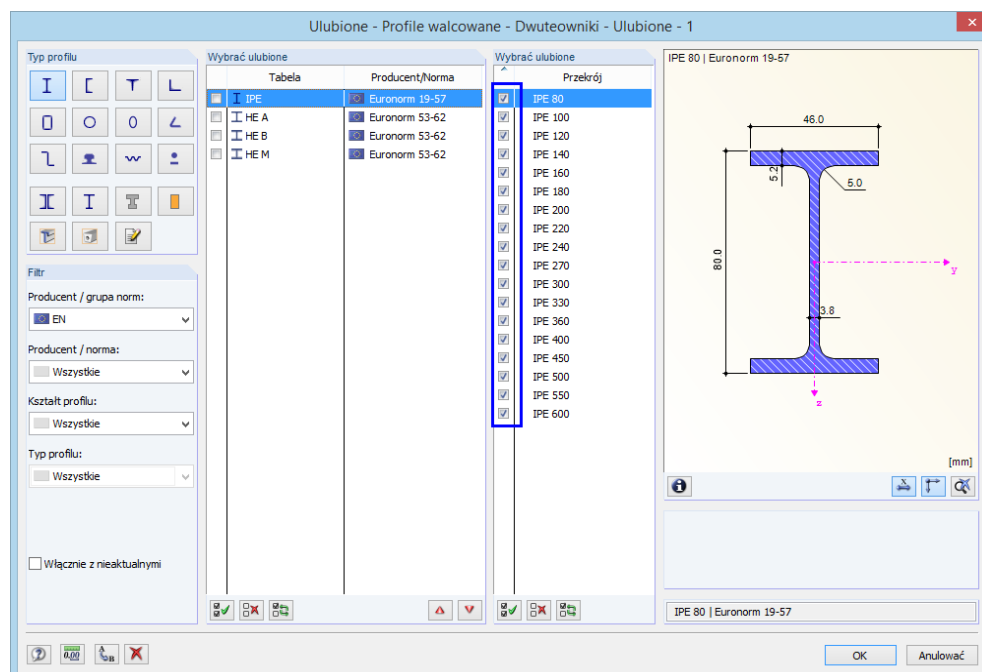
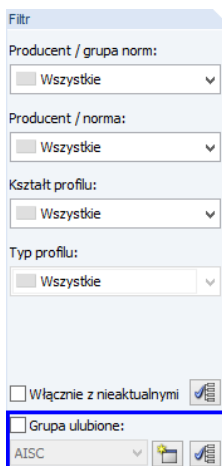


W sekcji okna dialogowego *Filtr* można filtrować wpisy biblioteki według *Producentów/Grupy norm, Producentów/Normy, Kształtu przekroju i Typu przekroju*. Ułatwia to przegląd wyświetlanych tabel i przekrojów. Wyświetlane dane zostaną odpowiednio ułożone, po kliknięciu nagłówków kolumny.

Jeżeli wymagany jest przekrój z nieaktualnej normy, należy zaznaczyć pole dla opcji *Włącznie z nieaktualnymi* w sekcji okna dialogowego *Filtr*, aby wyświetlić również nieaktualne przekroje.

**Tworzenie ulubionych**

Preferowane przekroje można ustawić jako ulubione. Aby otworzyć okno dialogowe do tworzenia ulubionych przekrojów, należy kliknąć przycisk [Edytować ulubione i ich sekwencję] w prawym rogu sekcji okna dialogowego *Filtr*.



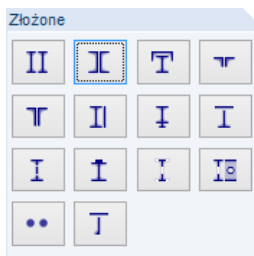
Rysunek 4.124: Okno dialogowe *Przekroje walcowane – Przekroje I - Ulubione*

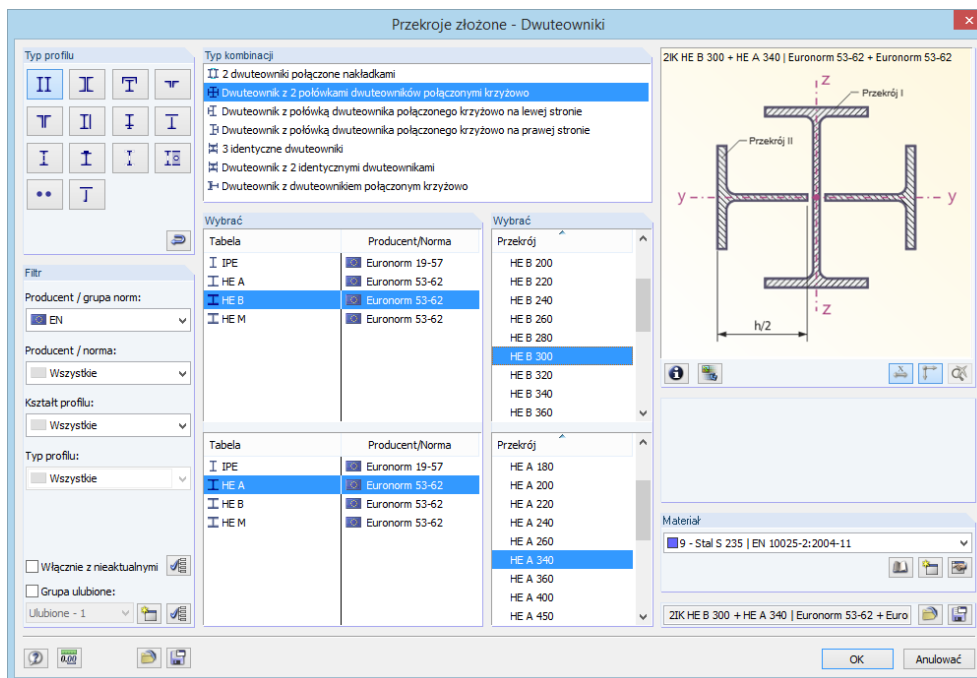
Okno to wygląda tak, jak biblioteka przekrojów. Dostępna jest w nim opcja filtrowania opisana powyżej. W sekcjach *Wybrać ulubione* można wybrać preferowane tabele i przekroje zaznaczając odpowiednie pole wyboru.

Po zamknięciu tego okna dialogowego, biblioteka przekrojów przedstawia przejrzysty przegląd ulubionych zaraz po aktywowaniu opcji *Tylko ulubione*.

**Przekroje złożone**

Przekroje walcowane można łączyć poprzez określenie parametrów.





Rysunek 4.125: Okno dialogowe *Przekroje złożone – Przekroje I*



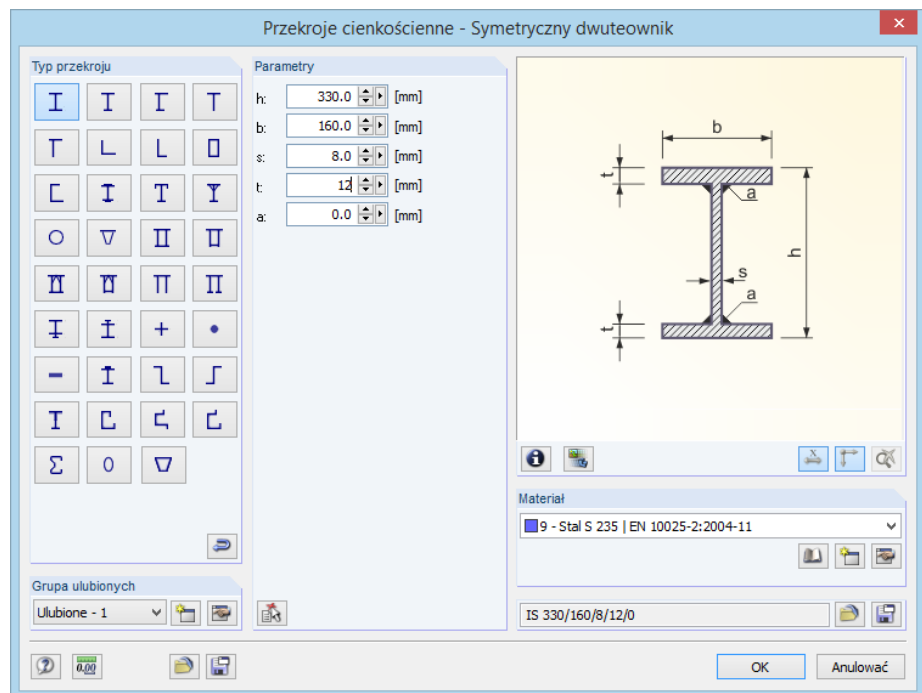
Przy użyciu przycisku [Zapisać], zapisuje się przekrój złożony. Program RFEM przechowuje go wraz z jego dokładnym opisem (na przykład *2IK HE-B 300\HE-A 340* na powyższym rysunku) w kategorii *Zdefiniowane przez użytkownika*, z której można go później zaimportować.

### Przekroje parametryczne - Cienkościenne

Dzięki oferowanym polom wprowadzania można dowolnie definiować parametry dla przekrojów złożonych z arkuszy. Parametry przekroju zostaną obliczone według teorii dla przekrojów cienkościennych. Teoria ta ma zastosowanie jedynie w przypadku przekrojów, których grubość elementu jest znacznie mniejsza niż jego długość. Jeśli warunek ten nie jest spełniony, można zdefiniować przekrój z kategorii *Masywny* (zobacz Rysunek 4.127).

Parametr *a* określa spoinę z pełnym przetopem, a nie promień zaokrąglenia (zobacz poniższy rysunek).





Rysunek 4.126: Okno dialogowe dla danych parametryzowanego, cienkościennego przekroju

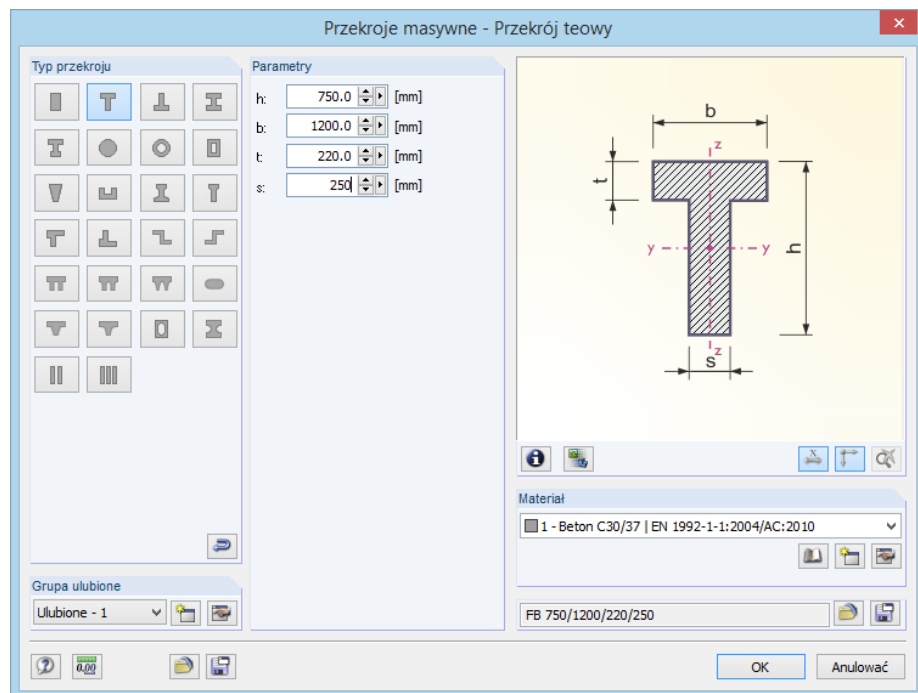
Przy użyciu przycisku pokazanego po lewo należy zaimportować parametry przekroju walcowanego. Dzięki użyciu funkcji wyboru, można uniknąć wprowadzania wielu parametrów.

Przycisk [Zapisać] pozwala na zapisanie przekroju parametrycznego pod jego dokładną nazwą, na przykład *IS 330/160/8/12/0* z powyższego rysunku. Kliknięcie przycisku [Wczytaj], pokazanego po lewej stronie, pozwala na import zapisanego przekroju.

### Przekroje parametryczne - Masywne

Dzięki oferowanym polom wprowadzania, można dowolnie definiować parametry dla przekrojów masywnych (na przykład dla przekrojów żelbetowych). Wartości przekroju zostaną obliczone według teorii dla przekrojów masywnych pod warunkiem, że będą one utworzone z elementów o dużych grubościach.

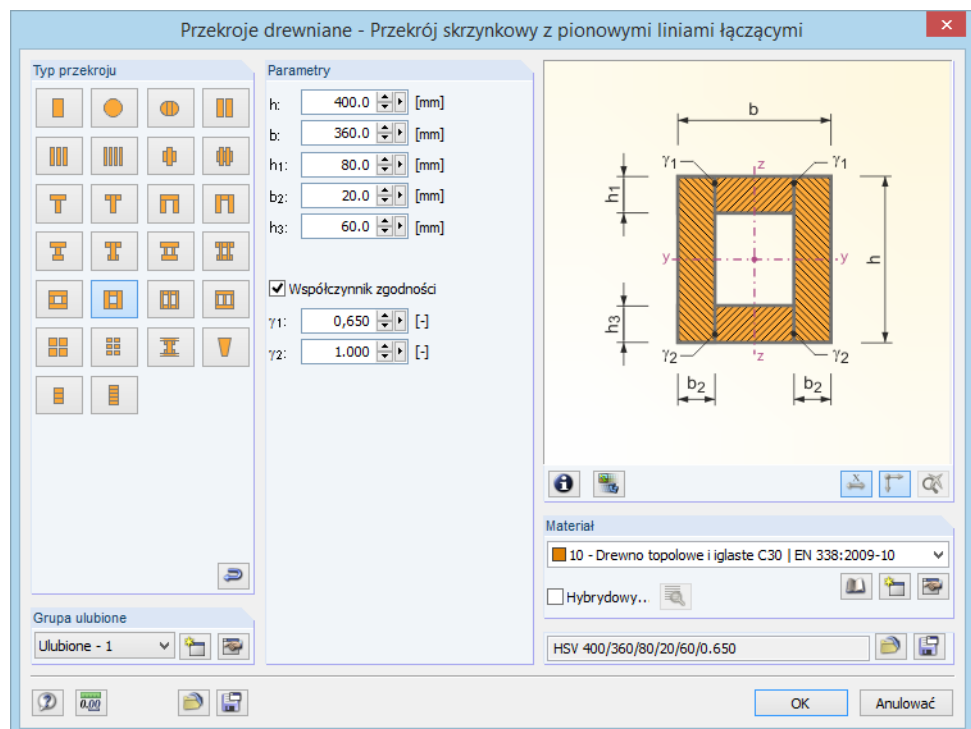




Rysunek 4.127: Okno dialogowe dla danych przekroju masywnego

### Przekroje parametryczne - Drewno

Dzięki oferowanym polom wprowadzania, można dowolnie definiować parametry dla przekrojów drewnianych. Wartości dla przekrojów masywnych i złożonych zostaną obliczone według teorii dla przekrojów masywnych.



Rysunek 4.128: Okno dialogowe dla danych przekroju z drewna

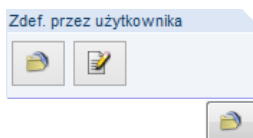
Zaznaczenie opcji *Współczynnik zgodności* pozwala na określenie sztywności efektywnych dla kompozytowych elementów konstrukcyjnych z półsztywno połączonych elementów



przekroju, na przykład według DIN 1052:2008-12, 8.6.2 (3). W takim przypadku należy określić współczynniki redukcyjne  $\gamma$ .



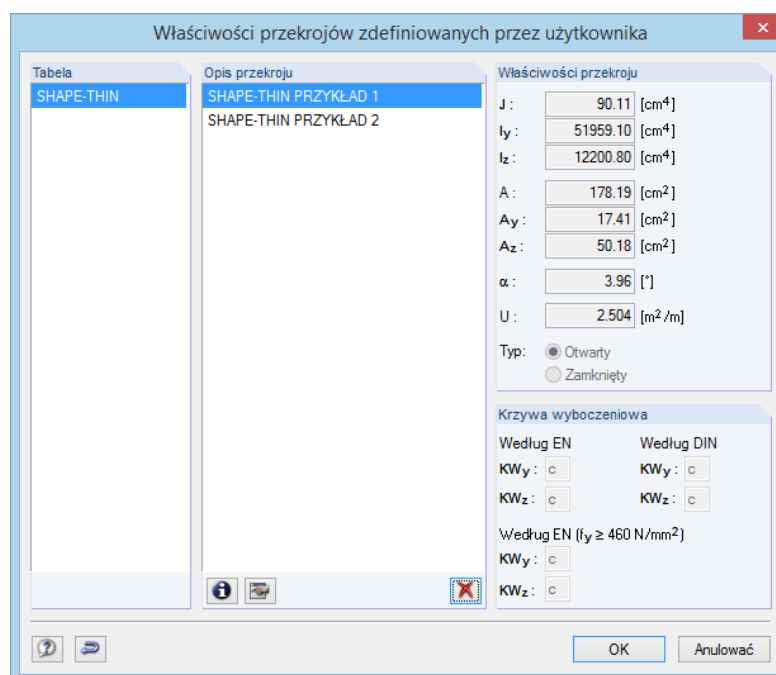
Podczas pracy z materiałem typu *Hybrydowy*, należy kliknąć przycisk [Edytować], aby przydzielić charakterystyki części składowych tego przekroju (zobacz Rysunek 4.118 na stronie 129).



### Przekroje zdefiniowane przez użytkownika

#### Import zapisanego przekroju

Przycisk [Wczytać], pokazany na lewym marginesie tej strony, pozwala otworzyć okno dialogowe, w którym wyświetlane są wszystkie przekroje utworzone przy pomocy funkcji **Zapisać**.



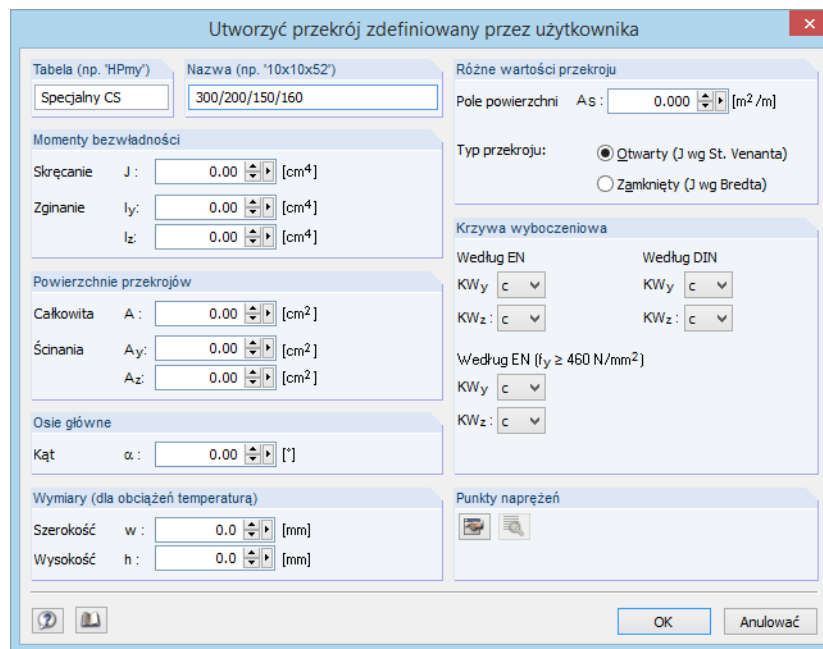
Rysunek 4.129: Okno dialogowe *Charakterystyki przekrojów zdefiniowanych przez użytkownika*



#### Tworzenie przekroju zdefiniowanego przez użytkownika

Kliknięcie przycisku [Utworzyć], pokazanego na lewym marginesie tej strony, pozwala użytkownikowi utworzyć swoje własne przekroje.





Rysunek 4.130: Okno dialogowe *Utworzyć przekrój zdefiniowany przez użytkownika*

W *Tabeli* definiuje się miejsce zapisania przekroju. Określa się tutaj również *Nazwę* pozwalającą na opisanie przekroju. Następnie wprowadza się parametry przekroju oraz definiuje się krzywe wyboczeniowe.

### Import z programu dla przekrojów

Przekroje można importować również z programów dla przekrojów **SHAPE-THIN** i **SHAPE-MASSIVE** firmy DLUBAL.

Należy przy tym pamiętać, że przekroje muszą zostać najpierw obliczone i zapisane w SHAPE-THIN lub SHAPE-MASSIVE, zanim będzie można dokonać importu ich parametrów.

### Import tabeli przekroju z pliku ASCII

Przycisk w lewym dolnym rogu biblioteki pozwala na import pełnej tabeli przekroju z pliku. Plik ten musi zawierać wartości oddzielone przecinkami (CSV). W formacie tym można zapisać dowolny plik aplikacji Excel. Składnia tabeli ASCII musi odpowiadać parametrom definicji odpowiedniej tabeli przekroju programu RFEM.

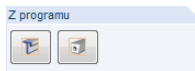
Przykład: Import podwójnie symetrycznych przekrojów I

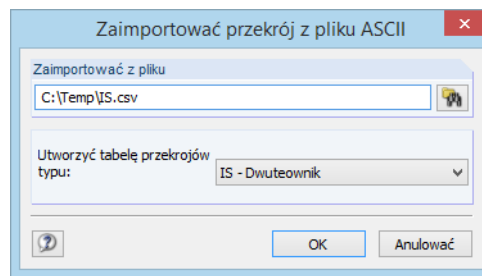
Przekroje te przechowywane są w tabeli **IS** (zob. Rysunek 4.126). Przekroje IS wymagają następujących parametrów: h, b, s, t, a. W aplikacji Excel tabela ta jest ułożona w następujący sposób:

	A	B	C	D	E	F
1	<b>Oznaczenie</b>	<b>h</b>	<b>b</b>	<b>s</b>	<b>t</b>	<b>a</b>
2	Profil 1	400,00	200,00	10,00	10,00	0,00
3						
4						
5						

Rysunek 4.131: Arkusz aplikacji Excel z parametrami przekroju

W oknie dialogowym dla importu określa się położenie pliku CSV. Następnie przy użyciu listy wybiera się tabelę przekroju, która będzie używana do zarządzania zaimportowanymi przekrojami.





Rysunek 4.132: Okno dialogowe Import przekrojów z pliku ASCII

Po zakończeniu tej operacji, zaimportowane przekroje będą dostępne w kategorii przekroje *Zdefiniowane przez użytkownika* (zobacz Rysunek 4.129).

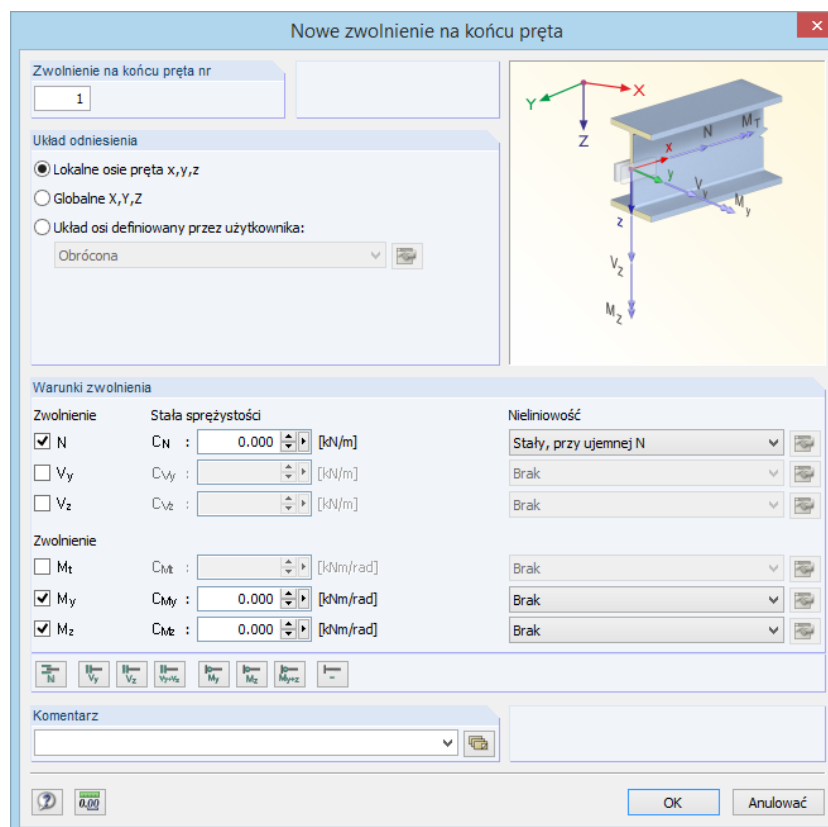
Podczas importu przekrojów, program RFEM oblicza ich wartości oraz punkty naprężeniowe, pozwalając dzięki temu na przeprowadzenie analizy naprężeń.

## 4.14 Zwolnienia na końcach prętów

### Opis ogólny

Zwolnienia prętowe ograniczają siły wewnętrzne przenoszone z jednego pręta na inne. Zwolnienia mogą być przydzielane jedynie na końcach pręta (węzły) i nigdy w innych miejscach. Zwolnienia nie można przydzielić na przykład w środku pręta.

Niektóre typy prętów od początku posiadają już zwolnienie. Kratownica, na przykład, nie przenosi momentów. Kabel nie przenosi ani momentów ani sił tnących. Podczas wprowadzania danych należy pamiętać, że przydzielanie zwolnień do prętów tego typu jest zablokowane.



Rysunek 4.133: Okno dialogowe Nowe zwolnienie na końcu pręta

1.14 Pręty ze zwolnieniem

Zwolnienie nr	Układ odniesienia	Osiowe/przesuwne zwolnienie lub sprężyna	Uz	φx	φy	φz	Komentarz
1	Lokalny x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50.000	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Lokalny x,y,z	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Globalny X,Y,Z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tak		<input checked="" type="checkbox"/>	
4				Nie			
5				Stała sprężystości			
6				Stały, przy ujemnej Vz			
7				Stały, przy dodatniej Vz			
8				Częściowa aktywność...			

Zmienne wysokości | Powierzchnie ortotropowe i membrany | Przekroje | Pręty ze zwolnieniem | Mimośrodowość prętów | Odcinki pręta | Pręty

Zwolnienie ('T'ak / 'N'ie / Stała sprężystości / Wybór F7). Przydziel prętowi typ zwolnienia w tabeli 1.17.

Rysunek 4.134: Tabela 1.14 Zwolnienia na końcach pręta

### Układ odniesienia

Zwolnienie pręta może zostać odniesione do jednego z następujących układów osi:

- Lokalny układ osi  $x,y,z$  pręta
- Globalny układ współrzędnych  $X,Y,Z$  (tylko zwolnienia nożycowe)
- Globalny obrócony układ współrzędnych  $X',Y',Z'$  (tylko zwolnienia nożycowe)

Przy użyciu nawigatora *Wyświetl* lub menu kontekstowego pręta, pokazanego na lewym marginesie tej strony, można wyświetlić lokalne osie pręta (zobacz Rysunek 4.158 na stronie 159).

Szczegółowe informacje na temat orientacji lokalnych osi pręta w globalnym układzie współrzędnych  $X,Y,Z$  znajdują się w rozdziale 4.17 na stronie 159.

Zwolnienia zazwyczaj odnoszone są do lokalnego układu osi  $x,y,z$ . Jednakże zwolnienia nożycowe (zobacz zwolnienie 3 na Rysunek 4.136), muszą zostać odniesione do globalnego układu współrzędnych. Stałe sprężystości i nieliniowości muszą zostać zdefiniowane w odniesieniu do lokalnego układu osi pręta.

### Zwolnienie osiowe/przesuwne lub stała sprężystości

Aby zdefiniować zwolnienie dla siły osiowej lub tnącej, należy zaznaczyć pole odpowiedniej siły wewnętrznej w oknie dialogowym lub tabeli. Zaznaczenie oznacza, że wybrana siła wewnętrzna jest zablokowana na końcu pręta, ponieważ ustanowione zostało zwolnienie. W oknie dialogowym *Zwolnienie na końcu pręta* wyświetlana jest wartość zero dla stałej sprężystości przy przesuwie w polu wprowadzania po prawo od pola wyboru.

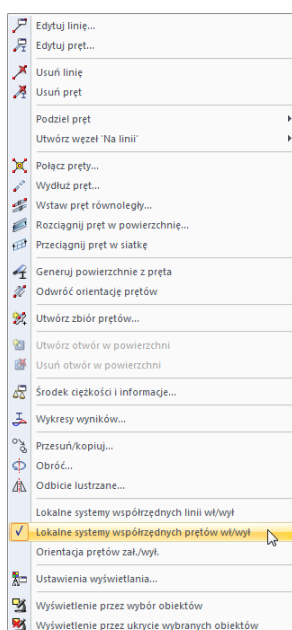
Stałą sprężystości można w dowolnej chwili zmienić, aby zamodelować na przykład połączenie półsztywne. Stałą należy wprowadzić bezpośrednio w kolumnie tabeli. Sztywności są uwzględniane jako wartości obliczeniowe.

### Zwolnienie momentowe lub stała sprężystości

Zwolnienie dla skręcania lub momentów zginających definiuje się tak samo, jak zwolnienia dla sił. Tutaj również zaznaczenie oznacza, że dana siła wewnętrzna nie jest przenoszona.

Połączenia sprężyste mogą być modelowane przy użyciu stałych sprężystości, które wprowadza się bezpośrednio. Należy przy tym uważać, aby nie używać ekstremalnych wartości sztywności, ponieważ mogą one prowadzić do pojawienia się problemów numerycznych podczas obliczeń. Zamiast dużych lub małych różnic, należy zastosować połączenia sztywne (bez zaznaczenia) lub zwolnienia (zaznaczenie).

Opcja do definiowania charakterystyk zwolnienia nieliniowego została opisana na końcu tego rozdziału.

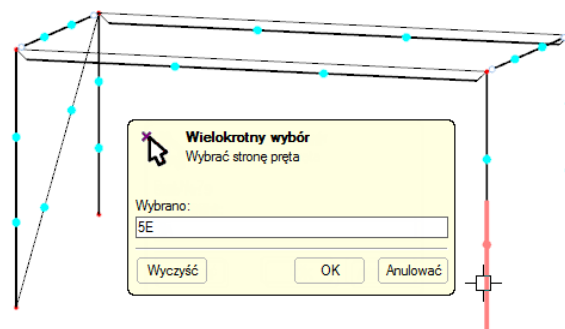


Menu kontekstowe pręta

### Graficzne przydzielanie zwolnienia

Aby przydzielić zwolnienia graficznie w oknie roboczym, należy wybrać opcję **Dane modelu** w menu **Wstawić**, najechać na opcję **Pręty ze zwolnieniem**, a następnie wybrać **Przydzielić prętom graficznie** lub otworzyć menu **Edytować**, najechać na opcję **Dane modelu**, a następnie **Pręty ze zwolnieniem** i wybrać **Przydzielić prętom graficznie**.

Na początku należy wybrać typ zwolnienia z listy lub utworzyć nowe zwolnienie. Po kliknięciu [OK], pręty zostaną podzielone graficznie na trzy części.

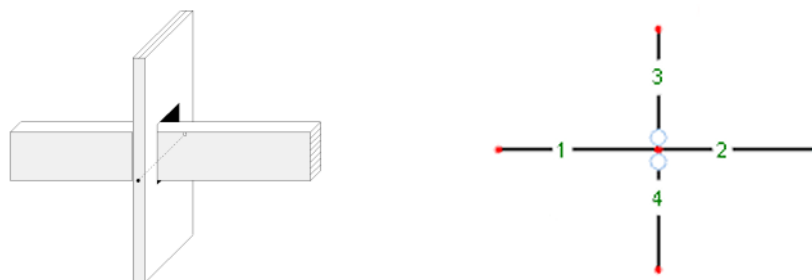


Rysunek 4.135: Graficzne przydzielanie zwolnień na końcach pręta

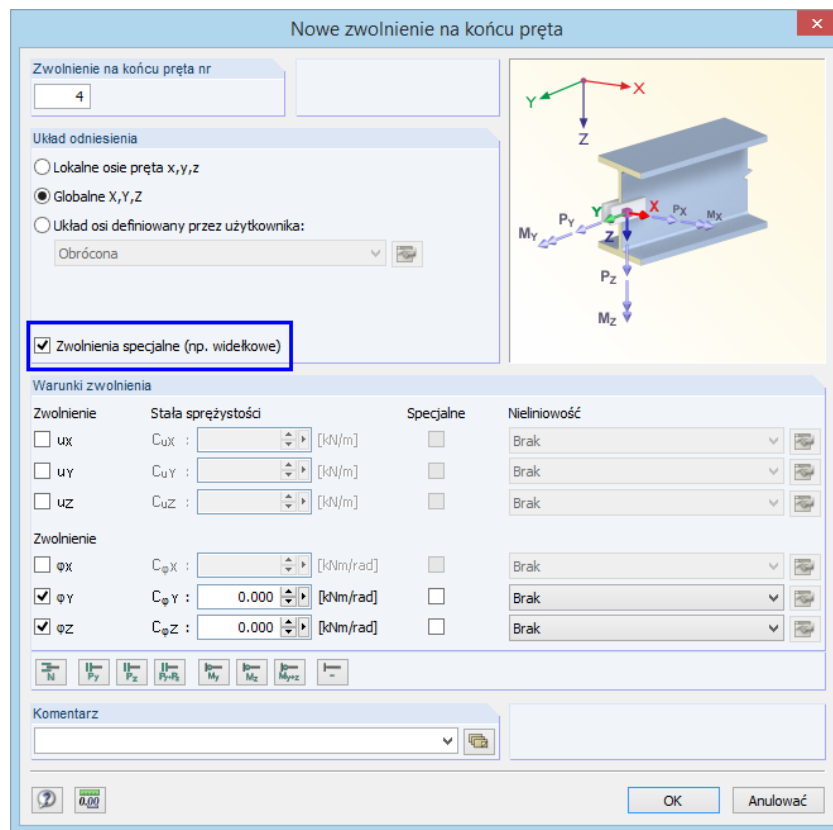
Można teraz kliknąć końce pręta, na których zostanie zastosowane wybrane zwolnienie. Aby przydzielić zwolnienie na obu końcach pręta, należy kliknąć pręt w jego części środkowej.

### Zwolnienie spacje np. widełkowe

Przy użyciu opcji *Zwolnienie specjalne np. widełkowe* można zamodelować krzyżowanie się belek – na przykład cztery pręty połączone w jednym węźle. Każda z dwóch par prętów przenosi momenty w swoim 'ciągłym kierunku', ale nie przenosi momentów na drugą parę. W węźle przenoszone są jedynie siły osiowe i tnące.



Rysunek 4.136: Krzyżowanie się belek

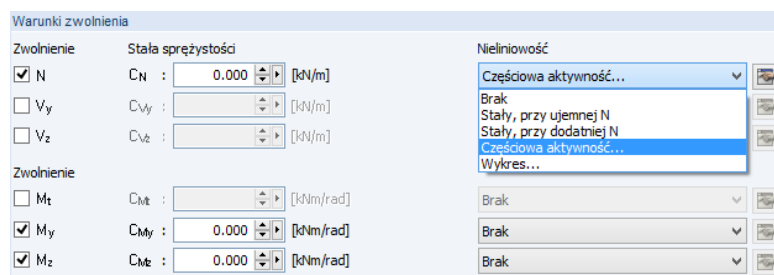
Rysunek 4.137: Okno dialogowe *Nowe zwolnienie na końcach pręta*

W tym przypadku zwolnienie musi zostać przydzielone albo do prętów 1 i 2 lub do prętów 3 i 4. Pozostała para krzyżujących się prętów zostanie zamodelowana jako przenosząca zginanie bez zwolnienia.

### Nieliniowości

Do zwolnień na końcach pręta można przydzielić charakterystyki nieliniowe, pozwalające na szczegółową kontrolę przenoszenia sił wewnętrznych. Lista nieliniowości oferuje następujące opcje:

- Stała przy ujemnej sile wewnętrznej
- Stała przy dodatniej sile wewnętrznej
- Częściowa aktywność
- Wykres



Rysunek 4.138: Lista właściwości nieliniowych

Typy zwolnień o charakterystykach nieliniowych są w tabeli zaznaczone na niebiesko.

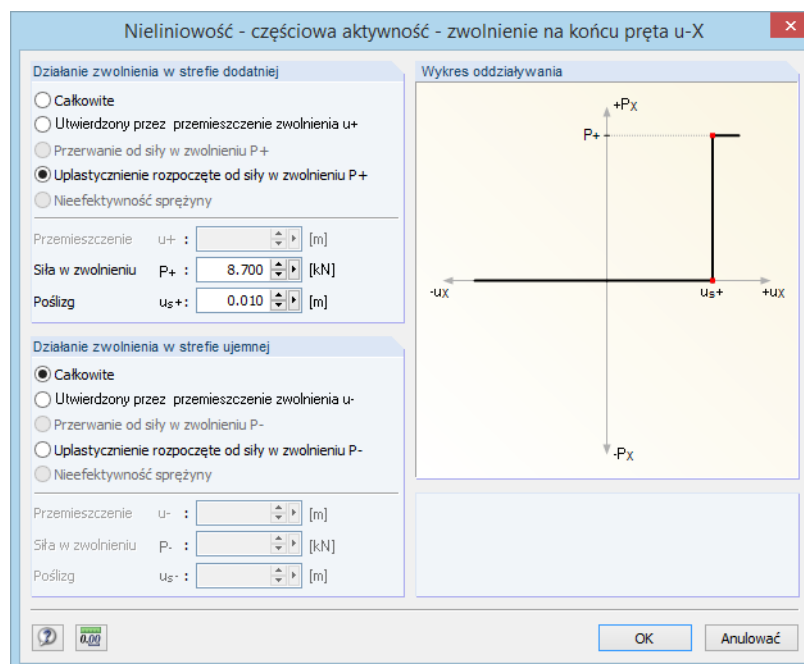
### Stała przy ujemnej lub dodatniej sile wewnętrznej

Te dwie opcje pozwalają kontrolować aktywność zwolnienia dla każdej z sił wewnętrznych. Na przykład ustawienie zwolnienia dla siły (wyłączenie przenoszenia sił) zdefiniowane z nieliniowością *Stała przy dodatniej N* oznacza, że na końcu pręta przenoszone mogą być jedynie siły rozciągające (dodatnie), a nie siły ściskające (ujemne). Zwolnienie jest efektywne jedynie w przypadku sił ujemnych.

Siły wewnętrzne są powiązane z lokalnym układem osi  $x, y, z$ .

Pozostałe wpisy z listy *Nieliniowość* oferują szczegółowe opcje modelowania parametrów zwolnienia. Aby otworzyć te opcje, należy kliknąć przycisk [Edytować], znajdujący się w oknie dialogowym po prawo od listy lub kliknąć przycisk [▼] w tabeli (zobacz Rysunek 4.134 na stronie 140).

### Częściowa aktywność

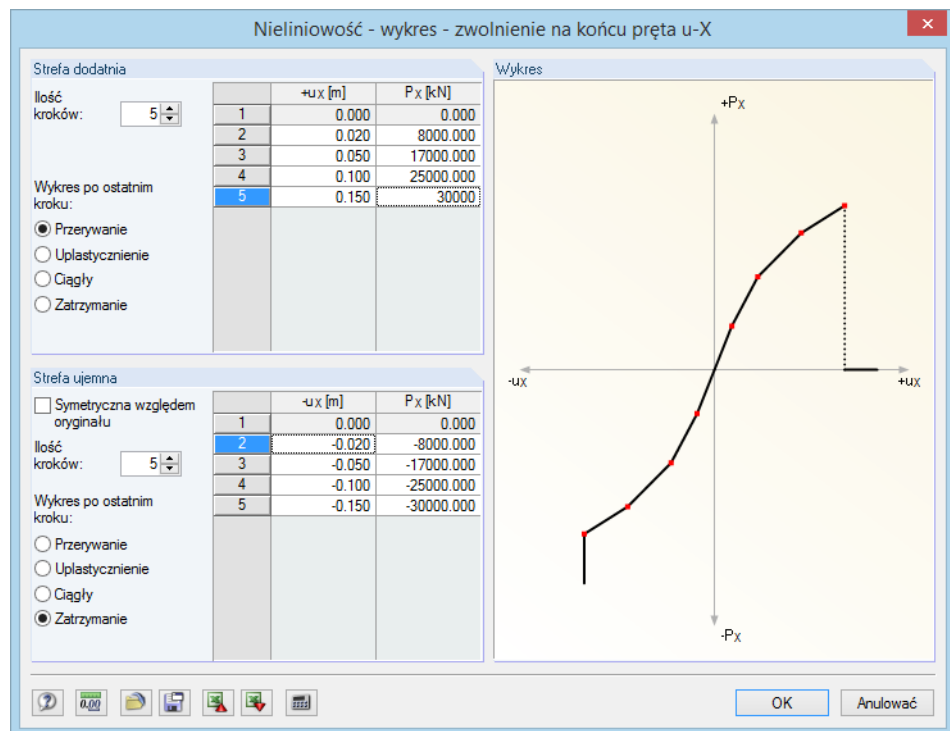


Rysunek 4.139: Okno dialogowe *Nieliniowość - Częściowa aktywność*

Aktywność zwolnienia można zdefiniować osobno dla *strefy dodatniej* i *strefy ujemnej*. Oprócz pełnej efektywności lub uszkodzenia, zwolnienie może przestać być efektywne po osiągnięciu określonego przemieszczenia lub obrotu. W tym momencie zaczyna ono oddziaływać jako utwierdzenie lub połączenie sztywne. Zastosowanie opcji *Przerwanie* (po przekroczeniu określonej wartości nie będzie już przenoszona żadna siła wewnętrzna) oraz *Uplastycznienie* (siły wewnętrzne będą przenoszone jedynie do określonej wartości również w przypadku większych odkształceń) jest możliwe w połączeniu z *Poślizgiem*.

Wartości graniczne można zdefiniować w polach wprowadzania znajdujących się poniżej. Dynamiczna grafika w sekcji okna dialogowego *Wykres aktywności* pokazuje parametry zwolnienia.

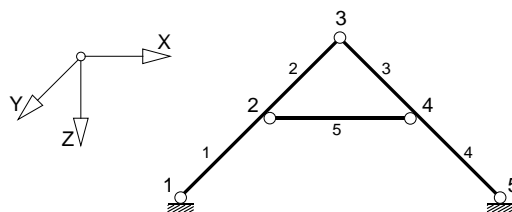
## Wykres

Rysunek 4.140: Okno dialogowe *Nieliniowość - Wykres*

Aktywność zwolnienia można zdefiniować osobno dla *strefy dodatniej* i *strefy ujemnej*. Na początku należy wprowadzić *Ilość kroków* (oznaczającą punkty definicji) przedstawione na wykresie. Następnie na listę znajdującą się po prawej stronie można wprowadzić wartości odciętej sił wewnętrznych z przydzielonymi przemieszczeniami lub obrotami.

*Wykres po ostatnim kroku* posiada wiele opcji: *Przerwanie* dla uszkodzenia zwolnienia (żadna siła wewnętrzna nie będzie już przenoszona), *Uplastycznienie* pozwalające na ograniczenie przenoszenia do maksymalnej dozwolonej siły wewnętrznej, *Ciągły* jak w ostatnim kroku lub *Zatrzymanie* pozwalające na ograniczenie do maksymalnego dozwolonego przemieszczenia lub obrotu, po którym następuje aktywność jako utwierdzenie lub zwolnienie sztywne.

Parametry zwolnienia pokazywane są przy użyciu dynamicznej grafiki w sekcji okna dialogowego *Wykres*.

**Przykład: dach krokwiowy**

Rysunek 4.141: Dach krokwiowy

Wykorzystywany jest układ płaski. Zwolnienie musi zostać zdefiniowane w następujący sposób:



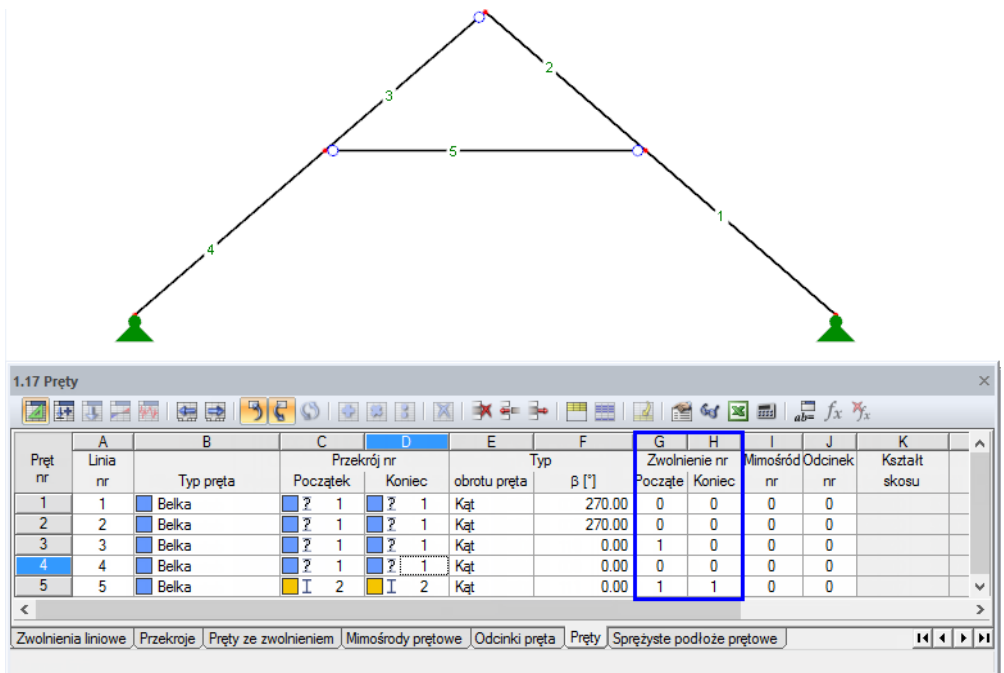
1.14 Pręty ze zwolnieniem

Zwolnienie nr	A Układ odniesienia	B Osiowe/przesuwne zwolnienie lub sprężyna	C u <sub>x</sub>	D u <sub>y</sub>	E u <sub>z</sub>	F φ <sub>x</sub>	G φ <sub>y</sub>	H φ <sub>z</sub>	Komentarz
3	Lokalny x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4									

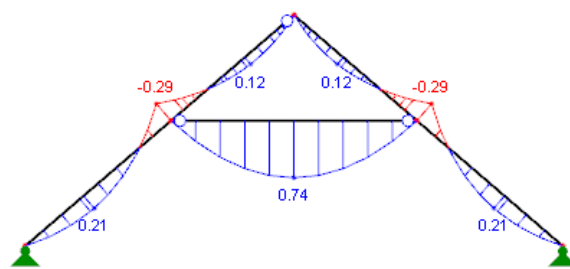
Zmienne wysokości | Powierzchnie ortotropowe i membrany | Przekroje | Pręty ze zwolnieniem | Mimośrodki prętowe | Odcinki pręta

Rysunek 4.142: Tabela 1.14 Zwolnienia na końcach pręta

Można teraz przydzielić typ zwolnienia do prętów.



Rysunek 4.143: Grafika i tabela 1.17 Pręty



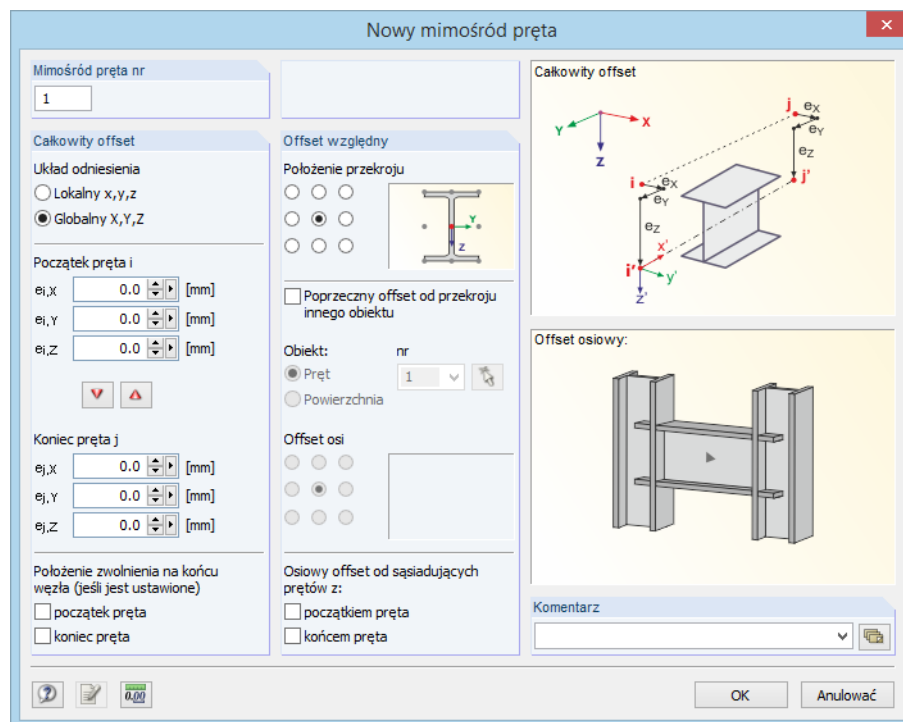
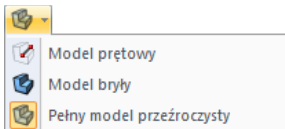
Rysunek 4.144: Wykres momentu w przypadku obciążenia Ciężar własny

## 4.15 Mimośrodowość prętów

### Opis ogólny

Długość pręta odpowiada odległości pomiędzy dwoma węzłami, pomiędzy którymi leży linia pręta. W niektórych sytuacjach (połączenia przekrojów lub podciągów), długość rzeczywista odwzorowywana jest przez model tylko do pewnego stopnia. Przy użyciu mimośrodków prętowych można połączyć pręty mimośrodkowo dzięki specyficznym odcinkom na końcach pręta. W ten sposób można zredukować na przykład momenty obliczeniowe na belkach poziomych w przypadku ram utworzonych przez słupy o dużych przekrojach.

Wprowadzone mimośrodowość można sprawdzić dzięki realistycznej grafice w renderingu 3D.



Rysunek 4.145: Okno dialogowe *Nowy mimośrodek prętowy*

Mimośrodek nr	Układ odniesienia	Początek pręta - mimośrodek [mm]			Koniec pręta - mimośrodek [mm]			Wyrównanie przekroju		Odsunięcie poprzeczne obiektu od przekroju	
		$e_{i,x}$	$e_{i,y}$	$e_{i,z}$	$e_{j,x}$	$e_{j,y}$	$e_{j,z}$	Oś y	Oś z	Typ obiektu	Obiekt nr
1	Globalny	150.0	0.0	-175.0	0.0	0.0	0.0	Średni	Średni	Zadne	0
2											
3											
4											

Rysunek 4.146: Tabela 1.15 *Mimośrodkowość prętowa*

### Układ odniesienia

Mimośrodek prętowy może zostać odniesiony do jednego z następujących układów osi:

- Lokalny układ osi  $x,y,z$  pręta
- Globalny układ współrzędnych  $X,Y,Z$

Przy użyciu nawigatora *Wyświetl* lub menu kontekstowego pręta można wyświetlić lokalne osie  $x,y,z$  pręta (zobacz Rysunek 4.158 na stronie 159).

### Mimośród dla początku pręta/końca pręta

W sekcji okna dialogowego *Odsunięcie absolutne* lub odpowiednio w kolumnach tabeli od B do G definiuje się mimośrodowość dla *Początku pręta* i oraz *Końca pręta*. Odległości te odnoszą się do wybranego układu osi wskazywanego przez indeksy zawierające wielkie lub małe litery, które również pokazywane są w grafice okna dialogowego.

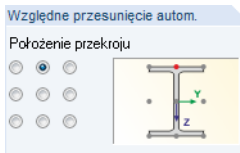


W oknie dialogowym można wykorzystać przyciski [▼] i [▲], w celu przeniesienia wartości z jednej strony na drugą.

### Położenie przekroju

W sekcji okna dialogowego *Offset względny* znajduje się dziewięć możliwości wyboru pozwalających zdefiniować punkt przekroju służący do określania mimośrodowości. W tabeli należy określić położenie tego punktu w kolumnach H oraz I. Punkt ten definiuje odległość, o którą odsunięty jest przekrój względem węzła początkowego lub końcowego.

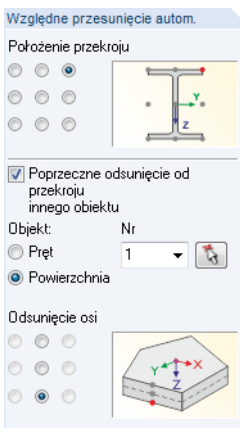
Poprzez zdefiniowanie tego punktu w środku górnej półki, jak pokazano to na rysunku znajdującym się na lewym marginesie tej strony, można na przykład przyłączyć poziomą belkę przy użyciu jej górnej krawędzi do słupa, wykorzystując połączenie wyrównane (bez przedłużenia).



### Poprzeczny offset od przekroju innego obiektu

Przy użyciu *Odsunięcia poprzecznego* można wstawić pręt w określonej odległości równoległej do wybranego obiektu (pręt w powierzchni, pręt w tym samym kierunku). W tym celu należy wybrać z listy numer odpowiedniego obiektu, *Pręt* lub *Powierzchnia*. Można również wykorzystać funkcję [↵], aby dokonać wyboru w oknie graficznym. Mimośród określany jest na podstawie *Położenia przekroju*, definiowanego powyżej oraz *Odsunięcia osi* (geometria przekroju lub grubość powierzchni), którą definiuje się poprzez wybranie jednego z dostępnych dziewięciu lub trzech pól wyboru. W tabeli definiuje się odsunięcie osiowe w kolumnach L i M.

Poprzez zdefiniowanie punktów na krawędzi górnej półki oraz na spodniej stronie powierzchni, jak zostało to pokazane na rysunku znajdującym się na lewym marginesie tej strony, można wstawić na przykład stalowy przekrój na krawędzi pod płytą przy użyciu połączenia wyrównanego.



### Osiowy offset od sąsiadujących prętów z

Ostatnia opcja w sekcji okna dialogowego *Offset względny* pozwala na łatwe przyłączenie na przykład pręta w sposób mimośrodowy do półki słupa. Odsunięcie można ustawić osobno dla *Początku pręta* i *Końca pręta*. Mimośród określany jest automatycznie na podstawie geometrii przekroju przyłączonych prętów. W tabeli przydziela się odsunięcie osiowe w kolumnach N oraz O.

Grafika *Odsunięcie osiowe* w oknie dialogowym wyświetla wprowadzone dane, ilustrując wpływ wybranych pól wyboru.



Użytkownik może wybrać wprowadzanie w sekcji okna dialogowego *Offset względny*, które pozwala na bezpośrednie dostosowanie mimośrodków po dokonaniu zmiany przekrojów. Program RFEM automatycznie uwzględni zmodyfikowane wymiary powierzchni lub przekroju.

### Przydzielić mimośrodowość graficznie

Mimośrodowość można przydzielić do prętów graficznie w oknie roboczym. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,

należy wybrać **Dane modelu** w menu **Wstawić**, wskazać opcję **Mimośrodowość prętowa**, a następnie wybrać **Przydzielić prętom graficznie** lub

otworzyć menu **Edytować**, wskazać opcję **Dane modelu** oraz **Mimośrodowość prętowa**, a następnie wybrać **Przydzielić prętom graficznie**.

Na początku należy zdefiniować układ odniesienia oraz mimośrodę.

Po kliknięciu [OK], pręty zostaną podzielone graficznie na trzy równe części. Można teraz kliknąć końce prętów, na których zostaną zastosowane połączenia mimośrodowe (zobacz Rysunek 4.135 na stronie 141). Aby przydzielić mimośród na obu końcach pręta, należy kliknąć pręt w jego części środkowej.

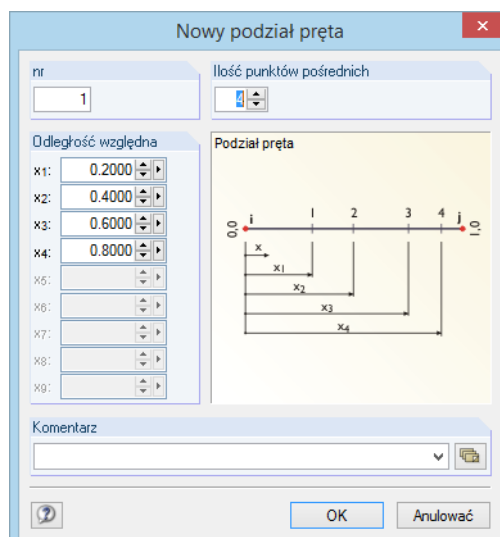
## 4.16 Odcinki pręta

### Opis ogólny

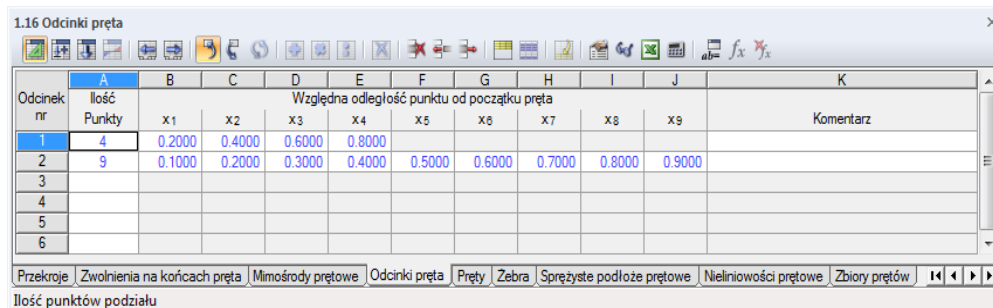
Odcinki pręta używane są do definiowania punktów na prętach, dla których zostaną później wyświetlone siły wewnętrzne i odkształcenia w tabelach wyników oraz w wydruku numerycznym. Odcinki pręta nie mają żadnego wpływu na określanie wartości ekstremalnych ani na graficzny wykres wyników (program RFEM wykorzystuje wewnętrznie bardziej zagęszczony podział). Z tego powodu w większości przypadków nie trzeba definiować podziałów pręta.



Nie należy mylić podziałów pręta z podziałami ES dla prętów. Węzły ES na "wolnych" (które nie należą do powierzchni) liniach o charakterystykach pręta zostaną wygenerowane tylko, jeżeli linie te będą posiadały zagęszczenie siatki ES (zobacz rozdział 4.23 na stronie 180).



Rysunek 4.147: Okno dialogowe *Nowy podział pręta*



Odcinek nr	Ilość Punkty	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	Komentarz
1	4	0.2000	0.4000	0.6000	0.8000						
2	9	0.1000	0.2000	0.3000	0.4000	0.5000	0.6000	0.7000	0.8000	0.9000	
3											
4											
5											
6											

Rysunek 4.148: Tabela 1.16 *Odcinki pręta*

### Ilość punktów

Maksymalna ilość punktów podziału, którą można wprowadzić w oknie dialogowym, wynosi 99. Wprowadzony wpis dzieli pręt na wybraną ilość punktów o równych długościach.

### Względna odległość punktu od początku pręta

Podczas tworzenia nowego podziału w oknie dialogowym, automatycznie ustawiane są odległości trzech punktów pośrednich. Stanowią one względne odległości w interwale od 0 (początek pręta) do 1 (koniec pręta).

Możliwe jest również zdefiniowanie nieregularnych podziałów dla określonych punktów, ponieważ odległości względne można wprowadzić dowolnie. Należy jednak upewnić się, że stosowana jest poprawna kolejność interwałów:  $x_1 < x_2 < x_3 \dots$

Oprócz tego dowolne położenie  $x$  na pręcie można szczegółowo ocenić graficznie (zobacz rozdział 9.5 na stronie 381). Dzięki temu w większości przypadków nie jest wymagane ręczne wprowadzanie podziałów pręta charakteryzujące się problematycznym określaniem odległości względnych.



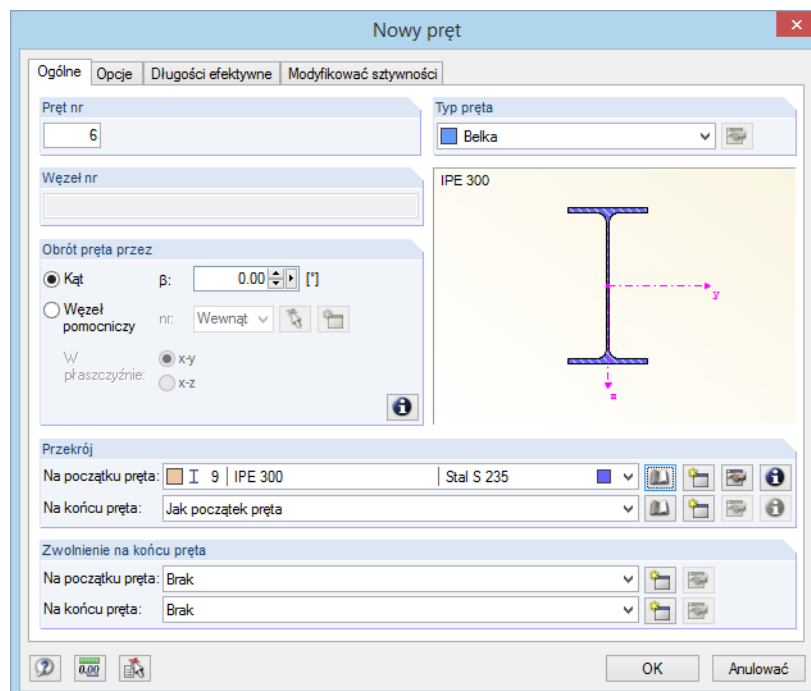
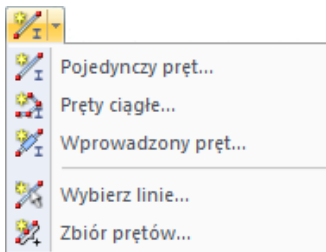
## 4.17 Pręty

### Opis ogólny

Pręty są atrybutami linii. Poprzez przydzielenie do linii przekroju (a także zdefiniowanie materiału), pręt otrzymuje określoną sztywność. Podczas generowania siatki ES, na prętach tworzone są elementy 1D.

Pręty mogą być połączone ze sobą jedynie w węzłach. Jeżeli pręty krzyżują się ze sobą, ale nie posiadają wspólnego węzła, program RFEM nie rozpoznaje połączenia, w związku z czym nie są przenoszone żadne siły wewnętrzne w takim skrzyżowaniu.

Graficznie można przydzielić pręty jako *Pojedyncze*, *Ciągłe* lub do istniejących już *Linii*. Opcja *Wprowadzony pręt* została opisana w rozdziale 11.4.13 na stronie 506.



Rysunek 4.149: Okno dialogowe *Nowy pręt*, zakładka *Ogólne*

1.17 Pręty

Pręt nr	Linia nr	Typ pręta	Przekrój nr		Obrót pręta Typ	β [°]	Przegub nr		Mimośród nr	Odcinek nr	Kształt skosu	Długość L [m]	Ciężar W [kg]	
			Początek	Koniec			Początek	Koniec						
1	1	Belka	?	1	?	1	Kąt	270.00	0	0	0	0	7.000	620.9
2	2	Belka	?	1	?	1	Kąt	270.00	0	0	0	0	3.732	331.1
3	3	Belka	?	1	?	1	Kąt	0.00	1	0	0	0	7.000	620.9
4	4	Belka	?	1	?	1	Kąt	0.00	0	0	0	0	6.000	532.2
5	5	Belka	I	2	I	2	Kąt	0.00	1	1	0	0	9.425	398.0
6	14	Belka	I	2	I	2	Kąt	0.00	0	0	0	0	7.000	295.6
7	15	Belka	I	2	I	2	Kąt	0.00	0	0	0	0	5.999	253.4
8	16	Belka	I	2	I	2	Kąt	0.00	0	0	0	0	5.999	253.4
9	17	Belka	L	3	L	3	Kąt	0.00	0	0	0	0	7.027	128.5

Przekroje | Zwolnienia na końcach pręta | Mimośrod prętowe | Odcinki pręta | Pręty | Zebra | Sprężyste podłoże prętowe | Nieliniowości prętowe

Typ pręta (aby wybrać, naciśnij F7)

Rysunek 4.150: Tabela 1.17 Pręty

Nowy pręt

Ogólne | Opcje | Długości efektywne | Modyfikować sztywności

Pręt nr: 6

Mimośród pręta: 1 | G | 0.0,0.0,0.0 | 0.0,0.0,0.0 | DT,M2DM

Podział pręta: 1 | 3 | 0.25; 0.5; 0.75

Sprężyste podłoże prętowe: Brak

Nieliniowość pręta: Brak

Skos: Liniowy

Komentarz:

OK | Anulować

Rysunek 4.151: Okno dialogowe Nowy pręt, zakładka Opcje

## Linie

Numer linii o właściwościach pręta wprowadza się w polu wprowadzania w oknie dialogowym lub w kolumnie tabeli. W oknie dialogowym *Nowy pręt* można wybrać linię również w sposób graficzny.

Węzły początkowe i końcowe linii definiują orientację pręta, która wpływa również na położenie lokalnego układu współrzędnych pręta (zobacz "obrot pręta" w tym rozdziale). Orientację pręta można szybko zmienić w obszarze roboczym. W tym celu należy kliknąć pręt prawym przyciskiem myszy i wybrać opcję *Odwróć orientację pręta* w menu kontekstowym.

## Typ pręta

Przy pomocy typu pręta definiuje się sposób, w jaki absorbowane są siły wewnętrzne lub jakie właściwości przydzielane są do pręta.

Lista *Typ pręta* pozwala na wybranie jednej z wielu opcji. Każdy typ pręta posiada swój własny *Kolor*, który można wykorzystać w modelu do przedstawienia różnych rodzajów pręta. Kolorami zarządza się w nawigаторze *Wyświetl* przy użyciu ustawień w sekcji *Kolory według* (zobacz rozdział 11.1.9 na stronie 454).

- Belka
- Belka
- Sztywne
- Zebro...
- Kratownica
- Kratownica (tylko N)
- Rozciąganie
- Ściskanie
- Wyboczenie
- Kabel
- Kabel na bloczkach
- Belka wypadkowa...
- Sztywność definiowalna...
- Połączenie utwierdzenie-utwierdzenie
- Połączenie utwierdzenie-zwolnienie
- Połączenie zwolnienie-zwolnienie
- Połączenie zwolnienie-utwierdzenie
- Sprężyna...
- Zerowy

Typ pręta	Krótki opis
Belka	Pręt przenoszący zginanie, który przenosi wszystkie siły wewnętrzne.
Sztywne	Sztywny pręt łączący
Żebro	Podciąg uwzględniający efektywną szerokość płyty
Kratownica	Belka posiadająca zwolnienia momentowe na obu końcach
Kratownica (tylko N)	Pręt posiadający jedynie sztywność $E \cdot A$
Rozciąganie	Kratownica (tylko N) z uszkodzeniem w przypadku wystąpienia siły ściskającej
Ściskanie	Kratownica (tylko N) z uszkodzeniem w przypadku wystąpienia siły rozciągającej
Wyboczenie	Kratownica (tylko N) z uszkodzeniem, jeżeli siła ściskająca $> N_{cr}$
Kabel	Pręt przenoszący tylko siły rozciągające. Obliczenia prowadzone są według analizy dużych deformacji.
Kabel na kole pasowym	Pręt na polilini; może być przemieszczony jedynie w kierunku podłużnym; absorbuje tylko siły rozciągające (koło pasowe).
Belka wypadkowa	Pręt dla integracji wyników powierzchni, bryły lub pręta
Sztywność definiowalna	Pręt o sztywnościach określonych przez użytkownika
Połączenie utwierdzenie - utwierdzenie	Połączenie sztywne posiadające połączenia przenoszące zginanie na obu końcach
Połączenie utwierdzenie - zwolnienie	Połączenie sztywne posiadające połączenie przenoszące zginanie na początku pręta oraz połączenie przegubowe na końcu pręta
Połączenie zwolnienie - zwolnienie	Połączenie sztywne posiadające połączenia przegubowe na obu końcach (przenoszone są tylko siły osiowe i tnące, ale nie momenty).
Połączenie utwierdzenie - utwierdzenie	Połączenie sztywne posiadające połączenie przegubowe na początku pręta oraz połączenie przenoszące zginanie na końcu pręta
Sprężyna	Pręt posiadający sztywność sprężyny, definiowalne strefy aktywności oraz współczynniki tłumienia (zobacz rozdział 4.20 na stronie 157)
Zerowy	Pręt, który zostanie pominięty w obliczeniach.

Tabela 4.7: Typy pręta

### Belka

Belka nie posiada żadnych zwolnień zdefiniowanych na swoich końcach. Gdy dwie belki są ze sobą połączone, ale nie zostało zdefiniowane zwolnienie dla wspólnego węzła, połączenie to przenosi zginanie. Belki mogą zostać obciążone wszystkimi typami obciążeń.

### Sztywne

Łączy przemieszczenia dwóch węzłów poprzez połączenie sztywne. Dzięki swoim właściwościom, odpowiada prętowi łączącemu (zobacz strona 156). Pręt sztywny można wykorzystać do zdefiniowania prętów posiadających wysokie sztywności z uwzględnieniem zwolnień, które również mogą posiadać stałe sprężystości i nieliniowości. Nie powoduje to

powstawania prawie żadnych problemów numerycznych, ponieważ sztywności są dostosowywane do układu. Program RFEM wyświetla siły wewnętrzne również dla prętów sztywnych.

Zakładane są następujące sztywności (ma to zastosowanie w przypadku połączeń i fikcyjnych sztywności *Dummy Rigids*):

- Sztywność osiowa i skrętna  $E \cdot A = G \cdot I_T = 10^{13} \cdot I$  ( $I$  = długość pręta)
- Nośność na zginanie  $E \cdot I = 10^{13} \cdot I^3$
- Sztywność na ścinanie (jeżeli aktywowana)  $G_{Ay} = G_{Az} = 10^{16} \cdot I^3$

Dzięki temu typowi pręta nie trzeba już definiować typu *Dummy Rigid* (zobacz strona 128), który jest przydzielany w postaci przekroju.

### Żebro

Żebra zostały opisane w rozdziale 4.18 na stronie 164.

### Kratownica (tylko N)

Ten typ pręta kratowniczowego absorbuje siły osiowe pod postacią rozciągania i ściskania. Pręt kratownicowy posiada wewnętrzne zwolnienia momentowe na swoich końcach. Z tego powodu nie jest możliwe zdefiniowanie dodatkowego zwolnienia. Program RFEM pokazuje tylko siły wewnętrzne węzła (które są przenoszone na pręty łączące). Ten typ pręta sam w sobie wykazuje liniowy rozkład sił wewnętrznych. Wyjątek stanowi obciążenie skupione na pręcie, w przypadku którego, jako wynik ciężaru własnego lub obciążenia liniowego nie zostanie pokazany żaden wykres momentu. Momenty graniczne wynoszą zero z powodu zwolnienia. Wzdłuż pręta zakładany jest rozkład liniowy. Jednakże siły osiowe są obliczane na podstawie obciążeń prętowych, co zapewnia ich poprawne przenoszenie.

Powodem tego specjalnego traktowania jest fakt, że dźwigar kratowy, jak jest to ogólnie rozumiane, przenosi tylko siły osiowe. Momenty nie są uwzględniane. Z tego powodu nie są one bądź celowo pokazywane w wynikach, bądź w ogóle nie wchodzi w skład obliczeń. Aby otrzymać i móc zobaczyć momenty od obciążeń pręta, należy wykorzystać pręt typu *Kratownica*.

### Rozciąganie / Ściskanie

Pręt rozciągany może absorbować jedynie siły rozciągające, natomiast pręt ściskany tylko siły ściskające. Obliczenia konstrukcji szkieletowej posiadającej pręty tego typu prowadzone są iteracyjnie. Podczas pierwszej iteracji, program RFEM określa siły wewnętrzne wszystkich prętów. Jeżeli pręty rozciągane posiadają ujemne siły osiowe (ściskanie) lub jeśli pręty ściskane posiadają dodatnie siły osiowe (rozciąganie), rozpoczynany jest kolejny krok iteracji, podczas którego nie będzie już uwzględniana sztywność tych prętów, ponieważ zostały one uszkodzone. Proces iteracji jest kontynuowany dopóki pręty rozciągane lub ściskane zostaną uszkodzone. W zależności od sposobu modelowania i obciążeń, cały układ może stać się niestabilny z powodu uszkodzenia prętów rozciąganych lub ściskanych.



Uszkodzony pręt rozciągany lub ściskany może zostać ponownie uwzględniony w macierzy sztywności, jeżeli zostanie on reaktywowany w późniejszym kroku iteracji, podczas redystrybucji w układzie. W tym celu w menu **Obliczyć** należy wybrać opcję **Parametry obliczeń**, aby otworzyć okno dialogowe *Parametry obliczeń*, gdzie można ustawić *globalne parametry obliczeń*. W sekcji okna dialogowego *Reaktywacja wadliwych prętów* można ustawić opcję *Postępowanie wyjątkowe* dla uszkodzonych prętów. Szczegóły na ten temat znajdują się w rozdziale 7.3 na stronie 292.

### Wyboczenie

Pręt wyboczeniowy absorbuje nieograniczoną ilość sił rozciągających. Niemniej siły ściskające są absorbowane tylko do osiągnięcia krytycznego obciążenia eulerowskiego.



$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{cr}^2}$$

gdzie  $l_{cr} = l$ 

Równanie 4.23

Użycie pręta tego typu często pozwala uniknąć niestabilności powstających w obliczeniach według analizy drugiego rzędu lub analizy dużych deformacji podczas wyoboczenia prętów kratownicowych. W przypadku zastąpienia kratownic przez pręty wyoboczeniowe (sytuacja zbliżona do rzeczywistej), w wielu przypadkach zostaje zwiększone obciążenie krytyczne.

### Kabel

Kable absorbują tylko siły rozciągające. Analizę prowadzi się dla ciągów kabli z siłami podłużnymi i poprzecznymi przy użyciu iteracyjnych obliczeń uwzględniających teorię kablową (analiza dużych deformacji - zobacz rozdział 7.3.1 na stronie 284). W tym celu niezbędne jest zdefiniowanie całego kabla jako ciągu kabli, składającego się z kilku pojedynczych prętów kablowych.

W celu jego szybkiego utworzenia, należy wskazać opcję **Generować Model - Pręty** w menu **Narzędzia** i wybrać **Łuk** (rozdział 11.7.2 na stronie 551). Im dokładniej kształt początkowy łańcucha będzie odpowiadał rzeczywistemu ciągowi kabli, tym stabilniej i szybciej przebiegną obliczenia.

Zaleca się sprężyć wstępnie pręty kablowe, w celu zapobieżenia wystąpienia sił ściskających prowadzących do uszkodzenia. Oprócz tego kable powinny być używane tylko, jeżeli deformacje mają znaczny udział w zmianie sił wewnętrznych, czyli gdy powstają duże deformacje. W przypadku stężeń poprzecznych (dach wystający), pręty rozciągane są w pełni wystarczające.



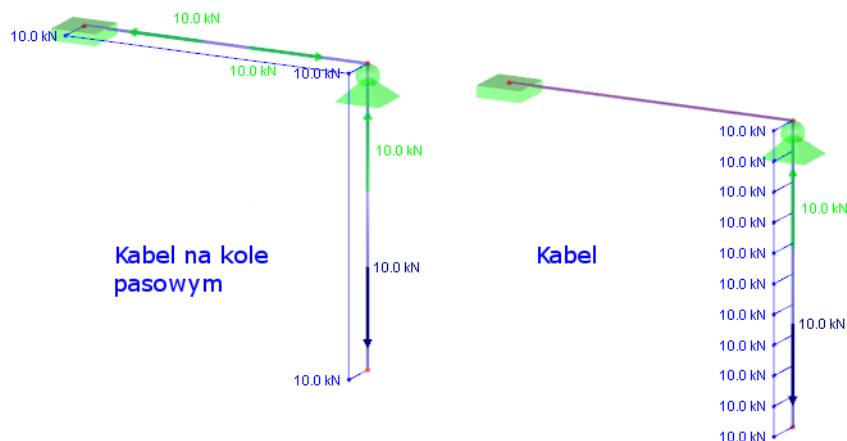
Podczas oceny deformacji prętów kablowych, należy ustawić współczynnik skalowania na "1" w panelu sterowania (zobacz Rysunek 3.20: Panel sterowania, zakładka Współczynniki na stronie 34), w celu realistycznego oddania oddziaływań stężeń.

### Kabel na kole pasowym

Kabel na kole pasowym absorbuje jedynie siły rozciągające i jest obliczany według teorii kablowej (analiza dużych deformacji). W przeciwieństwie do kabla, można zastosować go jedynie w przypadku polilinii posiadającej co najmniej trzy węzły. Ten typ prętów nadaje się dla układów kół pasowych, w których siły osiowe są przekazywane poprzez krążki.

W porównaniu do normalnego pręta kablowego, możliwe jest tylko przemieszczenie w węzłach wewnętrznych w podłużnym kierunku  $u_x$ . Z tego powodu pręt nie może posiadać obciążeń prętowych oddziałujących w lokalnych kierunkach  $y$  lub  $z$ .

Przemieszczenie w kierunku podłużnym nie może być dowolne na końcach kabla.



Rysunek 4.152: Układ z kablem na kole pasowym i prętem kablowym – siły osiowe i reakcje podporowe

Nie ma znaczenia dla węzłów wewnętrznych polilinii, czy dostępna jest podpora węzłowa lub czy pręt jest przyłączony do innej konstrukcji. Program RFEM analizuje całą konstrukcję pręta kablowego po długości polilinii.

Dla prętów typu *Kabel na kole pasowym*, program RFEM uwzględni jedynie przemieszczenia  $u_x$  i siły osiowe  $N$ .

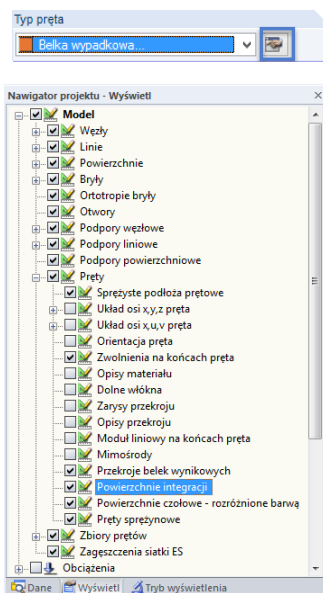
### Belka wypadkowa

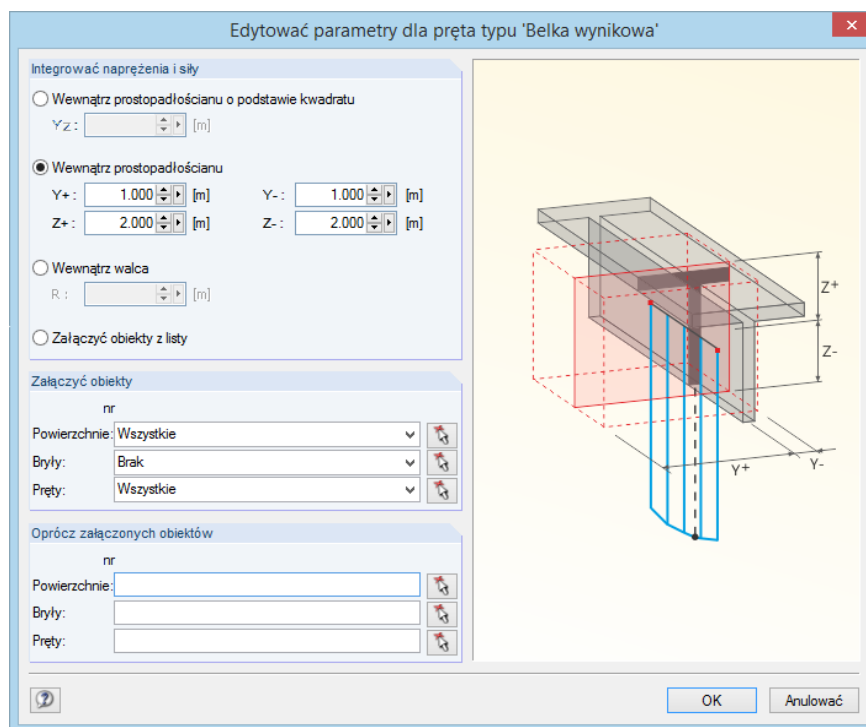
W podobny sposób, jak przecięcie przez model, belka wypadkowa może zostać umieszczona w dowolnym miejscu w modelu w postaci pręta wirtualnego. Wykorzystuje się ją do wyświetlania sił wewnętrznych powierzchni, prętów i brył w formie zintegrowanych wyników. W ten sposób można wyświetlić na przykład wynikowe siły tnące powierzchni używanej do zaprojektowania muru.

Belka wypadkowa nie wymaga podpory ani połączenia z modelem, ale też nie można na niej zastosować obciążeń.

Parametry integracji należy ustawić w oknie dialogowym (zobacz Rysunek 4.153), które otwiera się przy użyciu przycisku [Edytować].

W sekcji okna dialogowego *Integrować naprężenia i siły*, należy zdefiniować strefę wpływu belki wynikowej. Grafika w oknie dialogowym ilustruje parametry odpowiednie dla poszczególnych opcji.





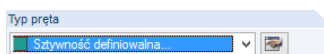
Rysunek 4.153: Okno dialogowe *Edytować parametry dla prętów typu 'Belka wynikowa'*

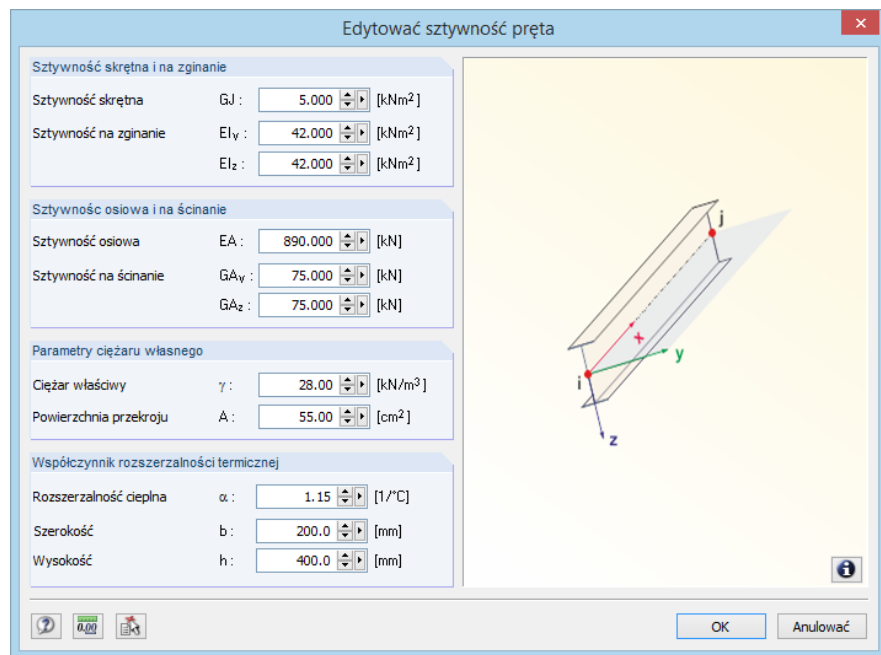
Sekcja okna dialogowego *Załączyć obiekty* pozwala na specjalny wybór elementów konstrukcji, których wyniki mają zostać uwzględnione podczas integracji. Należą do nich powierzchnie, bryły i pręty.

Po zdefiniowaniu belki wynikowej, można dokonać aktywacji i dezaktywacji obszarów integracji w nawigatorze *Wyświetl* (zobacz na rysunku pokazanym na lewym marginesie tej strony).

### Sztywność definiowalna

Sztywności pręta można określić bezpośrednio w oknie dialogowym, które otwiera się przy użyciu przycisku [Edytować]. Dzięki temu nie jest wymagane przydzielanie przekroju.



Rysunek 4.154: Okno dialogowe *Edytować sztywność pręta*

Definicję macierzy sztywności można sprawdzić przy użyciu przycisku [Informacje].

### Połączenie

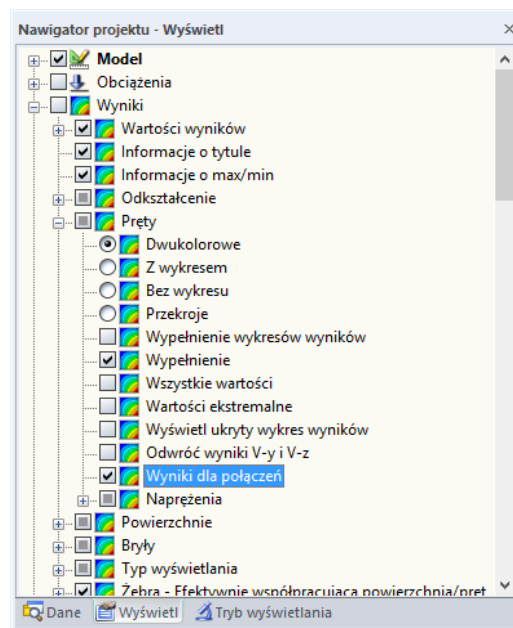
Pręt łączący jest wirtualnym, bardzo sztywnym prętem posiadającym parametry sztywności lub zwolnienia, które można definiować. Stopnie swobody węzłów początkowych i końcowych można połączyć na cztery różne sposoby. Siły osiowe i tnące lub momenty skręcające i zginające są przenoszone bezpośrednio z jednego węzła na drugi. Połączenie można wykorzystać do zamodelowania specjalnych sytuacji dla przenoszenia sił i momentów.

Program RFEM oblicza sztywności połączeń zależne od konstrukcji, w celu wykluczenia problemów numerycznych.



Przy użyciu alternatywnego *Pręta sztywnego* (zobacz na stronie 151) można definiować pręty łączące, uwzględniając również sprężystości i nieliniowości zwolnień.

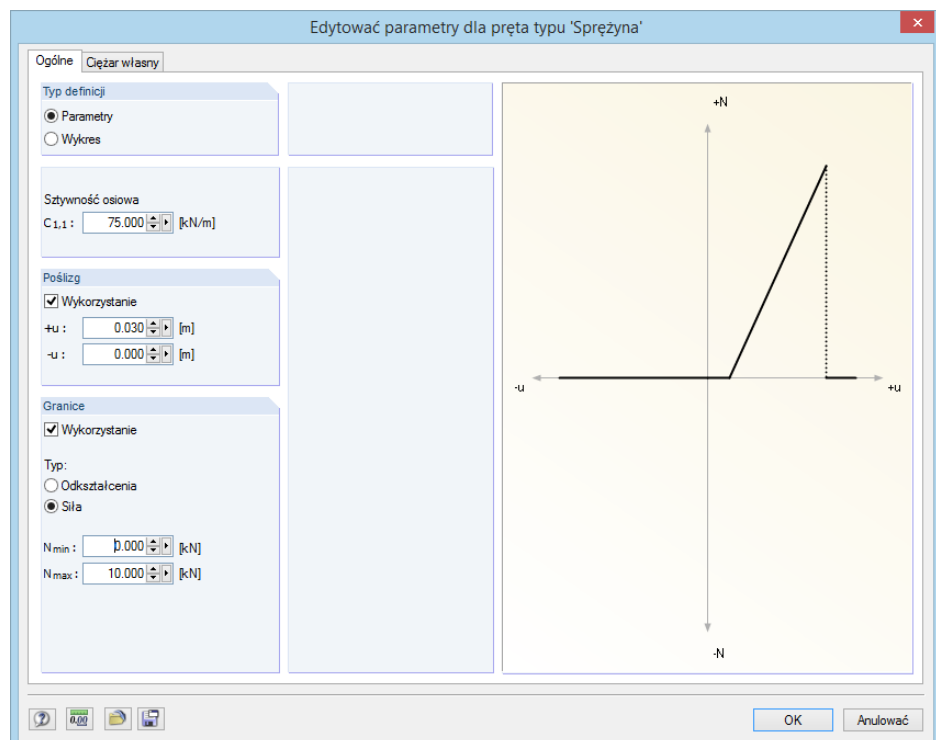
Wyniki tych połączeń można kontrolować w nawigatorze *Wyświetl*.



Rysunek 4.155: Aktywowanie wyświetlania dla wyników prętów łączących w nawigаторze Wyświetl

### Sprężyna

Jeżeli ustawione są nieliniowości *Sprężyn*, można otworzyć nowe okno dialogowe przy użyciu przycisku [Edytować] lub przycisku [...] w tabeli.

Rysunek 4.156: Okno dialogowe *Edytować parametry dla pręta typu 'Sprężyna'*

Parametry sprężyny definiuje się poprzez *Parametry* lub przy użyciu *Wykresu*. Stała sprężystości  $C_{1,1}$  opisuje sztywność pręta w jego lokalnym kierunku x według następującej zależności:

$$k = \frac{E \cdot A}{l}$$

Równanie 4.24

Poślizg określa strefę deformacji, w której sprężyna nie absorbuje żadnych sił.

Oprócz tego dostępne są dwie opcje do definiowania *Granicy* sprężyny:

- *Odształcenia*: Wartości  $u_{\min}$  i  $u_{\max}$  definiują geometryczną strefę aktywności sprężyny. Sprężyna będzie zachowywać się jak pręt sztywny (zatrzymanie), w przypadku deformacji poza określoną strefą.
- *Siła*: Wartości  $N_{\min}$  i  $N_{\max}$  definiują strefę aktywności dla sił, które mogą być zabsorbowane przez sprężynę. Jeżeli siła osiowa znajdzie się poza zdefiniowanymi granicami, sprężyna zostanie uszkodzona.

W przypadku ustawienia opcji *Wykres*, właściwości sprężyny można zdefiniować w sposób jeszcze dokładniejszy. Ustawienia te są prawie identyczne, jak opcje dostępne dla nieliniowości zwolnień prętowych (zobacz rozdział 4.14 na stronie 144).

### Zerowy

W obliczeniach nie zostanie uwzględniony ani element fikcyjny ani jego obciążenia. Elementy fikcyjne można wykorzystać podczas analizy, na przykład, zmian w zachowaniu konstrukcji w przypadku, gdy określone pręty nie będą efektywne. W takim wypadku nie ma potrzeby usuwania tych prętów, a ich obciążenia również zostaną zachowane.

### Przekrój na początku pręta i na końcu pręta

Te dwa pola do wprowadzania danych lub kolumny tabeli służą do definiowania przekrojów dla początku i końca pręta. Numery przekrojów odnoszą się do wpisu w tabeli 1.13 *Przekroje* (zobacz rozdział 4.13 na stronie 127). Przydzielanie ułatwiają kolory związane z poszczególnymi przekrojami.



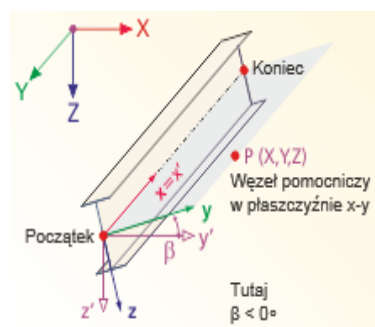
Pręt o zmiennym przekroju

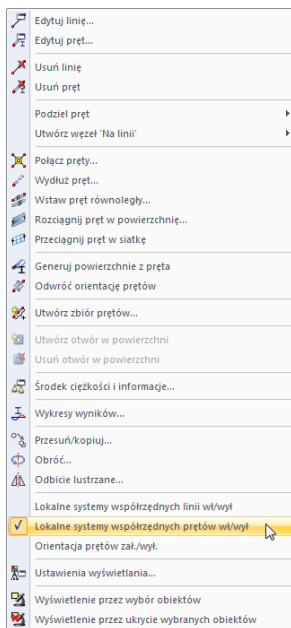
W przypadku wprowadzenia innego numeru dla przekrojów na początku i na końcu pręta, tworzone jest jego zwężenie (czyli pręt o zmiennym przekroju). Program RFEM interpoluje zmienne sztywności wzdłuż pręta według wielomianów wyższego stopnia. Niepoprawne dane, takie jak zwężenie dla przekroju IPE i stali okrągłej zostaną zidentyfikowane podczas sprawdzania poprawności przed rozpoczęciem obliczeń.

Wewnętrzne określanie wartości przekrojów zwężanych kontroluje się przy pomocy opcji *Skos* ustawianego w zakładce **Opcje** w oknie dialogowym *Nowy pręt* lub w kolumnie tabeli (zobacz na stronie 161).

### Obrót pręta

Związany z prętem układ współrzędnych  $x,y,z$  definiowany jest zgodnie z ruchem wskazówek zegara przy użyciu kątów prostych. Lokalna oś  $x$  stanowi zawsze oś środka ciężkości pręta, łącząc węzeł początkowy z węzłem końcowym linii (kierunek dodatni). Osie  $y$  i  $z$  pręta lub odpowiednio  $u$  i  $v$  dla przekrojów niesymetrycznych, stanowią osie główne pręta.

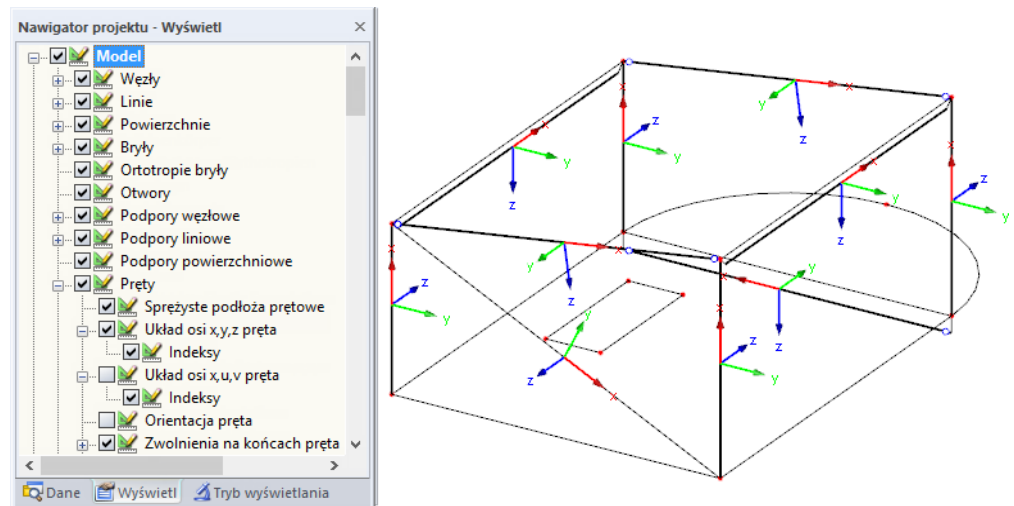
Rysunek 4.157: Obrót pręta oraz lokalne osie  $x,y,z$  pręta (dowolne położenie w przestrzeni)



Menu kontekstowe pręta

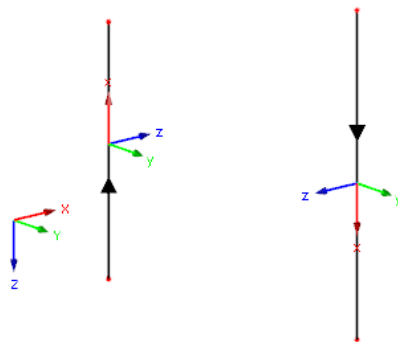
Położenie osi lokalnych  $y$  i  $z$  ustawiane jest domyślnie. Oś  $y$  przebiega prostopadłe do osi podłużnej  $x$  i równoległe do globalnej płaszczyzny  $XY$ . Położenie osi  $z$  określane jest przy użyciu reguły prawej dłoni. Na orientację lokalnej osi  $z$  ma wpływ globalna oś  $Z$ . Składowa  $z'$  jest zawsze skierowana w kierunku dodatniej osi  $Z$ .

Aby sprawdzić położenie pręta, należy wykorzystać renderowanie 3D. W tym samym celu można wykorzystać również navigator *Wyświetl* lub menu kontekstowe pręta, aby wyświetlić *Układy osi pręta x,y,z*.

Rysunek 4.158: Aktywowanie lokalnych układów osi pręta w navigatorze *Wyświetl*

Kolumna **N** zawiera informacje na temat osi globalnej przebiegającej równoległe do pręta lub wskazuje płaszczyznę obejmowaną przez globalne osie w położeniu pręta. Jeżeli nie będzie tam żadnego wpisu, oznacza to, że pręt znajduje się w dowolnym położeniu w przestrzeni.

Jeżeli pręt ułożony jest równoległe do globalnej osi  $Z$ , czyli w pozycji pionowej, lokalna oś  $z$  nie będzie posiadała składowej  $Z$ . W takim przypadku zastosowanie ma następująca reguła: lokalna oś  $y$  zostanie ułożona równoległe do globalnej osi  $Y$ . Położenie osi  $z$  jest następnie określane przy użyciu reguły prawej dłoni.

Rysunek 4.159: Pionowa pozycja prętów dla prętów posiadających różne orientacje ( $\beta = 0^\circ$ )

Jeżeli pręt wchodzący w skład ciągłego zbioru prętów słupa nie będzie znajdował się dokładnie w pozycji pionowej (z powodu małych odchyleń współrzędnych  $X$  lub  $Y$  węzła), osie pręta mogą zmienić swoją orientację. Program RFEM klasyfikuje pozycję pręta jako "ogólna", jeżeli będzie on lekko pochylony. Jeżeli jednak pręt w pozycji ogólnej ma zostać zaklasyfikowany jako *pionowy*, należy wybrać opcję **Regenerować model** w menu **Narzędzia** (zobacz rozdział 7.1.3 na stronie 274).

Obroty pręta można zastosować na dwa sposoby:

### Obrót pręta o kąt $\beta$

W polu tym definiuje się kąt  $\beta$ , o który zostanie obrócony pręt. Jeżeli kąt obrotu  $\beta$  będzie dodatni, osie  $y$  i  $z$  zostaną obrócone zgodnie z ruchem wskazówek zegara wokół osi podłużnej  $x$  pręta.



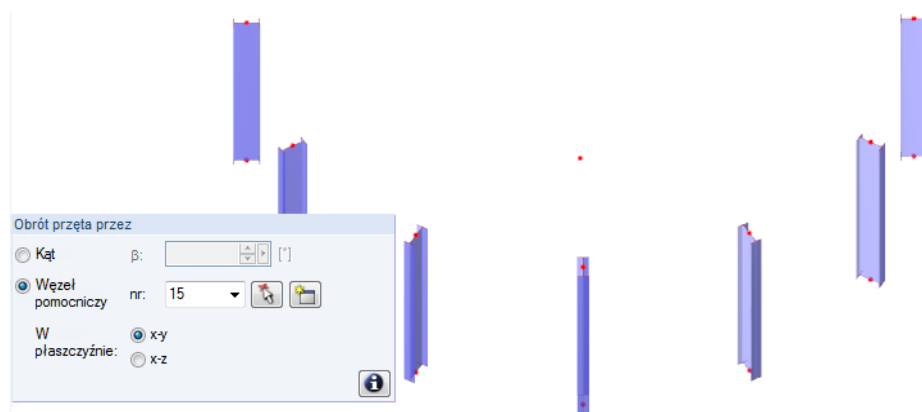
Należy przy tym zauważyć, że kąt obrotu pręta  $\beta$  oraz kąt obrotu przekroju  $\alpha'$  (zobacz rozdział 4.13 na stronie 127) są ze sobą sumowane.

W konstrukcjach 2D dozwolone są jedynie kąty obrotu pręta wynoszące  $0^\circ$  i  $180^\circ$ .

### Obrót pręta o węzeł pomocniczy

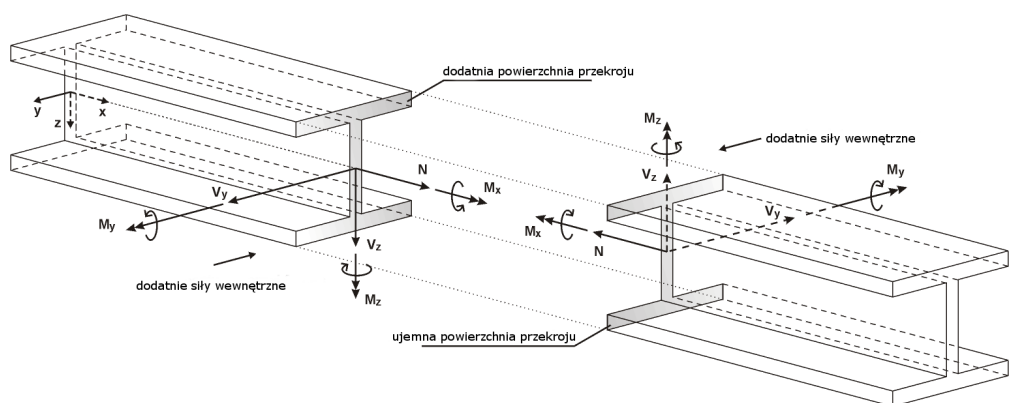
Układ osi pręta skierowany jest w stronę danego węzła. Na początku należy wybrać oś ( $y$  lub  $z$ ), która zostanie odniesiona do węzła pomocniczego. Węzeł pomocniczy określa również płaszczyznę  $x-y$  lub  $x-z$  pręta. Następnie należy wprowadzić węzeł pomocniczy. Węzeł ten można również wybrać graficznie lub utworzyć go jako zupełnie nowy węzeł. Należy się przy tym upewnić, że nie leży on na linii prostej zdefiniowanej przez oś  $x$  pręta.

Poniższy przykład pokazuje słupy ułożone w kierunku punktu środkowego.



Rysunek 4.160: Obrót pręta o węzeł pomocniczy

Zmiany w lokalnym układzie osi pręta mogą wpłynąć na znaki sił wewnętrznych. Poniższy rysunek ilustruje ogólną regułę przydzielania znaków.



Rysunek 4.161: Dodatnia definicja sił wewnętrznych



Moment zginający  $M_y$  jest dodatni, jeżeli naprężenia rozciągające występują na dodatniej stronie pręta (w kierunku osi  $z$ ).  $M_z$  jest dodatni, jeżeli naprężenia ściskające występują na dodatniej stronie pręta (w kierunku osi  $y$ ). Definiowanie znaków dla momentów skręcających oraz dla sił osiowych i tnących odpowiada ogólnej konwencji mówiącej, że: siły wewnętrzne są dodatnie, jeżeli oddziałują one w kierunku dodatnim.



### Zwolnienie na początku pręta i na końcu pręta

W tych dwóch kolumnach tabeli lub w polach wprowadzania danych w oknie dialogowym *Nowy pręt* można zdefiniować zwolnienia kontrolujące przenoszenie sił wewnętrznych na węzły. Numery zwolnień odnoszą się do wpisów dostępnych w tabeli 1.14 *Zwolnienia na końcach pręta* (zobacz rozdział 4.14 na stronie 139).

W przypadku niektórych typów pręta nie można wprowadzić danych, ponieważ posiadają one już zwolnienia wewnętrzne.

### Mimośród pręta

W tej kolumnie tabeli lub w polu wprowadzania danych w zakładce okna dialogowego *Opcje* (zobacz Rysunek 4.151) można przydzielać połączenia mimośrodowe do pręta. Ilość mimośrodków związana jest z tabelą 1.15 *Mimośrodky prętowe* (zobacz rozdział 4.15 na stronie 146). Typ połączenia określa mimośrodek na początku i na końcu pręta.

### Podział pręta

Odcinki pręta kontrolują dane numeryczne dla sił wewnętrznych i deformacji wzdłuż pręta (zobacz rozdział 4.16 na stronie 148). Przy użyciu ustawień w kolumnie tabeli lub w polu wprowadzania w zakładce okna dialogowego *Opcje* można przydzielić lub utworzyć nowe odcinki. Ilość odcinków związana jest z wpisami w tabeli 1.16 *Odcinki pręta*.

Odcinki pręta nie mają żadnego wpływu na określanie wartości ekstremalnych ani na graficzny wykres wyników (program RFEM wewnętrznie wykorzystuje bardziej zagęszczony podział). Ponieważ w większości przypadków nie jest wymagany podział pręta, jako ustawienie domyślne przyjmowane jest 'Żaden' lub '0'.

### Sprężyste podłoże prętowe

Przy użyciu tego pola wprowadzania w zakładce *Opcje* (zobacz Rysunek 4.151) można przydzielać podłoże sprężyste do pręta. Numery podłoży sprężystych można kontrolować w tabeli 1.19 *Sprężyste podłoże prętowe* (zobacz rozdział 4.19 na stronie 167).

### Nieliniowości prętowe

Aby dodać właściwości nieliniowe do pręta (zobacz Rysunek 4.151 na stronie 150), należy wykorzystać pole wprowadzania w zakładce *Opcje* (zobacz Rysunek 4.151). Numery nieliniowości związane są z wpisami w tabeli 1.20 *Nieliniowości prętowe* (zobacz rozdział 4.20 na stronie 169).

### Skos

Jeżeli zostały zdefiniowane różne przekroje dla początku i dla końca pręta, ta kolumna tabeli lub pole wprowadzania w zakładce *Opcje* oferuje wybór pomiędzy *Liniowym* a *Kwadratowym* typem zwężenia. W ten sposób można zamodelować geometrię zwężenia w sposób realistyczny w celu określenia interpolowanych wartości przekroju.

W większości przypadków stosuje się liniowy przebieg zwężenia. Wysokość przekroju zmienia się jednostajnie od początku do końca tego przekroju, a jego szerokość pozostaje mniej więcej stała. Jednakże, jeżeli szerokość przekroju wzdłuż pręta również znacznie się zmienia (na przykład zwężenie utworzone przez przekroje bryłowe), podczas interpolacji wartości przekroju zaleca się wykorzystać funkcję kwadratową.

### Długość

Ta kolumna tabeli zawiera długość absolutną pręta jako odległość pomiędzy węzłem początkowym a końcowym. Uwzględniane są przy tym mimośrodky.

Długość pręta można sprawdzić również w oknie roboczym. W tym celu należy najechać wskaźnikiem myszy na pręt i poczekać chwilę, aż pojawi się jego Podpowiedź ekranowa

## Ciężar

Ciężar pręta określany jest jako iloczyn pola przekroju  $A$  oraz ciężaru właściwego materiału. Program RFEM przyjmuje wartość 10 N/kg dla przyspieszenia ziemskiego.

## Pozycja

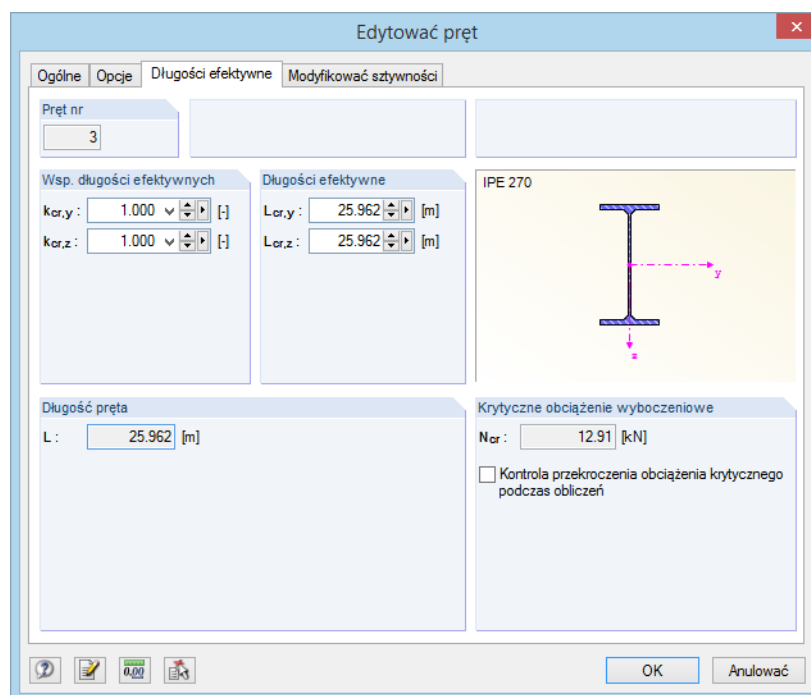
Kolumna **N** w tabeli zawiera informacje na temat osi globalnej przebiegającej równoległe do pręta lub wskazuje płaszczyznę obejmowaną przez osie globalne, w której leży pręt. Jeżeli nie będzie tam żadnego wpisu, oznacza to, że pręt znajduje się w dowolnym położeniu w przestrzeni.



Jeżeli pręt znajdujący się w ciągłym zbiorze prętów słupa nie będzie znajdował się dokładnie w pozycji pionowej (z powodu małych odchyłeń współrzędnych  $X$  lub  $Y$  węzła), osie pręta mogą zmienić swoją orientację. Program RFEM klasyfikuje pozycję pręta jako "ogólna", jeżeli będzie on lekko pochylony. Jeżeli jednak pręt w pozycji ogólnej ma zostać zaklasyfikowany jako **pionowy**, należy wybrać opcję *Regenerować model* menu *Narzędzia* (zobacz rozdział 7.1.3 na stronie 274).

## Długości efektywne

Zakładka *Długości efektywne* służy do zarządzania *Współczynnikami długości efektywne*  $k_{cr,y}$  i  $k_{cr,z}$ .



Rysunek 4.162: Okno dialogowe *Edytować pręt*, zakładka *Długości efektywne*

Współczynniki długości efektywnej można dostosować osobno dla obu osi pręta. Pola w prawej części okna dialogowego pokazują *Długości efektywne* wynikające z wprowadzonych współczynników i długości pręta.

Współczynniki długości efektywnej mają duże znaczenie dla modułów dodatkowych, takich jak RF-STEEL EC3, które prowadzą analizę stateczności, ale mają drugorzędne znaczenie dla programu RFEM, ponieważ długości wybocheniowe dla prętów wybocheniowych są określane wewnątrz na podstawie warunków brzegowych, które są stosowane w sposób dokładny.

W sekcji okna dialogowego *Krytyczne obciążenie wybocheniowe* można wybrać, czy podczas obliczeń zostanie sprawdzone obciążenie pręta wybocheniem giętym. Pole wyboru jest domyślnie zaznaczone w przypadku kratownicy oraz prętów ściskanych i wybocheniowych.

Zakładka *Globalne parametry obliczeń* okna dialogowego *Parametry obliczeń* (zobacz Rysunek 7.22 na stronie 292) zapewnia globalne ustawienia dla tych opcji.



### Pręt jako model powierzchni

Funkcja menu kontekstowego *Generować powierzchnie z pręta* służy do zamiany pręta (element 1D) na odpowiednie elementy powierzchniowe (elementy 2D) dla obliczeń szczegółowych. Funkcja ta została opisana w rozdziale 11.7.1.5 na stronie 538.



### Duplikowanie prętów

Zazwyczaj w modelu unika się nakładania się prętów. Podczas definiowania nowego pręta w węzłach istniejącego już pręta, program RFEM automatycznie usunie stary pręt.

Aby zapobiec usunięciu zdefiniowanych wcześniej prętów przez program RFEM, należy wybrać opcję *Aktywować pręty podwójne* w menu *Edytować*. Program RFEM uwzględni w obliczeniach sztywność obu prętów.

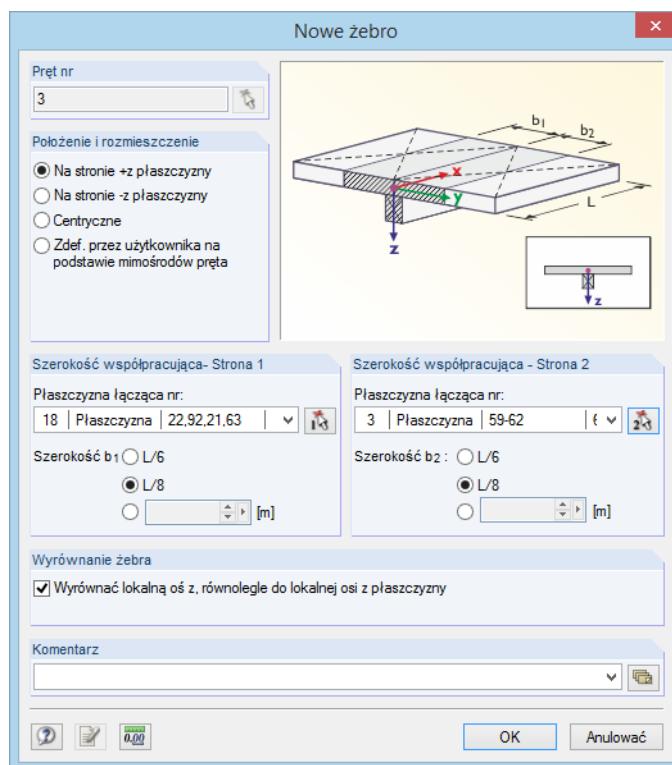
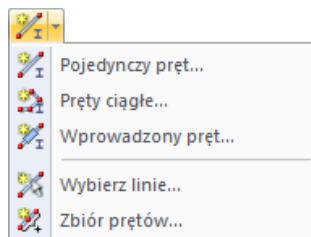
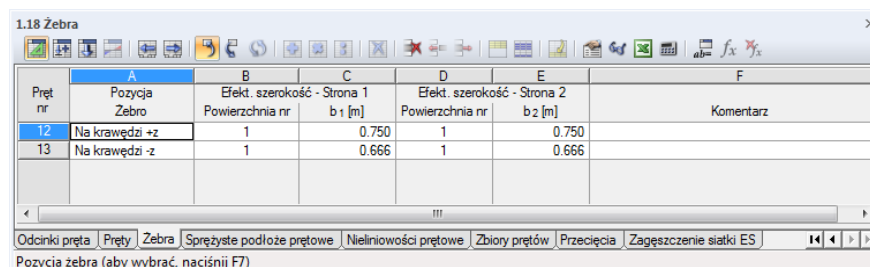
## 4.18 Żebra

## Opis ogólny

Żebra stanowią specjalny typ pręta. Aby utworzyć żebro, wymagane jest wcześniejsze utworzenie pręta. Żebra można wykorzystać do zamodelowania belek teowych w modelu MES, poprzez zdefiniowanie mimośrodków i szerokości efektywnych.

Żebra są szczególnie polecane dla modeli posiadających elementy żelbetowe. Siły wewnętrzne i przekroje żebrowe można wykorzystać do obliczeń w module dodatkowym **RF-CONCRETE Members**. Niemniej w przypadku modelowania stalowej płyty z przyspawanym "żebrem", należy wykorzystać płaszczyznę z mimośrodkowo przyłączonym prętem.

Żebro można zdefiniować bezpośrednio przy użyciu menu kontekstowego nawigatora o nazwie *Żebra* lub poprzez wprowadzenie danych w oknie dialogowym. Jeżeli podczas tworzenia nowego pręta został wybrany *Typ pręta Żebro* (zobacz rozdział 4.17 na stronie 150), można wykorzystać uaktywniony przycisk [Edytować], w celu zdefiniowania jego parametrów. Oprócz tego można otworzyć okno dialogowe pokazane poniżej przy użyciu menu głównego lub menu kontekstowego nawigatora.

Rysunek 4.163: Okno dialogowe *Nowe żebro* (dla modelu typu 2D - XY)


Pręt nr	A	B	C	D	E	F
	Pozycja Żebro	Efekt. szerokość - Strona 1 Powierzchnia nr	b <sub>1</sub> [m]	Efekt. szerokość - Strona 2 Powierzchnia nr	b <sub>2</sub> [m]	Komentarz
12	Na krawędzi +z	1	0.750	1	0.750	
13	Na krawędzi -z	1	0.666	1	0.666	

Footer: Odcinki pręta | Pręty | Żebra | Sprężyste podłoże prętowe | Nieliniowości prętowe | Zbiory prętów | Przecięcia | Zageźszczenie siatki ES | 14 | < > >> |  
Pozycja żebra (aby wybrać, naciśnij F7)

Rysunek 4.164: Tabela 1.18 *Żebra*

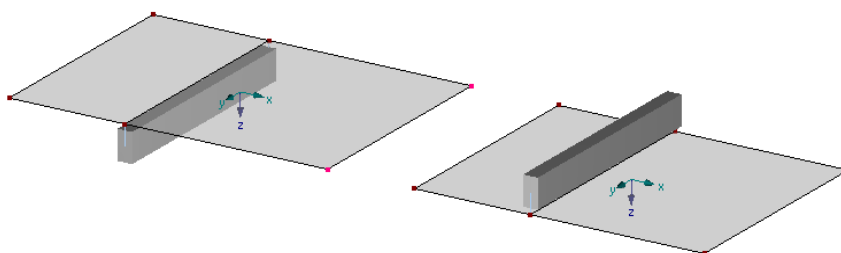
### Położenie żebra

Mówiąc ogólnie, żebro jest mimośrodowo ułożonym prętem. Mimośród ten określany jest automatycznie na podstawie połowy grubości płaszczyzny i połowy wysokości pręta (nie ma to wpływu na tabelę 1.15 *Mimośrody prętowe*). Można również zdefiniować go ręcznie. Mimośród prętowy zwiększa sztywność modelu.

Dostępne są następujące możliwości jego wstawienia:

#### Na stronie +/-z płaszczyzny

Mimośród jako suma połowy grubości płaszczyzny oraz połowy wysokości środka jest wstawiany automatycznie w kierunku dodatniej lub ujemnej osi *z* płaszczyzny. Aby wyświetlić i sprawdzić osie *x,y,z* powierzchni w grafice, należy wykorzystać nawigator *Wyświetl* (zobacz Rysunek 4.115 na stronie 126).



Rysunek 4.165: Żebra na dodatniej stronie z (lewej) i na ujemnej stronie z (prawej) płaszczyzny

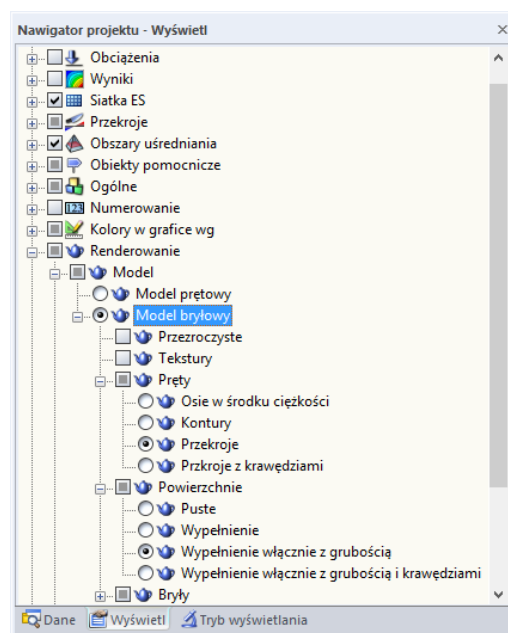
### Centrycznie

Żebro modelowane jest bez mimośrodu. Oś środka ciężkości leży w środku powierzchni.

#### Określona przez użytkownika na podstawie mimośrodów pręta

Mimośród prętowy definiuje się ręcznie w oknie dialogowym *Nowy mimośród pręta* lub bezpośrednio w tabeli 1.15 (zobacz rozdział 4.15 na stronie 146), a następnie przydziela się go do pręta.

Położenie żebra można łatwo sprawdzić w trybie renderowania. W tym celu w nawigatorze *Wyświetl* należy zaznaczyć dwie opcje wyświetlania dla modeli bryłowych: *Renderowanie* → *Pręty* → *Przekroje* i *Renderowanie* → *Powierzchnia* → *Wypełnienie włącznie z grubością*.



Rysunek 4.166: Nawigator *Wyświetl*: *Renderowanie* → *Model bryłowy*

### Szerokość współpracująca

Podczas modelowania konstrukcji 3D, szerokość efektywna nie ma wpływu na sztywność, ponieważ zwiększona sztywność jest już uwzględniana przez pręt mimośrodowy. Szerokość efektywna wpływa jedynie na siły wewnętrzne. Jednakże w przypadku konstrukcji 2D (typ modelu 2D - XY), sztywność jest kontrolowana przy użyciu ustawień stosowanych dla *Redukcji sztywności* (zobacz poniższy paragraf).

Jeżeli zamiast żebra używana jest mimośrodowo przyłączona belka, model MES zapewnia siły wewnętrzne dla pręta i płyty stropowej. Jednakże w przypadku wymiarowania żelbetu, pręt oraz określona część płaszczyzny są uwzględniane jako jeden element w postaci belki stropowej (belka teowa). Aby określić siły wewnętrzne dla tej belki stropowej, moment zginający na pręcie musi zostać zwiększony o iloczyn mimośrodowości i siły osiowej w płycie. Aby określić siłę osiową w płycie, należy znać obszar, w którym sumowane są siły osiowe. Z tego powodu należy określić szerokości efektywne oraz powierzchnie.

### Płaszczyzna łącząca



Szerokości efektywne żebra muszą zostać zdefiniowane osobno dla lewej i prawej strony. W wielu przypadkach można zostawić ustawienie *Automatyczne wykrywanie* na liście *Płaszczyzna łącząca nr* dostępnej w oknie dialogowym *Nowe żebro*. Jedynie w przypadku, gdy dwie płaszczyzny łączą się ze sobą wzdłuż linii żebra, należy jednoznacznie określić płaszczyzny łączące.

### Szerokość współpracująca

Szerokości  $b_1$  lub  $b_2$  mogą zostać wprowadzone bezpośrednio w polu wprowadzania lub obliczone automatycznie na podstawie długości pręta poprzez wybranie opcji *L/6* i *L/8*. Po zatwierdzeniu okna dialogowego, program RFEM określa szerokości współpracujące i wprowadza wartości.



Uwaga: Podczas późniejszej modyfikacji długości pręta, szerokości współpracujące nie zostaną dostosowane automatycznie!

Po zakończeniu obliczeń, efektywne składniki płaszczyzny mogą zostać uwzględnione w wynikach pręta. W nawigаторze *Wyświetl*, należy kliknąć opcję *Wyniki* i wybrać *Efektywnie współpracująca powierzchnia/pręt*. Wykresy wyników na pręcie pozwalają również dokonać oceny sił wewnętrznych żebra (zobacz rozdział 9.5 na stronie 382).

### Redukcja sztywności

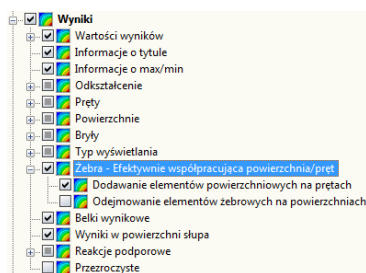
Ta sekcja okna dialogowego lub kolumny tabeli wyświetlana jest tylko, jeżeli w danych ogólnych modelu został ustawiony typ modelu 2D - XY (zobacz Rysunek 12.23 na stronie 591). W przeciwieństwie do konstrukcji zdefiniowanych w przestrzeni, w których podczas analizy ES można uwzględnić żebra jako mimośrodowo ułożone pręty, w przypadku belek stropowych wykorzystywane jest inne podejście analityczne.

### Bez oddziaływania elementu płaszczyzny

Podczas obliczeń, program RFEM wykorzystuje przekrój zastępczy, którego sztywność jest określana na podstawie przekroju pręta oraz efektywnego składnika płyty w przypadku płaszczyzny. Dzięki temu sztywność płyty jest określana dwukrotnie dla mimośrodowo ułożonych żeber, ponieważ jest ona efektywna w przekroju zastępczym oraz bezpośrednio w elementach płaszczyznowych. W przypadku zaznaczenia pola wyboru *Bez oddziaływania elementu płaszczyzny*, składowa sztywności płyty nie zostanie uwzględniona w przekroju zastępczym.

### Oddziaływanie sztywność na skręcanie

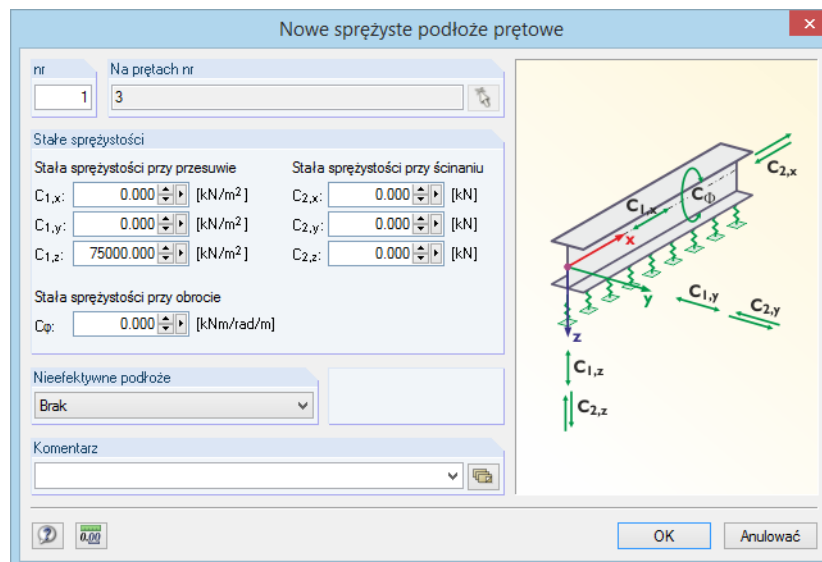
Pole to służy do redukcji sztywności żebra na skręcanie.



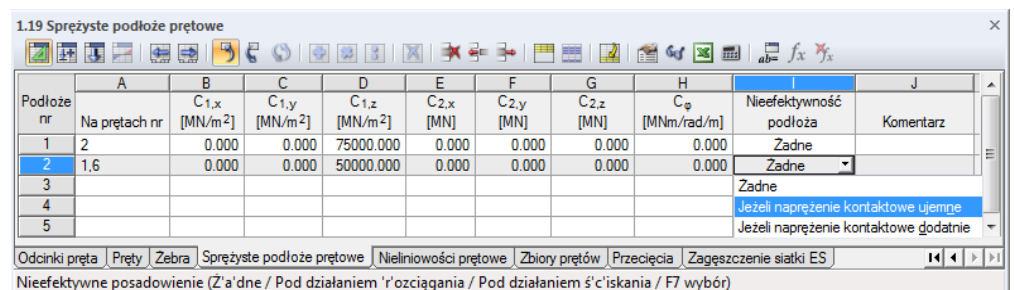
## 4.19 Sprężyste podłoża prętowe

### Opis ogólny

Podczas gdy podpory węzłowe reprezentują podparcie na obu końcach pręta, sprężyste podłoża prętowe zapewniają podparcie sprężyste pręta wzdłuż jego całej długości. Sprężyste podłoża prętowe służą do modelowania na przykład ław fundamentowych z uwzględnieniem charakterystyk gruntu. Jeżeli podłożo sprężyste nie jest efektywne w przypadku naprężeń rozciągających lub ściskających, w obliczeniach można uwzględnić oddziaływania nieliniowe.



Rysunek 4.167: Okno dialogowe *Nowe sprężyste podłożo prętowe*



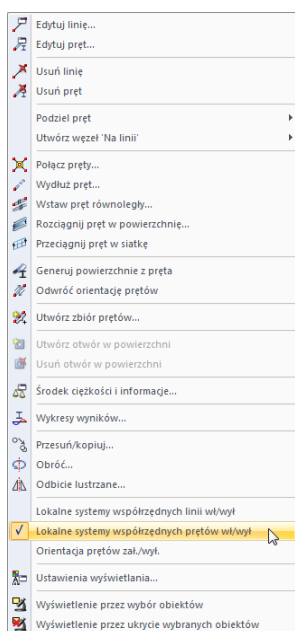
Podłoże nr	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
nr	Na prętach nr	C <sub>1,x</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	C <sub>1,y</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	C <sub>1,z</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	C <sub>2,x</sub> [MN]	C <sub>2,y</sub> [MN]	C <sub>2,z</sub> [MN]	C <sub>φ</sub> [MNm/rad/m]	Nieefektywność podłoża	Komentarz
1	2	0.000	0.000	75000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Zadne	
2	1,6	0.000	0.000	50000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Zadne	
3									Zadne	
4									Jeżeli naprężenie kontaktowe ujemne	
5									Jeżeli naprężenie kontaktowe dodatnie	

Rysunek 4.168: Tabela 1.19 *Sprężyste podłożo prętowe*

### Na prętach

Sprężyste podłoża prętowe mogą być zdefiniowane jedynie dla pręta typu *Belka*. Numer pręta wprowadza się w kolumnie tabeli lub w polu wprowadzania. Można również zdefiniować go graficznie.





Menu kontekstowe pręta

## Stałe sprężystości

### Stała sprężystości przy przesuwie

Parametry stałej sprężystości przy przesuwie należy określić w kierunku lokalnych osi pręta  $x$ ,  $y$  oraz  $z$ .

Moduły sztywności  $E_s$  z Tabela 4.8 służą jako wartości referencyjne. Należy przy tym zauważyć, że dane w programie RFEM odnoszą się do modułu posadowienia, który zostanie określony przy uwzględnieniu współczynnika kształtu.

Typ gruntu	$E_s$ (obciążenie statyczne)	$E_s$ (obciążenie dynamiczne)
Piasek, zbity	40 – 100	200 – 500
Piasek żwirowy, zbity	80 – 150	300 – 800
Gлина, od pół-stałych do stałych	8 – 30	120 – 250
Gлина, sztywno-plastyczna	5 – 20	70 – 150
Grunty mieszane, od pół-stałych do stałych	20 – 100	200 – 600

Tabela 4.8: Moduły sztywności wybranych typów gruntu w [N/mm<sup>2</sup>]

Wartości z Tabela 4.8 stanowią zależne od powierzchni wartości charakterystyczne, które opisują siłę powierzchniową w [N/mm<sup>2</sup>] wymaganą do zagęszczenia gruntu o 1 mm. Z tego powodu jednostka ta powinna być interpretowana w odniesieniu do gruntu jako [N/mm<sup>3</sup>].

W przypadku belek fundamentowych używanych na przykład do modelowania ław fundamentowych, należy określić współczynnik sprężystości uwzględniający szerokość przekroju. W ten sposób otrzymuje się stałą sprężystości przy przesuwie w [N/mm<sup>2</sup>] odniesioną do pręta. Sprężystość określa siłę w pręcie w [N/mm] wymaganą do zagęszczenia gruntu o 1 mm – z tego powodu dla danych początkowych używana jest jednostka [N/mm<sup>2</sup>]. Wynik musi być wprowadzony jako stała sprężystości przy przesuwie  $C_{1,z}$ . W przypadku ław fundamentowych (pręty w pozycji poziomej), lokalna oś  $z$  jest zwykle skierowana w dół.

Sztywności sprężyste są uwzględniane jako wartości obliczeniowe.

Przy użyciu nawigatora *Wyświetl* lub menu kontekstowego pręta można wyświetlić lokalne osie pręta (zobacz Rysunek 4.158 na stronie 159).

### Stała sprężystości przy ścinaniu

Stałe sprężystości przy ścinaniu używane są do określania nośności gruntu na ścinanie. Stałe sprężystości  $C_2$  określane są na podstawie iloczynu  $\nu \cdot C_{1,z}$ , ze współczynnikiem Poissona  $\nu$  przyjmowanym w zakresie od 0,125 do 0,5 dla piasku i żwiru oraz w zakresie od 0,2 do 0,4 dla glin.

### Stała sprężyny przy obrocie

Stałą sprężyny obrotowej wprowadza się w polu wprowadzania w oknie dialogowym lub w kolumnie tabeli. Stała ta powstrzymuje pręt przed obrotem wokół swojej osi podłużnej.

### Nieefektywne podłoże

Jeżeli podłoże sprężyste nie jest efektywne w przypadku wystąpienia naprężeń rozciągających lub ściskających, należy przydzielić temu typowi podłoża charakterystykę nieliniową *Zaniedbanie*.

Należy przy tym pamiętać, że kryterium uszkodzenia *Zaniedbanie*, jeśli naprężenie kontaktowe ujemne w  $z$  lub dodatnie w  $z$  odnosi się jedynie do lokalnej osi pręta  $z$ . Nieliniowość ta nie ma





zastosowania w przypadku sprężystości przy przesuwie w kierunku lokalnych osi  $x$  lub  $y$ ! Z tego powodu nie jest możliwe uszkodzenie prętów fundamentu oddziałujące dwuosiowo.

Nieefektywność w przypadku ujemnych naprężeń kontaktowych ma następujące znaczenie: posadowienie nie podlega oddziaływaniom, jeżeli element prętowy porusza się w przeciwnym kierunku do lokalnej osi  $z$ .

Jeżeli stosowane jest kryterium uszkodzenia, zaleca się sprawdzić położenie oraz orientację lokalnych osi  $z$  (zobacz Rysunek 4.158 na stronie 159). W takim przypadku może zajść potrzeba obrócenia prętów.

Podział prętów z podłożami sprężystymi może zostać dostosowany w zakładce *Globalne Parametry obliczeń* w oknie dialogowym *Parametry obliczeń* (zobacz rozdział 7.3 na stronie 292).

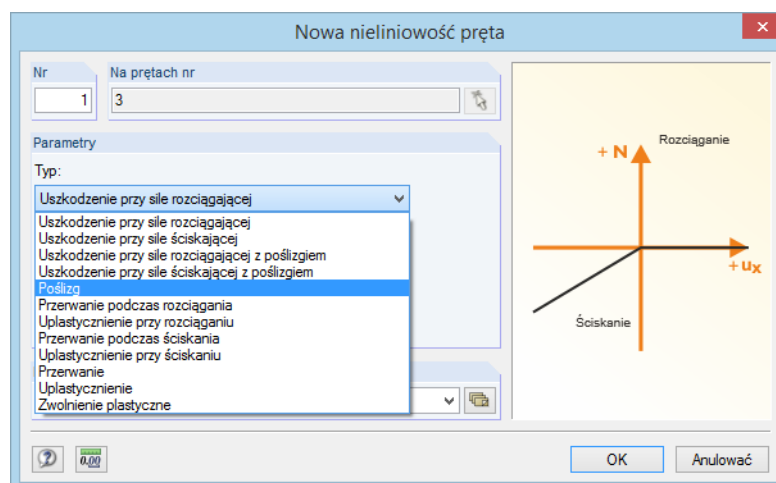
## 4.20 Nieliniowości prętowe

### Opis ogólny

Nieliniowości prętowe używane są do przedstawienia nieliniowych zależności pomiędzy siłą (lub momentem) a naprężeniem w prętach.

Niektóre właściwości nieliniowe można ustawić już podczas definiowania typu pręta. Na przykład pręt rozciągany stanowi kratownicę, w przypadku której odkształcenie rośnie proporcjonalnie do siły rozciągającej, ale której odkształcenie może rosnąć również pod wpływem ściskania bez oddziaływania wymaganej siły.

Z reguły nieliniowości prętowe można przydzielać do pręta dowolnego typu. Oczywiście kombinacje te muszą mieć sens. Pręt ściskany z kryterium obliczeniowym "Uszkodzenie pod wpływem ściskania" powodowałby problemy podczas obliczeń. Z tego powodu nieliniowości prętowe nie są dozwolone w przypadku prętów typu rozciąganie, ściskanie, wyboczenie i kabel oraz w przypadku prętów posiadających przekroje typu *Dummy Rigid* (zobacz na stronie 128).



Rysunek 4.169: Okno dialogowe *Nowa nieliniowość prętowa*

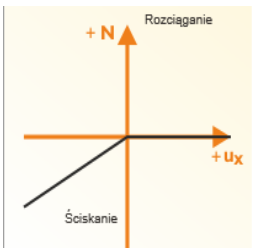
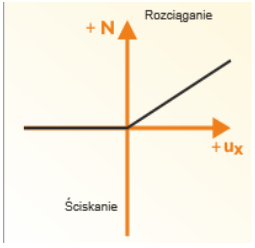
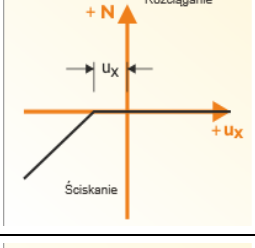
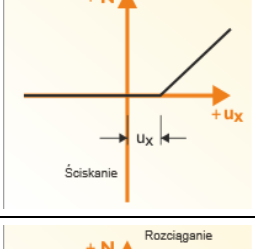
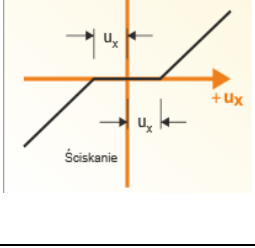
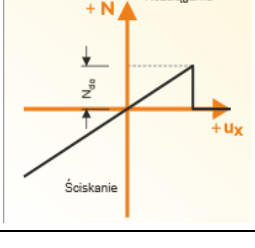
1.20 Nieliniowości prętowe

Nieliniowość nr	Typ		Parametry nieliniowe				Komentarz
	Na prętach nr	Nieliniowość	$N_{od}$ [kN]	$N_{do}$ [kN]			
1	10	Przerwanie	300.000	300.000			
2	5	Niespełnienie wymagań tec					
3	2,3	Przerwanie podczas rozciąg					
4	4	Poślizg	9999000.0				
5							
6							
7							

Odcinki pręta | Pręty | Zebra | Sprężyste podłoże prętowe | Nieliniowości prętowe | Zbiory prętów | Przecięcia | Zagęszczenie siatki ES

Zbiór prętów z nieliniowością (np. '1,3,5-7')

Rysunek 4.170: Tabela 1.20 Nieliniowości prętowe

Nieliniowość	Wykres	Opis
Niespełnienie wymagań technicznych podczas rozciągania		Pręt nie może przenosić sił rozciągających.
Niespełnienie wymagań technicznych podczas ściskania		Pręt nie może przenosić sił ściskających.
Niespełnienie wymagań technicznych podczas rozciągania z poślizgiem		Pręt nie może przenosić sił rozciągających. Siły ściskające nie mogą być przenoszone aż do przekroczenia poślizgu $u_x$ .
Niespełnienie wymagań technicznych podczas ściskania z poślizgiem		Pręt nie może przenosić sił ściskających. Siły rozciągające nie mogą być przenoszone aż do przekroczenia poślizgu $u_x$ .
Poślizg		Pręt przenosi siły osiowe jedynie po przekroczeniu odkształcenia lub skróceniu o wartość $u_x$ . <b>Uwaga:</b> Zagęszczenie linii na pręcie z Poślizgiem powoduje wewnętrzny podział pręta na krótkie odcinki. Kryterium poślizgu zostanie zastosowane do <u>każdego</u> z tych prętów cząstkowych.
Przerwanie podczas rozciągania		Pręt przenosi siły ściskające bez ograniczeń, ale zostanie uszkodzony w przypadku, gdy siły rozciągające przekroczą $N_{up}$ .



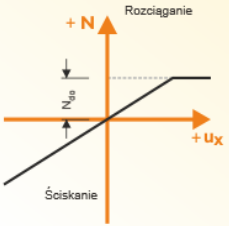
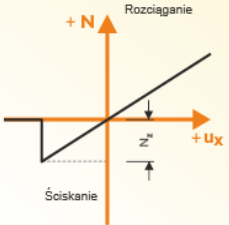
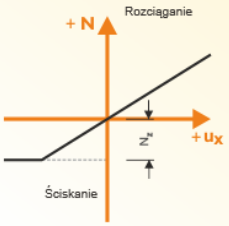
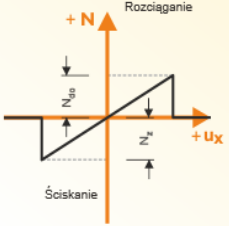
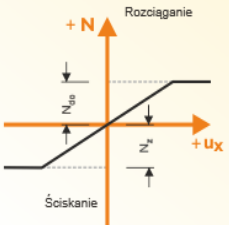
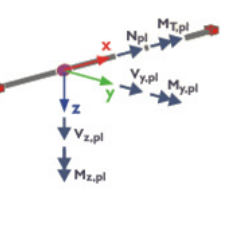
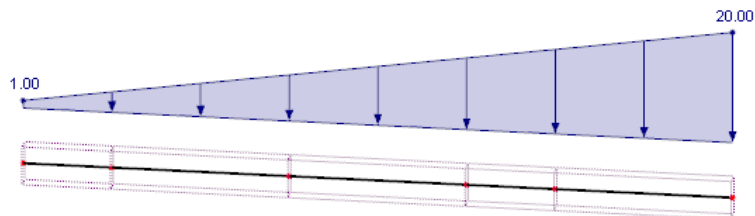
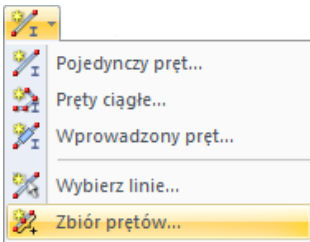
<p>Płynięcie przy rozciąganiu</p>		<p>Pręt przenosi siły ściskające bez ograniczeń, ale siłę rozciągającą maksymalnie do wartości <math>N_{to}</math>. W przypadku wzrostu odkształcenia, siła rozciągająca w przęcie pozostaje stała.</p>
<p>Przerwanie podczas ściskania</p>		<p>Pręt przenosi siły rozciągające bez ograniczeń, ale zostanie uszkodzony w przypadku, gdy siły ściskające przekroczą <math>N_{from}</math>.</p>
<p>Płynięcie przy ściskaniu</p>		<p>Pręt przenosi siły rozciągające bez ograniczeń, ale siłę ściskającą maksymalnie do wartości <math>N_{from}</math>. W przypadku wzrostu odkształcenia, siła ściskająca w przęcie pozostaje stała.</p>
<p>Przerwanie</p>		<p>Pręt zostanie uszkodzony po osiągnięciu siły ściskającej <math>N_{from}</math> lub siły rozciągającej <math>N_{to}</math>.</p>
<p>Płynięcie</p>		<p>Pręt przekracza granicę plastyczności, jeżeli zostanie osiągnięta siła ściskająca <math>N_{from}</math> lub siła rozciągająca <math>N_{to}</math>. W przypadku wzrostu odkształcenia, siły te pozostają stałe.</p>
<p>Zwolnienie plastyczne</p>		<p>Jeżeli zostanie osiągnięta plastyczna siła obliczeniowa w położeniu pręta, tworzone jest tam zwolnienie plastyczne dla siły wewnętrznej. Siły wewnętrzne muszą zostać wprowadzone jako wartości bezwzględne. W przypadku składowych sił wewnętrznych nie prowadzących do uplastycznienia, należy wprowadzić wysokie wartości.</p>

Tabela 4.9: Nieliniowości prętowe

## 4.21 Zbiory prętów

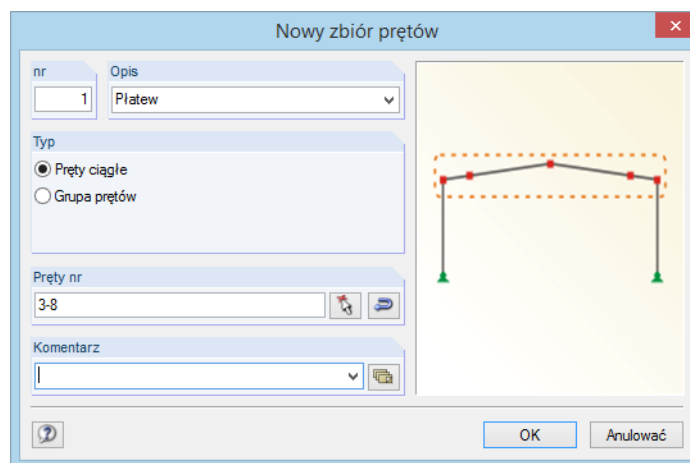
### Opis ogólny

Zbiory prętów należy rozumieć jako pręty połączone. Zbiór prętów pozwala traktować kilka prętów jako pojedynczy pręt, co posiada wiele zalet w niektórych przypadkach konstrukcyjnych (na przykład podczas analizy zwichrzenia, obliczania belek ciągłych, nadawania obciążenia).

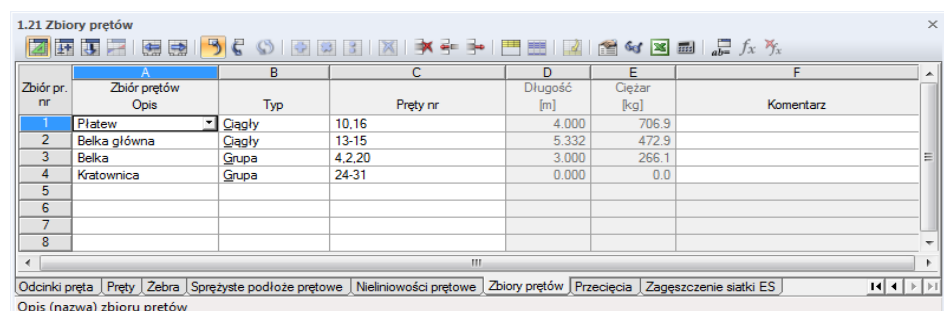


Rysunek 4.171: Pręty ciągłe z obciążeniem trapezowym

Poniższy rysunek pokazuje obciążenie zmienne liniowo oddziałujące na całej długości zbioru prętów.



Rysunek 4.172: Okno *Nowy zbiór prętów*



Zbiór pr. nr	Zbiór prętów Opis	Typ	Pręty nr	Długość [m]	Ciepłota [kg]	Komentarz
1	Platew	Ciągły	10-16	4.000	706.9	
2	Belka główna	Ciągły	13-15	5.332	472.9	
3	Belka	Grupa	4.2.20	3.000	266.1	
4	Kratownica	Grupa	24-31	0.000	0.0	
5						
6						
7						
8						

Rysunek 4.173: Tabela 1.21 *Zbiory prętów*

### Opis

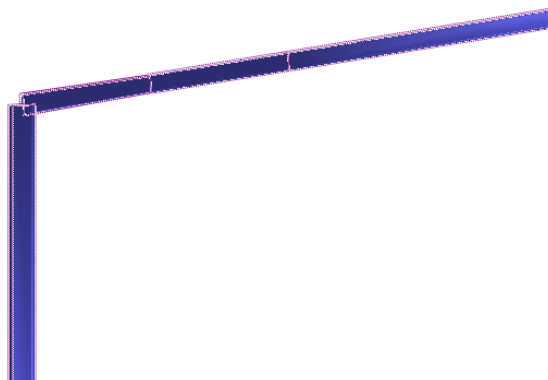
Zbiorowi prętów można nadać dowolną nazwę. Opisy wprowadzone ręcznie są zapisywane w postaci listy, pozwalającej na ich ponowny wybór.

## Typ

Istnieją dwa odrębne typy zbiorów prętów:

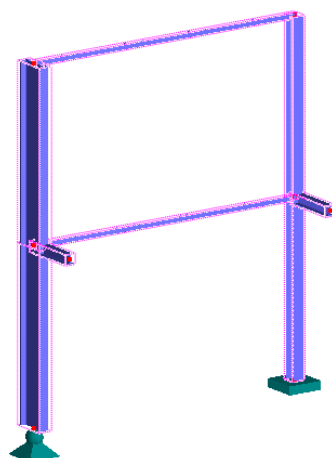
- **pręty ciągłe**
- **grupa prętów**

Pręty ciągłe są tworzone przez połączone pręty, które się nie rozgałęziają. Mogą być one narysowane ręcznie bez przerywania linii ciągłej.



Rysunek 4.174: Pręty ciągłe

Grupa prętów składa się z połączonych prętów, które mogą się rozgałęziać.



Rysunek 4.175: Grupa prętów

W niektórych modułach dodatkowych można wymiarować zbiory prętów. W wielu przypadkach obliczenia można przeprowadzić jedynie dla prętów ciągłych, ponieważ wymagane jest jednoznaczne zdefiniowanie parametrów, takich jak długości wyboczeniowe.

## Pręty

Pole wprowadzania w oknie dialogowym lub odpowiednia kolumna w tabeli pozwalają na wprowadzenie numerów prętów tworzących zbiór prętów. W tym samym celu można również wykorzystać funkcję [↵], aby wybrać je graficznie w oknie roboczym. Przy użyciu przycisku [Odwróć orientację prętów] można zmienić kolejność numerów prętów, a przez to kierunek zbioru prętów.

Zbiór prętów najszybciej można zdefiniować w następujący sposób: Na początku należy wybrać odpowiednie pręty w oknie roboczym poprzez narysowania wskaźnikiem okna obejmującego żądane elementy. W tym samym celu można również wykorzystać funkcję wielokrotnego wyboru poprzez wciśnięcie klawisza [Ctrl]. Następnie należy kliknąć prawym przyciskiem myszy jeden z zaznaczonych prętów. Otworzy się menu kontekstowe pręta, w



którym należy wskazać opcję **Pręt**, a następnie wybrać **Utworzyć zbiór prętów** (dla grup prętów) lub wybrać **Utworzyć zbiór prętów** (dla prętów ciągłych). Otworzy się okno dialogowe *Nowy zbiór prętów*, w którym będą automatycznie ustawione numery zaznaczonych prętów.

### Długość

Długość całkowita zbioru prętów jest określana na podstawie sumy długości poszczególnych prętów.

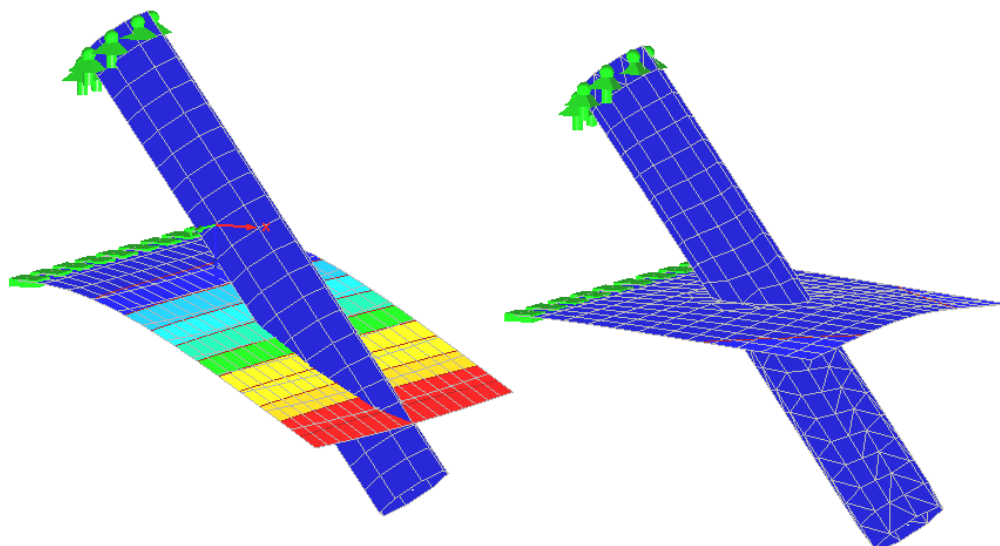
### Ciężar

Długość całkowita zbioru prętów jest określana na podstawie sumy ciężaru poszczególnych prętów.

## 4.22 Przecięcia

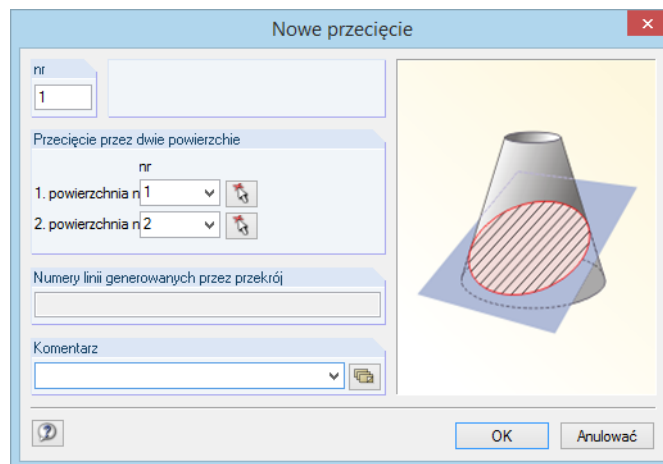
### Opis ogólny

Jeżeli powierzchnie się przecinają, a siły wewnętrzne są przenoszone na wspólną linię, należy utworzyć przecięcie. W przeciwnym wypadku powstałyby dwa niezależne układy bez żadnego połączenia. Omówiona sytuacja została pokazana na poniższym rysunku.



Rysunek 4.176: Deformacje spowodowane ciężarem własnym bez przecięcia (po lewo) oraz z przecięciem (po prawo)

Podczas każdej zmiany modelu, program RFEM musi ponownie przeliczyć przecięcia. Przeliczenie danych jest bardzo czasochłonne w przypadku przedstawienia graficznego, podczas obliczania złożonych konstrukcji. Wprowadzanie danych również jest odpowiednio spowolnione.

Rysunek 4.177: Okno dialogowe *Nowe przecięcie*

nr	1. powierzchnia nr	2. powierzchnia nr	Numery linii utworzonych przez przecięcie	Komentarz
1	1	2		
2	3	4		
3	5	6		Przyłącze do rur
4				
5				
6				
7				

Rysunek 4.178: Tabela 1.22 *Przecięcia*

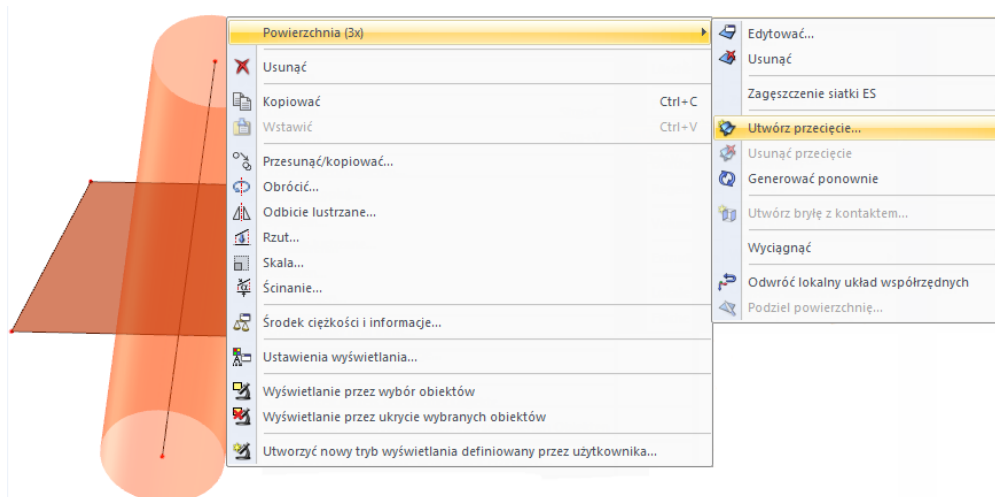
## Przecięcie dwóch powierzchni

W tym polu wprowadzania lub w kolumnie tabeli wprowadza się numery dwóch przecinających się powierzchni. W oknie dialogowym *Nowe przecięcie* można wybrać te powierzchnie z listy. W tym samym celu można wykorzystać funkcję [^], aby wybrać je graficznie.

Przecięcia (również więcej niż dwóch powierzchni, jeżeli zajdzie taka potrzeba) można szybko utworzyć w grafice. W tym celu należy zaznaczyć żądane powierzchnie poprzez narysowanie wskaźnikiem obejmującego je okna lub wykorzystać funkcję wielokrotnego wyboru poprzez wciśnięcie i przytrzymanie klawisza [Ctrl] podczas zaznaczania powierzchni. Następnie prawym przyciskiem myszy należy kliknąć jedną z zaznaczonych powierzchni. Otworzy się menu kontekstowe, w którym należy wskazać opcję **Powierzchnia**, a następnie wybrać **Utworzyć przecięcie**. Program RFEM automatycznie utworzy przecięcie.







Rysunek 4.179: Menu kontekstowe *Powierzchnia* → *Utworzyć przecięcie*

### Numery linii utworzonych przez przecięcie

Podczas tworzenia przecięcia, program RFEM generuje linię współdzieloną przez obie powierzchnie ("linię przecięcia"). Numer nowej linii wyświetlany jest w polu okna dialogowego oraz w kolumnie tabeli.

Linie przecięcia są oznaczone jako linia typu *Przecięcie* w tabeli 1.2 *Linie*. Linie te posiadają również komentarz *Utworzony*. Okno dialogowe *Edytować linię* można wykorzystać również dla linii przecięcia, pozwalając na przydzielenie im właściwości pręta lub podpory.

### Aktywne części powierzchni

Linia przecięcia dzieli powierzchnię na składowe, z których każdą można osobno ustawić jako aktywną lub nieaktywną. Nieaktywne składowe powierzchni nie są wyświetlane w oknie roboczym. Nie są również tworzone elementy skończone ani nie jest na nie nakładane obciążenie. Jedynie aktywne składowe powierzchni są uwzględniane przez solver równań.

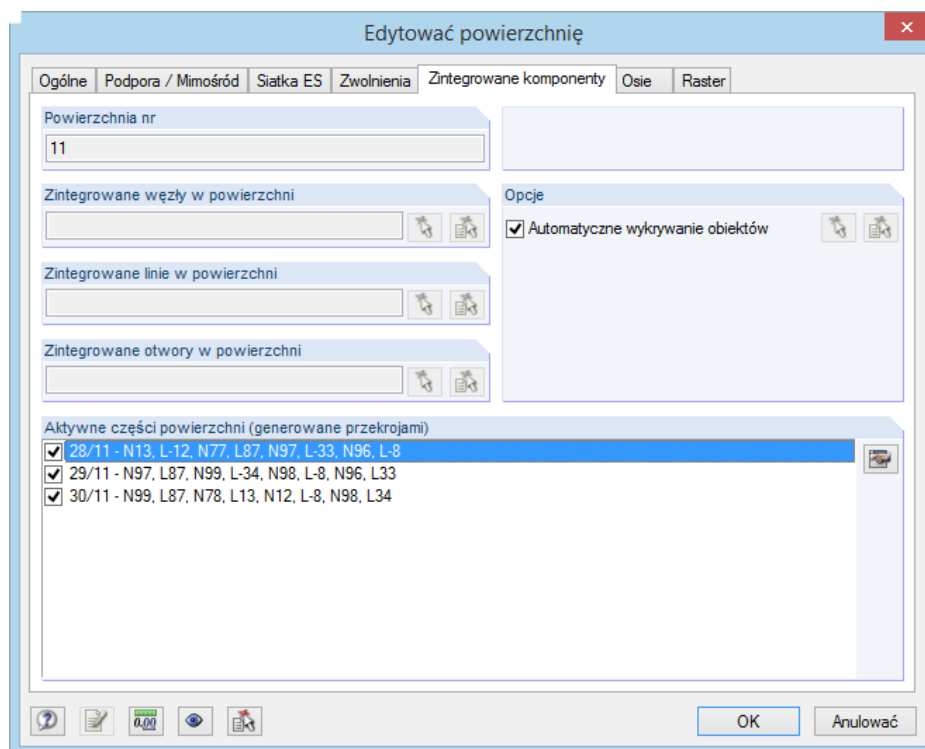
Składowe przecięć mogą być aktywowane lub dezaktywowane w następujący sposób:

- Okno dialogowe *Edytować powierzchnię*

W tym celu należy dwukrotnie kliknąć oryginalną powierzchnię w nawigatorze *Dane*. W przypadku podwójnego kliknięcia powierzchni w oknie roboczym, należy wykorzystać przycisk [Edytować powierzchnię bazową składnika] dostępny w zakładce okna dialogowego *Składnik* (zobacz Rysunek 4.69 na stronie 86) okna dialogowego *Edytować powierzchnię*, w celu otwarcia okna edycji oryginalnej powierzchni.

Następnie należy otworzyć zakładkę okna dialogowego *Zintegrowane / komponenty*, której sekcja *Aktywne części powierzchni* zawiera wszystkie składowe powierzchni, które zostały utworzone podczas generowania przecięcia.



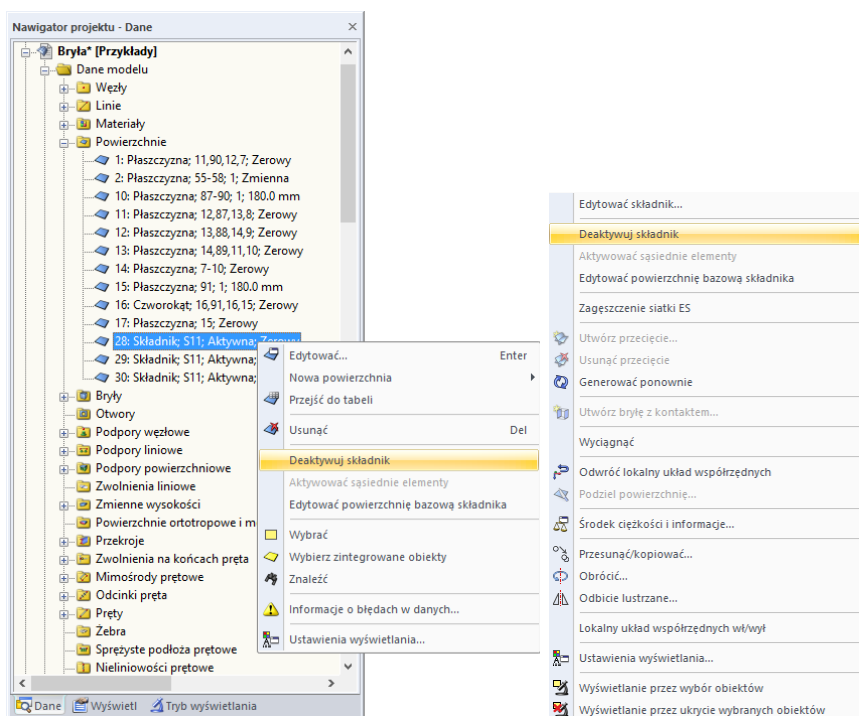


Rysunek 4.180: Okno dialogowe *Edytować powierzchnię*, zakładka *Zintegrowane / komponenty*

Składowa powierzchni zaznaczona na liście zostanie również podświetlona w kolorze w oknie roboczym. Aby ją dezaktywować, należy odznaczyć odpowiednie pole wyboru. Następnie, nieaktywna już składowa powierzchni będzie wyświetlana bez wypełnienia kolorem.

- Menu kontekstowe składowej powierzchni w nawigatorze *Dane*

Na początku należy bezpośrednio kliknąć prawym przyciskiem myszy wpis *Powierzchnie* w nawigatorze lub żądaną składową w oknie roboczym. Następnie należy wykorzystać menu kontekstowe, w celu dokonania aktywacji lub dezaktywacji tej składowej powierzchni.



Rysunek 4.181: Menu kontekstowe powierzchni *Składnik* w nawigаторze i w oknie roboczym

Menu kontekstowe zawiera inne użyteczne funkcje służące do edycji składowej i oryginalnej powierzchni.



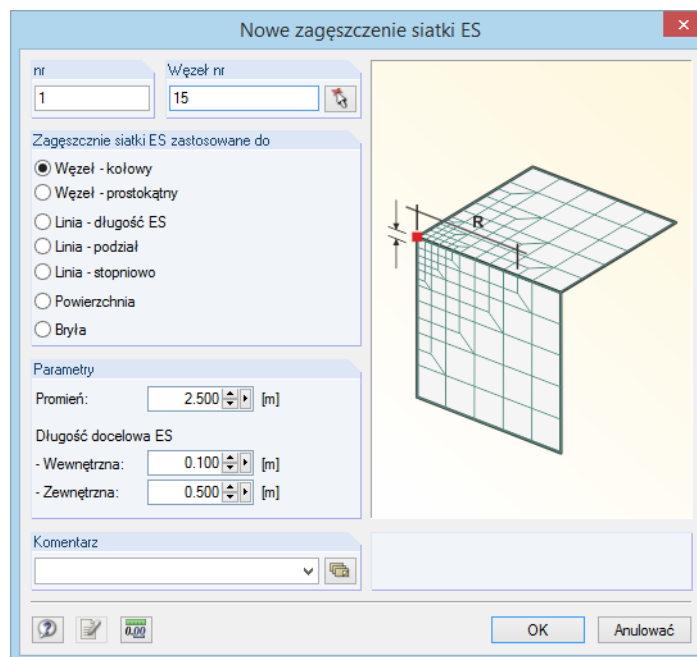
Informacje geometryczne oryginalnej powierzchni przechowywane są wewnątrz programu, ponieważ są one wymagane podczas ponownego obliczenia przecięcia po dokonaniu modyfikacji. Z tego powodu nie można usunąć nieaktywnych składowych powierzchni, a jedynie można je ukryć.

## 4.23 Zagęszczenie siatki ES

### Opis ogólny

Jeżeli nie zostało jeszcze zdefiniowane żadne zagęszczenie siatki ES, siatka ES zostanie wygenerowana przy użyciu wstępnie ustawionej docelowej długości ES. Globalne parametry siatki ES zostały opisane w rozdziale 7.2.2 na stronie 278.

Zasada działania generatora siatki ES nie pozwala na późniejsze dostosowywanie siatki. Niemniej można wykorzystać zagęszczenia siatki ES, aby wpłynąć na generowanie siatki w szczególnych obszarach. W ten sposób użytkownik tworzy własną dyskretyzację, która może być wymagana na przykład dla naroży, połączeń prętów z powierzchniami lub podczas analizy dynamicznej prętów.



Rysunek 4.182: Okno dialogowe *Nowe zagęszczenie siatki ES*

Zagęszcz nr	Zagęszczenie siatki ES zastosowane na	Węzły nr	Numer Podziały	Promień kuli [m]	Docelowa długość ES [m]		Komentarz
					Wewnętrzny	Zewnętrzny	
1	Węzeł - Kołowy	3,4,15		2.500	0.100	0.500	
2	Powierzchnia	2		0.250			
3	Linia według długości ES	10,11		0.250			
4	Bryła	5		0.200			
5							
6							
7							

Typ zagęszczenia siatki elementów (aby wybrać, naciśnij F7).

Rysunek 4.183: Tabela 1.23 *Zagęszczenie siatki ES*

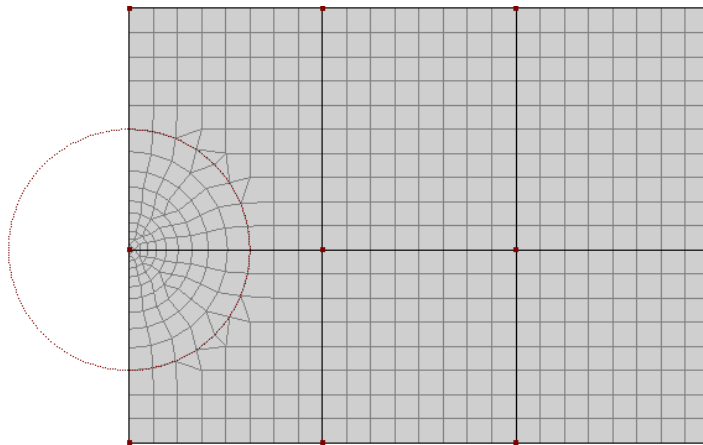
### Zagęszczenie siatki ES zastosowane do

Przy użyciu ustawień w tej sekcji okna dialogowego lub w kolumnie tabeli można wybrać, które obiekty zostaną uwzględnione w zagęszczeniu siatki ES oraz w jaki sposób zostanie przeprowadzone to zagęszczenie. Do wyboru dostępnych jest wiele różnych opcji.

#### Węzeł - kołowy

Służy do definiowania kołowej strefy zagęszczenia wokół węzła rozciągniętego we wszystkich kierunkach w przestrzeni.

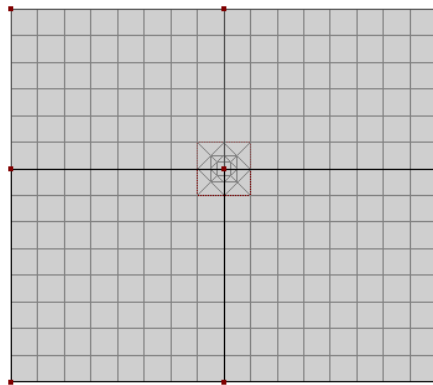
- Węzeł - Kołowy
- Węzeł - Kołowy
- Węzeł - Kwadratowy
- Linia według długości ES
- Linia według odcinka
- Linia stopniowo
- Powierzchnia
- Bryła



Rysunek 4.184: Zagęszczenie kołowe wokół węzła

**Węzeł - prostokątny**

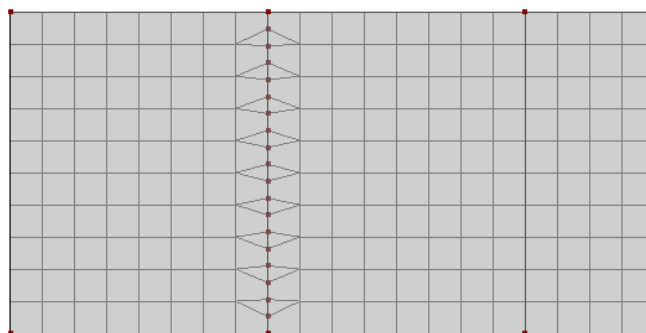
Zamiast kołowej strefy zagęszczenia, można określić prostokątną strefę zagęszczenia.



Rysunek 4.185: Zagęszczenie prostokątne wokół węzła

**Linia - długość ES**

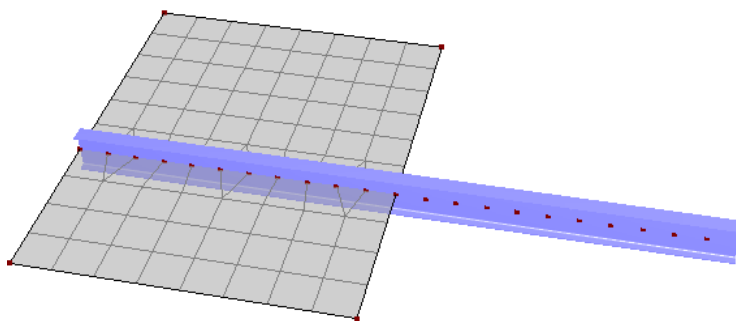
Pozwala na zdefiniowanie regularnych odstępów pomiędzy węzłami ES na linii.



Rysunek 4.186: Linia - długość ES

**Linia - podział**

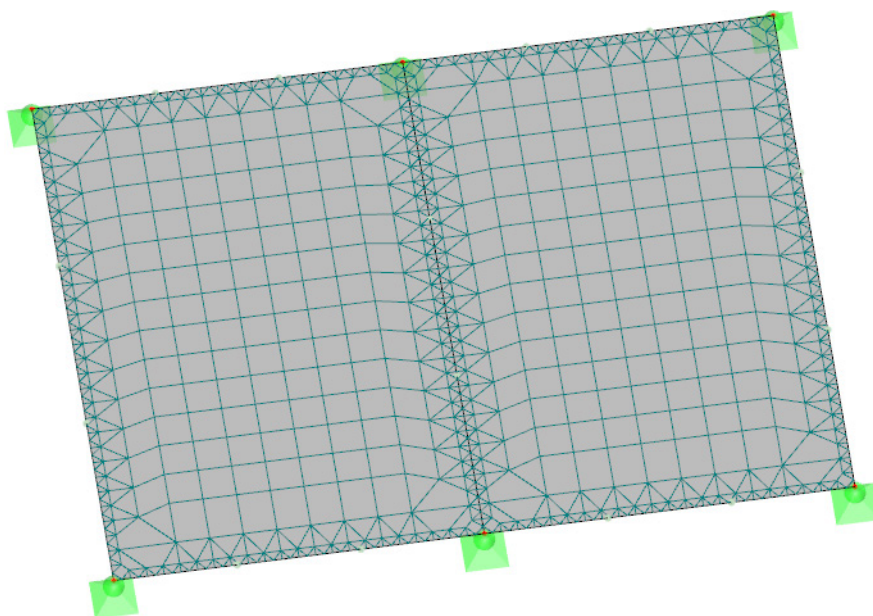
Zagęszczenie siatki ES linii może zostać dokonane w regularnych interwałach. Ten typ zagęszczenia jest szczególnie przydatny w przypadku linii o właściwościach pręta.



Rysunek 4.187: Zagęszczenie na linii przez podział

### Linia - stopniowo

Elementy skończone przylegające do linii mogą zostać podzielone przez określoną ilość rzędów  $n$ . W ten sposób można objąć zagęszczeniem na przykład obszary graniczne powierzchni. Ten typ zagęszczenia jest podobny do opcji generowania *Zagęszczenie siatki ES wzdłuż linii* (zobacz rozdział 7.2.2 na stronie 279) dostępnej dla płyt 2D.

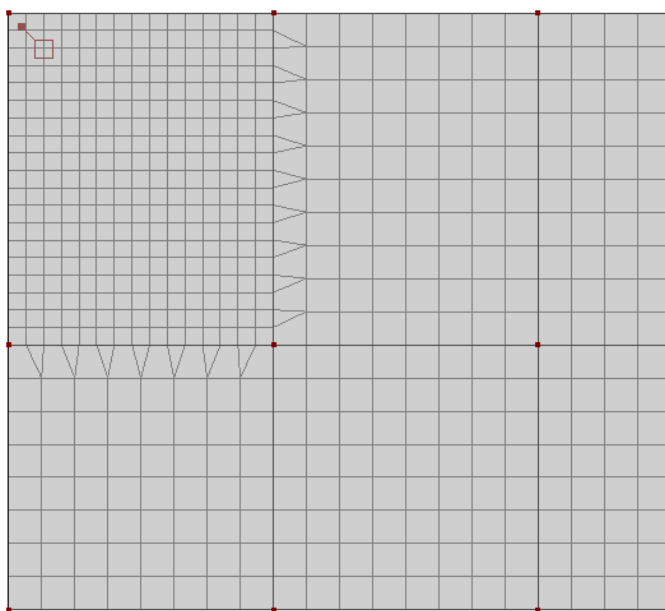


Rysunek 4.188: Stopniowe zagęszczenie na linii przy użyciu dwóch rzędów

### Zagęszczenie na powierzchni

Pozwala na określenie bocznej długości elementów skończonych, która jest ustawiana jako długość docelowa i wielkość siatki dla całej powierzchni.

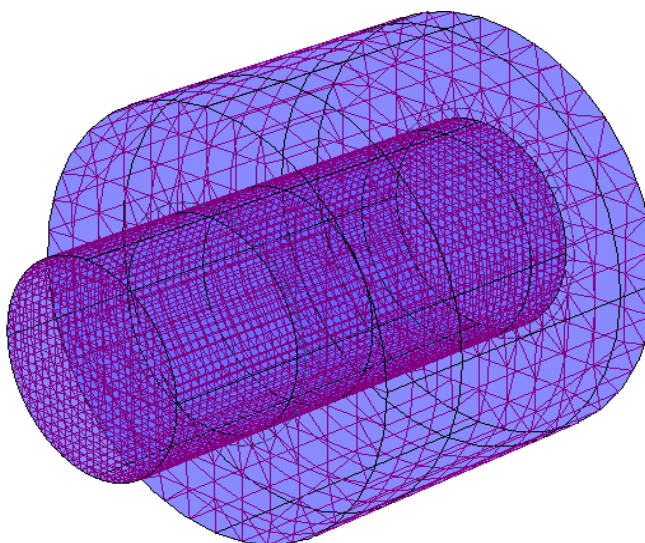
Ten typ zagęszczenia można wykorzystać również dla powierzchni o niskim znaczeniu dla analizy: jako "zagęszczenie" wprowadzana jest wielkość siatki, która jest większa niż globalna docelowa długość ES.



Rysunek 4.189: Zagęszczenie na powierzchni

### Zagęszczenie na bryle

Zagęszczenia siatki ES można zdefiniować również w przypadku brył, w celu wpłynięcia na generowanie elementów 3D.



Rysunek 4.190: Zagęszczenie na bryle



### Węzły / linie / powierzchnie / bryły

W polu wprowadzania w oknie dialogowym lub w kolumnie tabeli wprowadza się numery obiektów, do których zostanie zastosowane zagęszczenie siatki ES. W oknie dialogowym *Nowe zagęszczenie siatki ES* można wykorzystać funkcję [↵], aby wybrać obiekty graficznie.

### Parametry

#### Promień

W przypadku wybrania kołowego zagęszczenia wokół węzła, należy określić *Promień* strefy zagęszczenia. Oprócz tego należy zdefiniować *Docelową długość ES w środku (Wewnętrzna)* oraz na obrzeżu (*Zewnętrzna*) okręgu. Jeżeli długość ES na granicy strefy zagęszczenia

odpowiada globalnej wielkości siatki, program RFEM zagęszcza siatkę stopniowo od zewnątrz do wewnątrz.

Jeżeli istnieje duża różnica pomiędzy wewnętrzną i zewnętrzną długością ES, należy określić większy promień. W ten sposób można uniknąć generowania elementów trójkątnych o ostrych końcach w strefie zagęszczenia.

### **Długość boku**

W przypadku wybrania prostokątnego zagęszczenia wokół węzła, należy zdefiniować strefę zagęszczenia poprzez długość boku. Oprócz tego należy określić *Długość docelową ES w środku (Wewnętrzna)*.

### **Ilość elementów rastru**

W przypadku wybrania zagęszczenia linii przez podział, należy zdefiniować ilość elementów rastru. Po tym kroku na linii zostanie wygenerowana zdefiniowana ilość równomiernie rozmieszczonych węzłów ES.

### **Ilość rzędów n**

W przypadku wybrania stopniowego zagęszczenia linii, należy zdefiniować ilość rzędów *n*. W przypadku wybrania tej opcji program RFEM dzieli elementy skończone powierzchni, które bezpośrednio przylegają do linii na odpowiednią ilość rzędów. Dzięki temu generowane jest zagęszczenie w kierunku linii.

### **Długość ES dla linii / powierzchni / bryły**

Jeżeli zagęszczenie zostało wybrane na linii, powierzchni lub bryle, należy wprowadzić *długość docelową ES* dla odpowiednich obiektów.



# 5. Przypadki i kombinacje obciążeń

Obciążeniami oddziałującymi na konstrukcję zarządza się przy pomocy różnych przypadków obciążeń. Przypadki obciążeń można nałożyć ręcznie lub automatycznie w kombinacjach obciążeń i wyników (zobacz rozdział 12.2.1 na stronie 592).



Zanim będzie można zdefiniować obciążenia (zobacz rozdział 6), należy utworzyć przypadek obciążenia.

## 5.1 Przypadki obciążeń

### Opis ogólny

Obciążenia z danego oddziaływania są przechowywane w przypadku obciążenia (**PO**). Przypadkami obciążeń są na przykład: ciężar własny, obciążenie śniegiem lub obciążenie użytkowe.



Obciążenia w przypadku obciążeń powinny być zdefiniowane jako oddziaływania charakterystyczne, czyli **bez współczynników**. Częściowe współczynniki bezpieczeństwa można uwzględnić później, podczas nakładania przypadków obciążeń w kombinacjach obciążeń lub wyników.

Dla każdego przypadku obciążenia można zdecydować, która metoda obliczeniowa (liniowa analiza statyczna, analiza drugiego rzędu lub analiza dużych deformacji), podejście i parametry obliczeniowe (współczynnik przyrostu obciążenia, redukcja sztywności o częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału) zostaną wykorzystane.

### Tworzenie nowego przypadku obciążenia

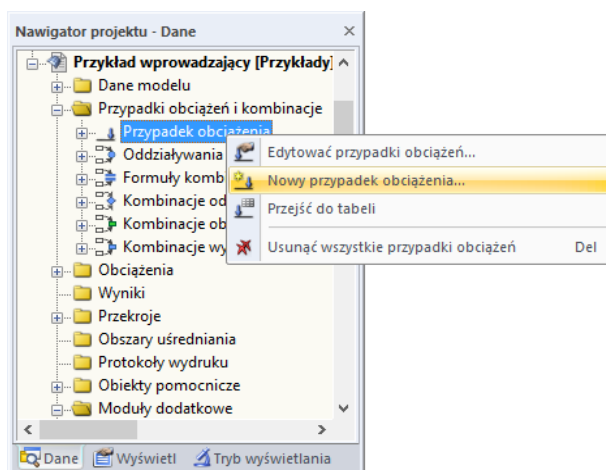
Istnieje wiele sposobów otwarcia okna dialogowego dla obciążenia, w celu utworzenia nowego przypadku obciążenia:

- W menu **Wstawić** należy kliknąć **Obciążenia** i wybrać opcję **Nowy przypadek obciążenia**.
- Przy użyciu przycisku z paska narzędzi [Nowy przypadek obciążenia], pokazanego na lewym marginesie tej strony.



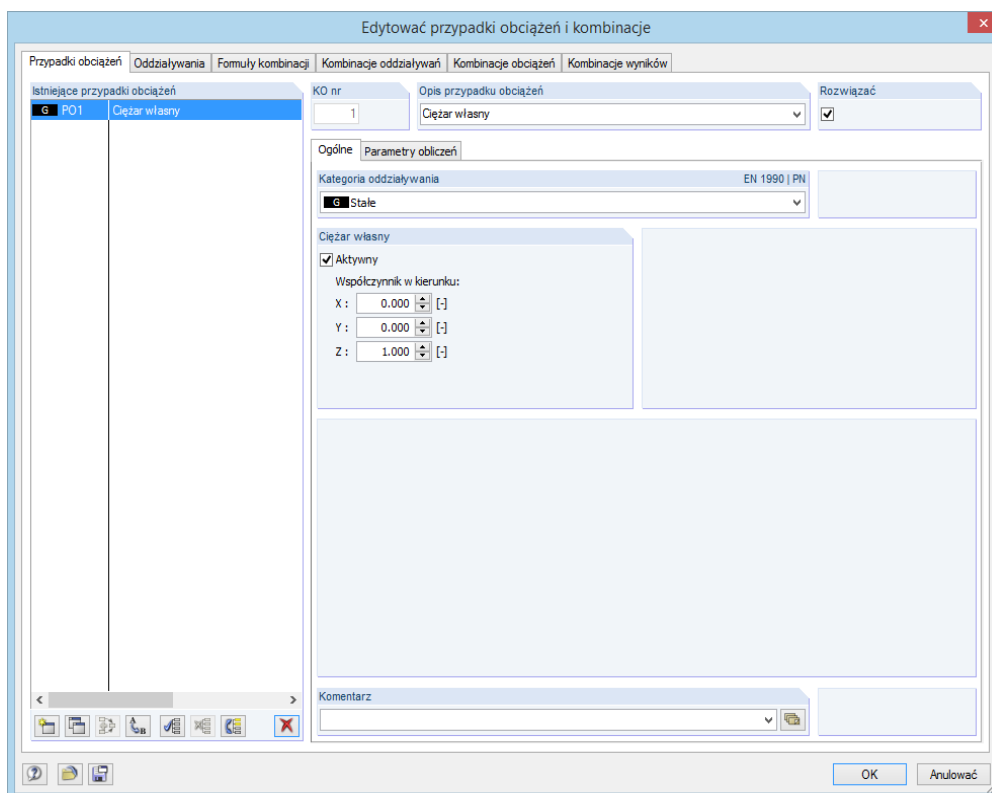
Rysunek 5.1: Przycisk *Nowy przypadek obciążenia* w pasku narzędzi

- Wykorzystując menu kontekstowe wpisu w nawigаторze *Przypadki obciążeń*.



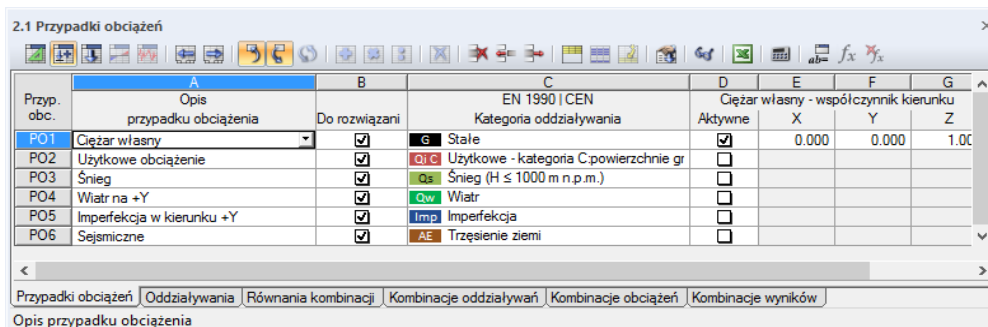
Rysunek 5.2: Menu kontekstowe *Przypadki obciążeń* w nawigatorze *Dane*

Po wybraniu powyższego polecenia w nawigatorze, pojawi się okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*. W zakładce *Przypadki obciążeń* znajduje się wstępnie ustawiony nowy przypadek obciążenia.



Rysunek 5.3: Okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*, zakładka *Przypadki obciążeń*

- Można również wprowadzić nowy przypadek obciążenia w pustym wierszu tabeli 2.1 *Przypadki obciążeń*.



Przyp. obc.	A Opis przypadku obciążenia	B Do rozwiązania	C EN 1990   CEN Kategoria oddziaływania	D Ciężar własny - współczynnik kierunku Aktywne	E X	F Y	G Z
PO1	Ciężar własny	<input checked="" type="checkbox"/>	G Stale	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.000	1.00
PO2	Użytkowe obciążenie	<input checked="" type="checkbox"/>	Q1 Użytkowe - kategoria C.powierzchnie gr	<input type="checkbox"/>			
PO3	Śnieg	<input checked="" type="checkbox"/>	Qs Śnieg (H ≤ 1000 m n.p.m.)	<input type="checkbox"/>			
PO4	Wiatr na +Y	<input checked="" type="checkbox"/>	Qw Wiatr	<input type="checkbox"/>			
PO5	Imperfekcja w kierunku +Y	<input checked="" type="checkbox"/>	Imp Imperfekcja	<input type="checkbox"/>			
PO6	Sejsmiczne	<input checked="" type="checkbox"/>	AE Trzęsienie ziemi	<input type="checkbox"/>			

Rysunek 5.4: Tabela 2.1 *Przypadki obciążeń*

### Przypadek obciążenia

Numer nowego przypadku obciążenia przydzielany jest automatycznie, ale możliwa jest jego zmiana w polu wprowadzania *Nr PO* w oknie dialogowym. Jeżeli wprowadzony numer został już przydzielony, program RFEM wyświetli ostrzeżenie, podczas zamykania okna dialogowego.

Tworzenie przypadków obciążeń powinno być dobrze zaplanowane. Dozwolone są przerwy w numeracji pozwalające na późniejsze wprowadzanie dodatkowych przypadków obciążeń. Kolejność przypadków obciążeń można zmienić w trakcie obliczeń przy użyciu przycisku [Zmienić numerację] w oknie dialogowym (zobacz oraz rozdział 11.4.18 na stronie 510 tabela 5.1).

### Opis przypadku obciążenia

Dowolną nazwę można wprowadzić ręcznie. Możliwe jest również wybranie nazwy z listy, pozwalającej na szybkie opisanie przypadku obciążenia.

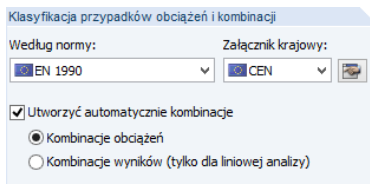
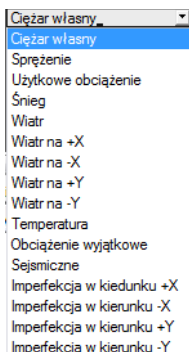
### Rozwiązać

Przy użyciu tego pola wyboru można zdecydować, czy przypadek obciążenia będzie rozważany w obliczeniach jako niezależny przypadek obciążenia. W ten sposób można wyłączyć z obliczeń przypadki obciążeń, które nie występują samodzielnie (na przykład wiatr bez uwzględnienia ciężaru własnego) lub którego wyniki nie są istotne dla obliczeń wstępnych.

### Kategorie oddziaływania

Normy wymieniają różne kategorie oddziaływań kontrolujące superpozycję przypadków obciążeń oraz częściowe współczynniki bezpieczeństwa i współczynniki kombinacji. Każdy przypadek obciążenia musi być przydzielony do jednej kategorii.

Listy w oknie dialogowym i w tabeli pozwalają na wybranie jednej z kilku kategorii, które zależą od normy ustawionej w oknie dialogowym *Model – Dane ogólne* (zobacz rozdział 12.2.1 na stronie 592).



Ustawienia standardowe w oknie dialogowym *Model – Dane ogólne*

Kategoria oddziaływania		EN 1990   PN
G	Stale	1.A
Gd	Stale/Użytkowe	1.B
P	Sprężenie	2
Q1 A	Użytkowe - kategoria A:powierzchnie mieszkalne	3.A
Q1 B	Użytkowe - kategoria B:powierzchnie biurowe	3.B
Q1 C	Użytkowe - kategoria C:powierzchnie gromadzenia się ludzi	3.C
Q1 D	Użytkowe - kategoria D1:powierzchnie handlowe	3.D
Q1 E	Użytkowe - kategoria D2:powierzchnie handlowe w domach towarowych	3.E
Q1 F	Użytkowe - kategoria F:powierzchnie ruchu - ciężar pojazdu ≤ 30 kN	3.F
Q1 G	Użytkowe - kategoria G:powierzchnie ruchu - ciężar pojazdu ≤ 160 kN	3.G
Q1 H	Użytkowe - kategoria H:dachy	3.H
Qs	Śnieg (H > 1000 m n.p.m.)	4.A
Qs	Śnieg (H ≤ 1000 m n.p.m.)	4.B
Qw	Wiatr	5
Qc	Temperatura (bez ognia)	6
A	Wyjątkowe	7
AE	Trzęsienie ziemi	8
Imp	Imperfekcja	

Rysunek 5.5: Kategorie oddziaływań według EN 1990

Kategorie te mają znaczenie podczas ręcznego lub automatycznego łączenia przypadków obciążeń. Klasyfikacja przypadków obciążeń określa, które współczynniki zostaną zastosowane podczas tworzenia kombinacji obciążeń i wyników.

### Ciężar własny

Jeżeli podczas obliczeń ciężar własny ma zostać uwzględniony jako obciążenie, należy zaznaczyć pole wyboru *Aktywny*. Kierunek obciążenia z oddziaływania można zdefiniować w jednym z trzech pól wprowadzania przy użyciu współczynnika ciężaru własnego. Domyślnie ustawiona jest wartość 1,00 w kierunku Z lub -1,00, jeżeli globalna oś Z skierowana jest w górę.

Jeżeli automatyczny ciężar własny zastosowany jest w kilku przypadkach obciążeń, należy uwzględnić ten fakt podczas używania kombinacji przypadków obciążeń.

### Komentarz

W polu tym można wprowadzić własne uwagi lub wybrać jeden z wpisów z listy, w celu szczegółowego opisu przypadku obciążenia.

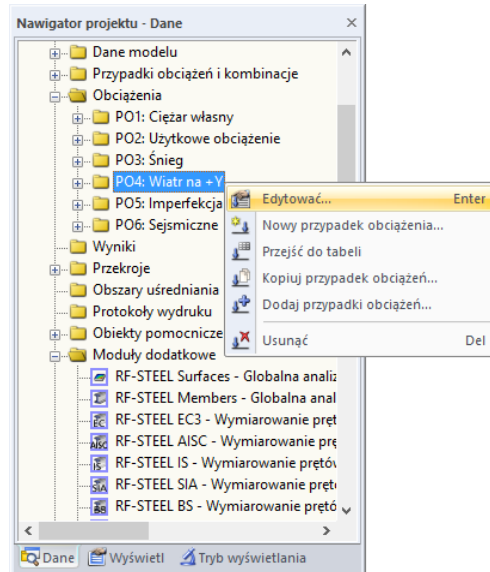
### Parametry obliczeń

Zakładka *Parametry obliczeń* w oknie dialogowym dla obciążeń posiada różne opcje służące do kontroli obliczeń. Szczegółowy opis tych parametrów znajduje się w rozdziale 7.3.1 na stronie 283.

### Edycja danych ogólnych przypadku obciążenia

Dane ogólne istniejącego przypadku obciążenia można zmienić na kilka sposobów:

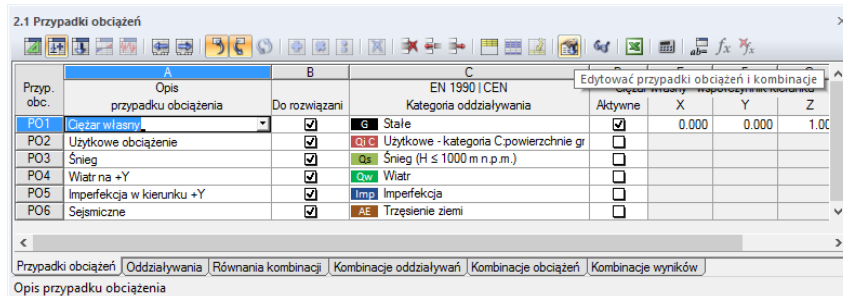
- W menu **Edytować** wskazując pozycję **Obciążenia**, a następnie wybierając **Przypadek obciążenia – Dane ogólne** (bieżący przypadek obciążenia).
- W menu **Edytować** wskazując pozycję **Obciążenia**, a następnie wybierając **Przypadki obciążeń** (wybór ze wszystkich przypadków obciążeń).
- W nawigаторze *Dane* klikając przypadek obciążenia prawym przyciskiem myszy, w celu otwarcia menu kontekstowego lub bezpośrednio dwukrotnie klikając przypadek obciążenia.



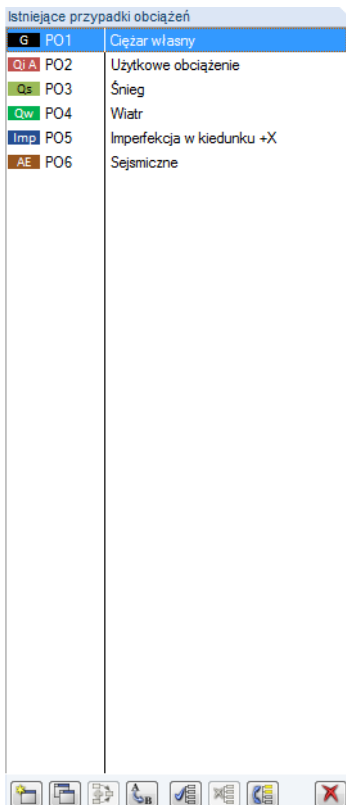
Rysunek 5.6: Menu kontekstowe przypadku obciążenia



- Przy użyciu przycisku [Dane ogólne] w pasku narzędzi tabeli dla obciążeń (bieżący przypadek obciążenia).



Rysunek 5.7: Przycisk [Dane ogólne] w pasku narzędzi tabeli dla obciążeń



## Przyciski

W oknie dialogowym *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje* pod listą przypadków obciążeń dostępnych jest kilka przycisków (zobacz Rysunek 5.3 na stronie 186), które posiadają następujące funkcje:









	Służy do tworzenia nowego przypadku obciążenia
	Służy do tworzenia nowego przypadku obciążenia poprzez skopiowanie zaznaczonego przypadku obciążenia (zobacz poniżej)
	W przypadku zaznaczenia kilku przypadków obciążeń, wszystkie zawarte w nich obciążenia zostaną skopiowane do nowego przypadku obciążenia (zobacz poniżej).
	Służy do przydzielania nowego numeru do zaznaczonego przypadku obciążenia. Numer ten określa się w osobnym oknie dialogowym. Nie jest dozwolone wprowadzanie numeru, który został już przydzielony.
	Służy do zaznaczania wszystkich przypadków obciążeń
	Służy do anulowania zaznaczenia na liście
	Służy do odwrócenia zaznaczenia przypadków obciążeń
	Służy do usuwania zaznaczonego przypadku obciążenia

Tabela 5. 1: Przyciski w zakładce *Przypadki obciążeń*

### Kopiowanie i dodawanie przypadków obciążeń

Istniejące przypadki obciążeń można wykorzystać do tworzenia nowych przypadków obciążeń.

Aby **skopiować** przypadek obciążenia, należy zaznaczyć go na liście *Istniejące przypadki obciążeń*. Klikając przycisk [Kopiować], tworzy się kopię przypadku obciążenia posiadającą kolejny wolny numer. Następnie można zdefiniować opis nowego przypadku obciążenia oraz jego obciążenia.

Podczas **dodawania** przypadków obciążeń, program RFEM kopiuje obciążenia kilku przypadków obciążeń do nowego przypadku obciążenia. Na początku należy zaznaczyć odpowiednie przypadki obciążeń na liście *Istniejące przypadki obciążeń* (wielokrotny wybór poprzez wciśnięcie i przytrzymanie klawisza [Ctrl]). Następnie należy kliknąć przycisk [Dodaj], aby skopiować obciążenia do nowego przypadku obciążeń.

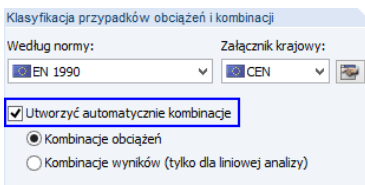
## 5.2 Oddziaływania

### Opis ogólny

W przypadku używania najnowszych norm, na przykład EN 1990 lub DIN 1055-100 (Niemcy), uwzględnienie wszystkich wymaganych sytuacji obciążeniowych oraz wybranie sytuacji decydującej dla obliczeń jest bardzo czasochłonne. W oknie dialogowym *Model – Dane ogólne* istnieje możliwość automatycznego tworzenia kombinacji (zobacz Rysunek 12.23 na stronie 591).

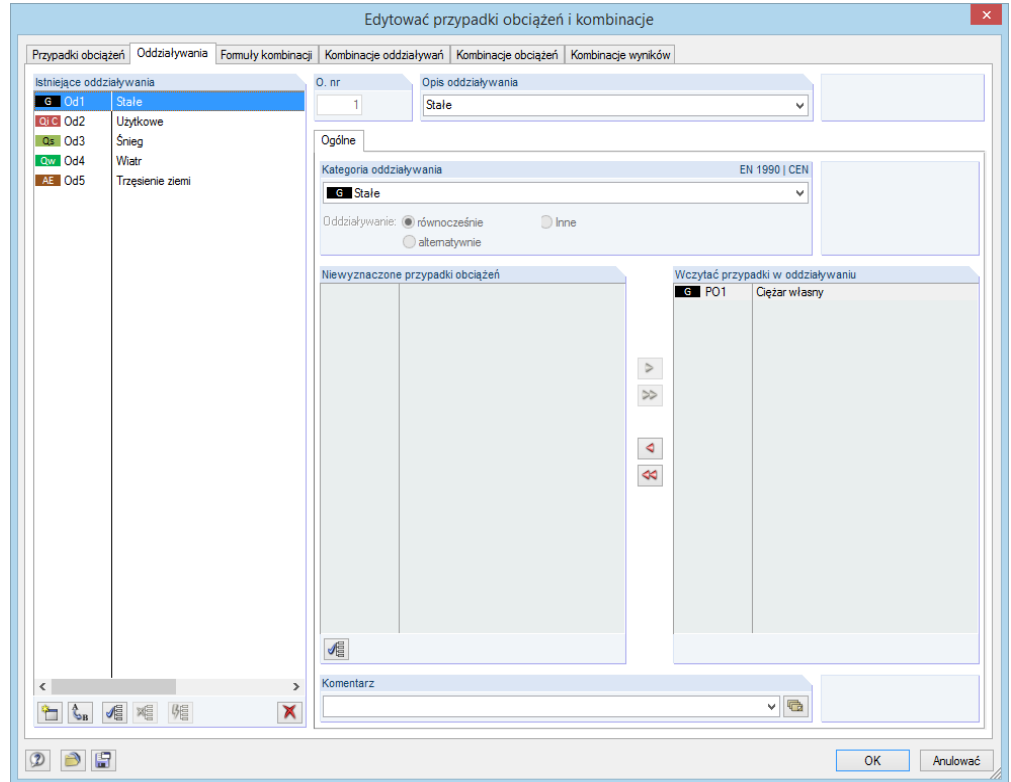
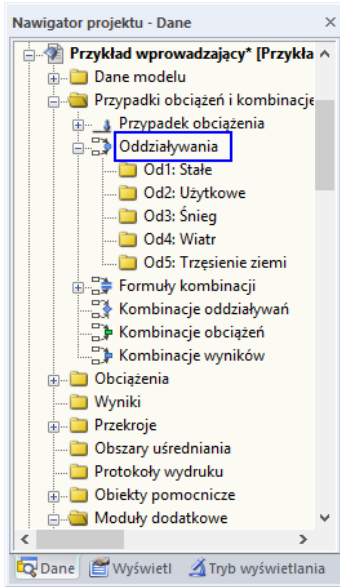
Przypadki obciążeń zdefiniowane w tabeli 2.1 (zobacz w poprzednim rozdziale 5.1) stanowią podstawę do automatycznej superpozycji. Program RFEM rozróżnia dwie kategorie przypadków obciążeń: standardowe przypadki obciążeń oraz przypadki obciążeń typu *Imperfekcja*. Oprócz tego, podczas łączenia przypadków obciążeń należy pamiętać, w której kategorii oddziaływań zostały zgrupowane standardowe przypadki obciążeń.

Normy zawierają reguły dla kombinacji niezależnych oddziaływań w różnych sytuacjach obliczeniowych. Oddziaływania są niezależne od siebie nawzajem, jeżeli wynikają z różnych źródeł oraz jeżeli zależność istniejąca pomiędzy nimi może zostać zaniedbana w odniesieniu do niezawodności układu konstrukcyjnego.



Pole wyboru w oknie dialogowym *Model – Dane ogólne*

Zgodnie z tym założeniem, dla automatycznej superpozycji w programie RFEM muszą zostać zdefiniowane *Oddziaływania*, do których przydzielane są przypadki obciążeń. Typ oddziaływania zdefiniowany dla przypadków obciążeń (zobacz rozdział 5.1 na stronie 188) kontroluje przydzielanie do kategorii oddziaływań według norm.



Rysunek 5.8: Okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*, zakładka *Oddziaływania*

Oddziaływanie	A	B	C	D	E	F	G
	Oddziaływanie	EN 1990   CEN		PO w oddziałyvaniach			
	Opis	Kategoria oddziaływania	Oddziaływanie	PO.1	PO.2	PO.3	Komentarz
A1	Stale	G Stale		PO1			
A2	Użytkowe	G1 A Użytkowe - kategoria A; powierzchnie m		PO2			
A3	Śnieg	Qs Śnieg (H ≤ 1000 m n.p.m.)		PO3			
A4	Wiatr	Qw Wiatr		PO4			
A5	Trzęsienie ziemi	AE Trzęsienie ziemi		PO6			
A6							
A7							
A8							

Rysunek 5.9: Tabela 2.2 *Oddziaływania*

## Oddziaływanie

Oddziaływania są tworzone już podczas definiowania przypadków obciążeń i są kolejno numerowane. Kolejność ta nie ma znaczenia, ale w razie potrzeby może zostać zmodyfikowana przy użyciu przycisku [Zmienić numerację], dostępnego w oknie dialogowym.

Oddziaływania można dodać ręcznie w tabeli na przykład w celu przydzielenia przypadków obciążeń według specyfikacji użytkownika podczas obliczania dużych modeli.



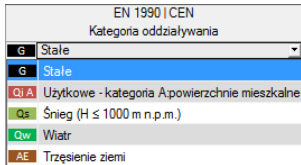
### Opis oddziaływania

Opis oddziaływania tworzony jest na podstawie typu oddziaływania, który został wybrany dla przypadków obciążeń. Opis ustawiony automatycznie można dostosować do własnych potrzeb.

### Kategoria oddziaływania

Normy wymieniają różne kategorie oddziaływań kontrolujące częściowe współczynniki bezpieczeństwa oraz współczynniki kombinacji (zobacz rozdział 5.1 na stronie 188).

Lista w tym oknie dialogowym oraz w tabeli zawiera jedynie te kategorie, które zostały użyte do zdefiniowania pojedynczych przypadków obciążeń. Aby utworzyć nową kategorię należy przydzielić nowy typ oddziaływania w danych ogólnych przypadku obciążenia.



### Oddziaływanie

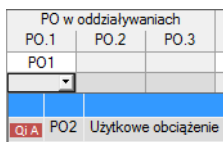
Dwa lub więcej przypadki obciążeń mogą zostać zdefiniowane jako oddziałujące *Równocześnie* lub *Alternatywnie*. Oznacza to, że przypadki te pojawiają się zawsze lub nigdy w kombinacji obciążeń lub wyników.

Na przykład, przypadki obciążeń zawierające wiatr z różnych kierunków oddziałują "alternatywnie".

### Przypadki obciążeń w oddziaływaniu

Przypadki obciążeń są przydzielane według typu oddziaływania PO, a więc przydzielanie w dużym stopniu odbywa się automatycznie.

Aby usunąć przypadek obciążenia z oddziaływania, należy zaznaczyć go w sekcji okna dialogowego *Przypadki obciążeń w oddziaływaniu*. Następnie należy kliknąć przycisk [◀] lub dwukrotnie kliknąć wybrany wpis, aby przenieść go do sekcji okna dialogowego *Nieprzydzielone przypadki obciążeń*. W tabeli również można ustawić przypadek obciążenia jako nieaktywny: W tym celu należy wybrać pusty wpis na liście w odpowiedniej komórce tabeli.



PO w oddziaływaniach		
PO.1	PO.2	PO.3
PO1		
Q1A PO2	Użytkowe obciążenie	

Ręcznie usunięte przypadki obciążeń z uwzględnieniem typu oddziaływania są przenoszone na listę *Nieprzydzielone przypadki obciążeń*. Oznacza to również, że w kategorii oddziaływania można umieścić tylko przypadki obciążeń posiadające ten sam typ oddziaływania. Nie można na przykład wybrać przypadków obciążeń typu "obciążenia użytkowe" dla oddziaływań typu "śnieg", ani w oknie dialogowym, ani na liście w tabeli (zobacz rysunek po lewej stronie). Z tego powodu przypadki obciążeń będące różnych typów nie są widoczne na liście *Istniejące oddziaływania*. Przy użyciu przycisku [Pokaż nieużywane], znajdującego się poniżej tej sekcji okna dialogowego, można wyświetlić przypadki obciążeń z innych kategorii. Wyświetlone będą one jako zablokowane i nie będzie możliwe ich wybór.

Przypadki obciążeń nie przydzielone do żadnych oddziaływań nie są uwzględniane podczas generowania kombinacji.

### Komentarz

W tym polu można wprowadzić własny komentarz lub wybrać z listy jeden z gotowych wpisów.

Przyciski w zakładce *Oddziaływania* w oknie dialogowym *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje* posiadają następujące funkcje:









	Tworzenie nowego oddziaływania
	Zmiana numeracji zaznaczonego oddziaływania
	Zaznaczenie wszystkich oddziaływań
	Odznaczenie wszystkich elementów listy
	Automatyczne przydzielanie nie przydzielonych przypadków obciążeń do oddziaływań
	Usuwanie zaznaczonych oddziaływań

Tabela 5. 2: Przyciski w zakładce Oddziaływania

## 5.3 Warunki kombinacji

### Opis ogólny

Łączenie oddziaływań opisane jest w normach. Przykładowo EN 1990 wymaga obliczeń w stanach granicznych nośności i użyteczności. Obliczenia w stanach granicznych nośności dla **nośności obciążenia** muszą zostać przeprowadzone w czterech sytuacjach obliczeniowych, dla których należy zastosować szczególne reguły kombinacji:

1. Sytuacje stałe, zawierające zwykle warunki wykorzystania układu konstrukcyjnego oraz sytuacje tymczasowe, odnoszące się do stanów konstrukcji o ograniczonym czasie trwania (na przykład etap konstrukcyjny, naprawy)

Jako regułę kombinacji dla sytuacji stałych i tymczasowych (kombinacja podstawowa) należy wykorzystać

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Równanie 5.1

lub bardziej niekorzystną kombinację z Równanie 5.2 i Równanie 5.3 dla stanów granicznych STR i GEO.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P_k + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Równanie 5.2

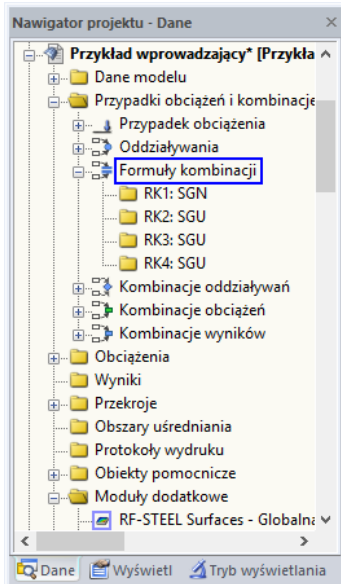
$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Równanie 5.3

2. Sytuacje wyjątkowe, odnoszące się do wyjątkowych oddziaływań układu konstrukcyjnego lub jego otoczenia (na przykład pożar, wybuch, zderzenie)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ lub } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Równanie 5.4



### 3. Sytuacje sejsmiczne

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Równanie 5.5

Według normy EN 1990 należy przeprowadzić obliczenia w stanach granicznych **użytkowości** w trzech sytuacjach obliczeniowych, dla których trzeba zastosować następujące reguły kombinacji.

#### 1. Sytuacje charakterystyczne z nieodwracalnym (trwałym) wpływem na konstrukcję

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Równanie 5.6

#### 2. Sytuacje częste z odwracalnym (nierwałym) wpływem na konstrukcję

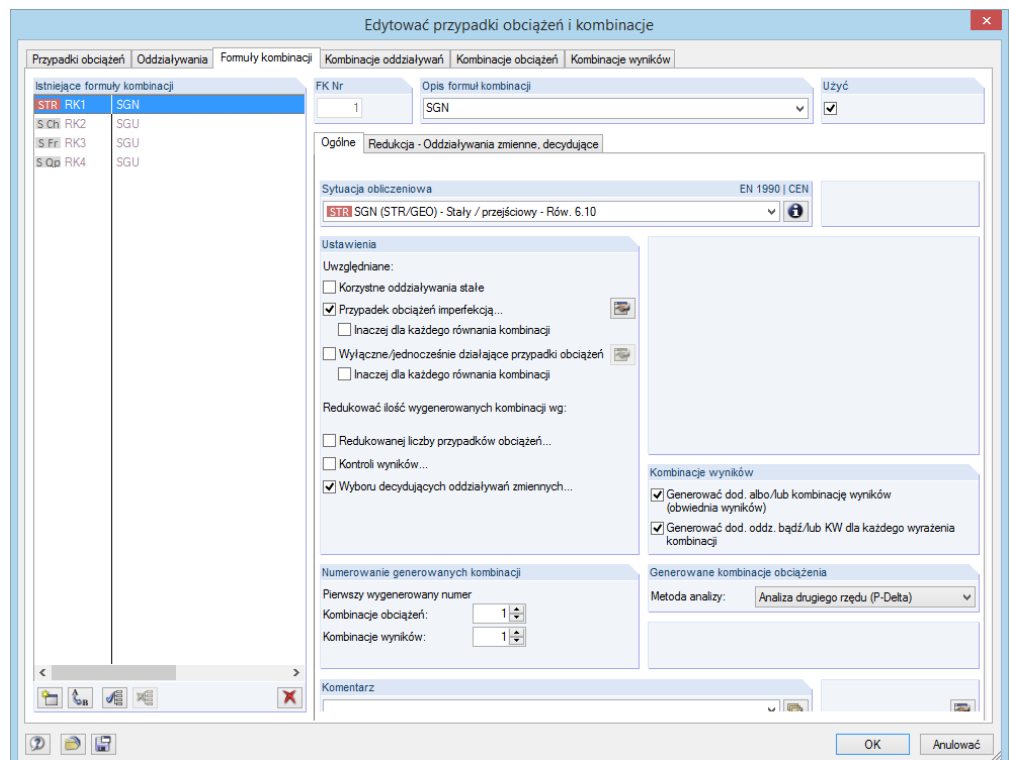
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Równanie 5.7

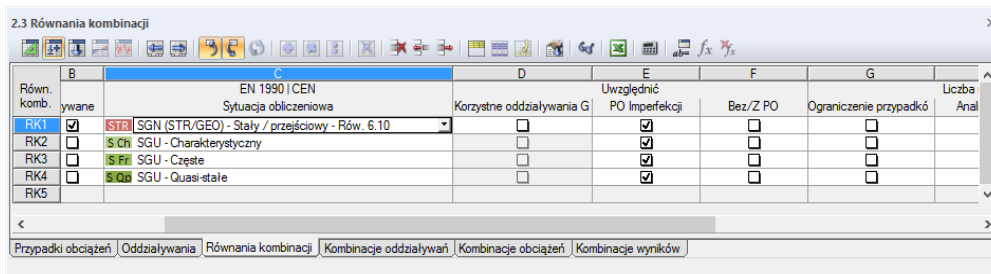
#### 3. Sytuacje quasi-stałe z długotrwałym wpływem na konstrukcję

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Równanie 5.8



Rysunek 5.10: Okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*, zakładka *Formuły kombinacji*



Równ. Komb.	B	C	D	E	F	G	Liczba Anal
	ywane	EN 1990   CEN Sytuacja obliczeniowa	Korzystne oddziaływania G	Uwzględnić PO Imperfekcji	Bez/Z PO	Ograniczenie przypadków	
RK1	<input checked="" type="checkbox"/>	STR SGN (STR/GEO) - Stały / przejściowy - Równ. 6.10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
RK2	<input type="checkbox"/>	S Ch SGU - Charakterystyczny	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
RK3	<input type="checkbox"/>	S Fr SGU - Częste	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
RK4	<input type="checkbox"/>	S Qs SGU - Quasi-stałe	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
RK5	<input type="checkbox"/>						

Rysunek 5.11: Tabela 2.3 Równania kombinacji

## Formuły kombinacji

Po otwarciu okna dialogowego lub tabeli, program RFEM automatycznie ustawia reguły kombinacji dla następujących sytuacji obliczeniowych:

- *SGU* stan graniczny nośności dla sytuacji stałej lub tymczasowej
- *SGN Ch* stan graniczny użyteczności dla sytuacji charakterystycznej
- *SGN Cz* stan graniczny użyteczności dla sytuacji częstej
- *SGN Qs* stan graniczny użyteczności dla sytuacji quasi-stałej



Nową regułą kombinacji można utworzyć w kolejnym wierszu tabeli lub w oknie dialogowym przy użyciu przycisku [Nowa]. Do wyboru dostępne są sytuacje obliczeniowe opisane powyżej.



Reguły kombinacji zaznaczone na liście okna dialogowego można usunąć przy użyciu przycisku [Usunąć].

## Opis formuły kombinacji

Krótki opis reguł kombinacji można zmienić w dowolnym momencie. Gotowe opisy można wybrać z listy.

## Użyć

To pole wyboru pozwala wybrać czy zaznaczona reguła kombinacji będzie uwzględniana podczas tworzenia kombinacji wyników. W ten sposób można reaktywować lub wykluczyć sytuacje obliczeniowe z generowania.

## Sytuacja obliczeniowa

Normy opisują sytuacje, dla których należy przeprowadzić obliczenia układu konstrukcyjnego. Sytuacje obliczeniowe określają warunki oczekiwane podczas budowy i użytkowania budynku.

Z listy można wybrać następujące sytuacje obliczeniowe dla EN 1990:

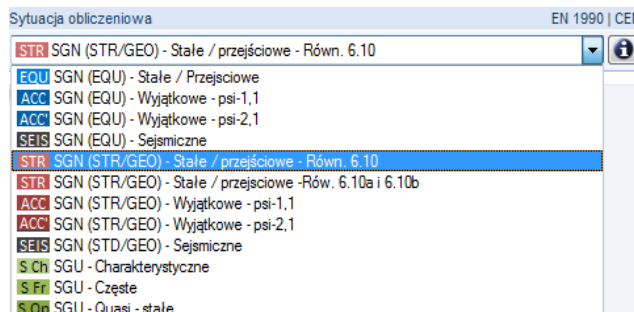
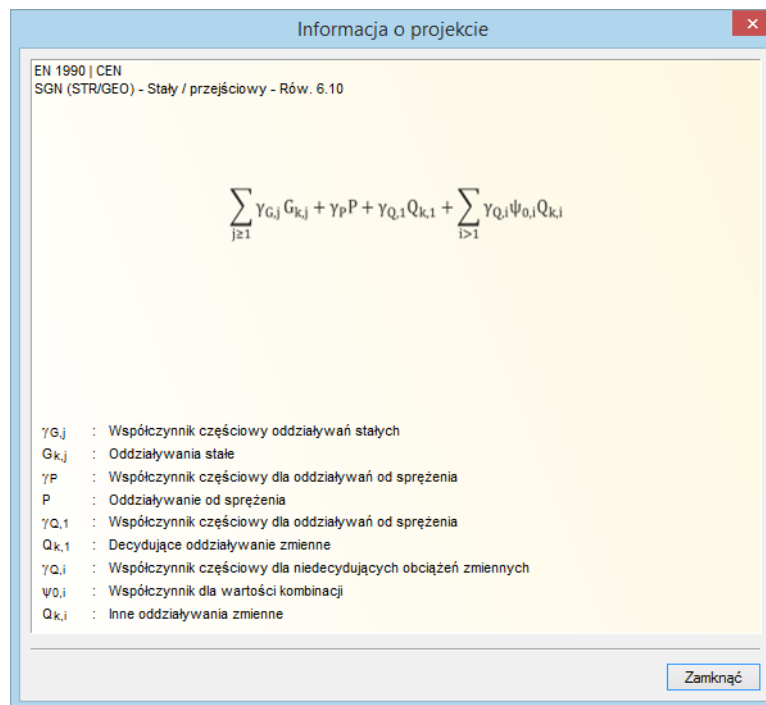


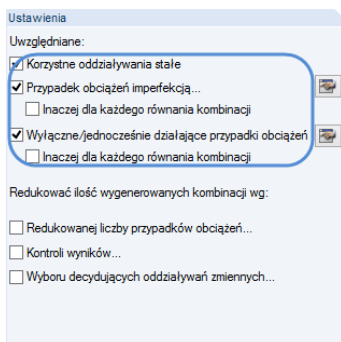
Tabela 5.12: Sytuacje obliczeniowe według EN 1990



Klikając przycisk [Informacje] można sprawdzić regułę kombinacji bieżącej sytuacji obliczeniowej. Otworzy się okno dialogowe wyjaśniające równanie wraz z odpowiednimi parametrami (zobacz na poniższym rysunku).



Rysunek 5.13: Okno dialogowe *Informacja o projekcie*



### Korzystne oddziaływania stałe

Dzięki tej opcji, program RFEM może rozróżnić korzystne i niekorzystne oddziaływania podczas procesu generowania. W trakcie superpozycji uwzględniane są one z różnymi częściowymi współczynnikami bezpieczeństwa i tworzone są kombinacje dodatkowe.

Ustawienia w tym polu wyboru wpływają jedynie na sytuacje obliczeniowe dla nośności obciążenia. Rozróżnienie pomiędzy korzystnymi a niekorzystnymi oddziaływaniami stałymi zachodzi automatycznie w przypadku sytuacji obliczeniowej "równowaga statyczna", podczas gdy oddziaływania stałe dla sytuacji obliczeniowej "użytkowość" nie są rozróżniane.

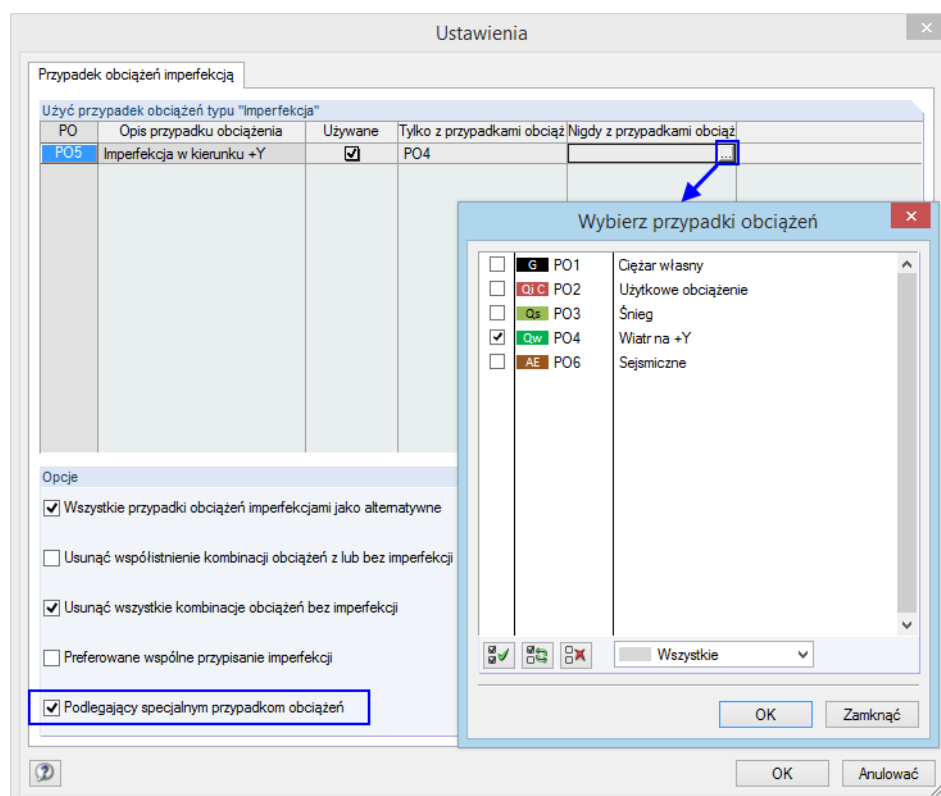
### Przypadki obciążenia imperfekcją

Program RFEM rozróżnia dwie kategorie obciążeń: standardowe przypadki obciążeń oraz przypadki obciążeń typu *Imperfekcja*. Dzięki specjalnemu traktowaniu imperfekcji można utworzyć dowolną dozwoloną kombinację obciążeń - posiadającą lub nieposiadającą imperfekcji.

Przypadki obciążenia imperfekcją są uwzględniane jedynie podczas generowania kombinacji obciążeń. Ustawienia z pól wyboru mają zastosowanie globalne. Imperfekcje można uwzględniać konsekwentnie dla wszystkich reguł kombinacji lub też nie uwzględniać ich w ogóle. Nie można stosować imperfekcji osobno w pojedynczych regułach kombinacji.

W przypadku zaznaczenia pola wyboru, uaktywni się przycisk [Ustawienia] lub przycisk [...]. Przyciski te służą do otwierania okna dialogowego zawierającego szczegółowe ustawienia dla przypadków obciążenia imperfekcją.





Rysunek 5.14: Okno dialogowe *Ustawienia* z oknem dialogowym *Wybrać przypadki obciążeń* pozwalającym wybrać przypadki obciążeń

Sekcja okna dialogowego **Wybrać przypadki obciążeń** zawiera wszystkie przypadki obciążeń, które zostały zaklasyfikowane jako oddziaływanie typu "imperfekcja" (zobacz rozdział 5.1 na stronie 188). Przy użyciu pól wyboru w kolumnie *Używane* można szczegółowo kontrolować te przypadki obciążeń oraz zdecydować, który z nich zostanie uwzględniony podczas generowania kombinacji obciążeń.

Kolumny *Tylko z przypadkami obciążeń* i *Nigdy z przypadkami obciążeń* wyświetlane są, jeżeli przypadki obciążenia imperfekcją *Podlegają specjalnym przypadkom obciążeń* (zobacz poniższy opis).

Przy użyciu ustawień w sekcji okna dialogowego **Opcje** określa się, w jaki sposób są uwzględniane przypadki obciążenia imperfekcją. Jeżeli *Wszystkie przypadki obciążeń imperfekcjami oddziałują jako alternatywne*, program RFEM zastosuje tylko jeden przypadek obciążenia imperfekcją dla każdej kombinacji obciążeń.

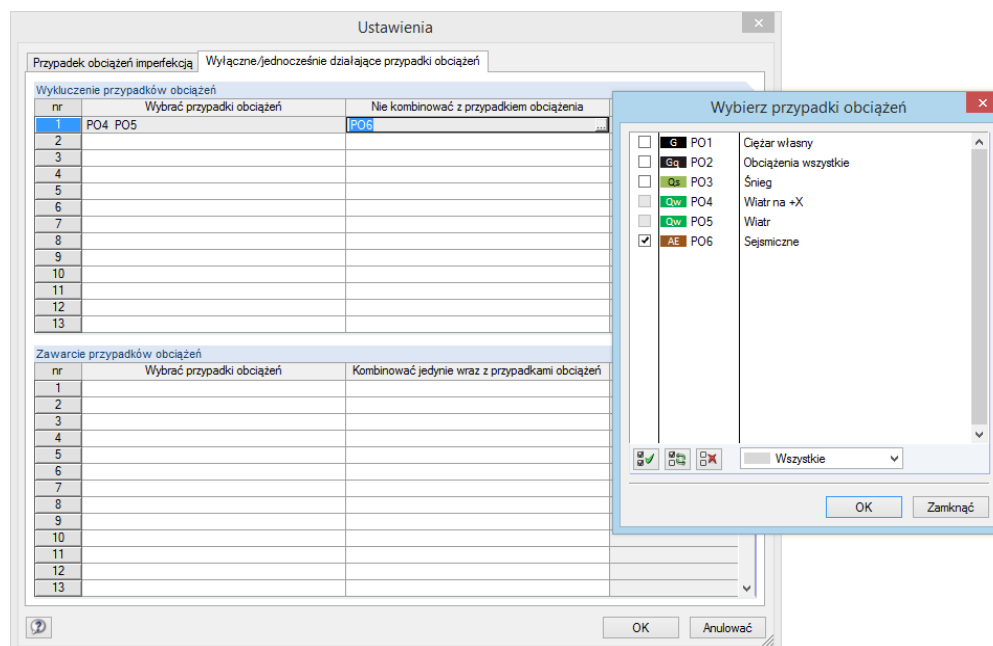
Jeżeli został aktywowany przynajmniej jeden przypadek obciążenia imperfekcją, zostanie utworzona dowolna dozwolona kombinacja, która raz będzie posiadała imperfekcję, a raz nie. Jeżeli mają zostać utworzone jedynie kombinacje obciążeń z imperfekcją, należy zaznaczyć pole wyboru *Usunąć współistnienie kombinacji obciążeń z lub bez imperfekcji*.

Przy użyciu opcji *Podlegający specjalnym przypadkom obciążeń* można jeszcze bardziej zredukować ilość generowanych kombinacji obciążeń. W przypadku zaznaczenia tej opcji, w górnej sekcji okna dialogowego zostaną pokazane dwie dodatkowe kolumny *Tylko z przypadkami obciążeń* i *Nigdy z przypadkami obciążeń*. Kliknięcie komórki spowoduje uaktywnienie przycisku [...], który otwiera okno dialogowe *Wybrać przypadki obciążeń*, w którym można zdefiniować relację pomiędzy przypadkiem obciążenia imperfekcją a jednym lub więcej przynależnych lub wykluczających się przypadków obciążeń (zobacz Rysunek 5.14).

### Wyłączne/jednocześnie działające przypadki obciążeń

Dalsza redukcja ilości tworzonych kombinacji obciążeń możliwa jest poprzez zaklasyfikowanie przypadków obciążeń, jako wzajemnie się wykluczające lub występujące tylko razem.

Zaznaczenie pola wyboru uaktywnia przycisk [Ustawienia] w oknie dialogowym lub przycisk [...] w tabeli, który otwiera okno dialogowe zawierające szczegółowe ustawienia dla sposobu stosowania przypadków obciążeń.



Rysunek 5.15: Okno dialogowe *Ustawienia*, zakładka *Wyłączne/jednocześnie działające przypadki obciążeń*-z oknem dialogowym *Wybrać przypadki obciążeń*



Na początku, w sekcji okna dialogowego **Indywidualnie działające przypadki obciążeń**, należy wprowadzić przypadek obciążenia w kolumnie *Wybrać przypadki obciążeń*. W tym samym celu można również wykorzystać przycisk [...], aby otworzyć okno dialogowe *Wybrać przypadki obciążeń*, w którym można wybrać żądany przypadek. Następnie w kolumnie *Nie kombinować z przypadkiem obciążenia*, należy zdefiniować, które przypadki obciążeń nigdy nie mają być uwzględniane razem z tym przypadkiem w kombinacji obciążeń. W ten sposób można uniknąć na przykład kombinacji przypadków obciążenia zawierających śnieg i obciążenie obsługa.

W sekcji okna dialogowego **Jednocześnie działające przypadki obciążeń** można analogicznie określić ustawienia dla przypadków obciążeń, które zawsze mają się pojawić razem w każdej kombinacji obciążeń. Relacje te będą efektywne tylko, jeżeli nie będzie aktywna opcja *Redukować ilość generowanych kombinacji wg: Kontrola wyników* (zobacz poniżej).



Specyfikacje w sekcji okna dialogowego *Jednocześnie działające przypadki obciążeń* są uwzględniane tylko w przypadku generowania kombinacji obciążeń, ale nie w przypadku kombinacji wyników.

### Redukować ilość generowanych kombinacji według

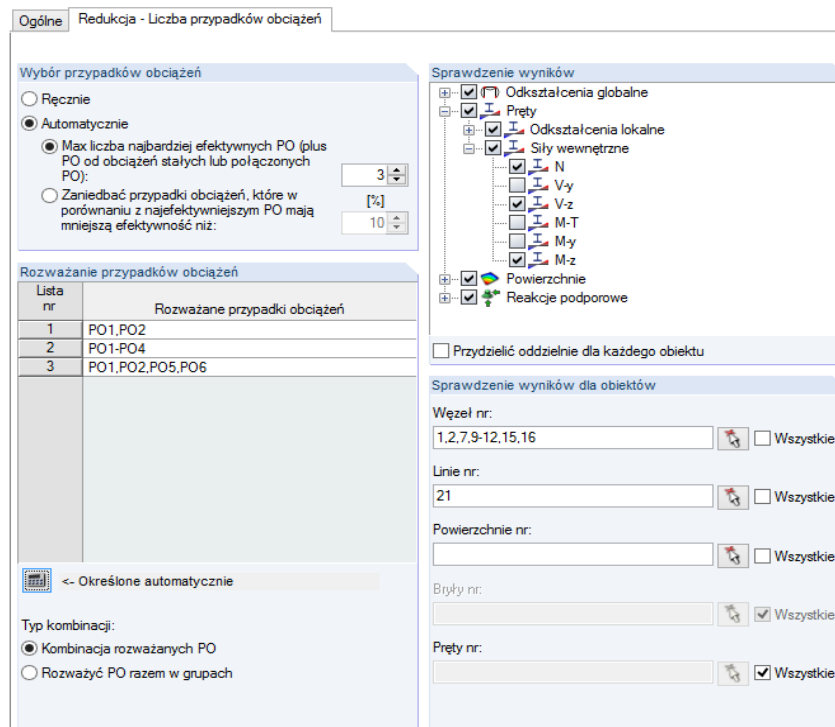
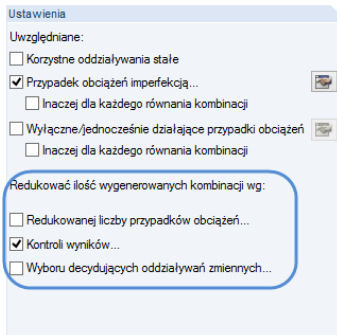
Złożoność układu konstrukcyjnego oraz ilość oddziaływań i przypadków obciążeń mają znaczny wpływ na wygenerowane kombinacje obciążeń i wyników. Istnieją trzy możliwości efektywnego zredukowania ilości kombinacji. Dwie pierwsze z nich są dostępne jedynie w przypadku generowania kombinacji obciążeń, ale nie w przypadku generowania kombinacji wyników.

#### Redukowana liczba przypadków obciążeń...

Przy użyciu tej opcji można ogólnie ograniczyć ilość przypadków obciążeń występujących w kombinacjach obciążeń. Odpowiednie pole wyboru znajduje się w zakładce *Ogólne* w oknie *Formuły kombinacji* (zobacz Rysunek 5.10 na stronie 194). Wykorzystując tę procedurę, program RFEM sprawdza, które przypadki obciążeń wywołują dodatnie lub ujemne siły wewnętrzne i deformacje. Następnie wszystkie oddziaływania dodatnie i ujemne są łączone. Dzięki temu kombinacje będą zawierać tylko te przypadki obciążeń, które są odpowiednie dla wartości minimalnych i maksymalnych.

Zaletą tej metody jest możliwość znaczącego zredukowania ilości kombinacji, co pozytywnie wpływa na szybkość obliczeń oraz ich oceny. Niedogodność może stanowić fakt, że istnieje pewien współczynnik niepewności dla redukcji podczas znajdowania wartości ekstremalnych w przypadku niekorzystnych układów obciążenia i specyfikacji.

Po zaznaczeniu tego pola wyboru pojawi się dodatkowa zakładka o nazwie *Redukcja – Liczba przypadków obciążeń*, w którym można szczegółowo określić, które przypadki obciążeń, siły wewnętrzne i obiekty mają być uwzględniane podczas tworzenia kombinacji głównych.



Rysunek 5.16: Zakładka okna dialogowego *Redukcja – Liczba przypadków obciążeń* dla reguły kombinacji



Przypadki obciążeń można wybrać *Ręcznie* lub określić *Automatycznie* na podstawie kryterium efektywności. Kliknięcie przycisku [Określ automatycznie] rozpoczyna obliczenia w celu zbadania maksymalnych i minimalnych sił wewnętrznych, deformacji oraz reakcji podporowych w tych przypadkach obciążeń.



W przypadku wybrania automatycznego określenia, należy zdefiniować, które wyniki (deformacje, siły wewnętrzne prętów i powierzchni, reakcje podporowe) i obiekty (węzły, powierzchnie, pręty itp.) zostaną uwzględnione podczas oceny przypadków obciążeń. Odpowiednie obiekty można wybrać graficznie przy użyciu funkcji [^] zaraz po odznaczeniu pola wyboru *Wszystkie*. Wykorzystać można także pole wyboru *Przydzielć oddzielnie dla każdego obiektu*, aby przydzielić obiektom specyficzne typy wyników na potrzeby analizy.

Ilość przypadków obciążeń znajdujących się w grupie, po obliczeniu danych przypadku obciążenia, zależy od ustawień zdefiniowanych w sekcji okna dialogowego *Wybór przypadków obciążeń*:

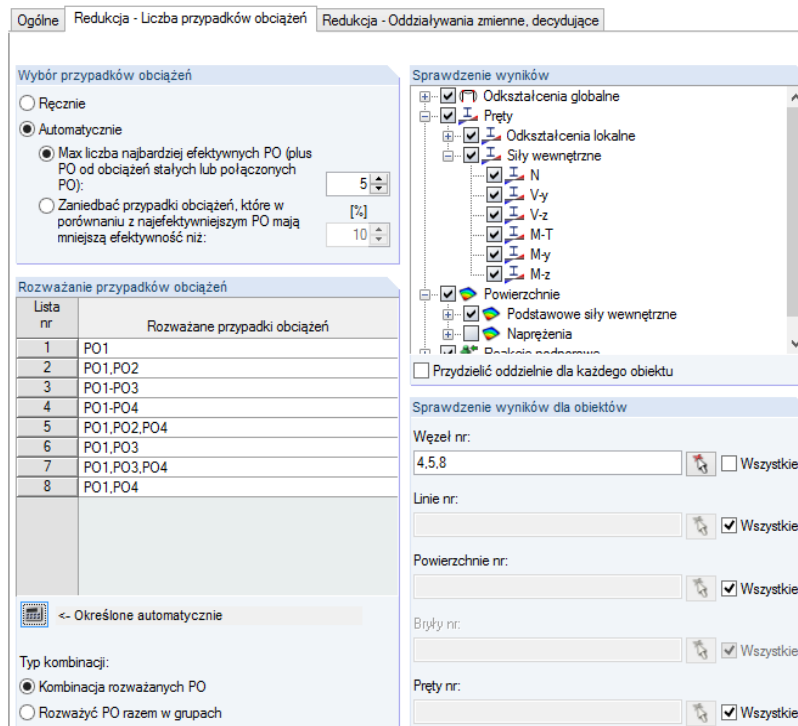
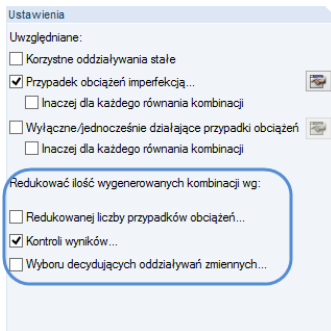
- Podczas używania opcji **Max liczba najbardziej efektywnych PO (plus PO od obciążeń stałych lub połączonych PO)**, grupa ta zawierać będzie określoną maksymalną ilość przypadków obciążeń lub jedynie dodatnio lub ujemnie oddziałujące przypadki obciążeń w mniejszej ilości.
- Można **Zanieść przypadki obciążeń** posiadające bardzo mały udział w wartościach minimalnych i maksymalnych. Procent ten odnosi się do sił wewnętrznych, deformacji i sił podporowych przypadków obciążeń powodujących wartości ekstremalne.

Przypadki obciążenia imperfekcją nie są uwzględniane w przypadku ustawienia automatycznego tworzenia grup.

### Sprawdzenie wyników

Program RFEM tworzy jedynie nadrzędne kombinacje obciążeń. Opcja redukcji nie jest dostępna dla kombinacji wyników.

Po zaznaczeniu tego pola wyboru, w oknie dialogowym pojawi się nowa zakładka *Zredukować - Sprawdzenie wyników*.



Rysunek 5.17: Zakładka *Zredukować - Sprawdzenie wyników* dla reguły kombinacji

Przy użyciu pierwszej *Metody redukcji* można automatycznie ocenić wygenerowane tymczasowe kombinacje wyników. Tymczasowe kombinacje wyników zawierają wszystkie przypadki obciążeń utworzone w modelu, a także uwzględniają wszystkie zależności istniejące pomiędzy nimi. Przy użyciu wyników dostępnych w każdym węźle ES, program RFEM potrafi



przeanalizować, które z jednocześnie oddziałujących przypadków obciążeń prowadzą do wystąpienia wartości maksymalnej lub minimalnej w odpowiednich miejscach. Metoda redukcji oparta jest na założeniu, że kombinacjami głównymi mogą być tylko te kombinacje, które zawierają jedynie jednocześnie oddziałujące przypadki obciążeń.

W celu redukcji ilości wyników można alternatywnie wykorzystać wyniki kombinacji wyników utworzonej przez użytkownika.

W sekcji okna dialogowego *Sprawdzenie wyników* można zdefiniować, które deformacje, siły wewnętrzne, naprężenia lub reakcje podporowe zostaną uwzględnione podczas określania wartości ekstremalnych.



Sekcja okna dialogowego *Sprawdzenie wyników dla obiektów* posiada opcje służące do ograniczenia analizy wartości ekstremalnej do wyników wybranych prętów, powierzchni i brył. Obiekty te można wybrać graficznie przy użyciu funkcji [↵].

### Wybrać decydujące oddziaływanie zmienne

Drugą możliwością redukcji ilości wygenerowanych kombinacji stanowi zaklasyfikowanie tylko wybranych oddziaływań jako oddziaływania decydujące. Opcja ta jest dostępna podczas generowania kombinacji obciążeń i wyników.

Po zaznaczeniu tego pola wyboru, w oknie dialogowym pojawi się nowa zakładka *Redukcja – oddziaływania zmienne, decydujące*.

Wybierz decydujące oddziaływania zmienne					
Oddziaływ.	Oddziaływ. Opis	EN 1990   CEN	PO w oddziałyvaniach	Oddziaływania główne	
A2	Użytkowe	Użytkowe - kategori	PO2	<input checked="" type="checkbox"/>	
A3	Śnieg	Śnieg (H ≤ 1000 m n	PO3	<input type="checkbox"/>	
A4	Wiatr	Wiatr	PO4	<input checked="" type="checkbox"/>	

Rysunek 5.18: Zakładka *Redukcja – oddziaływania zmienne, decydujące* dla reguł kombinacji

Lista oddziaływań decydujących zawiera jedynie oddziaływania zmienne.

Po odznaczeniu pola przy wpisie w kolumnie *Oddziaływania główne*, odpowiednie oddziaływanie zostanie nałożone jedynie jako towarzyszące oddziaływanie zmienne.

### Numerowanie generowanych kombinacji

Wprowadzanie danych w tej sekcji okna dialogowego *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje* (zobacz Rysunek 5.10 na stronie 194) wpływa na *Pierwszy wygenerowany numer kombinacji obciążeń* lub *kombinacji wyników*, które są tworzone w programie RFEM.

### Kombinacje wyników

Opcjonalnie można *Generować dodatkowo* albo/lub *kombinację wyników (obwiednie wyników)*. Ta kombinacja wyników nakłada wartości ekstremalne wszystkich kombinacji obciążeń i wyników według następującego układu:

"KO1/stała lub KO2/stała lub KO3/stała itd."

Jeżeli do generowania zostało określonych kilka reguł kombinacji, można wykorzystać polecenie *Generować dodatkowo oddzielną bądź/lub kombinację wyników dla każdego wyrażenia kombinacji*.

### Metoda analizy

Przy użyciu tej listy można wybrać, która metoda obliczania zostanie zastosowana podczas analizowania kombinacji (zobacz rozdział 7.3.1.1 na stronie 283). Program RFEM

automatycznie ustawia obliczenia nieliniowe według analizy drugiego rzędu (P-Delta) dla kombinacji obciążeń.

### Wygenerowane kombinacje oddziaływań

Ta sekcja okna dialogowego lub kolumna tabeli są wypełniane podczas generowania, które rozpoczyna się automatycznie po zamknięciu zakładki okna dialogowego lub tabeli. Pole okna dialogowego pokazuje krótki przegląd ilości wygenerowanych kombinacji.

Wykorzystując dane wprowadzone w oknie dialogowym lub w tabeli, program RFEM tworzy tak zwane "kombinacje oddziaływań" (Kod), które zostały opisane w następnym rozdziale. Wpisy wyświetlane w bieżącym oknie dialogowym pozwalają na ocenienie sposobu, w jaki reguły kombinacji wpływają na ilość kombinacji.

Generowane kombinacje oddziaływań
KOd1 ... KOd13 (13/47)
KOd14 ... KOd26 (13/47)
KOd27 ... KOd39 (13/47)
KOd40 ... KOd47 (8/47)



W przykładzie pokazanym na lewym marginesie tej strony generowana jest suma 47 kombinacji oddziaływań dla czterech określonych sytuacji obliczeniowych:

- SGN (STR/GEO): KOd1 do KOd13
- SGU - charakterystyczna: KOd14 do KOd26
- SGU - częsta: KOd27 do KOd39
- SGU - quasi-stała: KOd40 do KOd47

Podczas przechodzenia do następnej zakładki przy użyciu przycisku okna dialogowego [▶], program RFEM automatycznie określa kombinacje oddziaływań. Pierwsza kombinacja oddziaływań utworzona przy użyciu aktualnej reguły kombinacji będzie zaznaczona w kolejnej zakładce.

### Komentarz

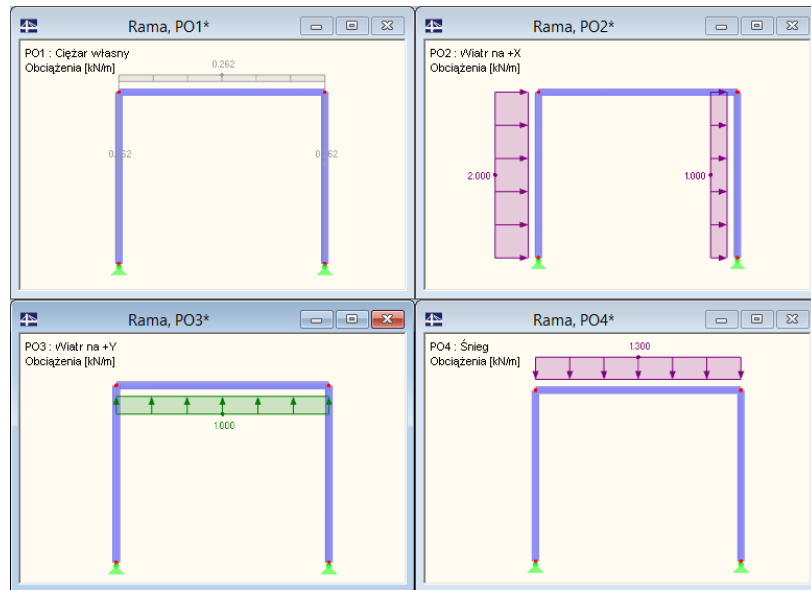
W polu tym można wprowadzić swoją własną uwagę lub wybrać jeden z wpisów z listy.

### Przykład: redukcja wygenerowanych kombinacji

Celem łączenia przypadków obciążeń jest znalezienie najbardziej niekorzystnego układu obciążenia dla każdego położenia w układzie konstrukcyjnym. Aby to osiągnąć, można:

- albo określić wszystkie kombinacje, które są możliwe matematycznie,
- albo spróbować znaleźć logiczne powiązania, przed połączeniem oddziaływań, aby zredukować liczbę możliwych kombinacji.

Przykładowo, symetryczna dwuprzegubowa rama posiada następujące przypadki obciążeń:



Rysunek 5.19: Rama dwuprzegubowa z czterema przypadkami obciążenia

### ▪ Opcja *Redukowana liczba przypadków obciążeń...*

Przypadki obciążeń wynikające z następujących sił osiowych dostępne są w kolumnach:

Przypadek obciążenia	Opis	Efekt	Siła osiowa lewy słup	Siła osiowa prawy słup
1	Ciężar własny	Stały	Ściskanie	Ściskanie
2	Wiatr z prawej	Alternatywny	Rozciąganie	Ściskanie
3	Wyciąganie wiatrem	Alternatywny	Rozciąganie	Rozciąganie
4	Śnieg	Alternatywny	Ściskanie	Ściskanie

Tabela 5. 3: Ściskające i rozciągające siły w słupach

Ponieważ PO1 zawsze występuje, a pozostałe obciążenia działają alternatywnie, teoretycznie możliwych jest osiem kombinacji:

KO1: PO1 + PO2 + PO3 + PO4

KO2: PO1

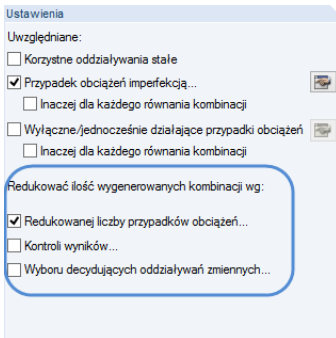
KO3: PO1 + PO2

KO4: PO1 + PO3

KO5: PO1 + PO4

KO6: PO1 + PO2 + PO3

KO7: PO1 + PO3 + PO4



KO8: PO1 + PO2 + PO4

Powyższe osiem kombinacji można zredukować, jeżeli chcemy rozwiązać tylko maksymalne wartości sił osiowych słupów. Możliwe jest stworzenie grupy przypadków obciążeń dla każdego słupa biorące pod uwagę tylko siły rozciągające i ściskające oraz stale działający przypadek obciążenia nr 1.

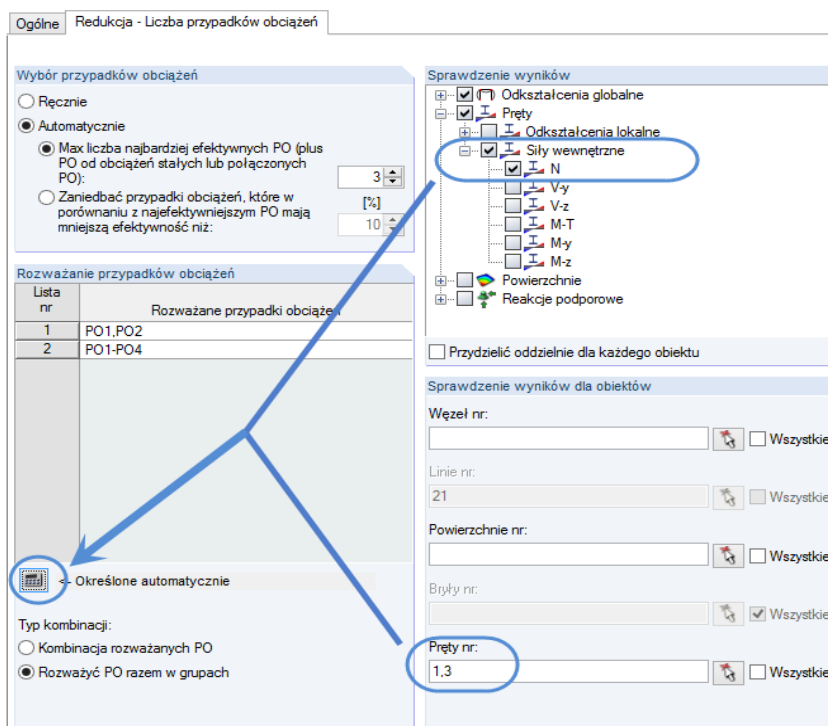
Grupa	Lewy słup	Prawy słup
Rozciąganie	PO1, PO2, PO3	PO1, PO3
Ściskanie	PO1, PO4	PO1, PO2, PO4

Tabela 5.4: Grupy przypadków obciążeń

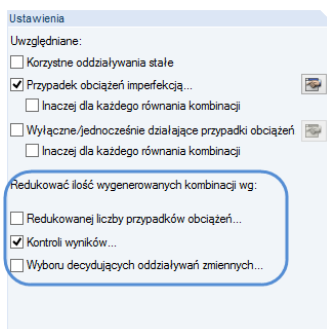
W takim przypadku, wynikowe są tylko cztery kombinacje przypadków obciążenia, a nie osiem. Powyższa redukcja może być przeprowadzona w oknie dialogowym *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje* (zobacz Rysunek 5.10, strona 194) przez

- Zaznaczenie pola wyboru *Redukowana liczba przypadków obciążeń*,
- Zaznaczenie tylko sił osiowych w sekcji okna dialogowego *Sprawdzenie wyników* w zakładce *Redukcja – Liczba przypadków obciążeń* oraz
- Wprowadzenie jedynie numerów prętów słupów w sekcji okna dialogowego *Sprawdzenie wyników dla obiektów* (zobacz rysunek poniżej).

Po wybraniu przycisku [Określone automatycznie] program RFEM wykonuje krótkie obliczenia. Następnie w oknie tabeli sekcji *Rozważane przypadki obciążeń* wymienia cztery grupy przypadków obciążeń, które są pokazane w Tabeli 5.4.



Rysunek 5.20: Automatyczne określenie przypadków obciążeń w grupach



### • Opcjs Kontrola wyników

Dzięki tej metodzie utworzona jest liniowa kombinacja wyników z przypadków obciążenia. RFEM ocenia dla każdego punktu wartości skrajne i biorące udział przypadki obciążeń oraz dostarcza maksymalną i minimalną kombinację przypadków obciążeń. Następnie te kombinacje ekstremalne są użyte w tworzeniu kombinacji przypadków obciążenia.

Przypadki obciążeń dają następujące siły osiowe występujące w słupach:

Przypadek obciążenia	Opis	Efekt	Siła osiowa lewy słup	Siła osiowa prawy słup
1	Ciężar własny	Stały	Ściskanie (-10 kN)	Ściskanie (-10 kN)
2	Wiatr z prawej	Alternatywny	Rozciąganie (5 kN)	Ściskanie (-5 kN)
3	Wyciąganie wiatrem	Alternatywny	Rozciąganie (3 kN)	Rozciąganie (3 kN)
4	Śnieg	Alternatywny	Ściskanie (-12 kN)	Ściskanie (-12 kN)

Tabela 5. 5: Ściskające i rozciągające siły w słupach

RFEM tworzy tymczasową kombinację wyników: PO1/stały + LC2 + LC3 + LC4

Po nałożeniu przypadków dla sił osiowych obydwu słupów otrzymywane są wyniki ekstremalne:

Grupa	Lewy słup	Prawy słup
N maksymalna	-2 kN (PO1, PO2, PO3)	-7 kN (PO1, PO3)
N minimalna	-22 kN (PO1, PO4)	-27 kN (PO1, PO2, PO4)

Tabela 5. 6: Grupy przypadków obciążeń

Ponownie, wynikiem nie jest osiem, lecz tylko cztery kombinacje obciążeń.

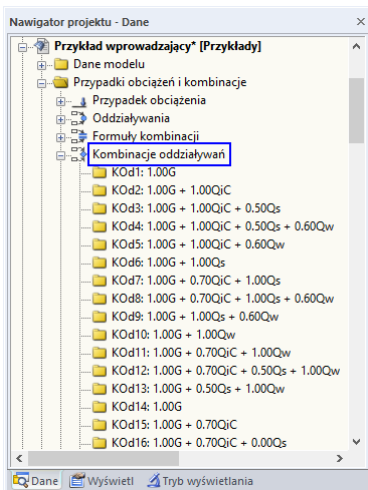
Ustawienie parametrów w zakładce *Zredukować – Sprawdzenie wyników* jest analogiczne jak na Rysunek 5.20.

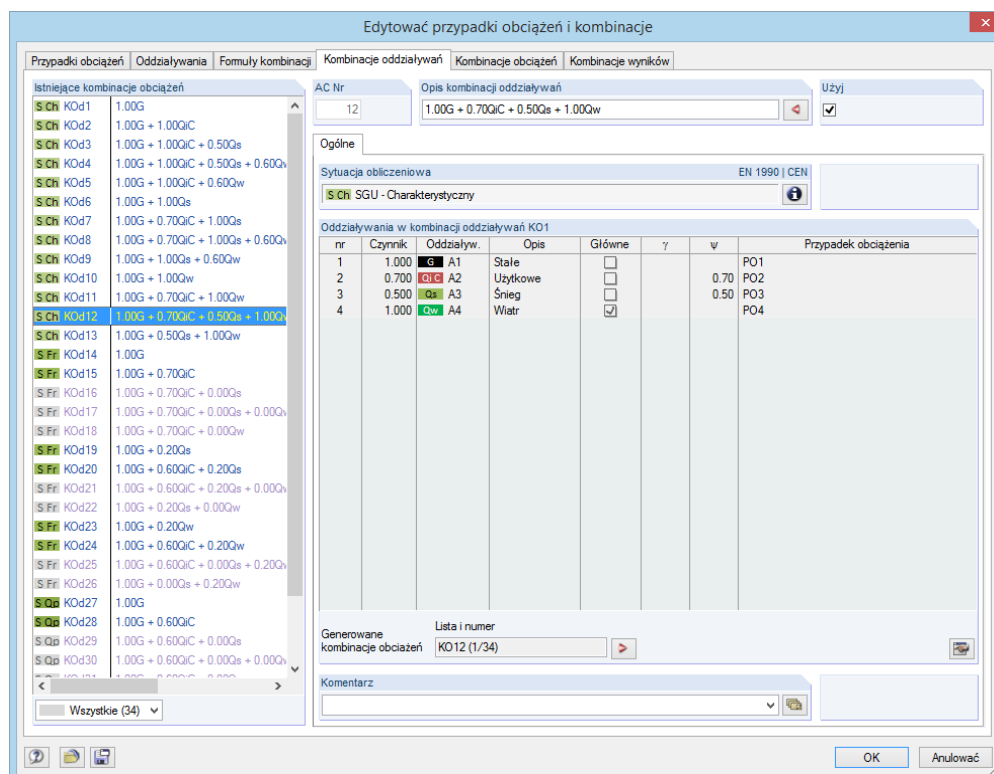
## 5.4 Kombinacje oddziaływań

### Opis ogólny

Po otworzeniu zakładki okna dialogowego lub tabeli 2.4, oddziaływania są nakładane automatycznie według reguł kombinacji i oznaczane jako tak zwane „kombinacje oddziaływań”. Przegląd ten jest ułożony według oddziaływań, a przez to jest zgodny ze sposobem, w jaki oddziaływania są opisane w normach. Można tutaj zdecydować, które kombinacje oddziaływań zostaną uwzględnione podczas generowania kombinacji obciążeń i wyników.

Kombinacja oddziaływań zawiera wszystkie możliwości łączenia przypadków obciążeń w oddziaływaniu. Z tego powodu nie należy mylić jej z kombinacją obciążeń lub wyników stanowiącą jedynie jedną z dostępnych możliwości.





Rysunek 5.21: Okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*, zakładka *Kombinacje oddziaływań*

2.4 Kombinacje oddziaływań

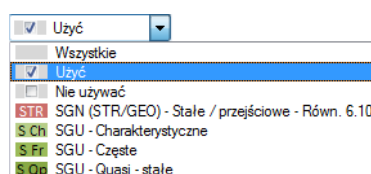
Komb. oddział.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Kombinacja oddziaływań Opis	Używane	EN 1990   CEN Sytuacja obliczeniowa	Oddziaływ..1 Współczynnik	nr	Oddziaływ..2 Współczynnik	nr	Oddziaływ..3 Współczynnik	nr	Oddziaływ..4 Współczynnik	nr
SW1	1.00G	<input checked="" type="checkbox"/>	S.Chr SGU - Charakterystyczne	1.00	G.A1						
SW2	1.00G + 1.00QA	<input checked="" type="checkbox"/>	S.Chr SGU - Charakterystyczne	1.00	G.A1	1.00	Qc.A2				
SW3	1.00G + 1.00QA + 0.50Qs	<input checked="" type="checkbox"/>	S.Chr SGU - Charakterystyczne	1.00	G.A1	1.00	Qc.A2	0.50	Qs.A3		
SW4	1.00G + 1.00QA + 0.50Qs + 0.60Qw	<input checked="" type="checkbox"/>	S.Chr SGU - Charakterystyczne	1.00	G.A1	1.00	Qc.A2	0.50	Qs.A3	0.60	Qw.A4
SW5	1.00G + 1.00QA + 0.60Qw	<input checked="" type="checkbox"/>	S.Chr SGU - Charakterystyczne	1.00	G.A1	1.00	Qc.A2	0.60	Qw.A4		
SW6	1.00G + 1.00Qs	<input checked="" type="checkbox"/>	S.Chr SGU - Charakterystyczne	1.00	G.A1	1.00	Qs.A3				
SW7	1.00G + 0.70QA + 1.00Qs	<input checked="" type="checkbox"/>	S.Chr SGU - Charakterystyczne	1.00	G.A1	0.70	Qc.A2	1.00	Qs.A3		
SW8	1.00G + 0.70QA + 1.00Qs + 0.60Qw	<input checked="" type="checkbox"/>	S.Chr SGU - Charakterystyczne	1.00	G.A1	0.70	Qc.A2	1.00	Qs.A3	0.60	Qw.A4
SW9	1.00G + 1.00Qs + 0.60Qw	<input checked="" type="checkbox"/>	S.Chr SGU - Charakterystyczne	1.00	G.A1	1.00	Qs.A3	0.60	Qw.A4		
SW10	1.00G + 1.00Qw	<input checked="" type="checkbox"/>	S.Chr SGU - Charakterystyczne	1.00	G.A1	1.00	Qw.A4				
SW11	1.00G + 0.70QA + 1.00Qw	<input checked="" type="checkbox"/>	S.Chr SGU - Charakterystyczne	1.00	G.A1	0.70	Qc.A2	1.00	Qw.A4		
SW12	1.00G + 0.70QA + 0.50Qs + 0.60Qw	<input checked="" type="checkbox"/>	S.Chr SGU - Charakterystyczne	1.00	G.A1	0.70	Qc.A2	0.50	Qs.A3	1.00	Qw.A4
SW13	1.00G + 0.50Qs + 1.00Qw	<input checked="" type="checkbox"/>	S.Chr SGU - Charakterystyczne	1.00	G.A1	0.50	Qs.A3	1.00	Qw.A4		

Rysunek 5.22: Tabela 2.4 *Kombinacje oddziaływań*

## Kombinacja oddziaływań

Kombinacje wygenerowane z oddziaływań są kolejno numerowane. Kombinacja oddziaływań zawiera wszystkie możliwości uwzględnienia przypadków obciążeń w oddziaływaniu. Możliwości te zależą od kategorii oddziaływania oraz od reguł kombinacji.

W oknie dialogowym *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje* poniżej listy *Istniejące kombinacje oddziaływań* można filtrować wygenerowane kombinacje według sytuacji obliczeniowej lub według związku z prowadzonymi obliczeniami.



Rysunek 5.23: Opcja filtrowania w oknie dialogowym *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*

### Opis kombinacji oddziaływań

Program RFEM automatycznie przydziela krótkie opisy na podstawie współczynników bezpieczeństwa i symboli oddziaływań, wyrażające reguły kombinacji. W razie potrzeby, opisy te można zmienić.



Przycisk okna dialogowego [◀] pozwala przejść do poprzedniej zakładki, w której pokazana jest reguła kombinacji, według której została utworzona dana kombinacja oddziaływań.

### Użyć

To pole wyboru pozwala wybrać, czy zaznaczona reguła kombinacji będzie uwzględniana podczas tworzenia kombinacji obciążeń lub wyników. W ten sposób można reaktywować lub wykluczyć sytuacje obliczeniowe z generowania.

Jeżeli program RFEM dwukrotnie utworzy kombinację oddziaływań ze względu na specjalne układy, jedna z nich zostanie automatycznie dezaktywowana.

### Sytuacja obliczeniowa



Sytuacja obliczeniowa bieżącej kombinacji oddziaływań jest ponownie wskazywana, pozwalając na sprawdzenie danych. Przy użyciu przycisku [Informacje] można zobaczyć regułę kombinacji tej sytuacji obliczeniowej. Otworzy się okno dialogowe z objaśnieniami (zobacz Rysunek 5.13 na stronie 196).

### Oddziaływania w kombinacjach obciążeń

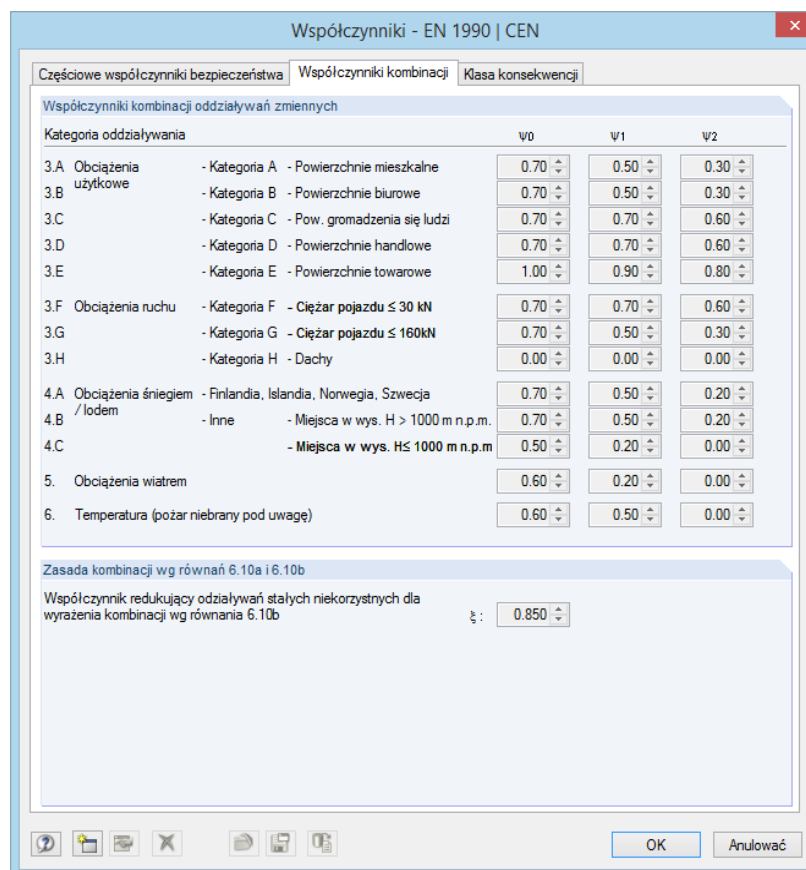
Kolumny te informują na temat oddziaływań wraz z odpowiednimi częściowymi współczynnikami bezpieczeństwa i współczynnikami kombinacji.

Jeżeli zakłada się, że dane oddziaływanie jest *Główne* w kombinacji, zostanie ono odpowiednio oznaczone w oknie dialogowym. W takim przypadku zostanie ono wstawione jako oddziaływanie  $Q_{k,1}$  w Równanie 5.1 do Równanie 5.7 (zobacz na stronie 193).

Wartości wyświetlane w kolumnie *Czynnik* wynikają ze współczynników zależnych od wybranej normy. W przypadku normy EN 1990, są to częściowe współczynniki bezpieczeństwa  $\gamma$ , współczynniki kombinacji  $\psi$ , współczynniki redukcyjne  $\xi$  oraz, w razie potrzeby, współczynniki niezawodności  $K_{FI}$  dla każdego oddziaływania wynikającego z sytuacji obliczeniowej i z kategorii oddziaływania.



Aby sprawdzić i dostosować częściowe współczynniki bezpieczeństwa oraz współczynniki kombinacji, należy kliknąć przycisk [Ustawienia] lub [...]. Współczynniki te są rozmieszczone w kilku zakładkach okna dialogowego *Współczynniki*. Pierwsza zakładka *Częściowe współczynniki bezpieczeństwa* jest pokazana na Rysunek 12.27 na stronie 594. Zakładka *Współczynniki kombinacji* służy do zarządzania współczynnikami  $\psi$  i  $\xi$ .

Rysunek 5.24: Okno dialogowe *Współczynniki*, zakładka *Współczynniki kombinacji*

Sekcja okna dialogowego *Oddziaływania w kombinacji oddziaływań* zawiera *Przypadki obciążeń* znajdujące się w oddziaływaniach ze wszystkimi możliwościami uwzględnienia ich w oddziaływaniu. Możliwości te zależą od typu oddziaływania oraz od zdefiniowanego oddziaływania (jednoczesne czy alternatywne). Wymagane jest, aby wszystkie przydzielone przypadki obciążeń były zawsze używane razem w przypadku oddziaływania typu "obciążenia stałe" oraz "naprężenie początkowe", jeżeli ich powiązanie nie będzie ustawione jako "alternatywne". W przypadku oddziaływań zmiennych, nadzwyczajnych i sejsmicznych, przydzielone przypadki obciążeń można nałożyć we wszystkich odpowiednich kombinacjach.

### Wygenerowane kombinacje obciążeń i wyników

Ta sekcja okna dialogowego lub kolumna tabeli są wypełniane podczas generowania, które rozpoczyna się automatycznie po zamknięciu zakładki okna dialogowego lub tabeli. Pole okna dialogowego pokazuje krótki przegląd ilości wygenerowanych kombinacji obciążeń lub wyników.

Kombinacje obciążeń i wyników zostały opisane w rozdziałach 5.5 i 5.6.



Utworzone kombinacje obciążeń
KO1... KO3 (3/47)
KO4... KO6 (3/47)
KO7... KO10 (4/47)
KO11... KO14 (4/47)
KO15... KO17 (3/47)
KO18... KO21 (4/47)
KO22... KO25 (4/47)
KO26... KO29 (4/47)
KO30... KO33 (4/47)
KO34... KO36 (3/47)
KO37... KO39 (3/47)
KO40... KO43 (4/47)
KO44... KO47 (4/47)

### Przykład

W przykładzie pokazanym na lewym marginesie tej strony zostały wygenerowane 47 kombinacje obciążeń dla sytuacji obliczeniowej SGN. Dla kombinacji oddziaływań **KOd12** (przedostatni wiersz) cztery kombinacje obciążeń KO40 do KO43 występują w następującej sytuacji:

Pierwsze oddziaływanie A1 zostało zaklasyfikowane do kategorii "obciążenia stałe" i został mu przydzielony współczynnik  $\gamma = 1,35$  w wygenerowanych kombinacjach obciążeń. Znajdujące się w nim przypadki obciążeń 1 i 2 występują razem we wszystkich kombinacjach obciążeń.

Drugie oddziaływanie A2 należy do kategorii "śnieg" i wchodzi w skład kombinacji ze współczynnikiem  $\gamma * \psi = 1,50 * 0,50 = 0,75$ .

Trzecie oddziaływanie A3 podwaja ilość wygenerowanych kombinacji obciążeń, ponieważ kategoria "wiatr" dostępna jest z dwoma przypadkami obciążeń 4 i 5 oddziałującymi alternatywnie. Oddziaływanie to jest mnożone przez współczynnik  $\gamma * \psi = 1,50 * 0,60 = 0,90$  w tych kombinacjach obciążeń.

Czwarte oddziaływanie A4 zaklasyfikowane jest jako oddziaływanie typu "obciążenie wymuszone kategorii B" i został mu przydzielony współczynnik  $\gamma = 1,50$  we wszystkich czterech kombinacjach obciążeń. Oddziaływanie to jest główne.

Oddziaływania w kombinacji oddziaływań KOd1							
nr	Czynnik	Oddziaływ.	Opis	Główne	$\gamma$	$\psi$	Przypadek obciążenia
1	1.350	G A1	Stale	<input type="checkbox"/>	1.35		LF1 LF2
2	0.750	Os A2	Śnieg	<input type="checkbox"/>	1.50	0.50	LF3
3	0.900	Qw A3	Wiatr	<input type="checkbox"/>	1.50	0.60	LF4 LF5
4	1.500	Q1 B A4	Użytkowe	<input checked="" type="checkbox"/>	1.50		LF6

Generowane kombinacje obciążeń:

Rysunek 5.25: Oddziaływania w kombinacji oddziaływań KOd12

Dodatkowo należy uwzględnić dwa przypadki obciążenia imperfekcją 7 i 8, które są połączone z kierunkami obu przypadków obciążenia wiatrem. W naszym przykładzie chcemy utworzyć kombinacje obciążeń raz posiadające imperfekcje, a raz nieposiadające imperfekcji.

Przy użyciu tych specyfikacji, program RFEM tworzy następujące kombinacje obciążeń dla KOd12:

- KOd40:  $1.35*PO1 + 1.35*PO2 + 0.75*PO3 + 0.9*PO4 + 1.5*PO6$
- KOd41:  $1.35*PO1 + 1.35*PO2 + 0.75*PO3 + 0.9*PO4 + 1.5*PO6 + PO7$
- KOd42:  $1.35*PO1 + 1.35*PO2 + 0.75*PO3 + 0.9*PO5 + 1.5*PO6$
- KOd43:  $1.35*PO1 + 1.35*PO2 + 0.75*PO3 + 0.9*PO5 + 1.5*PO6 + PO8$



Przycisk w oknie dialogowym  pozwala przejść do zakładki *Kombinacje obciążeń*, w którym będzie zaznaczona pierwsza kombinacja utworzona z aktualnej kombinacji oddziaływań.

### Komentarz

W polu tym można wprowadzić swoją własną uwagę lub wybrać jeden z wpisów z listy.

## 5.5 Kombinacje obciążeń

### Opis ogólny

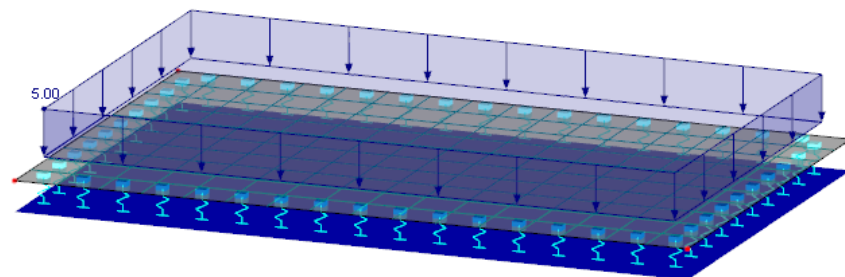
Przypadki obciążeń można nakładać w kombinacji obciążeń (**KO**) oraz w kombinacji wyników (**KW**).

Kombinacja obciążeń łączy obciążenia znajdujące się w przypadkach obciążeń w "jeden duży przypadek obciążenia", który zostanie obliczony. W przypadku kombinacji wyników, wszystkie znajdujące się w niej przypadki obciążeń (zobacz rozdział 5.6 na stronie 218) są już wcześniej obliczone. Wyniki są następnie nakładane z uwzględnieniem częściowych współczynników bezpieczeństwa.

Przypadki obciążeń można łączyć ręcznie (zobacz rozdział 5.5.1) lub automatycznie w programie RFEM (zobacz rozdział 5.5.2), w zależności od ustawień w oknie dialogowym *Model – Dane ogólne* (zobacz Rysunek 12.23 na stronie 591). Ustawienia te wpływają również na wygląd zakładki *Kombinacje obciążeń* w oknie dialogowym dla obciążeń.

Jeżeli połączone przypadki obciążeń mają zostać obliczone według analizy drugiego rzędu lub analizy dużych deformacji, zazwyczaj tworzy się kombinacje obciążeń. To samo odnosi się do konstrukcji posiadających elementy nieliniowe. Temat ten został rozwinięty na przykładzie przedstawionym poniżej.

Dwa przypadki obciążeń działają na płytę posiadającą podłoże sprężyste. W przypadku obciążenia 1, obciążenie powierzchniowe oddziałuje na całą płytę. W przypadku obciążenia 2, obciążona jest tylko jedna część powierzchni. Ciężar własny nie jest uwzględniany. Podłoże sprężyste płyty jest nieefektywne w przypadku rozciągania, dlatego nie absorbuje ono sił wyciągających.

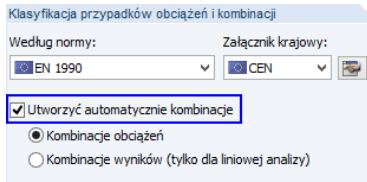


Max u: 0.2, Min u: 0.2 mm

Rysunek 5.26: Obciążenie i deformacje w KO1

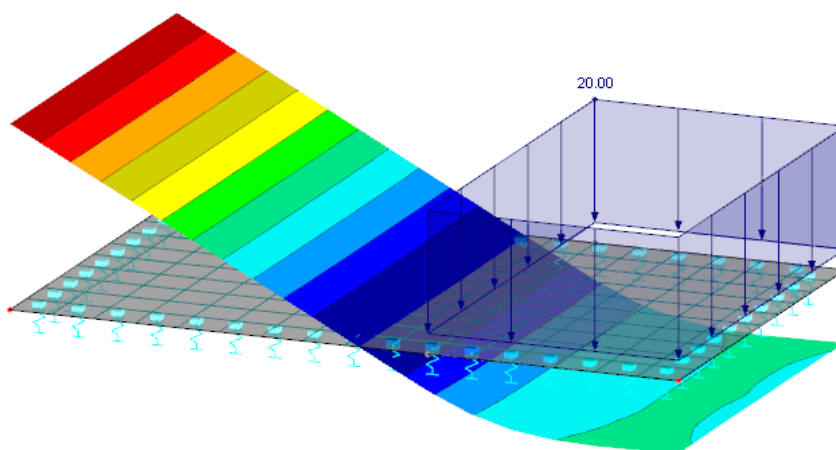
Podłoże w przypadku obciążenia 1 jest efektywne dla całej powierzchni.

Różnica pomiędzy kombinacją obciążeń i wyników



Pole wyboru w oknie dialogowym *Model – Dane ogólne*





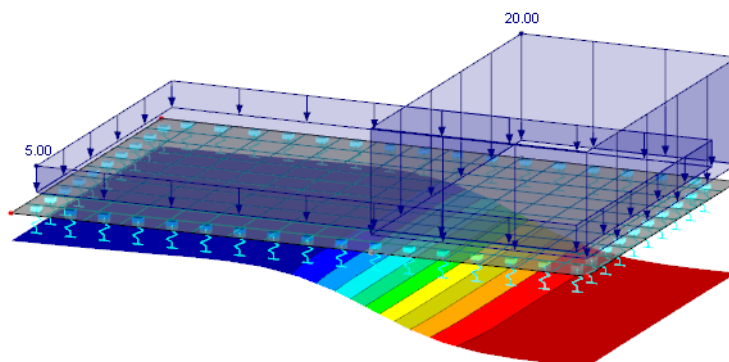
Max u: 1.1, Min u: 0.0 mm

Rysunek 5.27: Obciążenie i deformacja w KO2

Podłoże w przypadku obciążenia 2 jest efektywne tylko dla prawej części powierzchni. Lewa część płyty jest wyciągana.

Po połączeniu obu przypadków obciążenia w kombinacji wyników, program RFEM pokaże ostrzeżenie, ponieważ dodawanie wyników nie jest dozwolone z powodu oddziaływań nieliniowych. Wynika to z faktu, że deformacje w obu przypadkach obciążenia zachodzą w różnych układach konstrukcyjnych. W przypadku kombinacji wyników powstałoby wyciąganie w lewej części pokazanej na drugim rysunku.

Z tego powodu poprawne jest nałożenie dwóch przypadków obciążeń w kombinacji obciążeń. Na poniższym rysunku widać, że podłoże sprężyste jest efektywne dla dodanych obciążeń bez uszkodzenia.



Max u: 0.6, Min u: 0.2 mm

Rysunek 5.28: Obciążenie i deformacja kombinacji obciążeń

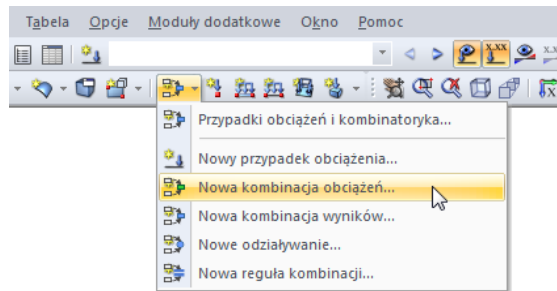
### 5.5.1 Kombinacje zdefiniowane przez użytkownika

#### Tworzenie nowej kombinacji obciążeń

Istnieje kilka sposobów otwarcia okna dialogowego *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje* służącego do tworzenia kombinacji obciążeń:

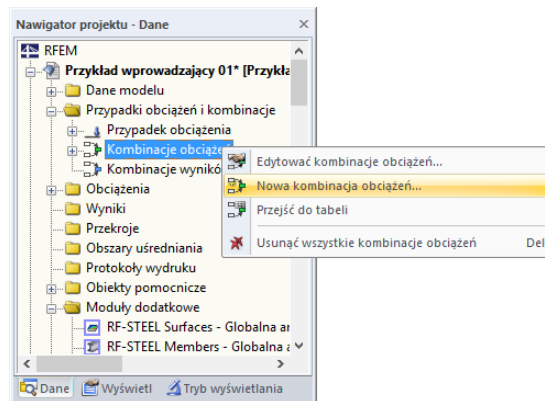
- najechanie na opcję **Przypadki obciążeń i kombinacje** w menu **Wstawić** i wybranie **Kombinacja obciążeń**
- wciśnięcie przycisku paska narzędzi [Nowa kombinacja obciążeń] pokazanego na lewym marginesie tej strony





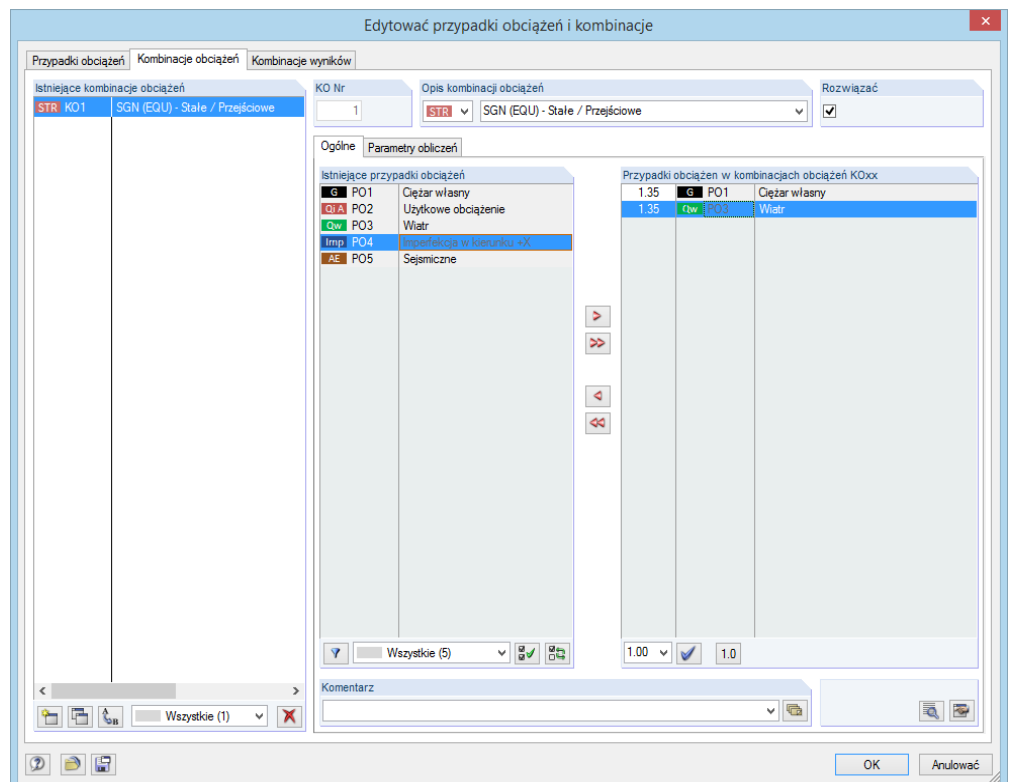
Rysunek 5.29: Przycisk *Nowa kombinacja obciążeń* w pasku narzędzi

- wpis menu kontekstowego navigatora *Kombinacje obciążeń*



Rysunek 5.30: Menu kontekstowe *Kombinacje obciążeń* w nawigatorze *Dane*

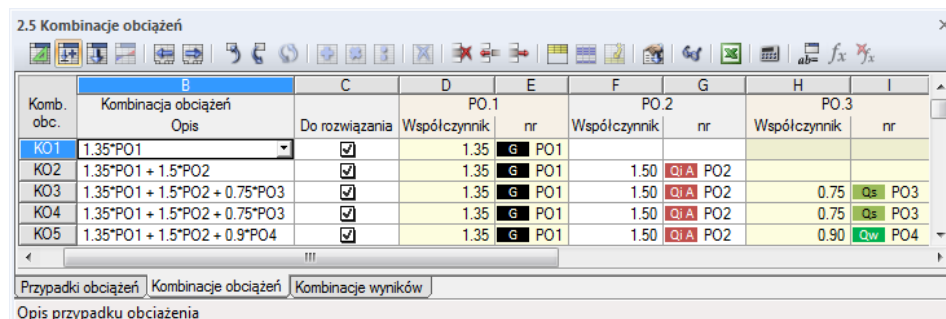
Otworzy się okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*. W zakładce *Kombinacje obciążeń* będzie automatycznie ustawiona nowa kombinacja obciążeń.



Rysunek 5.31: Okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*, zakładka *Kombinacje obciążeń*

Poniższy opis odnosi się do zakładki *Ogólne*. Zakładka okna dialogowego *Parametry obliczeń* została opisana w rozdziale 7.3.1 na stronie 283.

- Nową kombinację obciążeń można również wprowadzić w pustym wierszu tabeli 2.5 *Kombinacje obciążeń*.



Komb. obc.	Kombinacja obciążeń Opis	C Do rozwiązania	D PO.1		F PO.2		H PO.3	
			Współczynnik	nr	Współczynnik	nr	Współczynnik	nr
KO1	1.35*PO1	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G PO1				
KO2	1.35*PO1 + 1.5*PO2	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G PO1	1.50	Q1 A PO2		
KO3	1.35*PO1 + 1.5*PO2 + 0.75*PO3	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G PO1	1.50	Q1 A PO2	0.75	Q5 PO3
KO4	1.35*PO1 + 1.5*PO2 + 0.75*PO3	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G PO1	1.50	Q1 A PO2	0.75	Q5 PO3
KO5	1.35*PO1 + 1.5*PO2 + 0.9*PO4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G PO1	1.50	Q1 A PO2	0.90	Q5w PO4

Rysunek 5.32: Tabela 2.5 *Kombinacje obciążeń*

### Kombinacja obciążeń

Numer nowej kombinacji obciążeń będzie ustawiony automatycznie, ale można zmienić go w polu wprowadzania okna dialogowego *KO nr...* Układ kombinacji obciążeń można dostosować później przy użyciu przycisku okna dialogowego [Przenumeryj] (zobacz Tabela 5. 7 oraz rozdział 11.4.18 na stronie 510).

### Opis kombinacji obciążeń

Nazwę można wprowadzić ręcznie lub wybrać z listy. Pozwala ona dokonać krótkiego opisu kombinacji obciążeń. Ponieważ ręcznie wprowadzone opisy są zapisywane na liście, są one dostępne również dla wszystkich innych konstrukcji.

### Rozwiązać

Przy użyciu tego pola wyboru można zdecydować, czy dana kombinacja obciążeń zostanie uwzględniona w obliczeniach. W ten sposób można włączyć lub wykluczyć kombinacje obciążeń z obliczeń.

### Przypadki obciążeń w kombinacji obciążeń

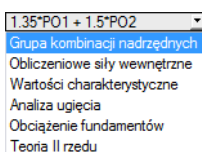
Kolumny te podają informacje na temat przypadków obciążeń wraz z odpowiednimi współczynnikami.

Wartości podane w kolumnie tabeli *Czynnik* są dobierane na podstawie współczynników zależnych od wybranej normy. Dla normy EN 1990 są to częściowe współczynniki bezpieczeństwa  $\gamma$ , współczynniki kombinacji  $\psi$ , współczynniki redukcyjne  $\xi$  oraz, w razie potrzeby, współczynniki niezawodności  $K_{FI}$  dla każdego oddziaływania wynikającego z sytuacji obliczeniowej i kategorii oddziaływań.

Aby sprawdzić i dostosować częściowe współczynniki bezpieczeństwa i współczynniki kombinacji, należy kliknąć przycisk okna dialogowego [Współczynniki]. Otworzy się okno dialogowe *Współczynniki*, w którym dostępnych jest wiele współczynników podzielonych na kilka zakładek. Pierwsza zakładka *Częściowe współczynniki bezpieczeństwa dla EN 1990* została pokazana na Rysunek 12.27 na stronie 594. Zakładka *Współczynniki kombinacji* zawiera współczynniki  $\psi$  i  $\xi$  (zobacz Rysunek 5.24 na stronie 208). Współczynnik niezawodności  $K_{FI}$  można zdefiniować w polu wprowadzania zakładki okna dialogowego *Współczynniki konstrukcji* lub ręcznie wprowadzić wybraną wartość.

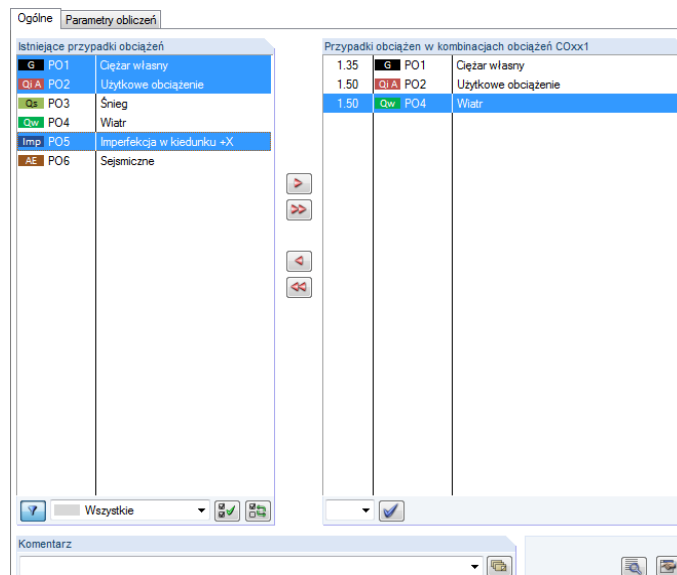
### Łączenie przypadków obciążeń

W oknie dialogowym *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje* można połączyć przypadki obciążeń w kombinacje w następujący sposób: poprzez kliknięcie, należy zaznaczyć odpowiednie przypadki obciążeń na liście *Istniejące przypadki obciążeń*. Wciśnięcie przycisku

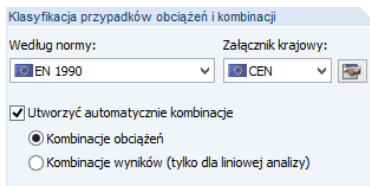




[Ctrl] (funkcja Windows) pozwala na dokonanie wielokrotnego wyboru. Przy użyciu przycisku [▶], należy przenieść zaznaczone przypadki obciążeń na listę po prawej stronie *Przypadki obciążeń w kombinacji*. Częściowe współczynniki bezpieczeństwa oraz współczynniki kombinacji zostaną uwzględnione automatycznie.



Rysunek 5.33: Wielokrotny wybór przypadków obciążeń i kombinacji obciążeń utworzonych według EN 1990



Ustawianie normy w oknie dialogowym *Model – Dane ogólne*

Współczynniki tworzone są zgodnie z normą ustawioną w oknie dialogowym *Model – Dane ogólne* (zobacz rozdział 12.2.1 na stronie 592).

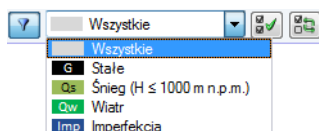
Automatycznie ustawione współczynniki można sprawdzić w oknie dialogowym *Współczynniki*, które otwiera się klikając przycisk [Współczynniki]. Oprócz tego można dostosować je do wykorzystywanych przez siebie norm (zobacz Rysunek 5.24 na stronie 208 oraz Rysunek 12.27 na stronie 594).



Aby zmodyfikować współczynnik przypadku obciążenia, który został przeniesiony do kombinacji obciążeń, należy zaznaczyć go na liście *Przypadki obciążeń w kombinacji obciążeń*. Pozwoli to na wprowadzenie odpowiedniego współczynnika w polu znajdującym się poniżej. Oprócz tego współczynnik można również wybrać z listy. Na koniec należy kliknąć przycisk [Ustaw współczynnik], aby zastosować nowy współczynnik do przypadku obciążenia.



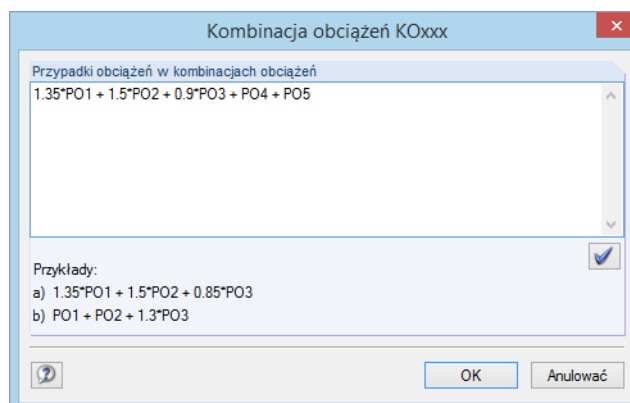
Aby usunąć przypadek obciążenia z kombinacji obciążeń, należy zaznaczyć go w oknie dialogowym *Przypadki obciążeń w kombinacji obciążeń*. Następnie należy kliknąć przycisk [◀] lub dwukrotnie kliknąć wpis, aby powrócić do sekcji okna dialogowego *Istniejące przypadki obciążeń*.



Pod listą *Istniejące przypadki obciążeń* dostępnych jest wiele opcji filtrowania. Opcje pomocnicze ułatwiają przydzielanie przypadków obciążeń ułożonych według kategorii oddziaływań lub wybieranie spośród nieprzydzielonych przypadków obciążeń. Przyciski te zostały opisane w Tabeli 5.7 na stronie 216.



Aby ręcznie zdefiniować kombinacje obciążeń, należy kliknąć przycisk [Edytować], znajdujący się w prawym dolnym rogu okna dialogowego dla obciążeń.



Rysunek 5.34: Okno dialogowe *Kombinacja obciążeń* do definiowania przy użyciu pola edycji

Otworzy się okno dialogowe posiadające pole wprowadzania *Przypadki obciążeń w kombinacji obciążeń*, w którym można dodawać przypadki obciążeń (lub usuwać je w razie potrzeby) z dowolnym współczynnikiem. Zagnieżdżanie danych nie jest jednak dozwolone.

Przykład:  $PO1 + 0,5*PO3$

Do pojedynczego obciążenia z przypadku obciążenia 1 dodawana jest połowa obciążenia z przypadku obciążenia 3.

Przy użyciu przycisku [Ustaw wpis] można przenieść wpis na listę *Przypadki obciążeń w kombinacjach obciążeń* początkowego okna dialogowego.

### Komentarz

W polu tym można wprowadzić własne uwagi lub wybrać jeden z wpisów z listy, w celu szczegółowego opisu kombinacji obciążeń.

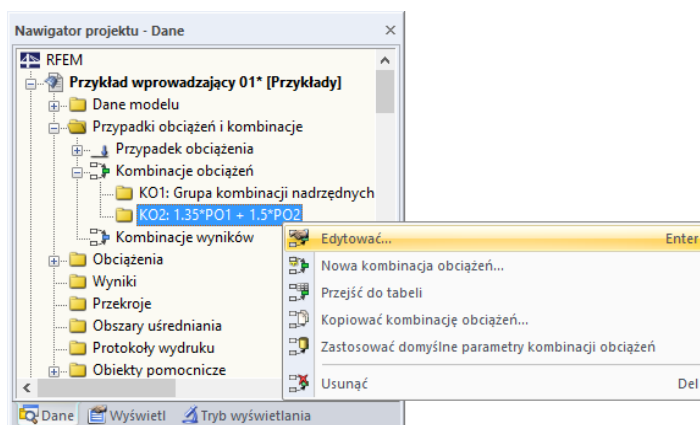
### Parametry obliczeń

Zakładka *Parametry obliczeń* w oknie dialogowym dla obciążenia posiada wiele opcji służących do kontroli obliczeń. Szczegółowy opis tych parametrów znajduje się w rozdziale 7.3.1 na stronie 283.

### Edytować kombinację obciążeń

Istnieje wiele sposobów na późniejsze dokonanie zmian w kombinacjach:

- najechanie na opcję **Przypadki obciążeń i kombinacje** w menu **Edytować**, a następnie kliknięcie wpisu **Kombinacje obciążeń**,
- wykorzystanie menu kontekstowego lub podwójne kliknięcie kombinacji obciążeń w nawigatorze *Dane*.



Rysunek 5.35: Menu kontekstowe kombinacji obciążeń

W oknie dialogowym *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje* (zobacz Rysunek 5.31 na stronie 212), należy kliknąć KO, co spowoduje jej zaznaczenie. Następnie można dokonać edycji kryteriów definicji.

### Przyciski

W oknie dialogowym *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje* pod listami *Istniejące kombinacje obciążeń* i *Istniejące przypadki obciążeń* znajduje się kilka przycisków, które posiadają następujące funkcje:








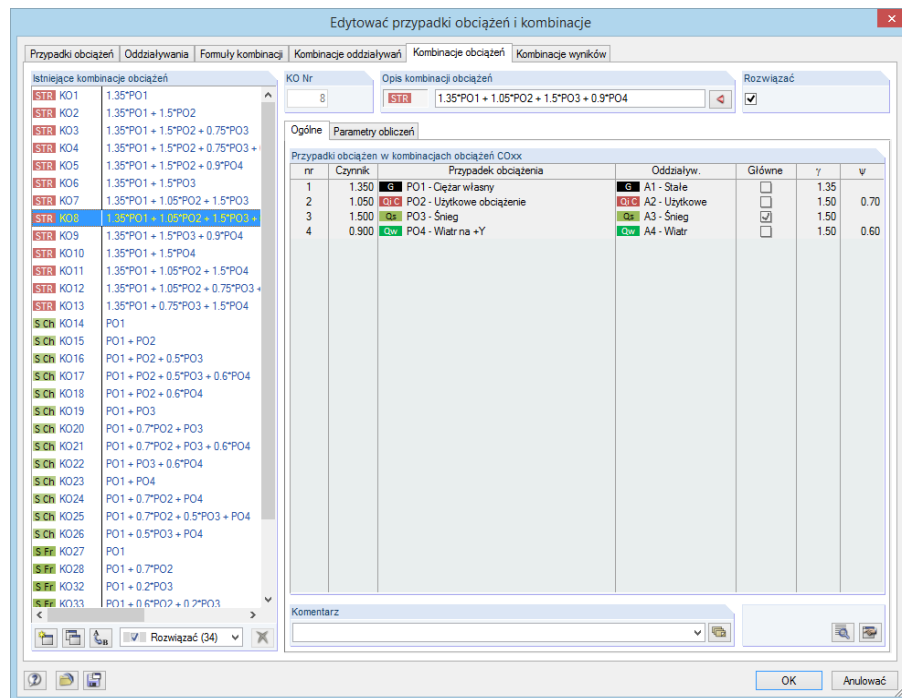
	Tworzenie nowej kombinacji obciążeń
	Tworzenie nowej kombinacji obciążeń jako kopii wybranej kombinacji
	Przydzielanie nowego numeru do zaznaczonej kombinacji obciążeń. Numer ten określa się w osobnym oknie dialogowym. Nie jest dozwolone wprowadzanie numeru KO, który został już przydzielony.
	Usuwa zaznaczoną kombinację obciążeń
	Na liście będą pokazane tylko te przypadki obciążeń, które nie wchodzą jeszcze w skład żadnej kombinacji obciążeń.
	Zaznacza wszystkie przypadki obciążeń na liście
	Odwraca zaznaczenie przypadków obciążeń

Tabela 5. 7: Przyciski w zakładce *Kombinacje obciążeń*



## 5.5.2 Wygenerowane kombinacje

Po przełączeniu się do zakładki okna dialogowego *Kombinacje obciążeń* lub do tabeli 2.5, program RFEM automatycznie tworzy kombinacje. Ponieważ przypadki obciążeń nie są nakładane ręcznie, zakładka *Ogólne* posiada inny układ (zobacz Rysunek 5.31 na stronie 212 dla kombinacji zdefiniowanych przez użytkownika).

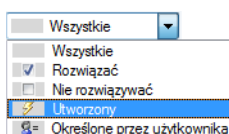


Rysunek 5.36: Okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*, zakładka *Kombinacje obciążeń*

### Kombinacja obciążeń

Kombinacje obciążeń wygenerowane z kombinacji oddziaływań są kolejno numerowane.

Wygenerowane kombinacje można filtrować według określonych kryteriów przy użyciu pola wyboru w lewym dolnym rogu pod sekcją okna dialogowego *Istniejące kombinacje obciążeń*.



### Opis kombinacji obciążeń

Program RFEM przydziela krótki opis oparty na współczynnikach bezpieczeństwa i numerach przypadków obciążeń, wyrażając reguły kombinacji. W razie potrzeby, opis ten można zmienić.

Kliknięcie przycisku [◀] pozwala powrócić do zakładki okna dialogowego *Kombinacje oddziaływań* (zobacz rozdział 5.4 na stronie 205), w którym wybiera się kombinację oddziaływań, według której została utworzona bieżąca kombinacja obciążeń.

### Rozwiązać

To pole wyboru kontroluje sposób określania wyników dla wybranych kombinacji obciążeń.

### Przypadki obciążeń w kombinacji obciążeń

Kolumny te podają informacje na temat przypadków obciążeń wraz z odpowiednimi częściowymi współczynnikami bezpieczeństwa oraz współczynnikami kombinacji. Zmiana współczynników wygenerowanych kombinacji nie jest możliwa.

Jeżeli zakłada się, że przypadek obciążenia w kombinacji jest *Główny*, zostanie on odpowiednio oznaczony w oknie dialogowym.

Aby sprawdzić i, w razie potrzeby, dostosować częściowe współczynniki bezpieczeństwa oraz współczynniki kombinacji, należy kliknąć przycisk okna dialogowego [Informacje na temat

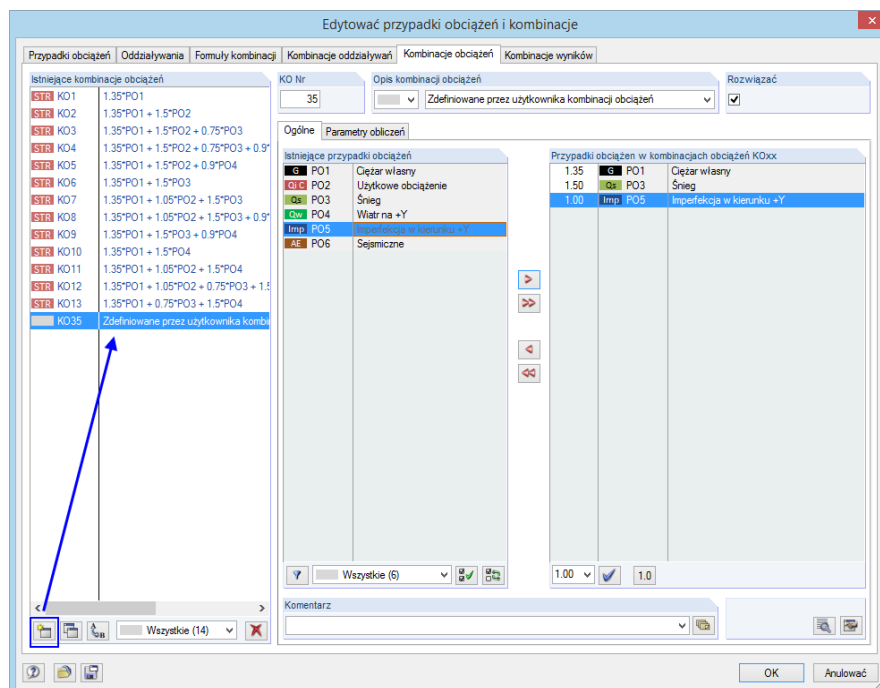
współczynników]. Okno dialogowe *Współczynniki* jest podzielone na kilka zakładek (zobacz Rysunek 12.27 na stronie 594 and Rysunek 5.24 na stronie 208).

### Dodawanie kombinacji obciążeń

Wygenerowane kombinacje obciążeń nie mogą być edytowane, a jedynie usuwane lub wyłączane z obliczeń przy użyciu pola wyboru *Rozwiązać*.



Przy użyciu przycisku [Nowy], znajdującego się w lewym dolnym rogu pod sekcją okna dialogowego *Istniejące kombinacje obciążeń*, można dodawać utworzone przez siebie kombinacje. Po uaktywnieniu definiowania ręcznego, zmienia się wygląd zakładki okna dialogowego *Ogólne*.



Rysunek 5.37: Dodawanie utworzonej przez siebie kombinacji obciążeń

Poprzedni rozdział 5.5.1 opisuje szczegółowo ręczne tworzenie kombinacji obciążeń.

Różnica pomiędzy kombinacją wyników a kombinacją obciążeń

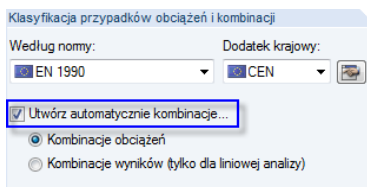
## 5.6 Kombinacje wyników

### Opis ogólny

Przypadki obciążeń można nałożyć w kombinacji wyników (**KW**) oraz w kombinacji obciążeń (**KO**).

Przypadki obciążeń zawarte w kombinacji wyników są najpierw obliczane, a następnie ich wyniki są nakładane z uwzględnieniem częściowych współczynników bezpieczeństwa. Kombinacja obciążeń (zobacz rozdział 5.5 na stronie 210) łączy najpierw obciążenia znajdujące się w przypadkach obciążeń w "jeden duży przypadek obciążenia", który następnie zostanie obliczony z uwzględnieniem częściowych współczynników bezpieczeństwa.

Przypadki obciążeń można łączyć ręcznie (zobacz rozdział 5.6.1) lub automatycznie w programie RFEM (zobacz rozdział 5.7) w zależności od ustawień w oknie dialogowym *Model – Dane ogólne* (zobacz Rysunek 12.23 na stronie 591). Ustawienia te wpływają również na wygląd zakładki *Kombinacje obciążeń* w oknie dialogowym *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*.



Pole wyboru w oknie dialogowym *Model – Dane ogólne*

Kombinacje wyników nie nadają się dla obliczeń nieliniowych, ponieważ prowadzą do fałszywych wyników. W większości przypadków, uszkodzenie elementów nieliniowych (na przykład prętów rozciąganych, fundamentów) odbywa się nierównomiernie w poszczególnych przypadkach obciążeń. Występują efekty redystrybucji, przez co siły wewnętrzne z różnych modeli mogły być łączone (zobacz przykład w rozdziale 5.5 na stronie 210).

W kombinacji wyników można nakładać wyniki przypadków obciążeń i kombinacji obciążeń oraz wyniki innych kombinacji wyników.



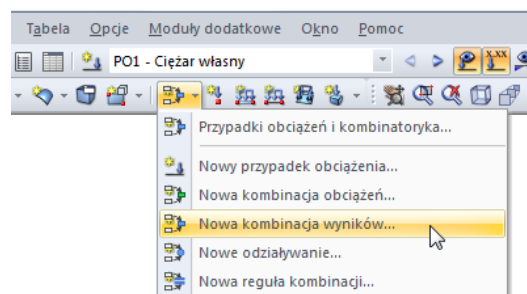
Siły wewnętrzne zwykle są sumowane. Z reguły możliwe jest także ich odejmowanie. Należy przy tym pamiętać, że w tym przypadku znaki sił wewnętrznych zostaną odwrócone: siły rozciągające staną się siłami ściskającymi itd. Z tego powodu, jako rozwiązanie alternatywne, zaleca się skopiować przypadek obciążenia (zobacz rozdział 5.1 na stronie 190) i ustawić współczynnik obciążenia na  $-1,00$  dla kopii tego przypadku obciążenia w zakładce okna dialogowego *Parametry obliczeń*. Dopiero potem można dodać ten przypadek obciążenia do kombinacji wyników.

### 5.6.1 Kombinacje zdefiniowane przez użytkownika

#### Tworzenie nowej kombinacji wyników

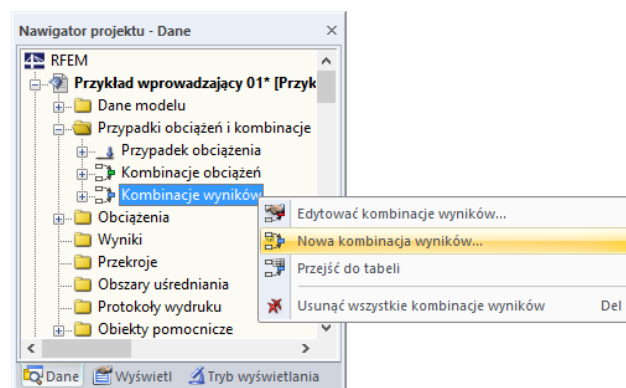
Istnieje wiele sposobów otwarcia okna dialogowego dla obciążenia do tworzenia kombinacji wyników:

- wskazanie opcji **Przypadki obciążeń i kombinacje** w menu **Wstawić**, a następnie wybranie wpisu **Kombinacja wyników**
- kliknięcie przycisku paska narzędzi [Nowa kombinacja wyników]



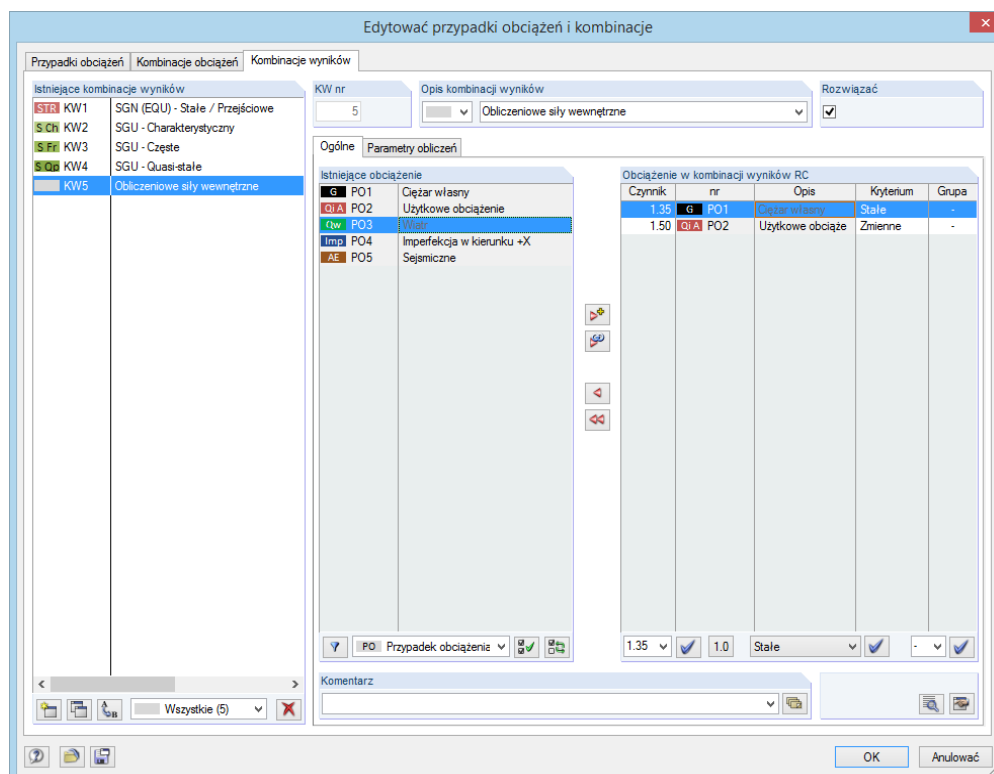
Rysunek 5.38: Przycisk *Nowa kombinacja wyników* w pasku narzędzi

- kliknięcie menu kontekstowego wpisu nawigatora *Kombinacje wyników*



Rysunek 5.39: Menu *Kombinacje wyników* w nawigatorze *Dane*

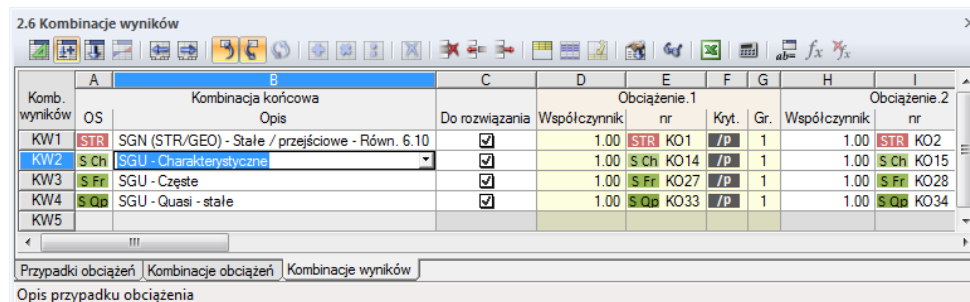
Otworzy się okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*. W zakładce *Kombinacje wyników* będzie automatycznie ustawiona nowa kombinacja wyników.



Rysunek 5.40: Okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*, zakładka *Kombinacje wyników*

Poniższy opis odnosi się do zakładki *Ogólne*. Zakładka *Parametry obliczeń* została opisana w rozdziale 7.3.2 na stronie 291.

- nową kombinację wyników można wprowadzić również w pustym wierszu tabeli 2.6 *Kombinacje wyników*.



Komb. wyników	OS	Kombinacja końcowa Opis	C	D	Obciążenie.1			Obciążenie.2			
					nr	Kryt.	Gr.	Współczynnik	nr		
KW1	STR	SGN (STR/GEO) - Stałe / przejściowe - Równ. 6.10	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00	STR	KO1	/P	1	1.00	STR	KO2
KW2	S Ch	SGU - Charakterystyczne	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00	S Ch	KO14	/P	1	1.00	S Ch	KO15
KW3	S Fr	SGU - Częste	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00	S Fr	KO27	/P	1	1.00	S Fr	KO28
KW4	S Qb	SGU - Quasi - stałe	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00	S Qb	KO33	/P	1	1.00	S Qb	KO34
KW5											

Rysunek 5.41: Tabela 2.6 *Kombinacje wyników*

## Kombinacja wyników

Numer nowej kombinacji wyników ustawiany jest automatycznie, ale można mienić go w polu wprowadzania *KW Nr* w oknie dialogowym. Kolejność kombinacji wyników można następnie dostosować przy użyciu przycisku [Zmienić numerację] w oknie dialogowym (zobacz rozdział 11.4.18 na stronie 510 i tabela 5.8).

## Opis kombinacji wyników

Nazwę można wprowadzić ręcznie. Nazwę można również wybrać z listy, aby dać krótki opis kombinacji wyników. Ponieważ ręcznie wprowadzone opisy są przechowywane na liście, są one dostępne również dla wszystkich innych konstrukcji.



- Kombinacja wyników nadrzędnych
- Kombinacja wyników nadrzędnych
- Obliczeniowe siły wewnętrzne
- Wartości charakterystyczne
- Analiza ugięcia
- Obciążenie fundamentów
- Wiatr
- Śnieg

## Rozwiązać

Przy użyciu tego pola wyboru można zdecydować, czy dana kombinacja wyników będzie uwzględniana w obliczeniach. W ten sposób można włączyć lub wyłączyć kombinacje wyników z obliczeń.

## Obciążenia w kombinacji wyników

Kolumny te podają informacje na temat przypadków obciążeń oraz kombinacji obciążeń i wyników wraz z odpowiednimi współczynnikami.

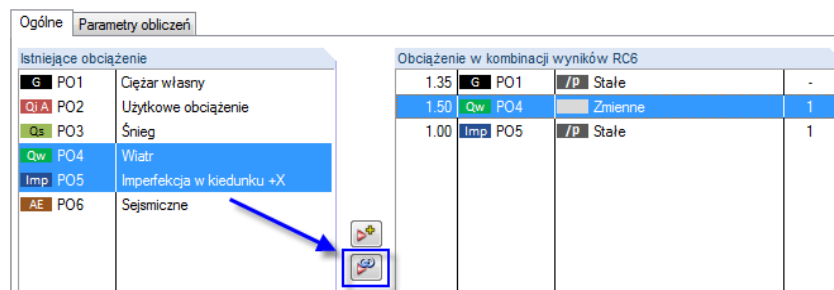
Wartości podane w kolumnie tabeli *Czynnik* są założone na podstawie współczynników zależnych od wybranej normy. Dla normy EN 1990 są to częściowe współczynniki bezpieczeństwa  $\gamma$ , współczynniki kombinacji  $\psi$ , współczynniki redukcyjne  $\xi$  oraz, w razie potrzeby, współczynniki niezawodności  $K_{FI}$  dla każdego oddziaływania wynikającego z sytuacji obliczeniowej i kategorii oddziaływań.

Aby sprawdzić i dostosować częściowe współczynniki bezpieczeństwa i współczynniki kombinacji, należy kliknąć przycisk okna dialogowego [Współczynniki]. Otworzy się okno dialogowe *Współczynniki*, w którym dostępnych jest wiele współczynników podzielonych na kilka zakładek. Zakładka *Częściowe współczynniki bezpieczeństwa dla EN 1990* jest pokazana na Rysunek 12.27 na stronie 594. Zakładka *Współczynniki kombinacji* zawiera współczynniki  $\psi$  i  $\xi$  (zobacz Rysunek 5.24 na stronie 208). Współczynnik niezawodności  $K_{FI}$  można zdefiniować w polu wprowadzania zakładki okna dialogowego *Klasa konsekwencji* lub ręcznie wprowadzić wybraną wartość.

## Łączenie obciążeń

W oknie dialogowym *Edytować klasy obciążenia i kombinacje* można połączyć przypadki obciążeń oraz kombinacje obciążeń i wyników w kombinacje w następujący sposób: poprzez kliknięcie, należy zaznaczyć odpowiednie wpisy na liście *Istniejące przypadki obciążeń*.

Wciśnięcie przycisku [Ctrl] (funkcja Windows) pozwala na dokonanie wielokrotnego wyboru. Przy użyciu przycisków [▶+] i [▶∞] należy przenieść zaznaczone przypadki obciążeń na listę po prawej stronie *Przypadki obciążeń w kombinacji*.

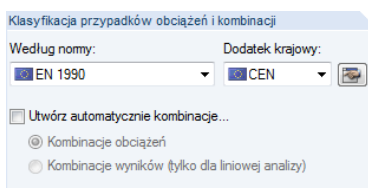


Rysunek 5.42: Wielokrotny wybór dla alternatywnej analizy dwóch przypadków obciążeń

Współczynniki tworzone są zgodnie z normą ustawioną w oknie dialogowym *Model – Dane ogólne* (zobacz rozdział 12.2.1 na stronie 592). W razie potrzeby, wstępnie ustawione częściowe współczynniki bezpieczeństwa można dostosować, klikając przycisk okna dialogowego [Współczynniki].

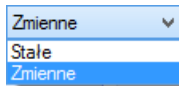
Aby usunąć przypadek obciążenia z kombinacji obciążeń, należy zaznaczyć go w oknie dialogowym *Przypadki obciążeń w kombinacji obciążeń*. Następnie należy kliknąć przycisk [◀] lub dwukrotnie kliknąć wpis, aby powrócić do sekcji okna dialogowego *Istniejące obciążenie*.

Przypadki obciążeń oraz kombinacje obciążeń i wyników znajdujące się w kombinacji wyników można nałożyć według ich oddziaływań:



Ustawienia normy w oknie dialogowym *Model – Dane ogólne*





- **Kryteria obciążenia**

**Oddziaływanie stałe**

Jeżeli obciążenie ma zostać zastosowane jako stałe lub bezwarunkowe, należy do niego dodać kryterium *Stałe* lub */p*.

**Oddziaływanie zmienne**

Obciążenie z kryterium *Zmienne* jest uwzględniane w superpozycji jedynie, jeżeli jego siły wewnętrzne mają znaczny udział w wynikach.

- **Kryteria dla superpozycji**

**Kombinacja dodatkowa**

Wyniki obciążeń są łączone dodatkowo z kryterium "+". Przy użyciu przycisku [▶+], dostępnego w oknie dialogowym, przenosi się zaznaczone przypadki obciążeń oraz kombinacje obciążeń i wyników na listę definicji kombinacji wyników.



**Kombinacja alternatywna**

W przypadku alternatywnej analizy przy użyciu kryterium "lub", program RFEM traktuje wyniki poszczególnych obciążeń jako nawzajem się wykluczające. Program RFEM uwzględni wartości jedynie tych obciążeń, które mają maksymalny niekorzystny udział. Przy użyciu przycisku [▶∞] przenosi się zaznaczone obciążenia na listę definicji kombinacji wyników.



Obciążenia oddziałujące alternatywnie są oznaczone przy użyciu tego samego numeru w kolumnie tabeli *Grupa*.

Kryterium "orto" (*lub do*) łączy listę obciążeń alternatywnych od pierwszego do ostatniego obiektu. Obiekty leżące pomiędzy nie są uwzględniane.



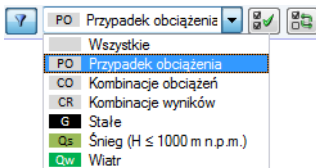
Wszystkie obciążenia wymieniane w superpozycji alternatywnej muszą być oznaczone konsekwentnie jako 'Stałe' lub 'Zmienne'. Z tego powodu nie można wprowadzić na przykład "PO1/p ani PO2.



Współczynniki przenoszonych obciążeń można dostosować indywidualnie. W tym celu należy zaznaczyć te obciążenia na liście *Obciążenie w kombinacji wyników*, a następnie wprowadzić odpowiedni współczynnik w polu wprowadzania. Współczynnik można również wybrać z listy. Klikając przycisk [Ustaw współczynnik], przydziela się nowy współczynnik do obciążeń.



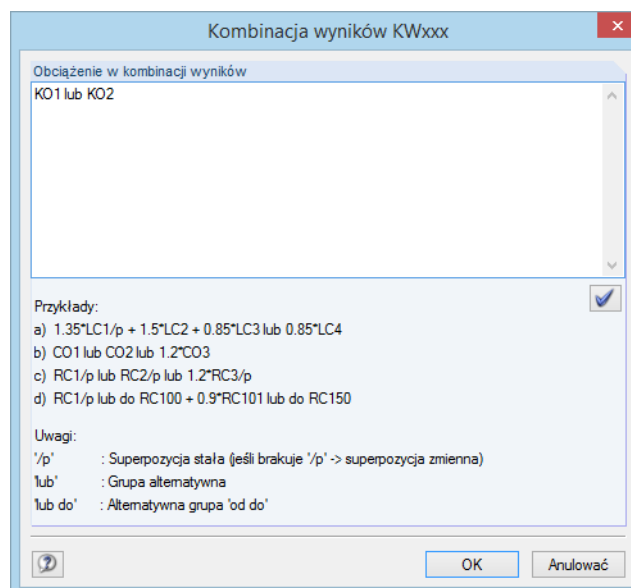
W analogiczny sposób można zmienić później kryteria obciążenia (oddziaływania stałe lub zmienne) lub grupę, do której należy obciążenie alternatywne. Aby przydzielić nowe kryterium wybranemu obciążeniu, należy kliknąć przycisk okna dialogowego [Ustaw].



Pod listą *Istniejące obciążenie* dostępnych jest wiele opcji filtrowania. Opcje pomocnicze ułatwiają przydzielanie przypadków obciążeń ułożonych według przypadków obciążeń oraz kombinacji obciążeń i oddziaływań, a także kategorii oddziaływań. Dodatkowo można ograniczyć wyświetlanie obciążeń, które nie zostały jeszcze przydzielone. Przyciski te zostały opisane w tabeli 5.8 na stronie 224.



Aby ręcznie zdefiniować kombinacje obciążeń, należy kliknąć przycisk [Edytować], znajdujący się w prawym dolnym rogu okna dialogowego *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*.



Rysunek 5.43: Okno dialogowe *Kombinacja wyników* do definiowania przy użyciu pola edycji

Otworzy się okno dialogowe posiadające pole wprowadzania *Obciążenie w kombinacji wyników*, w którym można dodawać przypadki obciążeń z dowolnym współczynnikiem lub w połączeniu z kryterium "lub". Zagnieżdżanie danych nie jest jednak dozwolone.

#### Przykłady:

- **PO1/p + PO2/p + PO3**

Przypadki obciążeń 1 i 2 nakładane są jako stałe, a przypadek obciążenia 3 jako zmienny.

- **PO1/p + KO2 + PO3 lub PO4 lub PO5** (odpowiada **PO1/p + KO2 + PO3** orto **PO5**)

Przypadek obciążenia 1 uwzględniany jest w superpozycji jako stały, a kombinacja obciążeń 2 jako zmienna. Najbardziej niekorzystny wariant przypadków obciążeń 3, 4 lub 5 jest również nakładany z kryterium 'zmiennie' (oznacza to, że tylko jeden z nich jest efektywny – jeżeli przekroczy wartości wyników).

- **1.2\*KO1/p + 0.2\*KW1 lub -0.2\*KW1**

Kombinacja 1 pomnożona przez 1,2 jest nakładana jako stała z najbardziej niekorzystnym udziałem dodatniej lub ujemnej kombinacji wyników 1 pomnożonej przez 0,2.

- **KW1/p lub KW2/p lub KW3/p lub KW4/p** (odpowiada **KW1/p** orto **KW4/p**)

Kombinacje wyników od 1 do 4 są porównywane ze sobą jako oddziaływania stałe. Obwiednia określana jest jako najniekorzystniejszy wynik.



Przy użyciu przycisku [Ustaw] przenosi się wpis na listę *Obciążenie w kombinacji wyników* początkowego okna dialogowego.

### Komentarz

W polu tym można wprowadzić własne uwagi lub wybrać jeden z wpisów z listy, w celu szczegółowego opisu kombinacji wyników.

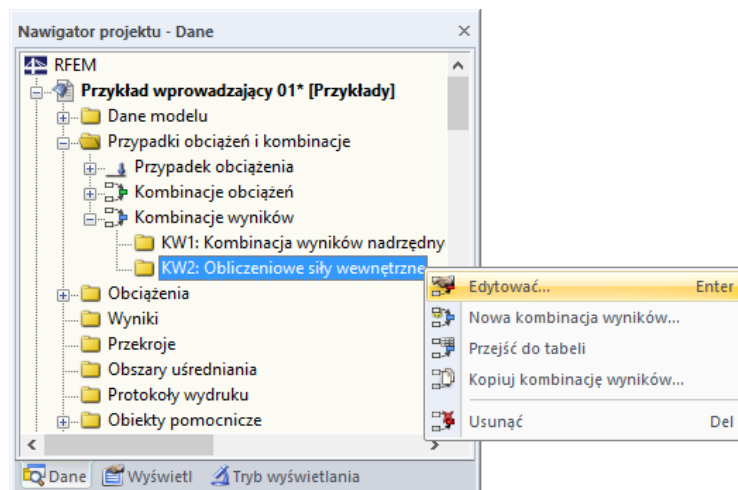
### Parametry obliczeń

Zakładka *Parametry obliczeń* w oknie dialogowym dla obciążeń posiada wiele opcji służących do kontroli obliczeń. Szczegółowy opis tych parametrów znajduje się w rozdziale 7.3.1 na stronie 283.

### Edytowanie kombinacji wyników

Istnieje wiele sposobów na późniejsze dokonanie zmian w kombinacjach:

- najechanie na opcję **Przypadki obciążeń i kombinacje** w menu **Edytować**, a następnie kliknięcie **Kombinacje wyników**
- wykorzystanie menu kontekstowego lub podwójne kliknięcie kombinacji wyników w nawigatorze *Dane*



Rysunek 5.44: Menu kontekstowe kombinacji wyników

W oknie dialogowym *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje* (zobacz Rysunek 5.40 na stronie 220), należy kliknąć KW, co spowoduje jej zaznaczenie. Następnie można dokonać edycji kryteriów definicji.

### Przyciski

W oknie dialogowym *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje* pod listami *Istniejące kombinacje wyników* i *Istniejące obciążenie* znajduje się kilka przycisków, które posiadają następujące funkcje:








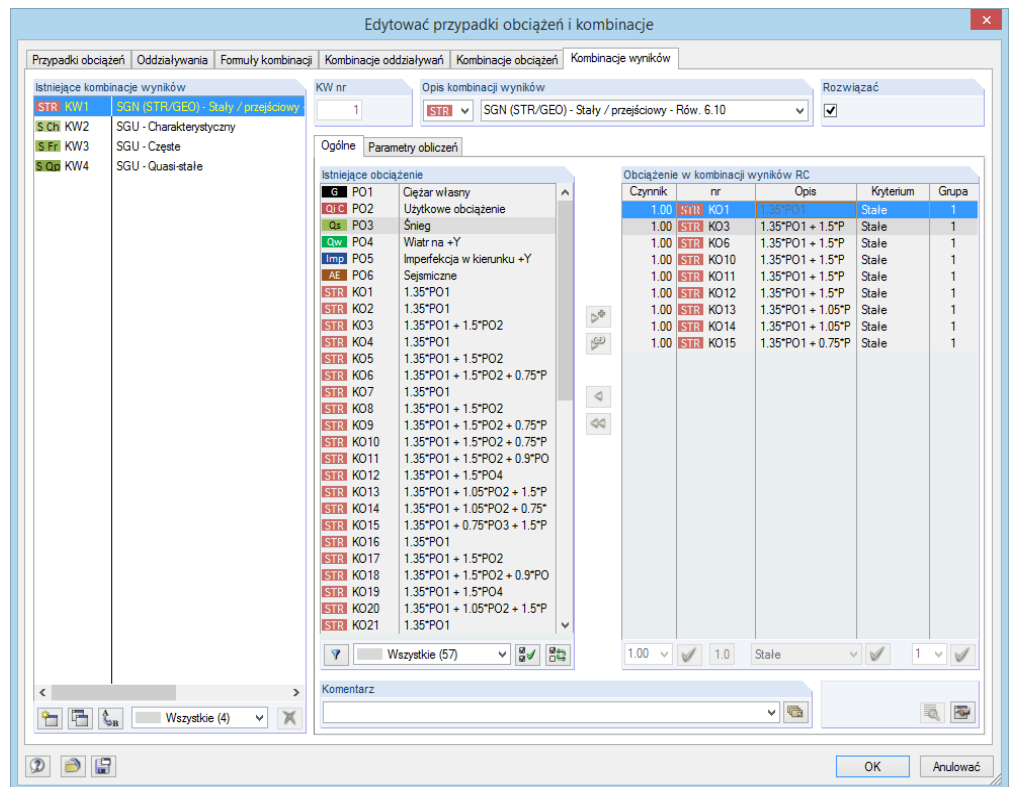
	Tworzenie nowej kombinacji wyników
	Tworzenie nowej kombinacji wyników jako kopii zaznaczonej kombinacji
	Przydzielanie nowego numeru do zaznaczonej kombinacji wyników. Numer ten określa się w osobnym oknie dialogowym. Nie jest dozwolone wprowadzanie numeru KW, który został już przydzielony.
	Usuwa zaznaczoną kombinację wyników
	Na liście będą pokazane tylko te przypadki obciążeń, które nie wchodzą jeszcze w skład żadnej kombinacji wyników.
	Zaznacza wszystkie przypadki wyników na liście
	Odwraca zaznaczenie przypadków obciążeń

Tabela 5. 8: Przyciski w zakładce *Kombinacje wyników*



## 5.6.2 Wygenerowane kombinacje

Po przełączeniu się do zakładki okna dialogowego *Kombinacje wyników* lub do tabeli 2.6, program RFEM automatycznie tworzy kombinacje. Ponieważ przypadki obciążeń nie są nakładane ręcznie, zakładka *Ogólne* wygląda inaczej (por. Rysunek 5.40 na stronie 220 dla kombinacji zdefiniowanych przez użytkownika).



Rysunek 5.45: Okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*, zakładka *Kombinacje wyników*

### Kombinacja wyników

Kombinacje wyników wygenerowane z kombinacji oddziaływań są kolejno numerowane.

Wygenerowane kombinacje można filtrować według określonych kryteriów przy użyciu pola wyboru w lewym dolnym rogu pod sekcją okna dialogowego *Istniejące kombinacje wyników*.

### Opis kombinacji wyników

Program RFEM przydziela krótki opis oparty na współczynnikach bezpieczeństwa i numerach przypadków obciążeń, wyrażając reguły kombinacji. W razie potrzeby, opis ten można zmienić.

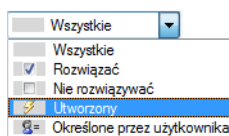
Kliknięcie przycisku [◀] pozwala powrócić do zakładki okna dialogowego *Kombinacje oddziaływań* (zobacz rozdział 5.4 na stronie 205), w którym wybiera się kombinację oddziaływań, według której została utworzona bieżąca kombinacja wyników.

### Rozwiązać

To pole wyboru kontroluje sposób określania wyników dla kombinacji wyników wybranych po lewo.

### Przypadki obciążeń w kombinacji wyników

Kolumny te podają informacje na temat przypadków obciążeń wraz z odpowiednimi częściowymi współczynnikami bezpieczeństwa oraz współczynnikami kombinacji. Zmiana współczynników wygenerowanych kombinacji nie jest możliwa.



Jeżeli zakłada się, że przypadek obciążenia w kombinacji jest *Główny*, zostanie on odpowiednio oznaczony w oknie dialogowym.

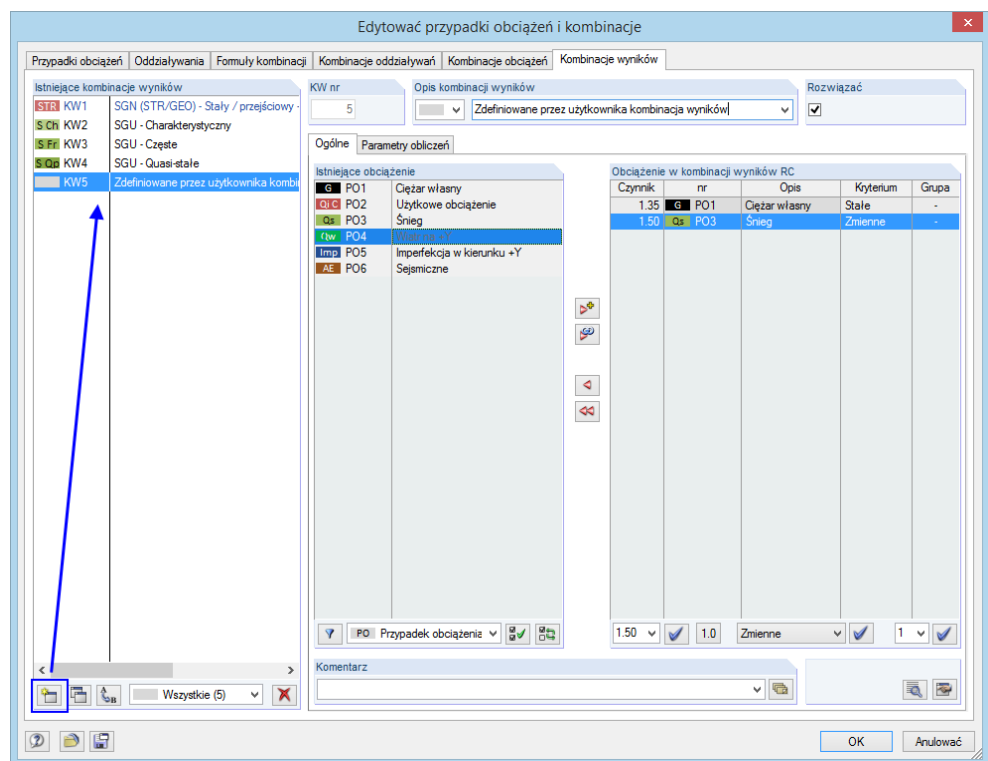
Aby sprawdzić i, w razie potrzeby dostosować, częściowe współczynniki bezpieczeństwa oraz współczynniki kombinacji, należy kliknąć przycisk okna dialogowego [Współczynniki]. Okno dialogowe *Współczynniki* jest podzielone na kilka zakładek (zobacz Rysunek 12.27 na stronie 594 oraz Rysunek 5.24 na stronie 208).

### Dodawanie kombinacji obciążeń

Wygenerowane kombinacje wyników nie mogą być edytowane, a jedynie usuwane lub wyłączane z obliczeń przy użyciu pola wyboru *Rozwiązać*.



Przy użyciu przycisku [Nowy], znajdującego się w lewym dolnym rogu pod sekcją okna dialogowego *Istniejące kombinacje wyników*, można dodawać utworzone przez siebie kombinacje. Po uaktywnieniu definiowania ręcznego, zmienia się wygląd zakładki okna dialogowego *Ogólne*.

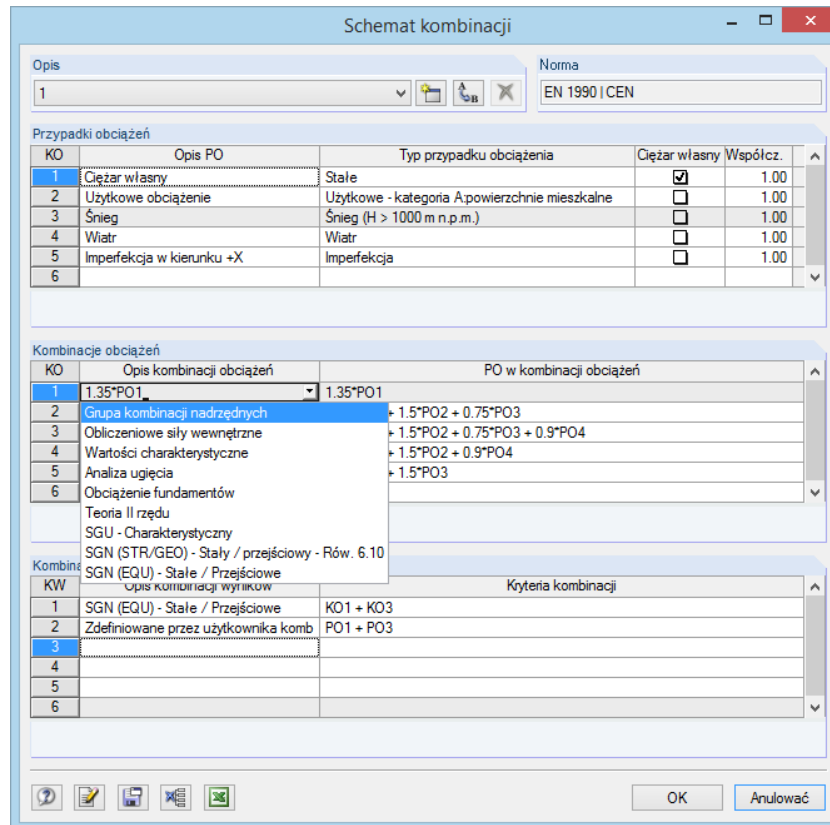


Rysunek 5.46: Dodawanie utworzonej przez siebie kombinacji wyników

Poprzedni rozdział 5.6.1 opisuje szczegółowo ręczne tworzenie kombinacji wyników.

## 5.7 Schemat kombinacji

Układy przypadków obciążeń można zapisać jako schematy i wykorzystać w innych, podobnych zastosowaniach. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe, należy kliknąć opcję **Schemat kombinacji** w menu **Narzędzia**.



Rysunek 5.47: Okno dialogowe *Schemat kombinacji*



Schemat kombinacji można wybrać z listy w sekcji okna dialogowego *Opis*. Oprócz tego można kliknąć przycisk [Nowy], aby utworzyć nowy schemat.

Jeżeli przypadki obciążeń zostały już zdefiniowane w modelu, wprowadza się je w sekcji okna dialogowego *Przypadki obciążeń*. Przypadki obciążeń można dodać przez zatwierdzenie ostatniego wiersza listy poprzez kliknięcie klawisza [Enter] lub [Tab]. W kolumnie okna dialogowego *Opis PO* można wybrać wstępnie zdefiniowane opisy z listy.

Sekcje okna dialogowego *Kombinacja obciążeń* oraz *Kombinacje wyników* służą do zarządzania regułami superpozycji dla kombinacji obciążeń (zobacz rozdział 5.5) i kombinacji wyników (zobacz rozdział 5.6).



Aby zapisać schemat kombinacji, należy kliknąć przycisk [Zapisać], pokazany po lewej stronie i zatwierdzić okno dialogowe poprzez kliknięcie przycisku [OK]. Program RFEM utworzy przypadki obciążeń oraz kombinacje obciążeń i wyników.



Należy pamiętać, aby wprowadzić obciążenie, ponieważ schemat kombinacji zapewnia jedynie obramowanie dla przypadków obciążeń oraz kombinacji obciążeń i wyników!

W przypadku modeli opartych na takim samym schemacie obciążenia, można utworzyć wszystkie przypadki obciążeń oraz kombinacje obciążeń i wyników bez wprowadzania dodatkowych danych. W tym celu otwiera się okno dialogowe dla schematów kombinacji, aby wybrać jeden z nich z listy *Opis*, a następnie zaimportować go poprzez kliknięcie przycisku [OK].

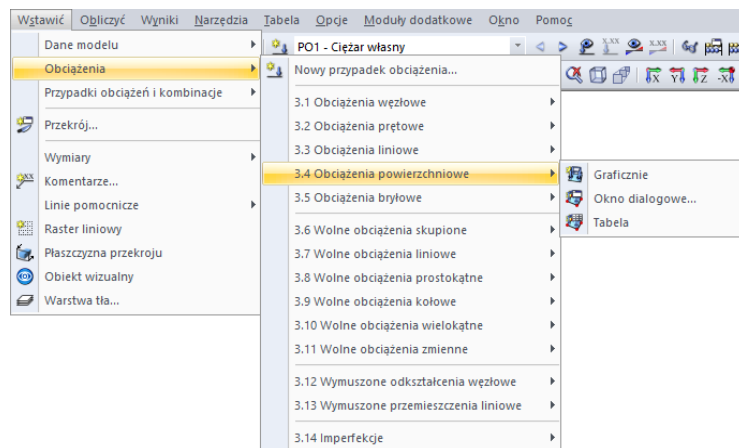
## 6. Obciążenia

Program RFEM umożliwia wprowadzanie obciążeń na wiele sposobów. Obciążenia można definiować w oknie **dialogowym**, **tabeli**, a często także bezpośrednio w **obszarze roboczym**.

### Otwieranie okna dialogowego do wprowadzania danych

Okna dialogowe do wprowadzania danych i do wprowadzania graficznego otwiera się na wiele sposobów.

#### Menu *Wstawić*

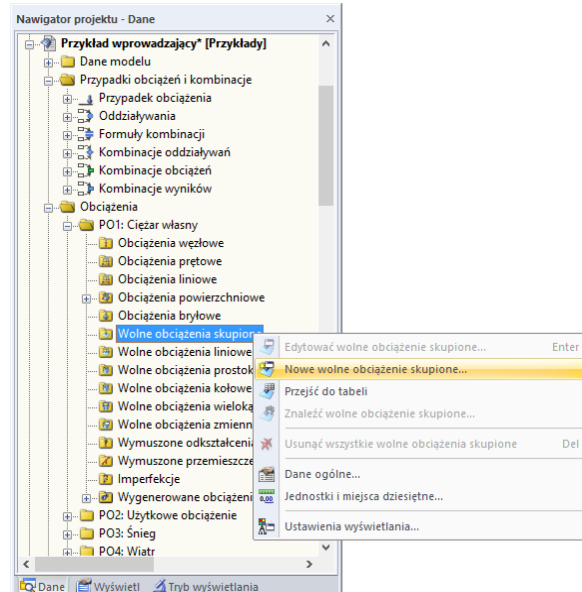


Rysunek 6.1: Menu *Wstawić* → *Obciążenia*

#### Pasek narzędzi *Wstawić*



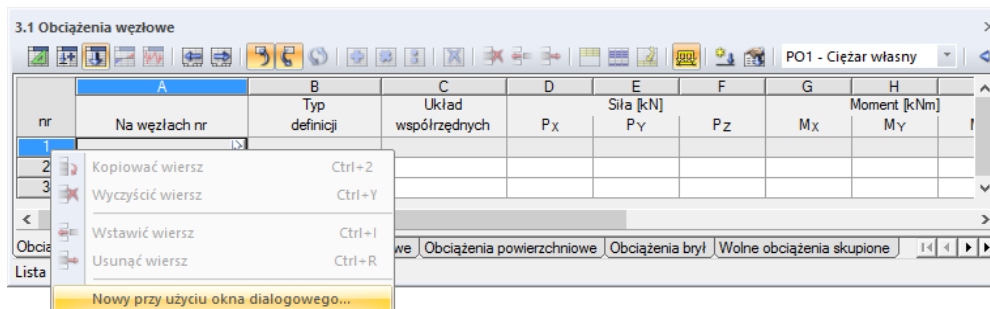
Rysunek 6.2: Pasek narzędzi *Wstawić*



Rysunek 6.3: Menu kontekstowe obiektów obciążenia w nawigаторze *Dane*



### Menu kontekstowe lub podwójne kliknięcie w tabeli



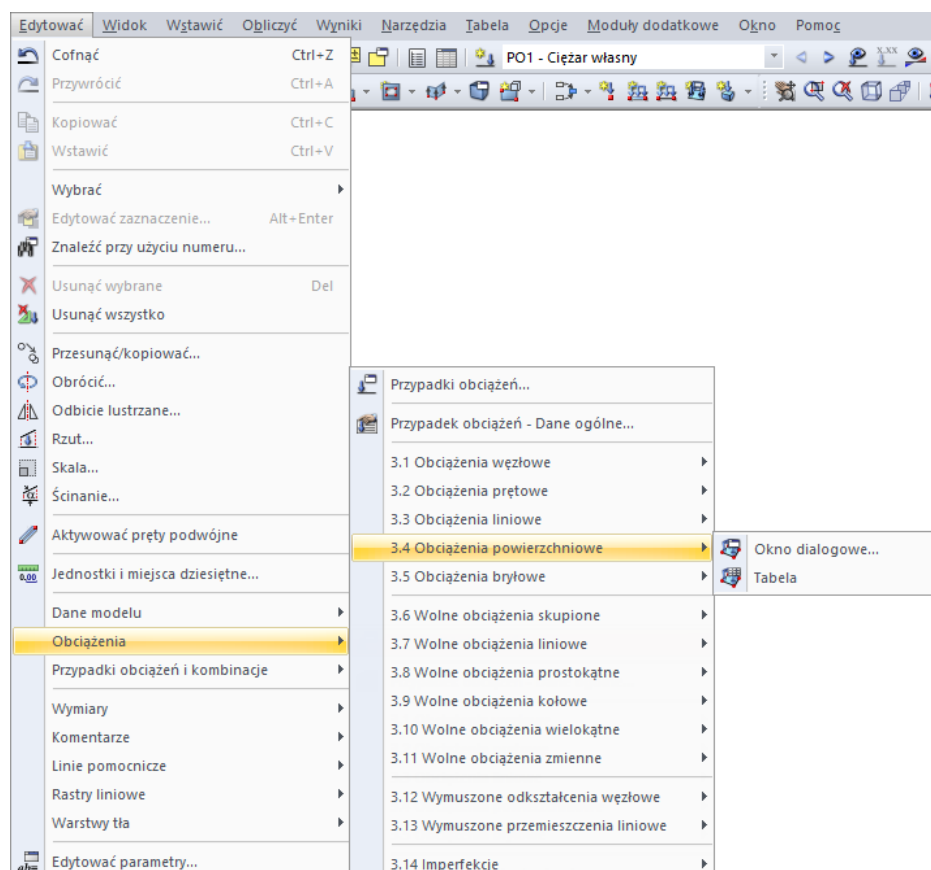
Rysunek 6.4: Menu kontekstowe tabeli obciążeń

Okno dialogowe do wprowadzania danych można otworzyć przy użyciu menu kontekstowego (lub poprzez podwójne kliknięcie) numeru wiersza.

### Otwieranie okna dialogowego dla edycji

Okno dialogowe dla edycji obiektów obciążenia można otworzyć w programie RFEM na wiele sposobów.

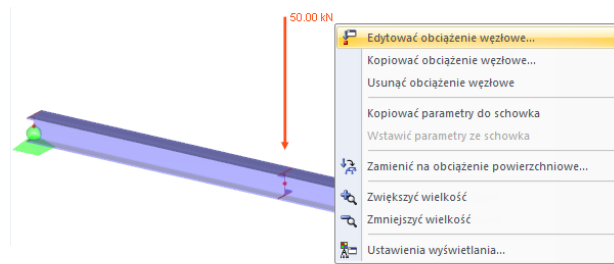
#### Menu *Edytować*



Rysunek 6.5: Menu *Edytować* → *Obciążenia*

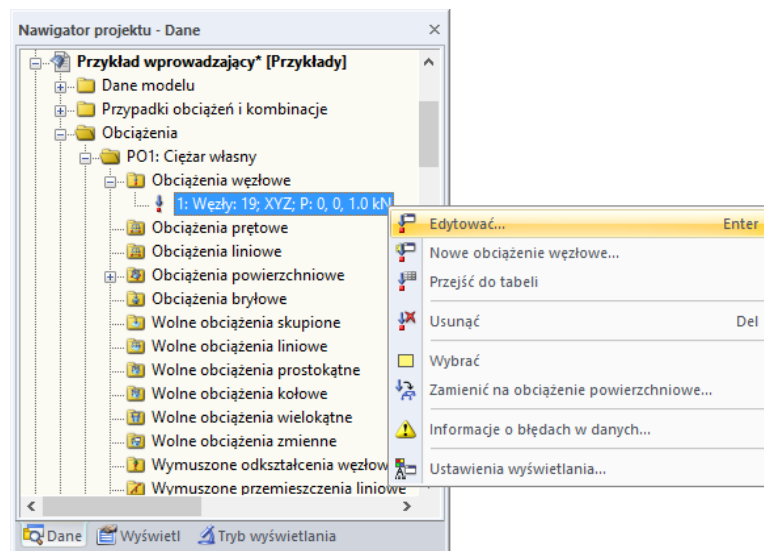
Opcja menu *Okno dialogowe* jest dostępna jedynie, gdy obiekt obciążenia został wcześniej zaznaczony.

### Menu kontekstowe lub podwójne kliknięcie w na rysunku



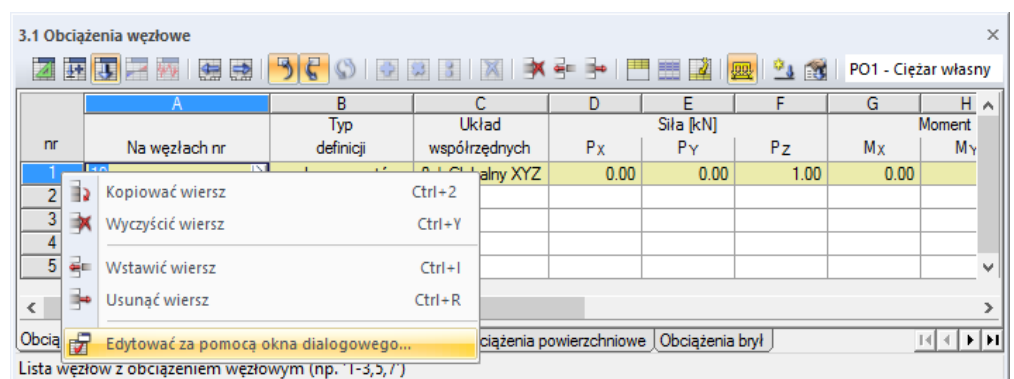
Rysunek 6.6: Menu kontekstowe obciążenia w oknie roboczym

### Menu kontekstowe lub podwójne kliknięcie w nawigatoryze Dane



Rysunek 6.7: Menu kontekstowe obiektów obciążenia w nawigatoryze Dane

### Menu kontekstowe lub podwójne kliknięcie w tabeli



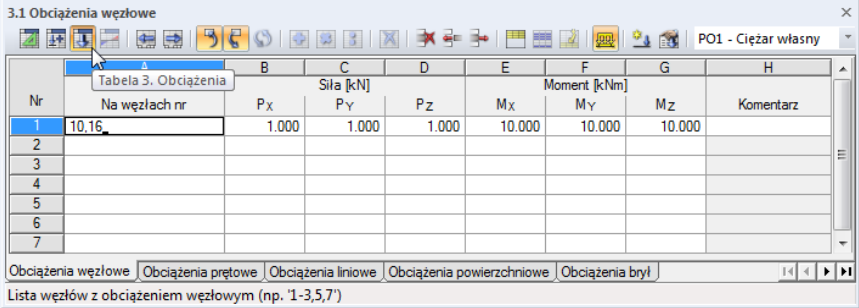
Rysunek 6.8: Menu kontekstowe tabel dla obciążeń

Okno dialogowe dla edycji można otworzyć przy użyciu menu kontekstowego (lub podwójnego kliknięcia) numeru wiersza.

## Wprowadzanie tabelaryczne



Dane i modyfikacje przeprowadzone przy użyciu graficznego interfejsu użytkownika pojawiają się natychmiast w tabeli i odwrotnie. Aby otworzyć tabele dla obciążeń, należy kliknąć trzeci przycisk od lewej, dostępny w pasku narzędzi tabeli.



Nr	Na węzłach nr	Siła [kN]			Moment [kNm]			Komentarz
		P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>	P <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	
1	10,16	1.000	1.000	1.000	10.000	10.000	10.000	
2								
3								
4								
5								
6								
7								

Rysunek 6.9: Przycisk [Tabela 3. Obciążenia]

Dane w postaci arkusza wprowadzane w tabeli można szybko edytować i importować (zobacz rozdział 11.5 na stronie 513).

W każdym oknie dialogowym i tabeli można dodać *Komentarz* określający obciążenie. Oprócz tego można wykorzystać wstępnie zdefiniowane komentarze (zobacz rozdział 11.1.4 na stronie 448).



Wyświetlanie obciążeń wiersz po wierszu lub w sposób zsumowany w bieżącej tabeli lub we wszystkich tabelach można ustawić przy pomocy opcji **Zoptymalizowane dane obciążenia** w menu **Tabela**. W tym samym celu można również wykorzystać przyciski w pasku narzędzi tabeli, pokazane na lewym marginesie tej strony. Przyciski te znajdują się po prawo od listy przypadków obciążeń.

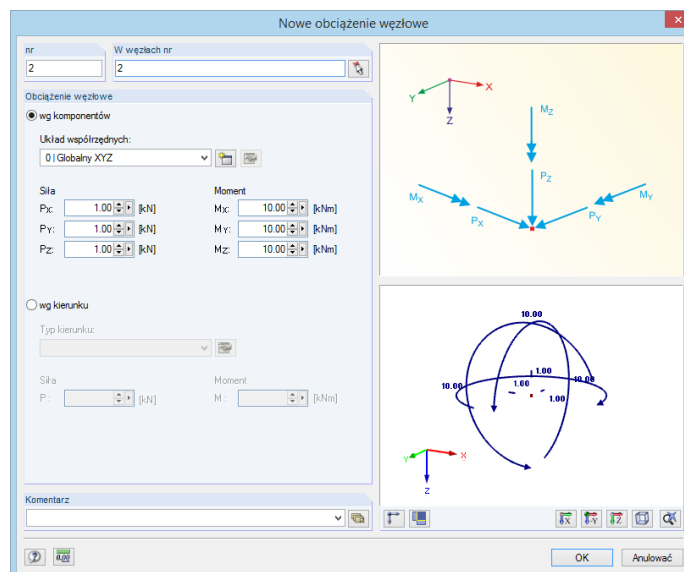
## 6.1 Obciążenia węzłowe

### Opis ogólny



Obciążenia węzłowe stanowią siły i momenty, które działają w węzłach (zobacz rozdział 4.1 na stronie 46).

Aby zastosować obciążenie węzłowe, należy najpierw zdefiniować węzeł.



Rysunek 6.10: Okno dialogowe *Nowe obciążenie węzłowe*

3.1 Obciążenia węzłowe

PO1 - Ciężar własny

Nr	Na węzłach nr	Siła [kN]			Moment [kNm]			Komentarz
		P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>	P <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	
1	2	0.000	-7.500	0.000	50.000	1.000	-3.500	
2	1,11	1.000	1.000	1.000	10.000	10.000	10.000	
3								
4								
5								
6								
7								

Obciążenia węzłowe | Obciążenia prętowe | Obciążenia liniowe | Obciążenia powierzchniowe | Obciążenia brył | Wolne obciążenia skupione

Lista węzłów z obciążeniem węzłowym (np. 1-3,5,7)

Rysunek 6.11: Tabela 3.1 Obciążenia węzłowe

Numer obciążenia węzłowego jest przydzielany automatycznie w oknie dialogowym *Nowe obciążenie węzłowe*, ale można zmienić go w polu wprowadzania. Kolejność numerowania nie ma znaczenia.

### W węzłach nr



W tym polu wprowadzania definiuje się numery węzłów, w których oddziałuje obciążenie. W oknie dialogowym *Nowe obciążenie węzłowe* można wybrać węzły graficznie przy użyciu funkcji [↵].



W przypadku wybrania wprowadzania graficznego, pole wprowadzania nie będzie aktywne. Kliknięcie przycisku [OK] umożliwia wybranie odpowiednich węzłów jeden po drugim w oknie roboczym.

### Siła P<sub>x</sub> / P<sub>y</sub> / P<sub>z</sub>

Siły węzłowe stanowią wektory odnoszące się do globalnego układu współrzędnych. Jeżeli siła nie działa równoległe do jednej z osi globalnych, jej składowe X, Y i Z muszą zostać określone i wprowadzone w odpowiednich polach wprowadzania.

Jeżeli typ modelu został ograniczony do układu płaskiego, w oknie dialogowym *Dane ogólne* nie będzie można uzyskać dostępu do wszystkich trzech pól wprowadzania lub kolumn tabeli.

### Moment M<sub>x</sub> / M<sub>y</sub> / M<sub>z</sub>

Momenty węzłowe również odnoszą się do globalnego układu współrzędnych X,Y,Z. Z tego powodu jeżeli moment nie równoległe do osi musi zostać rozdzielony na swoje składowe X, Y oraz Z, które można wpisać w odpowiednich polach wprowadzania.



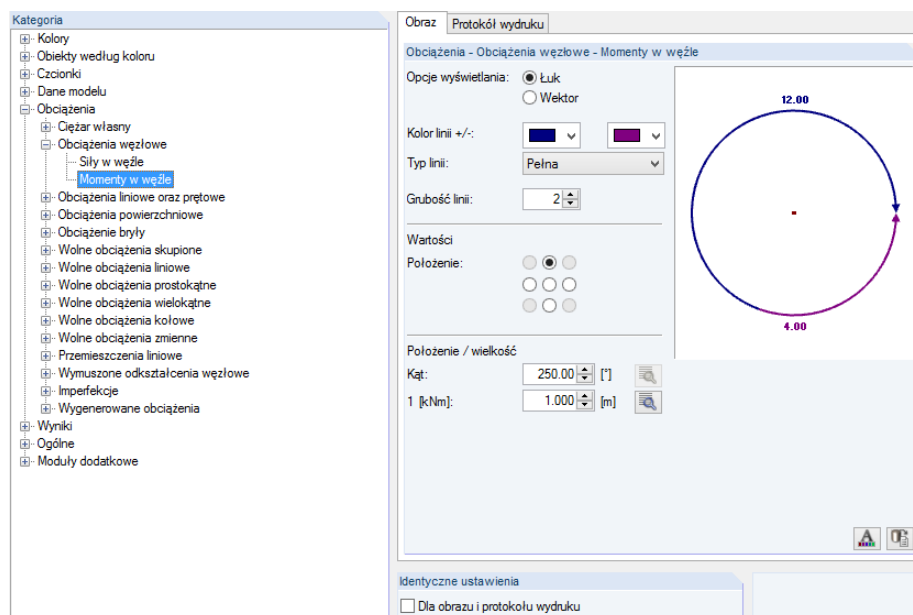
Moment dodatni działa zgodnie z ruchem wskazówek zegara wokół odpowiedniej dodatniej osi globalnej. Wprowadzanie ułatwiają ilustracje w grafice okna dialogowego.

Oprócz wektorów, momenty można przedstawić jako łuki. Kontrola właściwości wyświetlania (zobacz rozdział 11.1.2 na stronie 444) możliwa jest przy użyciu

**Właściwości wyświetlania** w menu **Opcje** i wybranie wpisu **Edytować**.

Otworzy się okno dialogowe *Właściwości wyświetlania*, w którym ustawia się *Kategorię* Obciążenia → Obciążenia węzłowe → Momenty węzłowe. W zakładce po prawej stronie stanie się dostępna opcja *Łuk*.





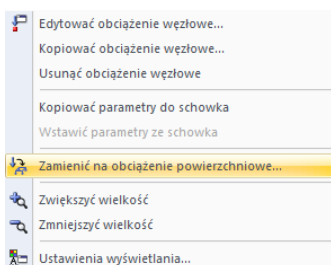
Rysunek 6.12: Okno dialogowe *Właściwości wyświetlania* (sekcja okna dialogowego): *Momenty węzłowe* z opcją wyświetlania *Łuk*



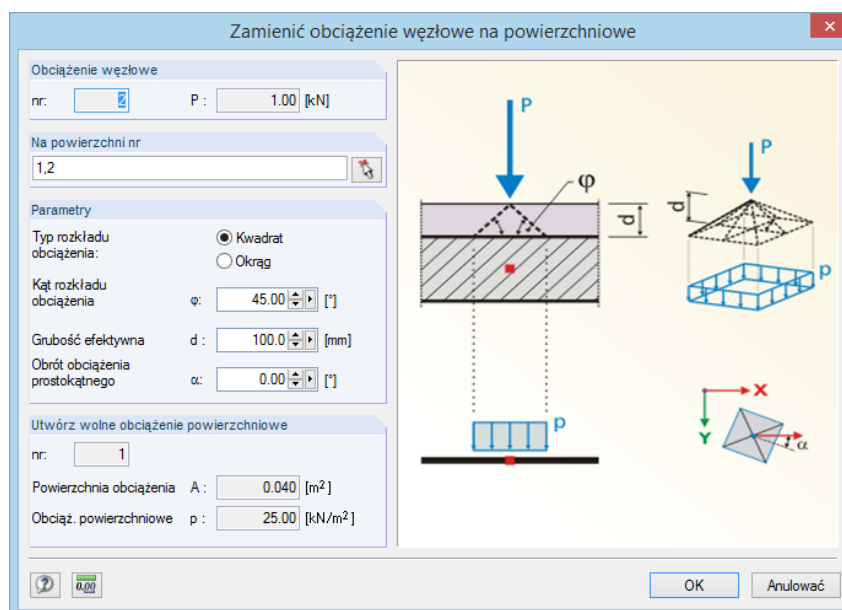
Obciążenia węzłowe można pobrać bezpośrednio z arkusza aplikacji Excel (zobacz rozdział 12.5.2 na stronie 607).

Obciążenia węzłowe często prowadzą do powstania osobliwości, ponieważ obciążenie zostaje skupione podczas wprowadzania go na pojedynczym węźle ES. Aby zminimalizować ten efekt, należy wybrać opcję **Zamień obciążenie węzłowe/liniowe na powierzchniowe** w menu **Narzędzia**. Oprócz tego można wykorzystać menu kontekstowe obciążenia węzłowego, pokazane na lewym marginesie tej strony, aby otworzyć okno dialogowe służące do zamiany obciążeń węzłowych. Menu kontekstowe otwiera się poprzez kliknięcie obiektu prawym przyciskiem myszy.

Otworzy się okno dialogowe (zobacz Rysunek 6.13), w którym można zdefiniować parametry rozkładu obciążenia. Po kliknięciu przycisku [OK], zostanie utworzone odpowiednie wolne obciążenie prostokątne lub kołowe.



Menu kontekstowe obciążenia węzłowego



Rysunek 6.13: Okno dialogowe *Zamień obciążenie węzłowe na obciążenie powierzchniowe*

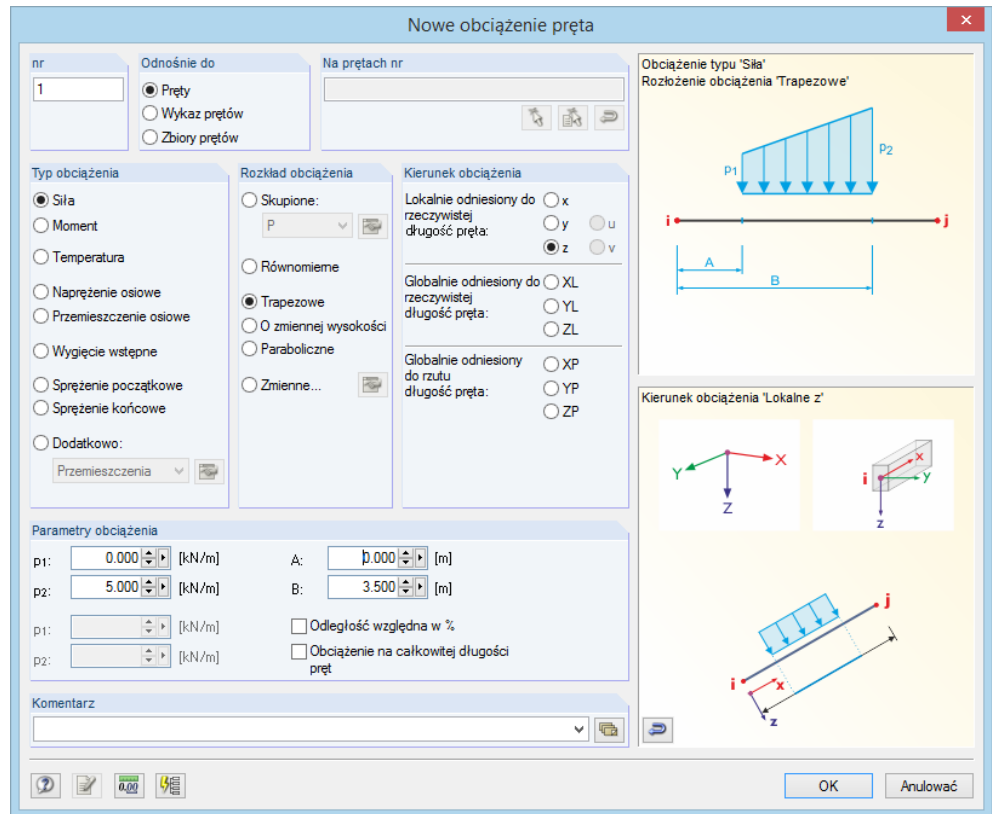
## 6.2 Obciążenia prętowe

### Opis ogólny



Obciążenia prętowe stanowią siły, momenty, oddziaływania termiczne lub deformacje wymuszone, które działają na prętach.

Zastosowanie obciążenia prętowego możliwe jest po uprzednim zdefiniowaniu pręta.



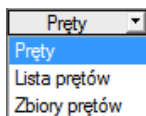
Rysunek 6.14: Okno dialogowe *Nowe obciążenie prętowe*

3.2 Obciążenia prętowe

nr	A	B	C	D	E	F	G	H	I
nr	Odniesienie do	Na prętach nr	Typ obciążenia	Rozkład obciążenia	Kierunek obciążenia	p1 [kN/m]		Parametry obciążeń prętów	
								p2 [kN/m]	
1	Pręty	11	Siła	Trapezoidalne	XL	3.00		1.00	
2	Lista prętów	7-9	Siła	Trapezoidalne	x	-3.00		-1.00	
3	Zbiory prętów	1	Siła	ładne	YL	3.00		1.00	
4	Pręty	10	Moment	ładne	z	0.00		5.00	
5			Temperatura						
6			Napężenie osiowe						
7			Przesunięcie osiowe						
8			Wygięcie wstępne						
9			Sprężenie początkowe						
			Sprężenie końcowe						
			Przesunięcie						
			Obrót						

Rysunek 6.15: Tabela 3.2 *Obciążenia prętowe*

Numer obciążenia prętowego przydzielany jest automatycznie w oknie dialogowym *Nowe obciążenie prętowe*, ale można zmienić go w polu wprowadzania. Kolejność numerowania nie ma znaczenia.



### Odnośnie do

W polu tym definiuje się elementy konstrukcyjne, do których zostanie zastosowane obciążenie prętowe. Dostępne są następujące opcje:

### Pręty

Obciążenie działa na jednym pojedynczym pręcie lub na każdym pręcie w przypadku kilku prętów.

### Wykaz prętów

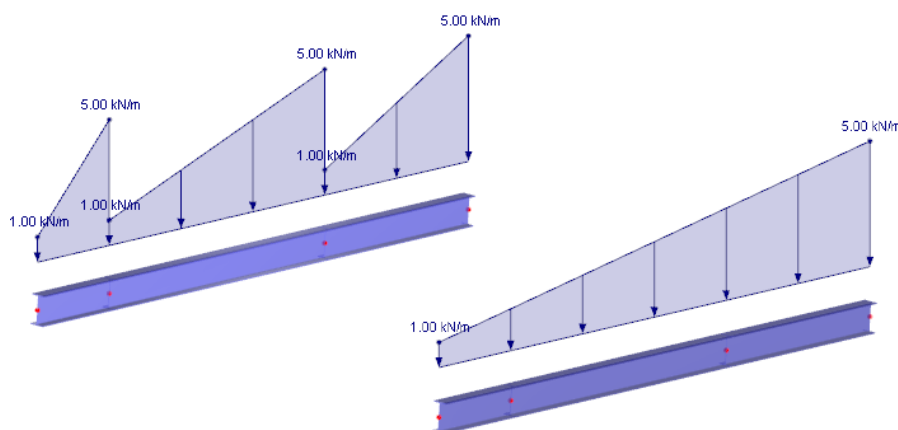
Obciążenie działa na grupie połączonych prętów, które są zdefiniowane na liście. Dzięki temu podczas używania trapezowych obciążeń pręta, parametry obciążenia nie są stosowane do każdego pręta osobno, ale jako obciążenie całkowite do wszystkich prętów znajdujących się na liście. Oddziaływanie trapezowego obciążenia prętowego na pojedyncze pręty, w porównaniu z listą prętów, zostało pokazane na Rysunek 6.16.

Przy użyciu listy prętów można zastosować obciążenia na wszystkich prętach bez potrzeby definiowania prętów ciągłych. Oprócz tego można szybko zmienić odniesienie obciążenia dla poszczególnych prętów.

### Zbiory prętów

Obciążenie działa na zbiorze prętów lub na każdym zbiorze w przypadku kilku zbiorów prętów. Podobnie jak w przypadku listy prętów opisanej powyżej, parametry obciążenia są stosowane do połączonych prętów znajdujących się w zbiorze prętów.

Zbiory prętów są podzielone na pręty ciągłe i grupy prętów (zobacz rozdział 4.21 na stronie 173). Obciążenia na zbiorach prętów można bezproblemowo stosować na prętach ciągłych. Szczególną uwagę należy jednak zwrócić na grupy prętów, ponieważ odniesienie do grupy prętów jest zwykle problematyczne w przypadku obciążeń trapezowych.



Rysunek 6.16: Obciążenie trapezowe z odniesieniem do prętów (po lewo) oraz do listy prętów (po prawo)

### Na prętach nr



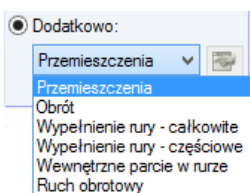
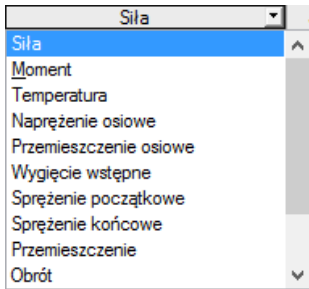
W polu tym należy wprowadzić numery prętów lub zbiorów prętów, na których działa obciążenie. W oknie dialogowym można również wybrać pręty graficznie przy użyciu funkcji [↖].



W przypadku wybrania wprowadzania graficznego, pole wprowadzania nie będzie dostępne, dopóki nie zostaną wprowadzone dane obciążenia. Po kliknięciu przycisku [OK] można wybrać odpowiednie pręty lub zbiory prętów kolejno w oknie roboczym.



W przypadku obciążeń trapezowych lub zmiennych posiadających odniesienie do listy prętów, numery prętów można dostosować przy użyciu przycisku [Odwróć orientację prętów], pokazanego na lewym marginesie tej strony.



## Typ obciążenia

W tej sekcji okna dialogowego definiuje się typ obciążenia. W zależności od dokonanego wyboru, poszczególne części okna dialogowego lub odpowiednie kolumny tabeli będą zablokowane. Do wyboru dostępne są następujące typy obciążenia:

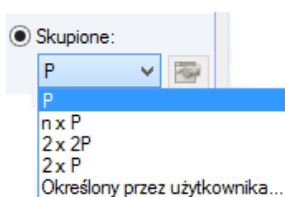
Typ obciążenia	Krótki opis
Siła	Obciążenie skupione, obciążenie rozłożone lub obciążenie trapezowe
Moment	Moment skupiony, moment rozłożony lub trapezowy rozkład momentu
Temperatura	Obciążenie termiczne rozłożone równomiernie na przekroju pręta lub różnica temperatur pomiędzy górną i dolną stroną pręta. Obciążenie nakładane jest jako równomierne lub trapezowe na długości pręta lub jako trapezowe na przekroju. Dodatnia wartość obciążenia oznacza, że pręt nagrzewa się na swojej górnej stronie.
Naprężenie osiowe	Wymuszone odkształcenie rozciągające lub ściskające $\varepsilon$ pręta. Dodatnia wartość obciążenia oznacza, że pręt jest rozciągany. Z tego powodu sprężenie początkowe jako skurcz pręta należy wprowadzić jako wartość ujemną. Przy użyciu przycisku okna dialogowego pokazanego na lewym marginesie tej strony można określić odkształcenie spowodowane przez skurcz na podstawie parametrów dla skurczu i wysychania (zobacz Rysunek 6.24 i opis na stronie 246).
Przeszczenie osiowe	Wymuszone odkształcenie podczas rozciągania lub ściskania $\Delta l$ pręta
Wygięcie wstępne	Wymuszone zakrzywienie pręta
Sprężenie początkowe	Siła sprężająca oddziałująca na pręt przed rozpoczęciem obliczeń. Dodatnia wartość obciążenia oznacza, że pręt jest rozciągany.
Sprężenie końcowe	Siła osiowa, która będzie dostępna na pręcie po zakończeniu obliczeń (opcja niedostępna dla prętów sztywnych i kabli). Dodatnia wartość obciążenia oznacza, że pręt jest rozciągany.
Przeszczenia	Przeszczenie o wielkość $\Delta$ do określania linii wpływu
Obrót	Obrót o kąt $\varphi$ dla linii wpływu
Wypełnienie rury - pełna	Obciążenie równomierne spowodowane pełnym wypełnieniem rury. Należy określić ciężar objętościowy $\gamma$ zawartości rury.
Wypełnienie rury - częściowe	Obciążenie równomierne spowodowane częściowym wypełnieniem rury. Oprócz ciężaru objętościowego $\gamma$ zawartości rury, należy również określić wysokość wypełnienia $d$ .
Ruch obrotowy	Siła odśrodkowa od masy i prędkości kątowej $\omega$ na bryle. W osobnym oknie dialogowym, które otwiera się przy użyciu przycisku [Edytować], należy określić oś obrotu.

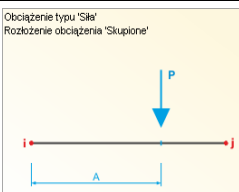
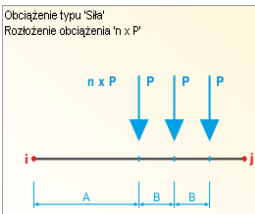
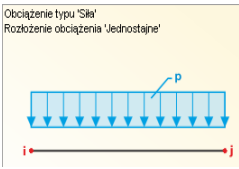
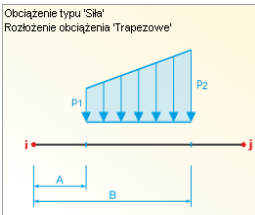
Tabela 6.1: Typy obciążenia

Rysunek w prawym rogu okna dialogowego pokazuje wybrany typ obciążenia wraz z wpływem znaków ustawionych dla sił i odkształceń.

## Rozkład obciążenia

Sekcja okna dialogowego *Rozkład obciążenia* oferuje różne możliwości przedstawienia oddziaływania obciążenia. Rysunek w górnym prawym rogu okna dialogowego pomaga w ich zrozumieniu.

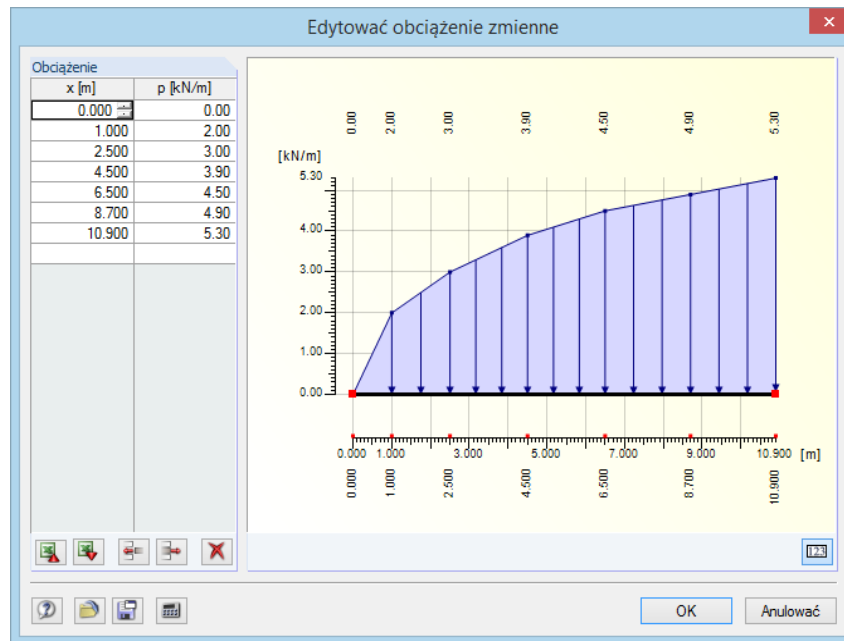


Rozkład obciążenia	Wykres	Opis
Skupione P		<p>Obciążenie skupione, moment skupiony</p> <p>W sekcji okna dialogowego <i>Parametry obciążeń</i> należy określić wielkość obciążenia skupionego lub moment oraz odległość punktu przyłożenia obciążenia w odniesieniu do początku pręta.</p>
Skupione n x P		<p>Wielokrotne obciążenia skupione lub momenty</p> <p>Lista ta oferuje kilka opcji zarządzania parami obciążeń lub wielokrotnymi obciążeniami skupionymi, takimi jak obciążenia od osi pojazdu.</p> <p>Opcja pokazana po lewej jest odpowiednia dla pojedynczych sił, których wielkość, oddziaływanie oraz rozmieszczenie są równe. W sekcji okna dialogowego <i>Parametry obciążenia</i> definiuje się wielkość obciążenia skupionego, odległość pomiędzy pierwszym obciążeniem a początkiem pręta oraz odległość pomiędzy poszczególnymi obciążeniami.</p>
Równomierne		<p>Równomiernie rozłożone obciążenie, równomiernie rozłożony moment</p> <p>W sekcji okna dialogowego <i>Parametry obciążenia</i> definiuje się wielkość obciążenia równomiernego lub momentu.</p>
Trapezowe		<p>Obciążenie trapezowe, moment trapezowy</p> <p>W sekcji okna dialogowego <i>Parametry obciążenia</i> definiuje się obie wartości obciążenia oraz odległości dla zmiennego liniowo rozkładu obciążenia, jak zostało to pokazane w grafice okna dialogowego. Obciążenie trójkątne jest tworzone przez ustawienie jednego z obciążeń jako zerowego.</p> <p>W przypadku zaznaczenia pola wyboru <i>Odległość względna w %</i> można określić odległości w odniesieniu do długości pręta.</p>



Zmienne	Typ obciążenia "Siła" Rozkład obciążenia "Zmienny" 	Wielokątne obciążenie rozłożone Kliknięcie przycisku [Edytować obciążenie zmienne], pokazanego po lewej, służy do otwierania okna dialogowego pokazanego na Rysunek 6.17, w którym można wprowadzić lub zaimportować parametry rozkładu obciążenia.
---------	---	--

Tabela 6.2: Rozkłady obciążeń



Rysunek 6.17: Okno dialogowe *Edytować obciążenie zmienne*

Aby przedstawić obciążenie zmienne, można dowolnie zdefiniować położenia  $x$  na przęcie z odpowiednimi rzędnymi obciążenia  $p$ . Należy się jedynie upewnić, że położenia  $x$  są zdefiniowane w kolejności wzrastającej. Dane można natychmiast sprawdzić dzięki interaktywnej grafice.

Przyciski w tym oknie dialogowym posiadają następujące funkcje:

Przycisk	Funkcja
	Eksport tabeli do aplikacji MS Excel
	Import tabeli do aplikacji MS Excel
	Wstawia pustą linię powyżej wskaźnika
	Usuwa aktywny wiersz
	Usuwa wszystkie wpisy

Tabela 6.3: Przyciski okna dialogowego *Edytować obciążenie zmienne*

### Kierunek obciążenia

Obciążenie może być efektywne w kierunku globalnych osi X, Y, Z lub lokalnych osi pręta  $x, y, z$  albo  $u, v$  (zobacz rozdział 4.13 na stronie 130). W przypadku obliczeń według liniowej analizy statycznej nie ma znaczenia, czy obciążenia jest zdefiniowane jako lokalne lub jako zastępcze

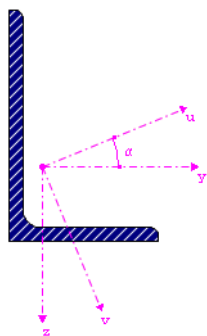
- z -
- x - Lokalnie w  $x$  (1)
- y - Lokalnie w  $y$  (2)
- z - Lokalnie w  $z$  (3)
- u - lokalnie w głównej osi  $u$
- v - lokalnie w głównej osi  $v$
- XL - Globalnie w X na długości rzeczywistej
- YL - Globalnie w Y na długości rzeczywistej
- ZL - Globalnie w Z na długości rzeczywistej
- XP - Globalnie w X na długości rzutowanej
- YP - Globalnie w Y na długości rzutowanej

globalne. W przypadku obliczeń geometrycznie nieliniowych, możliwe są różnice pomiędzy obciążeniami zdefiniowanymi lokalnie i globalnie. Jeżeli obciążenie jest zdefiniowane z globalnym kierunkiem oddziaływania, zachowuje ono ten kierunek, gdy elementy skończone zaczynają ulegać skręcaniu. W przypadku lokalnego kierunku oddziaływania, obciążenie ulega skręcaniu na pręcie zgodnie ze zniekształceniem elementów skończonych.

Jeżeli typ modelu został zredukowany do układu płaskiego w oknie dialogowym *Dane ogólne*, dostęp do wszystkich kierunków obciążenia nie jest możliwy.

### Lokalny

Orientacja osi pręta została opisana w rozdziale 4.17, w sekcji *Obrót pręta* na stronie 158. Lokalna oś  $x$  stanowi oś podłużną pręta. W przypadku przekrojów symetrycznych, oś  $y$  stanowi tak zwaną oś 'silną', a oś  $z$  odpowiednio 'słabą' oś przekroju pręta. W przypadku przekrojów niesymetrycznych, obciążenia można odnieść do osi głównych  $u$  i  $v$  przekroju oraz do standardowych osi do wprowadzania danych  $y$  i  $z$ .



Przykładami obciążeń zdefiniowanych jako lokalne są obciążenia wiatrem oddziałujące na konstrukcje dachowe, obciążenia termiczne oraz naprężenia początkowe.

### Globalny

Pozycja lokalnych osi pręta nie ma znaczenia dla wprowadzania danych, jeżeli obciążenie oddziałuje w kierunku osi globalnego układu współrzędnych  $XYZ$ .

Przykładami obciążeń zdefiniowanych jako globalne są obciążenia śniegiem działające na konstrukcje dachowe oraz obciążenia wiatrem na ścianach i słupach szczytowych.

Wpływ obciążenia może zostać odniesiony do różnych długości:

- **związany z rzeczywistą długością pręta**

Obciążenie jest stosowane na całej długości pręta.

- **związany z rzutowaną długością pręta**

Długość na której przyłożone jest obciążenie jest zamieniane na rzut pręta w jednym z kierunków globalnych układów współrzędnych. Opcję tę wybiera się na przykład podczas definiowania obciążenia śniegiem na rzutowanej powierzchni dachu.



Program RFEM zawsze stosuje obciążenia prętowe w środku ścinania. Zamierzone skręcanie wynikające z geometrii przekroju (mimośrodowo nierówny środek ścinania) nie jest uwzględniane. Z tego powodu, gdy używane są przekroje niesymetryczne, musi zostać dodatkowo zastosowany moment skręcający określony na podstawie odległości obciążenia  $x$  od środka ścinania, jeżeli obciążenie wprowadzane jest na przykład w środku ciężkości.

### Parametry obciążenia pręta

W tej sekcji okna dialogowego lub w kolumnach tabeli zarządza się wartościami obciążenia i ewentualnie parametrami dodatkowymi. Pola wprowadzania są oznaczone i dostępne w zależności od wcześniej aktywowanych pól wyboru.

#### Obciążenie $p_1$ / $p_2$

W tych polach wprowadza się wartości obciążenia. Następnie należy dostosować znaki według globalnych lub lokalnych orientacji osi. Dodatnia wartość obciążenia dla naprężenia wstępnego, zmian temperatury oraz odkształceń osiowych oznacza, że pręt jest odkształcany, a w konsekwencji wydłużany.

W przypadku wybrania obciążenia trapezowego, należy określić dwie wartości obciążenia. Grafika w prawym górnym rogu okna dialogowego pokazuje parametry obciążenia.

#### Odległość A / B

W tych dwóch polach wprowadza się odległości od początku pręta dla obciążeń skupionych i trapezowych. Odległość można zdefiniować również względnie do długości pręta poprzez zaznaczenie pola wyboru *Odległość względna w %* (zobacz poniżej).

Grafika w prawym górnym rogu okna dialogowego pomaga podczas wprowadzania parametrów.

### Odległość względna w %

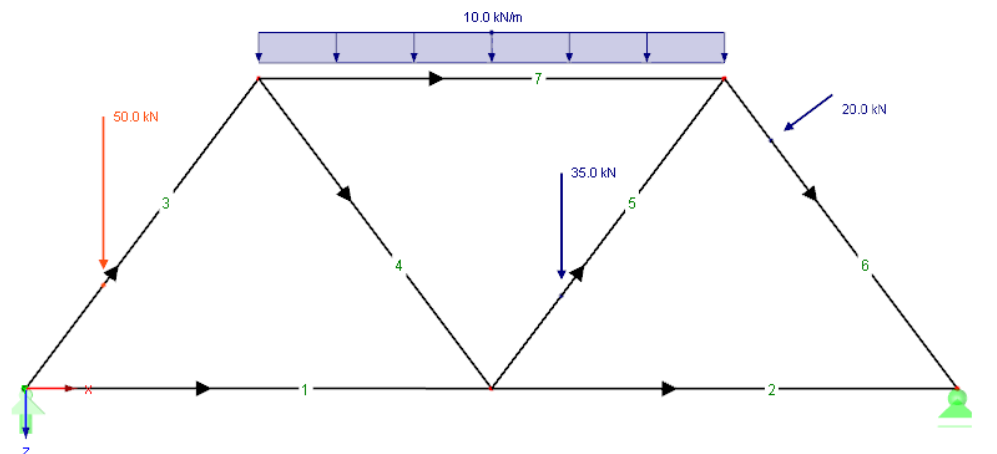
Zaznaczenie tego pola wyboru pozwala zdefiniować odległości dla obciążeń skupionych i trapezowych odniesione do długości pręta. W przeciwnym wypadku wpisy w opisanych powyżej polach wprowadzania *Odległość A / B* stanowią zakresy bezwzględne.

### Obciążenie na całej długości pręta

To pole wyboru staje się aktywne jedynie po zdefiniowaniu obciążeń trapezowych. Opcja ta pozwala nałożyć obciążenia zmienne liniowo od początku pręta do końca pręta. Pola wprowadzania *Parametry wprowadzania A / B* nie mają w tym wypadku zastosowania i nie są dostępne.

### Przykłady dla obciążeń prętowych

Wprowadzanie obciążeń prętowych zostało pokazane na poniższym przykładzie, w którym obciążenia prętowe są stosowane na płaskiej konstrukcji ramowej. Nie ma potrzeby dzielenia prętów przy użyciu węzłów pośrednich, aby zastosować obciążenia skupione.



3.2 Obciążenia prętowe

nr	A	B	C	D	E	F	G		H		L	M
							pz	A	B	Odległość w %		
1	Pręty	7	Siła	Jednakowy	ZL	10.00					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Pręty	3	Siła	Trapezoidalne	ZP	50.00	0.00	1.000	1.000		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Pręty	6	Siła	Trapezoidalne	z	20.00	0.00	1.000	1.000		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Pręty	10	Siła	Trapezoidalne	ZL	35.00	0.00	1.500	3.500		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Obciążenia węzłowe | Obciążenia prętowe | Obciążenia liniowe | Obciążenia powierzchniowe | Obciążenia brył | Wolne obciążenia skupione

Lista prętów z obciążeniem (np. '1-3,5,7')

Rysunek 6.18: Konstrukcja szkieletowa z obciążeniem równomiernym na górnej półce oraz z obciążeniami skupionymi na stężeniach



## 6.3 Obciążenia liniowe

### Opis ogólny



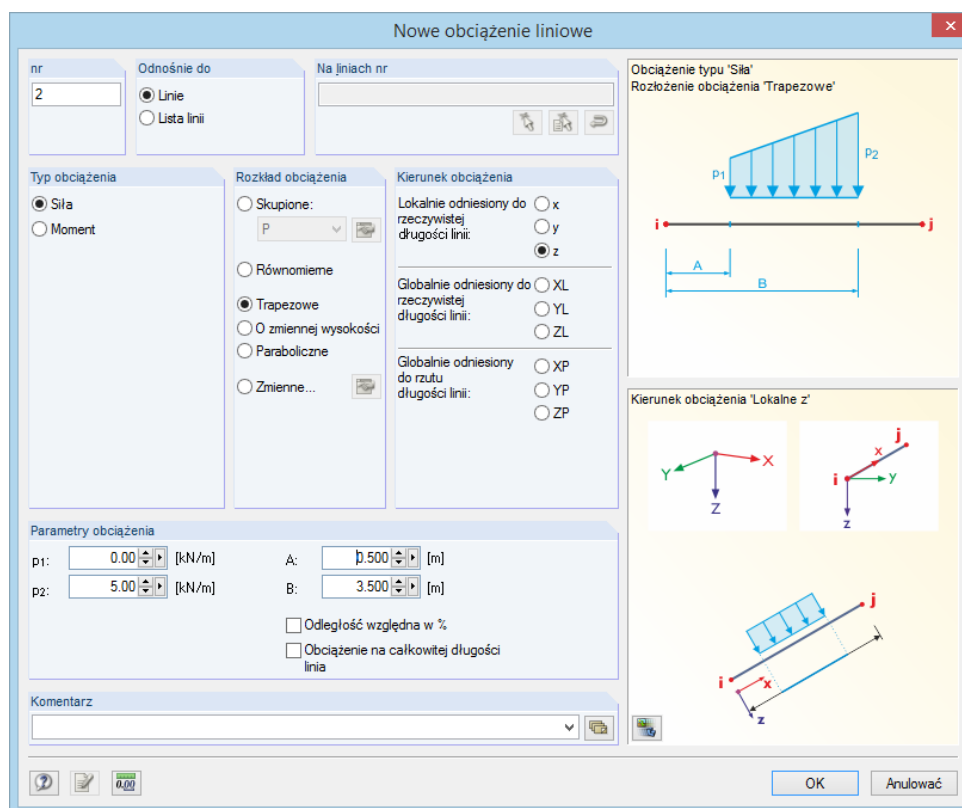
Obciążenia liniowe stanowią siły i momenty działające na liniach (zobacz rozdział 4.2 na stronie 52).

Obciążenie liniowe można zastosować po wcześniejszym zdefiniowaniu linii.

Obciążenia liniowe są podobne do obciążeń prętowych, z tym wyjątkiem, że w przypadku obciążeń liniowych nie można przydzielać charakterystyk materiałowych (na przykład obciążeń termicznych lub odkształceń osiowych).



Obciążenia liniowe mogą działać na prętach, ponieważ pręt jest właściwością linii. Jednakże, aby zastosować obciążenie liniowe na pręcie, linia ta musi należeć do powierzchni. W konsekwencji obciążenia liniowe nie mogą być stosowane na prętach wykorzystywanych w konstrukcjach składających się jedynie z prętów.



Rysunek 6.19: Okno dialogowe *Nowe obciążenie liniowe*

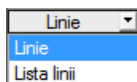
3.3 Obciążenia liniowe												
Nr	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Odniesienie do	Na liniach nr	Typ obciążenia	Obciążenie Rozkład	Obciążenie Kierunek	p 1 [kN/m]	Parametry obciążenia liniowego			Odległość w %	Na całej Długość	Komentarz
							A [m]	B [m]				
1	Linie	11	Siła	Jednakowy	ZL	5.000				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Lista linii	4,5	Siła	Trapezoidalne	z	0.000	5.000			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Linie	2	Siła	Zmienne	XL	0.000	1.000	0.000	1.000	<input type="checkbox"/>		
4	Linie	2	Moment	Skupione	YL	2.500						
5				Jednakowy								
				Trapezoidalne								

Rysunek 6.20: Tabela 3.3 *Obciążenia liniowe*

Numer obciążenia liniowego przydzielany jest automatycznie w oknie dialogowym *Nowe obciążenie liniowe*, ale może być zmieniony w polu wprowadzania. Kolejność numerowania nie ma znaczenia.

### Odniesienie do

W polu tym definiuje się elementy konstrukcyjne, do których zostanie zastosowane obciążenie liniowe. Dostępne są następujące opcje:



#### Linie

Obciążenie działa na jednej pojedynczej linii lub na każdej linii w przypadku kilku linii.

#### Lista linii

Obciążenie działa na grupie połączonych linii, które są zdefiniowane na liście. Dzięki temu, podczas używania trapezowych obciążeń liniowych, parametry obciążenia nie są stosowane do każdej linii osobno, ale jako obciążenie całkowite do wszystkich linii znajdujących się na liście linii (por. Rysunek 6.16 na stronie 235).

### Na liniach nr

W polu tym należy wprowadzić numery linii, na których działa obciążenie. W oknie dialogowym można również wybrać linie graficznie przy użyciu funkcji [↵].



W przypadku wybrania wprowadzania graficznego, pole wprowadzania nie będzie dostępne, dopóki nie zostaną wprowadzone dane obciążenia. Po kliknięciu przycisku [OK], można wybrać kolejno odpowiednie linie w oknie roboczym.

### Typ obciążenia

W tej sekcji okna dialogowego lub w tabeli kolumny definiuje się typ obciążenia. W zależności od dokonanego wyboru, poszczególne części okna dialogowego lub odpowiednie kolumny tabeli, będą zablokowane. Do wyboru dostępne są następujące typy obciążenia:

Typ obciążenia	Krótki opis
Siła	Obciążenie skupione, rozłożone, trapezowe, zmienne lub paraboliczne
Moment	Moment skupiony, moment rozłożony, moment trapezowy lub paraboliczny

Tabela 6.4: Typy obciążenia

### Rozkład obciążenia

Sekcja okna dialogowego *Rozkład obciążenia* oferuje różne możliwości przedstawienia oddziaływania obciążenia. Grafika w rogu okna dialogowego pomaga w ich zrozumieniu.

Rozkład obciążenia	Krótki opis
Skupione	Obciążenie skupione, moment skupiony
Równomierne	Równomiernie rozłożone obciążenie, równomiernie rozłożony moment
Trapezowe	Obciążenie trapezowe, moment trapezowy
Zmienne	Rozkład obciążenia w postaci wieloboku Kliknięcie przycisku [Edytować obciążenie zmienne], pokazanego na lewym marginesie tej strony, otwiera okno dialogowe pokazane na Rysunek 6.17 na stronie 238, w którym można wprowadzić parametry wykresu obciążenia.

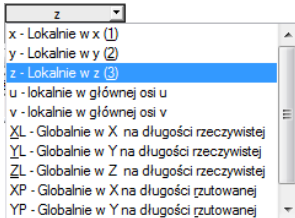


Tabela 6.5: Rozkłady obciążeń

Rozkłady obciążeń liniowych w dużym stopniu odpowiadają rozkładowi obciążeń prętowych. Wykresy zostały opisane szczegółowo w Tabeli 6.2 na stronie 238.

### Kierunek obciążenia

Obciążenie może być efektywne w kierunku globalnych osi X, Y, Z lub lokalnych osi x, y, z linii. W przypadku obliczeń według liniowej analizy statycznej nie ma znaczenia, czy obciążenie jest zdefiniowane jako lokalne lub jako zastępcze globalne. W przypadku obliczeń geometrycznie nieliniowych, możliwe są różnice pomiędzy obciążeniami zdefiniowanymi lokalnie i globalnie. Jeżeli obciążenie jest zdefiniowane z globalnym kierunkiem oddziaływania, zachowuje ono ten kierunek, gdy elementy skończone zaczynają ulegać skręcaniu. W przypadku lokalnego kierunku oddziaływania, obciążenie ulega skręcaniu na linii zgodnie ze zniekształceniem elementów.



### Lokalny

Orientacja osi linii została przedstawiona na Rysunek 4.96 na stronie 109. Lokalna oś x stanowi oś podłużną linii. Oś z jest zwykle przydzielana równoległe do globalnej osi Z.

### Globalny

Pozycja lokalnych osi linii nie ma znaczenia dla wprowadzania danych, jeżeli obciążenie oddziałuje w kierunku osi globalnego układu współrzędnych XYZ.

Przykładami obciążeń zdefiniowanych jako globalne są obciążenia śniegiem działające na konstrukcje dachowe oraz obciążenia wiatrem na ścianach i słupach szczytowych.

Wpływ obciążenia może być powiązany z różnymi długościami:

- **powiązany z rzeczywistą długością linii**  
Obciążenie jest stosowane na całej długości linii.
- **powiązany z rzutowaną długością linii**  
Długość zastosowania obciążenia jest zamieniana na rzut linii w jednym z kierunków globalnych układów współrzędnych. Długości rzutu są pokazywane na rysunku w prawej części okna dialogowego.

### Parametry obciążenia liniowego

W tej sekcji okna dialogowego lub w kolumnach tabeli zarządza się wartościami obciążenia i ewentualnie parametrami dodatkowymi. Pola wprowadzania są oznaczone i dostępne w zależności od wcześniej aktywowanych pól wyboru.

#### Obciążenie P / p / p<sub>2</sub> / M / m / m<sub>2</sub>

W tych polach wprowadza się wartości obciążenia. Następnie należy dostosować znaki według globalnych lub lokalnych położenia osi. W przypadku wybrania obciążenia trapezowego, należy określić dwie wartości obciążenia. Grafika w prawym górnym rogu okna dialogowego pokazuje parametry obciążenia.

#### Odległość A / B

W tych dwóch polach wprowadza się odległości od początku linii dla obciążeń skupionych i trapezowych. Odległość można zdefiniować również względnie do długości linii poprzez zaznaczenie pola wyboru *Odległość względna w %* (zobacz poniżej).

Grafika w prawym górnym rogu okna dialogowego pomaga podczas wprowadzania parametrów.

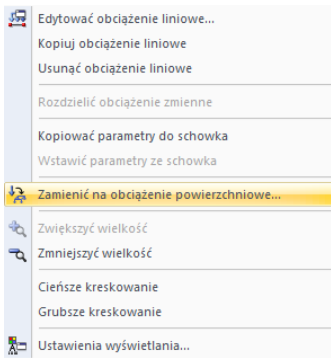
#### Odległość względna w %

Zaznaczenie tego pola wyboru pozwala zdefiniować odległości dla obciążeń skupionych i trapezowych odniesione do długości linii. W przeciwnym wypadku wpisy w opisanych powyżej polach wprowadzania *Odległość A / B* stanowią zakresy bezwzględne.

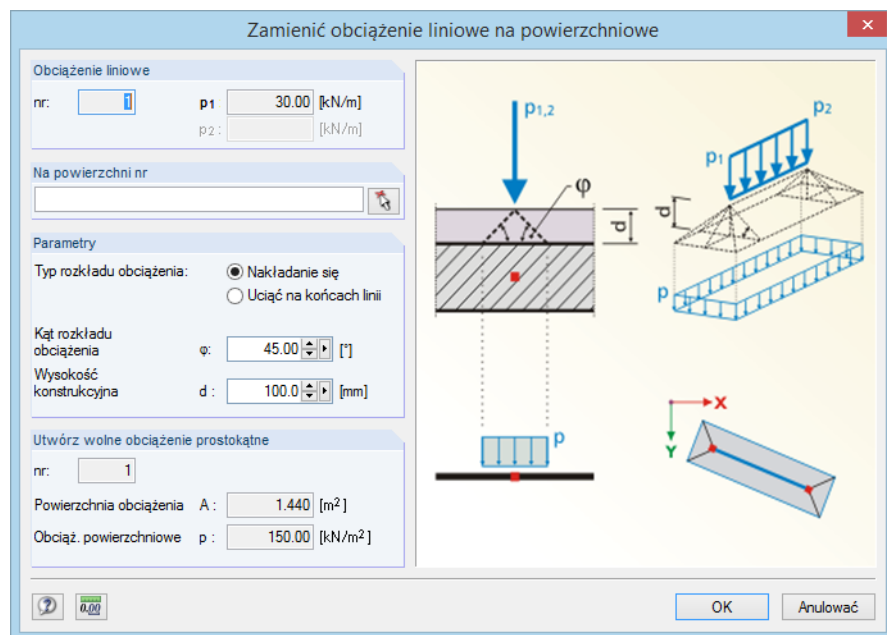
### Obciążenie na całkowitej długości linii

To pole wyboru staje się aktywne jedynie po zdefiniowaniu obciążeń trapezowych. Opcja ta pozwala nałożyć obciążenia zmienne liniowo od początku linii do końca linii. Pola wprowadzania *Parametry wprowadzania A / B* nie mają w tym wypadku zastosowania i nie są dostępne.

Obciążenia liniowe często prowadzą do powstania osobliwości, ponieważ obciążenie zostaje skupione podczas wprowadzania go na pojedynczej linii. Aby zminimalizować ten efekt, należy wybrać opcję **Zamień obciążenie węzłowe/liniowe na obciążenie powierzchniowe** w menu **Narzędzia**. Opcja ta może być użyta dla linii prostych. Oprócz tego można wykorzystać menu kontekstowe obciążenia liniowego, pokazane na lewym marginesie tej strony, aby otworzyć okno dialogowe służące do zamiany obciążeń liniowych. Menu kontekstowe otwiera się poprzez kliknięcie obiektu prawym przyciskiem myszy.



Menu kontekstowe obciążenia liniowego



Rysunek 6.21: Okno dialogowe *Zamień obciążenie liniowe na obciążenie powierzchniowe*

Otworzy się okno dialogowe, w którym definiuje się parametry dla rozkładu obciążenia. Po kliknięciu przycisku [OK], zostanie utworzone odpowiednie wolne obciążenie prostokątne lub wieloboczne.

## 6.4 Obciążenia powierzchniowe

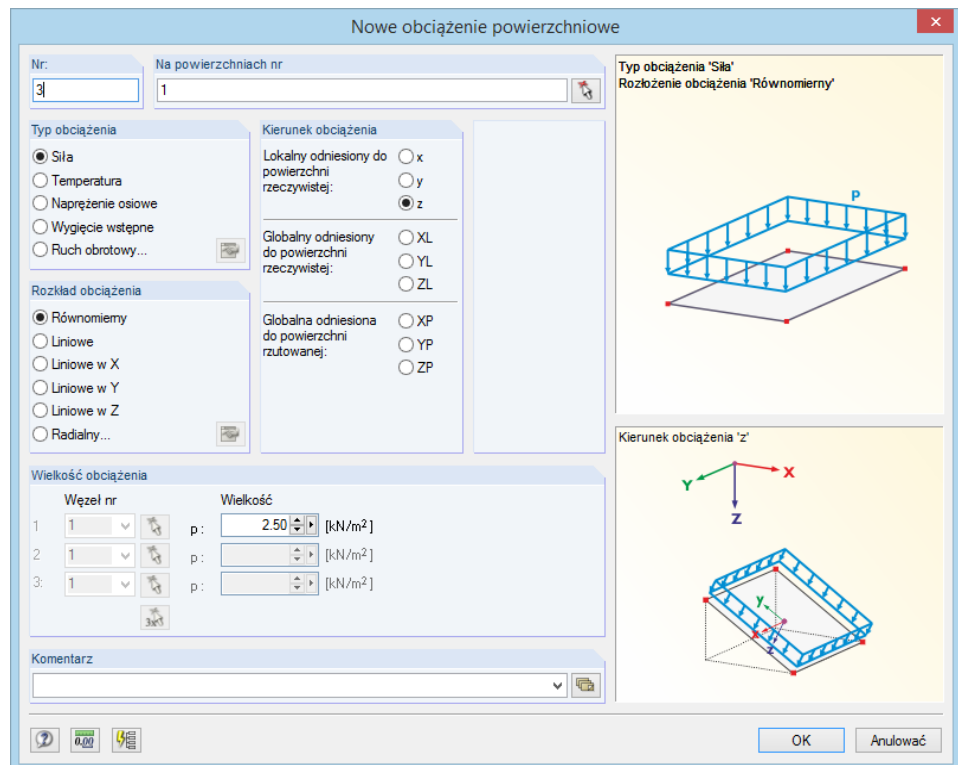
### Opis ogólny



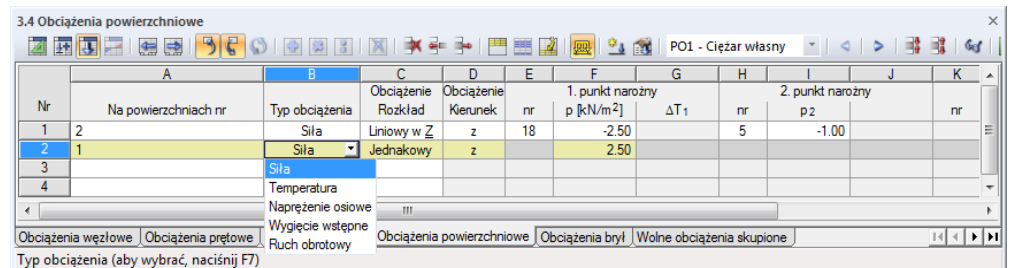
Obciążenia powierzchniowe działają na wszystkich elementach 2D powierzchni (zobacz rozdział 4.4 na stronie 80).

Obciążenie powierzchniowe można zastosować po wcześniejszym zdefiniowaniu powierzchni.

Jeżeli powierzchnia jest podzielona na elementy powierzchni ze względu na przecięcie (zobacz rozdział 4.22 na stronie 178), obciążenie powierzchniowe nie jest efektywne na elementach, które są ustawione jako nieaktywne. Otwory również są pomijane.



Rysunek 6.22: Okno dialogowe *Nowe obciążenie powierzchniowe*



Nr	Na powierzchniach nr	Typ obciążenia	Obciążenie Rozkład	Obciążenie Kierunek	nr	1. punkt narożny p [kN/m <sup>2</sup> ]	ΔT <sub>1</sub>	nr	2. punkt narożny p <sub>2</sub>	nr
1	2	Siła	Liniowy w Z	z	18	-2.50		5	-1.00	
2	1	Siła	Jednakowy	z		2.50				
3		Siła								
4		Temperatura								

Rysunek 6.23: Tabela 3.4 *Obciążenia powierzchniowe*

Numer obciążenia liniowego przydzielany jest automatycznie w oknie dialogowym *Nowe obciążenie powierzchniowe*, ale może być zmieniony w polu wprowadzania. Kolejność numerowania nie ma znaczenia.

### Na powierzchniach nr



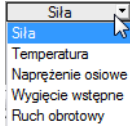
W polu tym należy wprowadzić numery powierzchni, na których działa obciążenie. W oknie dialogowym *Nowe obciążenie powierzchniowe*, powierzchnie można wybrać również graficznie przy użyciu funkcji [F7].



W przypadku wybrania wprowadzania graficznego, pole wprowadzania nie będzie dostępne, dopóki nie zostaną wprowadzone dane obciążenia. Po kliknięciu przycisku [OK], można wybrać kolejno odpowiednie powierzchnie w oknie roboczym.

### Typ obciążenia

W tej sekcji okna dialogowego lub w kolumnie tabeli definiuje się typ obciążenia. W zależności od dokonanej wyboru, poszczególne części okna dialogowego lub odpowiednie kolumny tabeli będą zablokowane. Do wyboru dostępne są następujące typy obciążenia:

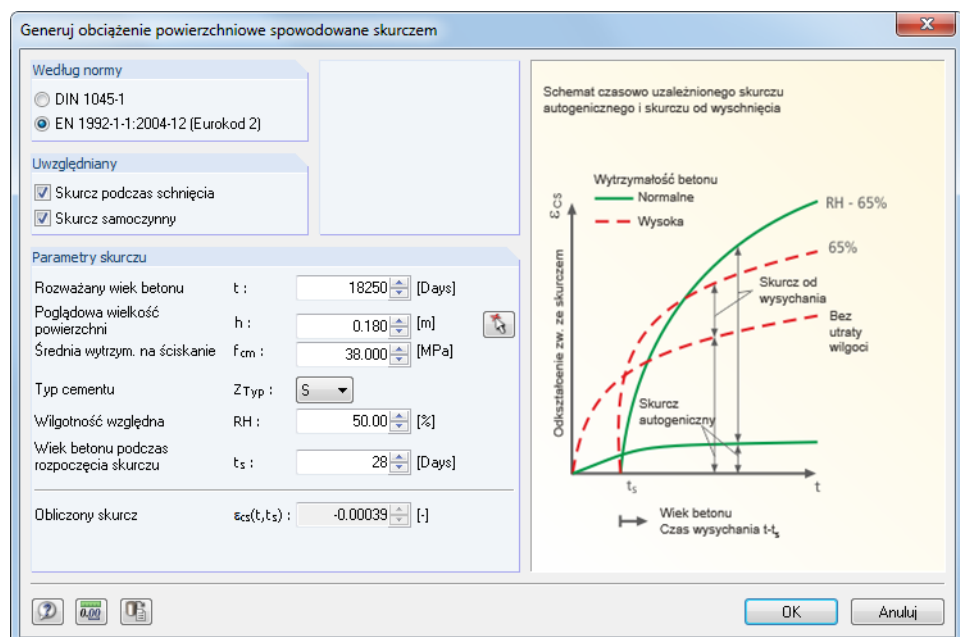


Typ obciążenia	Krótki opis
Siła	Równomiernie rozłożona lub zmienna liniowo siła na powierzchni
Temperatura	Obciążenie termiczne rozłożone w sposób równomierny lub zmienny liniowo na grubości powierzchni. Dodatnia wartość obciążenia oznacza, że powierzchnia nagrzewa się na swojej górnej stronie.
Naprężenie osiowe	Wymuszone odkształcenie rozciągające lub ściskające $\epsilon$ powierzchni. Dodatnia wartość obciążenia oznacza, że powierzchnia jest rozciągana. Przy użyciu przycisku pokazanego na lewym marginesie tej strony można określić odkształcenie spowodowane przez skurcz. Otworzy się okno dialogowe pokazane na: Rysunek 6.24, w którym można wprowadzić parametry dla skurczu.
Wygięcie wstępne	Wymuszone zakrzywienie powierzchni
Ruch obrotowy	Siła odśrodkowa od masy i prędkości kątowej $\omega$ na bryle W osobnym oknie dialogowym, które otwiera się przy użyciu przycisku [Edytować], należy określić oś obrotu.



Tabela 6.6: Typy obciążenia

Parametry dla obciążeń powierzchniowych i prętowych wywołanych skurczem można zdefiniować w osobnym oknie dialogowym.



Rysunek 6.24: Okno dialogowe *Generować obciążenie powierzchniowe wywołane skurczem*

Skurcz, jako zależną od czasu zmianę objętości bez oddziaływania obciążenia zewnętrznego lub wpływu temperatury, można zaklasyfikować jako skurcz od wysychania, skurcz samoczynny, skurcz plastyczny oraz skurcz karbonatyzacyjny.

Na podstawie wartości, które wpływają na proces kurczenia (wilgotność względna  $RH$ , grubość efektywna konstrukcji  $h$ , wytrzymałość betonu  $f_{cm}$ , typ cementu  $Z_{type}$ , wiek betonu na początku skurczu  $t_s$ ), program RFEM określa skurcz  $\varepsilon_{cs}(t, t_s)$  w momencie rozważanego wieku betonu  $t$ .

Kliknięcie przyciski [OK] spowoduje przeniesienie tej wartości jako odkształcenia osiowego  $\varepsilon$  do okna dialogowego *Nowe obciążenie powierzchniowe*.

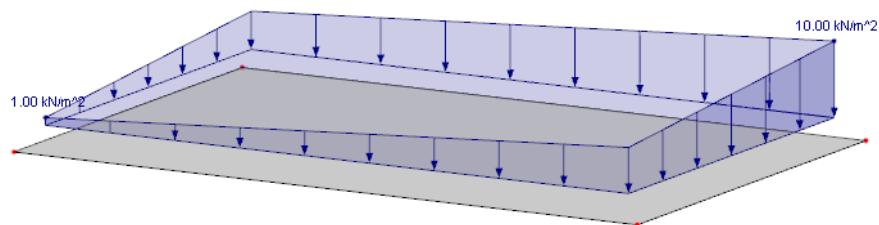
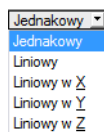
## Rozkład obciążenia

Obciążenie może działać na powierzchni jako *Równomierne* lub *Liniowe* (zmienne).

Program RFEM oferuje kilka możliwości dla obciążeń zmiennych liniowo:

### Liniowe

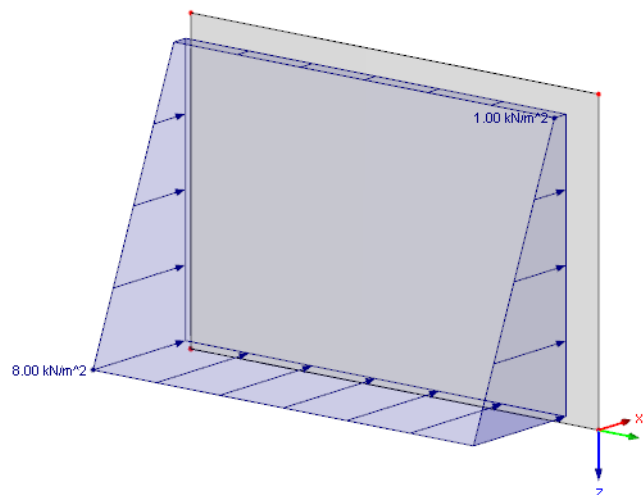
Wartości obciążenia definiuje się dla trzech węzłów. Węzły te są wykorzystywane do zdefiniowania płaszczyzny.



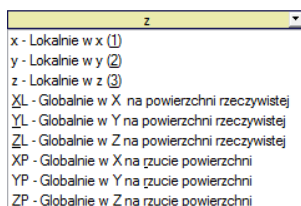
Rysunek 6.25: Zmienne liniowo obciążenie powierzchniowe

### Liniowe w X / Y / Z

Jeżeli obciążenie powierzchniowe jest zmienne w kierunku osi globalnego układu współrzędnych, wymagane są wartości obciążenia jedynie dwóch węzłów. Węzły te mogą leżeć poza powierzchnią obciążoną pod warunkiem, że są tam generowane węzły ES (węzły te nie mogą być wolne).



Rysunek 6.26: Obciążenie powierzchniowe, które zmienia się liniowo w kierunku Z



### Kierunek obciążenia

Obciążenia może oddziaływać w kierunku lokalnych osi powierzchni  $x, y, z$  lub osi globalnych  $X, Y, Z$ .

#### Lokalny odniesiony do powierzchni rzeczywistej

Obciążenia oddziałujące pionowo do powierzchni są zwykle definiowane jako lokalne w kierunku  $z$ . Przykładem takiego oddziaływania są obciążenia wiatrem działające na powierzchnie dachowe lub ciśnienie wewnętrzne wywierane na ściany zbiornika.

Aby wyświetlić osie powierzchni, należy kliknąć *Model* w nawigatorze *Wyświetl*, a następnie wybrać *Powierzchnie* i zaznaczyć pole wyboru dla *Układów osi powierzchni  $x, y, z$* . W tym samym celu można wykorzystać również menu kontekstowe powierzchni (zobacz Rysunek 4.115 na stronie 126).

#### Globalny odniesiony do powierzchni rzeczywistej

Orientacja lokalnych osi powierzchni nie ma znaczenia dla obliczeń według liniowej analizy statycznej, jeżeli obciążenie oddziałuje w kierunku osi globalnego układu współrzędnych  $XYZ$ . Niemniej, podczas obliczeń nieliniowych możliwe są różnice pomiędzy obciążeniami zdefiniowanymi lokalnie i globalnie. Jeżeli obciążenie zdefiniowane jest z globalnym kierunkiem oddziaływania, kierunek ten zostanie zachowany podczas skręcania elementów skończonych. W przypadku lokalnego kierunku, obciążenie zostanie skręcone zgodnie ze zniekształceniem elementów.

#### Globalny odniesiony do powierzchni rzutowanej

Obciążenie zamieniane jest na rzut powierzchni w jednym z kierunków globalnych układów współrzędnych. Opcję tę można wybrać podczas definiowania na przykład obciążenia śniegiem na rzutowanym planie architektonicznym powierzchni dachu.

Rysunek w prawym dolnym rogu okna dialogowego pokazuje powierzchnie rzutowane.

### Parametry obciążenia powierzchniowego

W tej sekcji okna dialogowego lub w kolumnach tabeli zarządza się wartościami obciążenia i ewentualnie przydzielonymi węzłami. Pola wprowadzania są oznaczone i dostępne w zależności od wcześniej aktywowanych pól wyboru.

#### Obciążenie $p / p_2 / p_3 / T / \Delta T / \varepsilon / R / \omega / \alpha$

W tych polach wprowadza się wartości obciążenia. Następnie należy dostosować znaki według globalnych lub lokalnych orientacji osi.

W przypadku wybrania obciążenia zmiennego liniowo, należy określić kilka wartości obciążenia. Grafika w prawym górnym rogu okna dialogowego pokazuje parametry obciążenia.

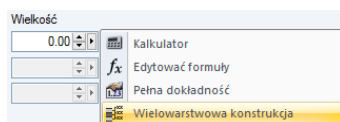
#### Węzły

W przypadku wybrania obciążenia zmiennego liniowo, należy określić trzy węzły, na których zostaną zdefiniowane wielkości obciążenia. Węzły te są wykorzystywane do zdefiniowania płaszczyzny. W oknie dialogowym można również wybrać węzły graficznie przy użyciu funkcji [^].

#### Obciążenie konstrukcji wielowarstwowej

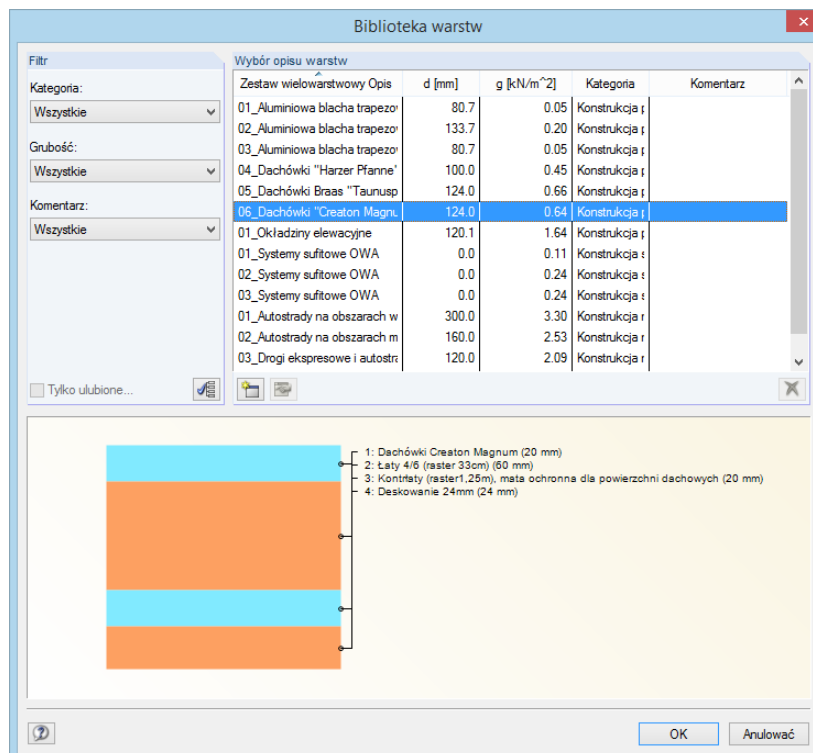
W programie można tworzyć obciążenia na podstawie ciężaru materiałów powierzchni oddziałujących jako elementy uwarstwione. W ten sposób można łatwo określić na przykład konstrukcje stropów lub pokryć podłogowych.

Funkcja ta znajduje się w oknie dialogowym *Nowe obciążenie powierzchniowe* (Rysunek 6.22 – aby je otworzyć należy kliknąć przycisk [►], znajdujący się po prawo od pola wprowadzania *Wielkość*). W menu kontekstowym należy wybrać *Wielowarstwowa konstrukcja*.





Otworzy się *Biblioteka multiwarstw*, w której można wprowadzić swoje własne warstwy materiału.



Rysunek 6.27: Okno dialogowe *Biblioteka multiwarstw*



Biblioteka multiwarstw jest podobna do biblioteki materiałów (zobacz rozdział 4.3 na stronie 76). Przyciski w bibliotece [Nowy] i [Edytować] służą do tworzenia lub modyfikacji konstrukcji wielowarstwowych.

Warstwy						
Warstwa nr	A Warstwa / materiału	B Grubość d [mm]	C Otwór bezpośrednio	D Ciężar właściwy $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	E Ciężar powierzchni g [kN/m <sup>2</sup> ]	F Komentarz
1	Płyta wiórowa	20.0	<input checked="" type="checkbox"/>		0.14	
2	Płyta OSB	20.0	<input checked="" type="checkbox"/>		0.14	
3	Beton C20	220.0	<input checked="" type="checkbox"/>		5.50	
4						
		$\Sigma d$ :	260.0	$\Sigma g$ :		5.78
Komentarze:						
<input type="text"/>						

Rysunek 6.28: Okno dialogowe *Nowa multiwarstawa*, sekcja okna dialogowego *Warstwy*



*Warstwy* można połączyć pojedynczo. Oprócz tego można wykorzystać przycisk [...], aby otworzyć bibliotekę materiałów (zobacz rozdział 4.3 na stronie 76).

Program RFEM określa ciężar powierzchni (kolumna D) na podstawie *Grubości* i *Ciężaru właściwego*. Strzałka w grafice okna dialogowego wskazuje bieżącą warstwę.

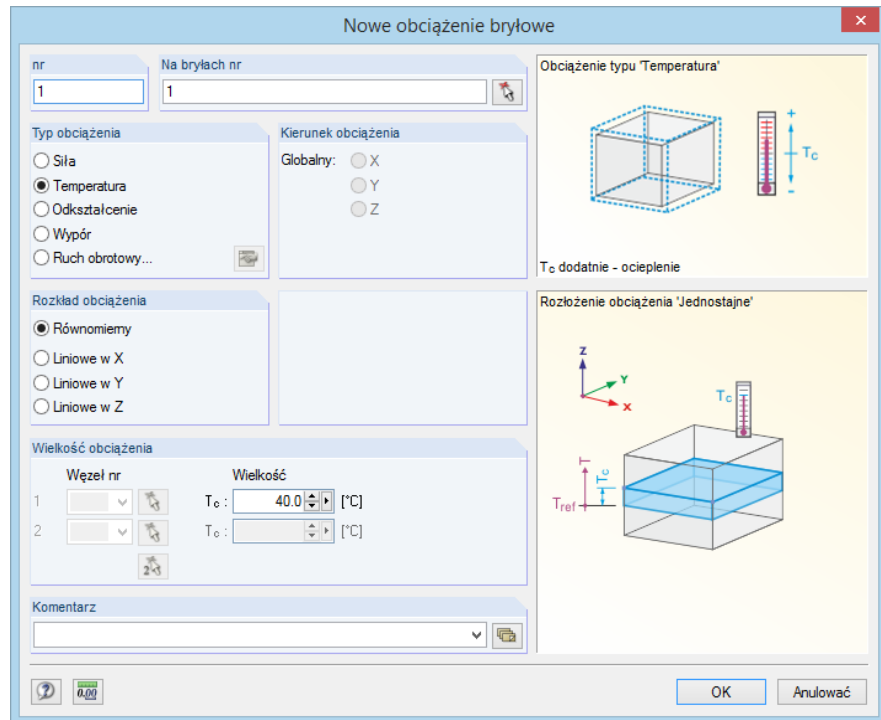
Po kliknięciu [OK] we wszystkich oknach dialogowych, ciężar powierzchni zostanie zaimportowany do początkowego okna dialogowego. W polu wprowadzania pojawi się zielony trójkąt (zobacz rysunek pokazany na lewym marginesie strony 248), wskazujący dane parametryzowane. Kliknięcie tego trójkąta pozwoli na ponowne otwarcie parametrów początkowych w celu ich modyfikacji.

## 6.5 Obciążenie bryłowe

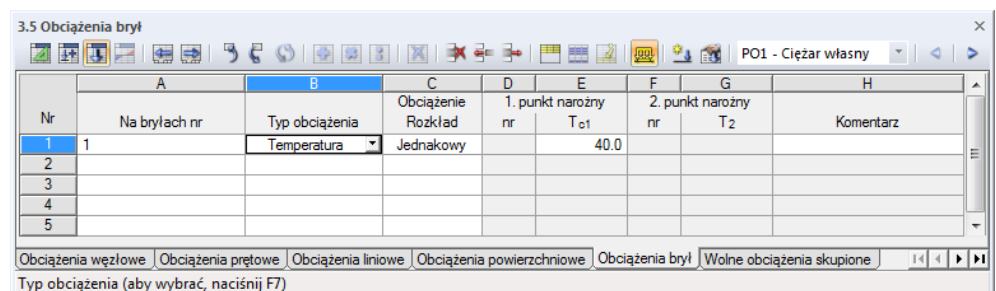
### Opis ogólny

Obciążenia bryłowe oddziałują na wszystkich elementach 3D bryły (zobacz rozdział 4.5 na stronie 91).

Obciążenie bryłowe można zastosować po wcześniejszym zdefiniowaniu bryły.



Rysunek 6.29: Okno dialogowe *Nowe obciążenie bryłowe*



Nr	A	B	C	D	E	F	G	H
	Na bryłach nr	Typ obciążenia	Obciążenie Rozkład	1. punkt narożny nr	Tc1	2. punkt narożny nr	T2	Komentarz
1	1	Temperatura	Jednakowy		40.0			
2								
3								
4								
5								

Rysunek 6.30: Tabela 3.5 *Obciążenia bryłowe*

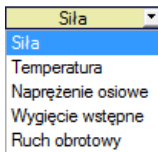
Numer obciążenia bryłowego przydzielany jest automatycznie w oknie dialogowym *Nowe obciążenie bryłowe*, ale można zmienić go w polu wprowadzania. Kolejność numerowania nie ma znaczenia.

### Na bryłach

W polu tym należy wprowadzić numery brył, na których działa obciążenie. W oknie dialogowym *Nowe obciążenie bryłowe*, powierzchnie można wybrać również graficznie przy użyciu funkcji [↵].

W przypadku wybrania wprowadzania graficznego, pole wprowadzania nie będzie dostępne, dopóki nie zostaną wprowadzone dane obciążenia. Po kliknięciu przycisku [OK] można wybrać odpowiednie bryły jedna po drugiej w oknie roboczym.





## Typ obciążenia

W tej sekcji okna dialogowego lub w kolumnie tabeli definiuje się typ obciążenia. Do wyboru dostępne są następujące typy obciążenia:

Typ obciążenia	Krótki opis
Siła	Obciążenie bryłowe działające równomiernie w jednym z kierunków globalnych
Temperatura	Zmiany temperatury w bryle rozłożone w sposób równomierny lub zmienny liniowo. Dodatnia wartość obciążenia oznacza nagrzewanie.
Odształcenie	Wymuszone odkształcenie ściskające bryły, które jest równomiernie rozłożone lub zmienne liniowo. Dodatnia wartość obciążenia oznacza, że bryła jest rozciągana.
Wypór	Ciężar wypchanego materiału, którego gęstość można wprowadzić lub wybrać z [Biblioteki]. <i>Gęstość środowiska</i> w opcji <i>Powietrze</i> odnosi się do standardowej atmosfery w temperaturze 15°C na poziomie morza.
Ruch obrotowy	Siła odśrodkowa od masy i prędkości kątowej $\omega$ na bryle. W osobnym oknie dialogowym, które otwiera się przy użyciu przycisku [Edytować], należy określić oś obrotu.

Tabela 6.7: Typy obciążeń

Więcej sił można zastosować na bryle w postaci obciążeń powierzchniowych lub liniowych.

## Rozkład obciążenia

Obciążenie może działać na powierzchni jako *Równomierne* lub zmienne *Liniowe*. Odnosi się ono do jednej z globalnych osi X, Y lub Z.

W przypadku wybrania obciążeń zmiennych liniowo, należy określić wartości obciążenia dwóch węzłów. Węzły mogą leżeć poza obciążoną bryłą pod warunkiem, że są tam generowane węzły ES.

## Wielkość obciążenia

W tej sekcji okna dialogowego lub w kolumnach tabeli zarządza się wartościami obciążenia i ewentualnie przydzielonymi węzłami. Pola wprowadzania są oznaczone i dostępne w zależności od wcześniej aktywowanych pól wyboru.

### Węzły

W przypadku wybrania obciążenia zmiennego liniowo, należy określić dwa węzły, na których program RFEM będzie mógł określić wielkości. Węzły te są wykorzystywane do zdefiniowania płaszczyzny. W oknie dialogowym można również wybrać węzły graficznie przy użyciu funkcji [^].

### Wielkość

W przypadku równomiernego rozkładu obciążenia, wymagana jest tylko jedna wartość numeryczna. Dla zmiennej liniowo zmiany temperatury lub odkształcenia osiowego należy określić dwie wartości obciążenia.

Rysunki w oknie dialogowym *Nowe obciążenie bryłowe* pomagają podczas wprowadzania parametrów obciążenia.



## 6.6 Wolne obciążenia skupione

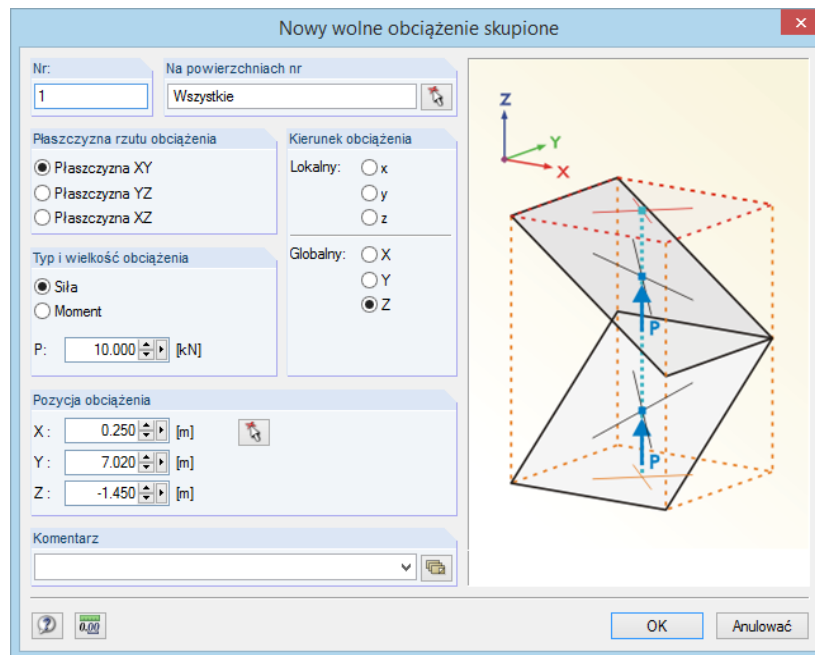
### Opis ogólny



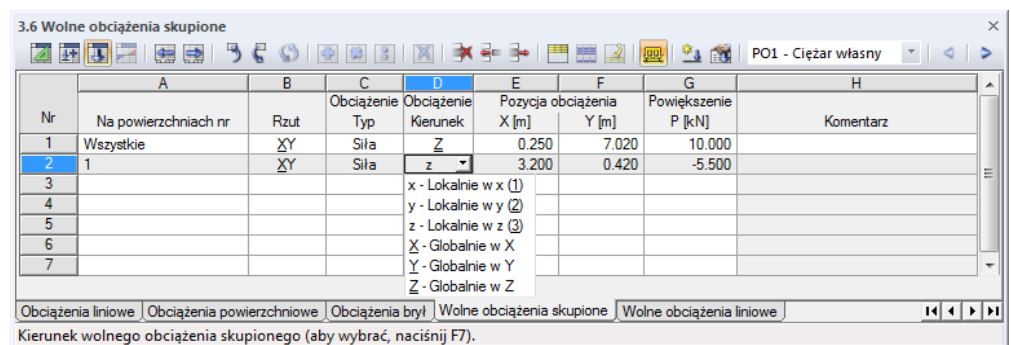
Wolne obciążenie skupione działa jako siła lub moment w dowolnym miejscu na powierzchni. W punkcie przyłożenia obciążenia nie zostaną wygenerowane żadne węzły ES.

Wolne obciążenie skupione można zastosować po wcześniejszym zdefiniowaniu powierzchni.

Reakcje podpór węzłowych, które zostały zaimportowane z innego modelu przy użyciu funkcji *Zaimportować reakcje podporowe jako obciążenie* (zobacz Rysunek 8.14 na stronie 313), traktowane są jako wolne obciążenia skupione.



Rysunek 6.31: Okno dialogowe *Nowe wolne obciążenie skupione*



Nr	Na powierzchniach nr	Rzut	Obciążenie Typ	Obciążenie Kierunek	Pozycja obciążenia X [m]	Pozycja obciążenia Y [m]	Powiększenie P [kN]	Komentarz
1	Wszystkie	XY	Siła	Z	0.250	7.020	10.000	
2	1	XY	Siła	z	3.200	0.420	-5.500	
3				x - Lokalnie w x (1)				
4				y - Lokalnie w y (2)				
5				z - Lokalnie w z (3)				
6				X - Globalnie w X				
7				Y - Globalnie w Y				
				Z - Globalnie w Z				

Rysunek 6.32: Tabela 3.6 *Wolne obciążenia skupione*

### Na powierzchniach nr



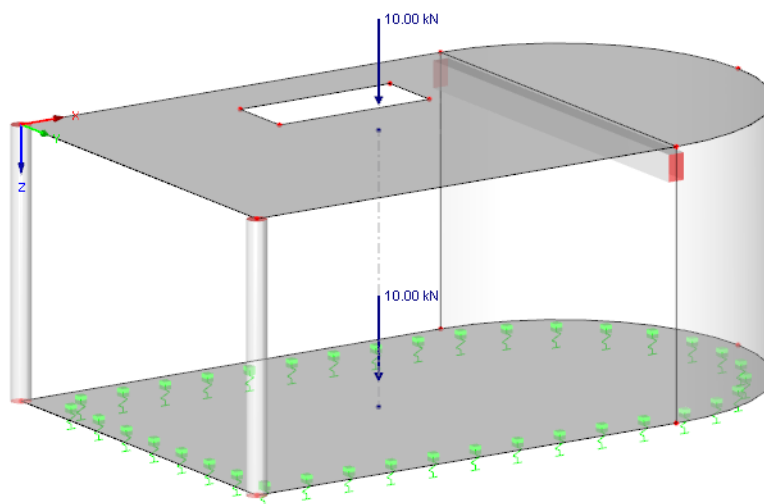
W polu tym należy wprowadzić numery powierzchni, na których działa obciążenie. W oknie dialogowym *Nowe wolne obciążenie skupione*, powierzchnie można wybrać również graficznie przy użyciu funkcji [↵].

Zaczynając od zdefiniowanej *Pozycji obciążenia*, nierzeczywista linia prosta jest "wstawiana" prostopadle do płaszczyzny rzutowanej. Jeżeli linia ta przetnie jakąkolwiek z wymienionych powierzchni, w punkcie przecięcia zostanie zastosowane obciążenie skupione. W ten sposób można szybko przydzielić obciążenia podobnego typu do kilku powierzchni.

### Płaszczyzna rzutu obciążenia

Obciążenie można rzutować na jedną z płaszczyzn globalnych XY, YZ lub XZ. Jak opisano powyżej, tworzona jest nierezeczywista linia, zaczynająca się w położeniu obciążenia i przebiegająca prostopadle do płaszczyzny rzutowania. Obciążenie stosowane jest w każdym miejscu, gdzie linia ta przecina powierzchnię.

Płaszczyzna rzutowania nie może być pionowa do powierzchni, na której działa obciążenie, gdyż w takim przypadku nie istnieje jednoznaczny punkt przecięcia z powierzchnią.



Rysunek 6.33: Wolne obciążenie skupione działające na strop: płaszczyzna rzutu obciążenia XY z wpływem na płytę stropową i płytę podłogową

### Typ i wielkość obciążenia

Do wyboru użytkownika są: pojedyncza siła lub moment skupiony. W polu wprowadzania znajdującym się poniżej wprowadza się wartość numeryczną siły skupionej lub momentu.

### Kierunek obciążenia

Obciążenie może działać w kierunku osi globalnych X, Y, Z lub lokalnych osi powierzchni x, y, z. Osie te wyświetla się przy użyciu menu kontekstowego (zobacz Rysunek 4.115 na stronie 126) lub nawigatora *Wyświetl*, w którym wybiera się **Model** → **Powierzchnie** → **Układy osi powierzchni x,y,z**.

### Pozycja obciążenia

W polach wprowadzania podaje się współrzędne położenia obciążenia. W oknie dialogowym można wybrać położenie obciążenia również w sposób graficzny przy użyciu funkcji [↶].

## 6.7 Wolne obciążenia liniowe

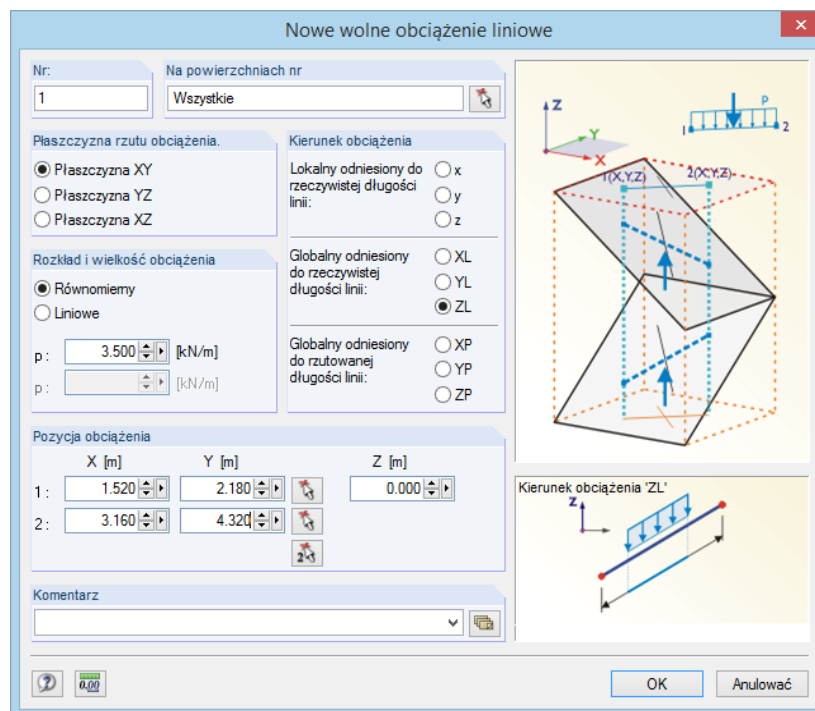
### Opis ogólny



Wolne obciążenie liniowe działa jako siła równomierna lub jako siła zmienna liniowo wzdłuż dowolnie definiowalnej linii lub powierzchni. Wzdłuż tej linii nie zostaną wygenerowane żadne węzły ES.

Wolne obciążenie liniowe można zastosować po wcześniejszym zdefiniowaniu powierzchni.

Reakcje podpór liniowych, które zostały zaimportowane z innego modelu przy użyciu funkcji *Zaimportować reakcje podporowe jako obciążenie* (zobacz Rysunek 8.14 na stronie 313), traktowane są jako wolne obciążenia liniowe.



Rysunek 6.34: Okno dialogowe *Nowe wolne obciążenie liniowe*

3.7 Wolne obciążenia liniowe											
Nr	Na powierzchniach nr	Rzut	Obciążenie	Obciążenie	Pozycja obciążenia				Powiększenie [kN/m]		Komentarz
					Jednakowy	Kierunek	X <sub>1</sub> [m]	Y <sub>1</sub> [m]	X <sub>2</sub> [m]	Y <sub>2</sub> [m]	
1	4,5	XY	Jednakowy	ZL	1.520	2.180	3.160	4.320	3.500		
2	1,3	XY	Liniowy	ZL	4.700	4.700	8.120	3.300	1.200		
3											
4											
5											
6											

Rysunek 6.35: Tabela 3.7 *Wolne obciążenia liniowe*

### Na powierzchniach nr



W polu tym należy wprowadzić numery powierzchni, na których działa obciążenie. W oknie dialogowym *Nowe wolne obciążenie liniowe*, powierzchnie można wybrać również graficznie przy użyciu funkcji [↵].

Zaczynając od zdefiniowanej *Pozycji obciążenia*, dwie nierzeczywiste linie proste są "wstawiane" prostopadłe do płaszczyzny rzutowanej. Jeżeli linie te przetną jakąkolwiek z

wymiarowanych powierzchni, na linii łączącej oba punkty przecięcia zostanie zastosowane obciążenie. W ten sposób można szybko przydzielić obciążenia podobnego typu do kilku powierzchni.

### Płaszczyzna rzutu obciążenia

Obciążenie można rzutować na jedną z płaszczyzn globalnych XY, YZ lub XZ. Jak opisano powyżej, tworzone są dwie nierzeczywiste linie, obie zaczynające się w punktach położenia obciążenia i przebiegające prostopadle do płaszczyzny rzutowania. Zakłada się, że punkty początkowe i końcowe wolnego obciążenia liniowego znajdują się w miejscach gdzie linie te przecinają powierzchnię.

Płaszczyzna rzutowania nie może być pionowa do powierzchni, na której działa obciążenie, gdyż w takim przypadku nie istnieje jednoznaczny punkt przecięcia z powierzchnią.

### Rozkład i wielkość obciążenia

Określa się tutaj, czy stosowana jest siła równomierna, czy siła zmienna liniowo. W polu wprowadzania znajdującym się w poniżej wprowadza się jedną lub dwie wartości numeryczne obciążenia liniowego.

### Kierunek obciążenia

Obciążenie może działać w kierunku osi globalnych X, Y, Z lub lokalnych osi powierzchni x, y, z. Obciążenia działające prostopadle do powierzchni zwykle powinny być definiowane jako lokalne w kierunku z.

Jeżeli obciążenie działające globalnie nie przebiega prostopadle do linii, wpływ obciążenia może zostać odniesiony do różnych długości:

- **Lokalny odniesiony do rzeczywistej długości linii**

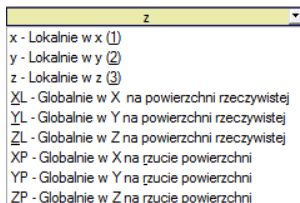
Obciążenie jest stosowane na całej długości linii.

- **Globalny odniesiony do rzutowanej długości linii**

Długość, na której działa obciążenie jest zamieniana na rzut linii w jednym z kierunków globalnych układów współrzędnych. Długości rzutu są pokazane na rysunku w prawej części okna dialogowego.

### Pozycja obciążenia

W polach wprowadzania podaje się współrzędne położenia obciążenia. W oknie dialogowym można wybrać położenie obciążenia również w sposób graficzny przy użyciu funkcji [↵].

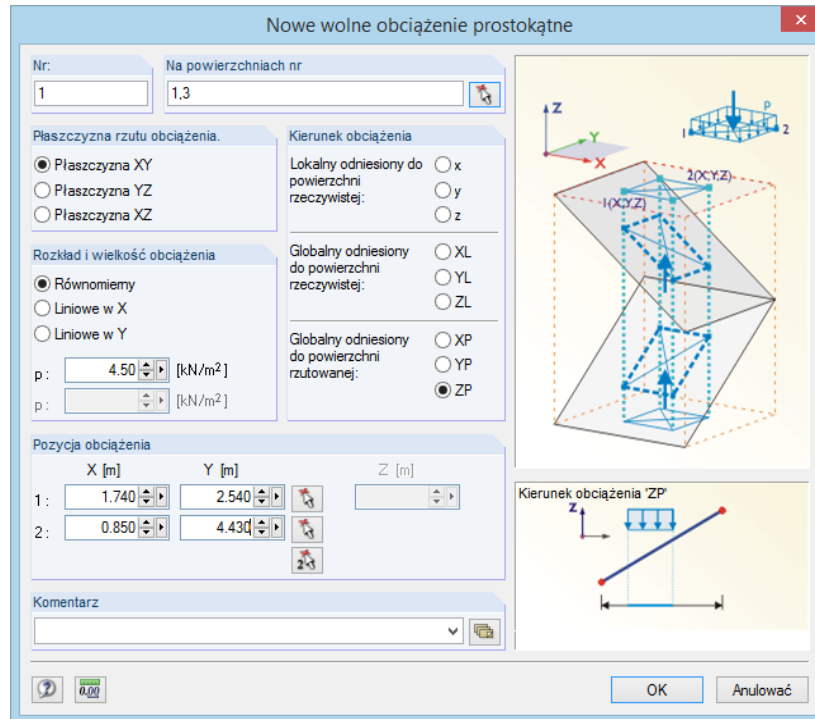


## 6.8 Wolne obciążenia prostokątne

### Opis ogólny



Wolne obciążenie prostokątne działa jako równomierne lub zmienne liniowo obciążenie powierzchniowe na prostokątnym obszarze powierzchni, który można dowolnie definiować.



Rysunek 6.36: Okno dialogowe *Nowe wolne obciążenie prostokątne*

Nr	Na powierzchniach nr	Rzut	Obciążenie Rozkład	Obciążenie Kierunek	Pozycja obciążenia				Powiększenie [kN/m <sup>2</sup> ]		Komentarz
					X <sub>1</sub> [m]	Y <sub>1</sub> [m]	X <sub>2</sub> [m]	Y <sub>2</sub> [m]	p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub>	
1	1,3	XY	Jednakowy	ZP	1.740	2.540	0.850	4.430	4.500		
2	1										
3											
4											
5											
6											

Rysunek 6.37: Tabela 3.8 *Wolne obciążenia prostokątne*

### Na powierzchniach nr



W polu tym należy wprowadzić numery powierzchni, na których działa obciążenie. W oknie dialogowym *Nowe wolne obciążenie prostokątne*, powierzchnie można wybrać również graficznie przy użyciu funkcji [↵].

Zaczynając od zdefiniowanej *Pozycji obciążenia*, dwie nierzeczywiste linie proste są "wstawiane" prostopadle do płaszczyzny rzutowanej. Jeżeli linie te przetną jakąkolwiek z wymiarowanych powierzchni, na przekątnej łączącej oba punkty przecięcia zostanie zastosowane obciążenie. W ten sposób można szybko przydzielić obciążenia podobnego typu do kilku powierzchni.



### Płaszczyzna rzutu obciążenia

Obciążenie można rzutować na jedną z płaszczyzn globalnych XY, YZ lub XZ. Jak opisano powyżej, tworzone są dwie nierzeczywiste linie, obie zaczynające się w punktach położenia obciążenia i przebiegające prostopadle do płaszczyzny rzutowania. Zakłada się, że punkty początkowe i końcowe przekątnej prostokąta znajdują się w miejscach, gdzie linie te przecinają powierzchnię.

Płaszczyzna rzutowania nie może być pionowa do powierzchni, na której działa obciążenie, gdyż w takim przypadku nie istnieje jednoznaczny punkt przecięcia z powierzchnią.

### Rozkład i wielkość obciążenia

Określa się tutaj, czy stosowane jest obciążenie równomierne, czy obciążenie zmienne liniowo. W polu wprowadzania, znajdującym się w dolnej części okna dialogowego, wprowadza się jedną lub dwie wartości numeryczne obciążenia powierzchniowego.

### Kierunek obciążenia

Obciążenie może działać w kierunku osi globalnych X, Y, Z lub lokalnych osi powierzchni x, y, z.

- **Lokalny odniesiony do powierzchni rzeczywistej**

Obciążenia działające pionowo do powierzchni są zwykle definiowane jako lokalne w kierunku **z**.

- **Globalny odniesiony do powierzchni rzeczywistej**

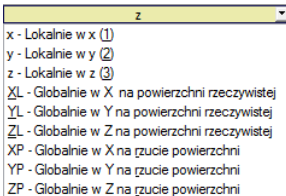
Orientacja lokalnych osi powierzchni nie ma znaczenie w przypadku obliczeń według liniowej analizy statycznej, jeżeli obciążenie działa w kierunku osi globalnego układu współrzędnych XYZ. Przykładem odniesienia obciążenia do powierzchni rzeczywistej jest ciężar własny.

- **Globalny odniesiony do powierzchni rzutowanej**

Obciążenie jest zamieniane na rzut powierzchni w jednym z kierunków globalnych układów współrzędnych. Przykład zastosowania stanowi obciążenie śniegiem. Grafika w prawym dolnym rogu okna dialogowego pokazuje powierzchnię rzutowaną.

### Pozycja obciążenia

W polach wprowadzania podaje się współrzędne położenia obciążenia. W oknie dialogowym można wybrać położenie obciążenia również w sposób graficzny przy użyciu funkcji [↵].

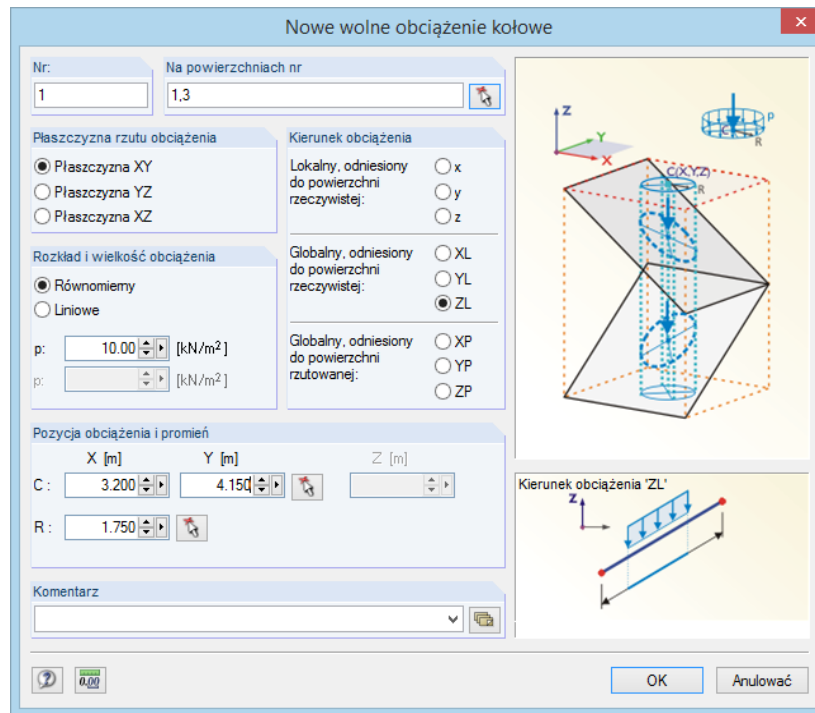


## 6.9 Wolne obciążenia kołowe

### Opis ogólny



Wolne obciążenie kołowe działa jako równomierne lub zmienne liniowo obciążenie powierzchniowe na kołowym obszarze powierzchni, który można dowolnie definiować.



Rysunek 6.38: Okno dialogowe *Nowe wolne obciążenie kołowe*

Nr	Na powierzchniach nr	Rzut	Obciążenie Rozkład	Obciążenie Kierunek	Pozycja obciążenia		Promień	Powiększenie [kN/m <sup>2</sup> ]		Komentarz
					X <sub>1</sub> [m]	Y <sub>1</sub> [m]	R [m]	p <sub>C</sub>	p <sub>R</sub>	
1	1,3	XY	Jednakowy	ZL	3.200	4.150	1.750	10.000		
2										
3										
4										
5										
6										
7										

Rysunek 6.39: Tabela 3.9 *Wolne obciążenia kołowe*

### Na powierzchniach nr



W polu tym należy wprowadzić numery powierzchni, na których działa obciążenie. W oknie dialogowym *Nowe wolne obciążenie kołowe*, powierzchnie można wybrać również graficznie przy użyciu funkcji [↵].

Zaczynając od zdefiniowanej *Pozycji obciążenia*, nierzeczywista linia prosta jest "wstawiana" prostopadłe do płaszczyzny rzutowanej. Jeżeli linia ta przetnie jakąkolwiek z wymienionych powierzchni, w punkcie przecięcia stanowiącym środek okręgu o promieniu  $R$  zostanie zastosowane obciążenie kołowe. W ten sposób można szybko przydzielić obciążenia podobnego typu do kilku powierzchni.

### Płaszczyzna rzutu obciążenia

Obciążenie można rzutować na jedną z płaszczyzn globalnych XY, YZ lub XZ. Jak opisano powyżej, tworzona jest nierezeczywista linia, zaczynająca się w położeniu obciążenia i przebiegająca prostopadle do płaszczyzny rzutowania. Środek obciążenia kołowego przyjmowany jest w każdym miejscu, gdzie linia ta przecina powierzchnię.

Płaszczyzna rzutowania nie może być pionowa do powierzchni, na której działa obciążenie, gdyż w takim przypadku nie istnieje jednoznaczny punkt przecięcia z powierzchnią.

### Rozkład i wielkość obciążenia

Określa się tutaj, czy stosowane jest obciążenie równomierne, czy obciążenie zmienne liniowo. W polu wprowadzania znajdującym się w dolnej części okna dialogowego wprowadza się jedną lub dwie wartości numeryczne obciążenia powierzchniowego.

### Kierunek obciążenia

Obciążenie może działać w kierunku osi globalnych X, Y, Z lub lokalnych osi powierzchni x, y, z. Kierunki obciążenia zostały opisane w poprzednim rozdziale 6.8 na stronie 256.

### Pozycja obciążenia i promień



W polach wprowadzania podaje się współrzędne środka C obciążenia kołowego. W oknie dialogowym można wybrać położenie obciążenia również w sposób graficzny przy użyciu funkcji [↵].



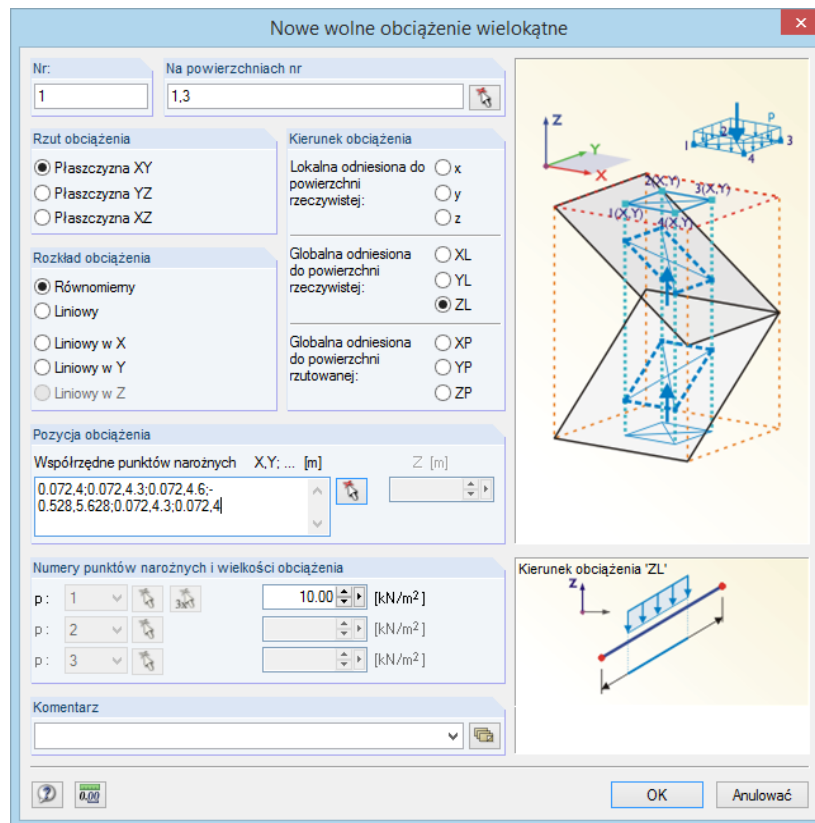
Promień R kołowego obciążenia powierzchniowego wprowadza się w polu wprowadzania lub w kolumnie tabeli. W oknie dialogowym można wybrać promień również w sposób graficzny przy użyciu funkcji [↵].

## 6.10 Wolne obciążenia wielokątne

### Opis ogólny



Wolne obciążenie wielokątne działa jako równomierne lub zmienne liniowo obciążenie powierzchniowe na wielokątnym obszarze powierzchni, który można dowolnie definiować.



Rysunek 6.40: Okno dialogowe *Nowe wolne obciążenie wielokątne*

Nr	Na powierzchniach nr	Rzut	Obciążenie Rozkład	Obciążenie Kierunek	Węzły obszaru bazowego powierzchni [m] X1,Y1; X2,Y2; X3,Y3; ...	1. punkt narożny nr p1 [kN/m²]	2. punkt narożny nr p2 [kN/m²]
1	1,3	XY	Jednakowy	ZL	2.0;6.34916;-2.05933;7;-5.6.021;-5.76691	10.000	
2							
3							
4							

Rysunek 6.41: Tabela 3.10 *Wolne obciążenie wielokątne*

### Na powierzchniach nr



W polu tym należy wprowadzić numery powierzchni, na których działa obciążenie. W oknie dialogowym *Nowe wolne obciążenie wielokątne*, powierzchnie można wybrać również graficznie przy użyciu funkcji [^].

Zaczynając od punktów narożnych zdefiniowanych przez *Pozycję obciążenia*, nierzeczywiste linie proste są "wstawiane" prostopadłe do płaszczyzny rzutowanej. Jeżeli linie te przetną jakkolwiek z wymienionych powierzchni, linia łącząca punkty przecięcia będzie stanowić granicę, na której zostanie zastosowane obciążenie powierzchniowe. W ten sposób można szybko przydzielić obciążenia podobnego typu do kilku powierzchni.

### Rzut obciążenia

Obciążenie można rzutować na jedną z płaszczyzn globalnych XY, YZ lub XZ. Jak opisano powyżej, tworzone są dwie nierzeczywiste linie, obie zaczynające się w punktach położenia obciążenia i przebiegające prostopadle do płaszczyzny rzutowania. Zakłada się, że punkty narożne obciążenia wielokątnego znajdują się w miejscach, gdzie linie te przecinają powierzchnię.

Płaszczyzna rzutowania nie może być pionowa do powierzchni, na której działa obciążenie, gdyż w takim przypadku nie istnieje jednoznaczny punkt przecięcia z powierzchnią.

### Rozkład obciążenia

Określa się tutaj, czy stosowane jest obciążenie równomierne, czy obciążenie zmienne liniowo. W sekcji okna dialogowego *Numery punktów narożnych i wielkości obciążenia*, znajdującej się poniżej, można wprowadzić jedną (*Równomierne*), dwie (*Liniowe w X / Y / Z*) lub trzy (*Liniowe*) wartości numeryczne.

### Kierunek obciążenia

Obciążenie może działać w kierunku osi globalnych X, Y, Z lub lokalnych osi powierzchni x, y, z. Kierunki obciążenia zostały opisane w rozdziale 6.8 na stronie 256.

### Pozycja obciążenia



W polach wprowadzania podaje się *Współrzędne punktów narożnych*. Łańcuch wielokątny zaleca się zdefiniować graficznie przy użyciu funkcji okna dialogowego [^]. W polu wprowadzania lub w kolumnie tabeli należy wprowadzić współrzędne punktu oddzielone przecinkami. Pary współrzędnych są oddzielone od siebie średnikami.

**Przykład:** współrzędne punktów narożnych X,Y [m]      2,3;1.6,4.7;5,45;6,25;3,2

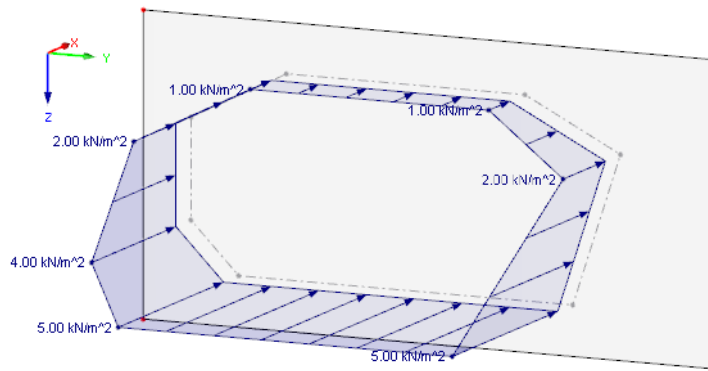
Trzeci składnik współrzędnej jest definiowany automatycznie przez płaszczyznę rzutu obciążenia. W przykładzie jest to współrzędna Z, którą można określić osobno w polu wprowadzania okna dialogowego. Podczas graficznego definiowania współrzędnych, składnik ten nie ma znaczenia, ponieważ decydujące znaczenie ma aktywna płaszczyzna robocza.

### Numery punktów narożnych i wielkości obciążenia



Podczas definiowania zmiennych liniowo obciążeń powierzchniowych, należy wprowadzić dwa (*Liniowe w X/Y/Z*) lub trzy (*Liniowe*) punkty narożne z odpowiednimi wartościami obciążenia. Możliwe jest zdefiniowanie lub wybranie na rysunku tylko tych punktów narożnych, które zostały określone w sekcji okna dialogowego *Pozycja obciążenia* do zdefiniowania linii granicznych. Nie można wybrać węzłów programu RFEM. Z tego powodu numery punktów narożnych są związane z sekwencją *Współrzędnych punktów narożnych*.

Wartość numeryczną obciążenia powierzchniowego podaje się w kolumnie tabeli lub w polu wprowadzania. W przypadku rozkładu zmiennego liniowo, należy wprowadzić dwie lub trzy wartości.



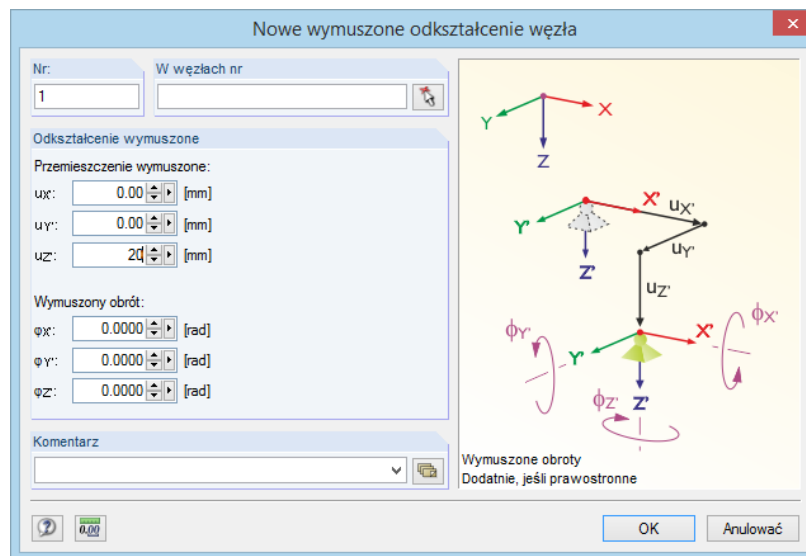
Rysunek 6.42: Obciążenie wieloboczne, które zmienia się liniowo w kierunku Z: płaszczyzna rzutu obciążenia YZ i lokalny kierunek obciążenia w z

## 6.11 Wymuszone odkształcenia węzłowe

### Opis ogólny

Wymuszone odkształcenie węzłowe jest przemieszczeniem podpieranego węzła, wywołanym na przykład osiadaniem słupa.

Wymuszone odkształcenia węzłowe można zastosować jedynie w przypadku węzłów, które są podparte na kierunku odkształcenia.



Rysunek 6.43: Okno dialogowe *Nowe wymuszone odkształcenie węzła*

3.11 Wymuszone odkształcenia węzłowe

Nr	W węzłach nr	Przemieszczenie			Obrót			Komentarz
		u <sub>x</sub> [mm]	u <sub>y</sub> [mm]	u <sub>z</sub> [mm]	φ <sub>x</sub> [rad]	φ <sub>y</sub> [rad]	φ <sub>z</sub> [rad]	
1	10,16	0.0	0.0	20.0	0.0000	0.0000	0.0000	
2								
3								
4								
5								

Lista węzłów podpartych z wymuszonym odkształceniem (np. '1-3,5,7').

Rysunek 6.44: Tabela 3.11 *Wymuszone odkształcenia węzłowe*

Numer obciążenia jest przydzielany automatycznie w oknie dialogowym *Nowe wymuszone odkształcenie węzłowe*, ale może być zmieniony w polu wprowadzania.

### W węzłach nr



W tym polu należy wprowadzić numery węzłów, na których działa odkształcenie wymuszone. W oknie dialogowym *Nowe wymuszone odkształcenie węzłowe*, węzły można wybrać również graficznie przy użyciu funkcji [↵].



W przypadku wybrania wprowadzania graficznego, pole wprowadzania nie będzie dostępne, dopóki nie zostaną wprowadzone odkształcenia. Po kliknięciu przycisku [OK], można wybrać w oknie roboczym kolejno odpowiednie powierzchnie.

### Przemieszczenie wymuszone $u_x$ / $u_y$ / $u_z$

Przemieszczenia wymuszone odnoszą się do globalnego układu współrzędnych. Jeżeli przemieszczenie podpieranego węzła nie działa równoległe do jednej z osi globalnych, jego składowe X, Y oraz Z muszą być określone i wprowadzone w odpowiednich polach wprowadzania.

Rysunek w oknie dialogowym pokazuje, w jaki sposób działają przemieszczenia oraz znaki.

### Wymuszony obrót $\varphi_x$ / $\varphi_y$ / $\varphi_z$

Obroty węzła odnoszą się również do globalnego układu współrzędnych X,Y,Z. Dlatego należy określić składowe X, Y oraz Z dla ukośnego obrotu wymuszonego.

Dodatni obrót wymuszony działa zgodnie z ruchem wskazówek zegara wokół odpowiedniej dodatniej osi globalnej.

## 6.12 Wymuszone przemieszczenia liniowe

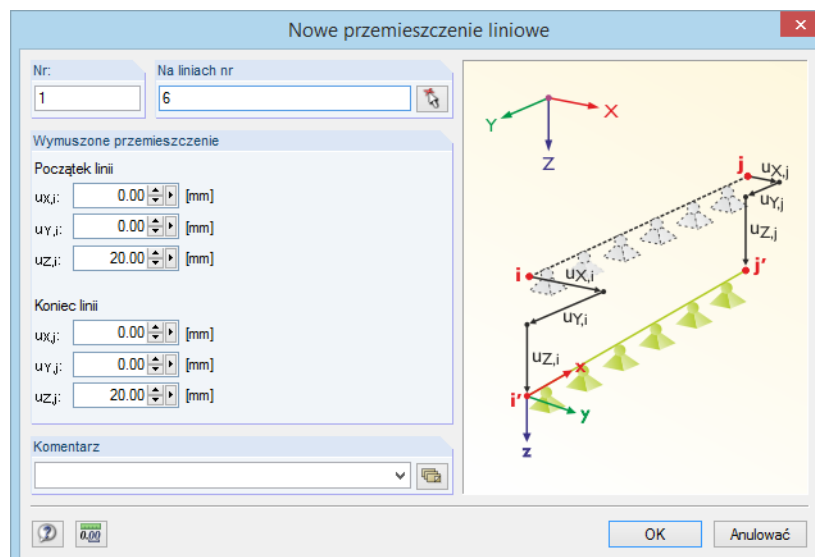
### Opis ogólny



Wymuszone przemieszczenie liniowe jest przemieszczeniem podpieranej linii, wywołanym na przykład osiadaniami fundamentu.



Wymuszone przemieszczenie liniowe można zastosować jedynie w przypadku linii, które są podparte na kierunku odkształcenia.



Rysunek 6.45: Okno dialogowe *Nowe wymuszone przemieszczenie liniowe*

3.12 Wymuszone przemieszczenia liniowe

PO1 - Ciężar własny

Nr	Na liniach nr	Wymuszone przemieszczenie na początku		Wymuszone przemieszczenie na końcu [m]			Komentarz
		u <sub>x,i</sub>	u <sub>y,i</sub>	u <sub>z,i</sub>	u <sub>x,j</sub>	u <sub>y,j</sub>	
1	22	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	20.0
2							
3							
4							
5							

Wolne wielokątne obciążenia | Wymuszone odkształcenia węzłowe | Wymuszone przemieszczenia liniowe | Imperfekcje

Lista linii podpartych z wymuszonym przemieszczeniem (np. 1-3,5,7).

Rysunek 6.46: Tabela 3.12 Wymuszone przemieszczenia liniowe

Numer obciążenia jest przydzielanie automatycznie w oknie dialogowym *Nowe wymuszone przemieszczenie liniowe*, ale można go zmienić w polu wprowadzania.

### Na liniach nr



W tym polu wprowadzania definiuje się numery linii, na których działa przemieszczenie wymuszone. W oknie dialogowym, linie można wybrać również graficznie przy użyciu funkcji [↖].



W przypadku wybrania wprowadzania graficznego, pole wprowadzania nie będzie dostępne, dopóki nie zostaną wprowadzone dane obciążenia. Po kliknięciu przycisku [OK], można w oknie roboczym kolejno wybrać odpowiednie linie.

### Przemieszczenie wymuszone

#### Początek linii

Przemieszczenie wymuszone odnosi się do globalnego układu współrzędnych X,Y,Z. Dla przemieszczeń na węzle początkowym podpartej linii dostępne są trzy pola wprowadzania.

Jeżeli przemieszczenie podpartej linii nie działa równoległe do jednej z osi globalnych, muszą zostać określone jego składowe X, Y oraz Z.

#### Koniec linii

W tych polach wprowadzania wprowadza się przemieszczenia na węzle końcowym podpartej linii.



Aby wyświetlić orientację linii, należy wykorzystać nawigator *Wyświetl*. W tym celu należy wybrać **Model** → **Linie** → **Układy osi linii x,y,z** (zobacz Rysunek 4.26 na stronie 53).

## 6.13 Imperfekcje

### Opis ogólny

W programie RFEM istnieją dwa sposoby określania imperfekcji:

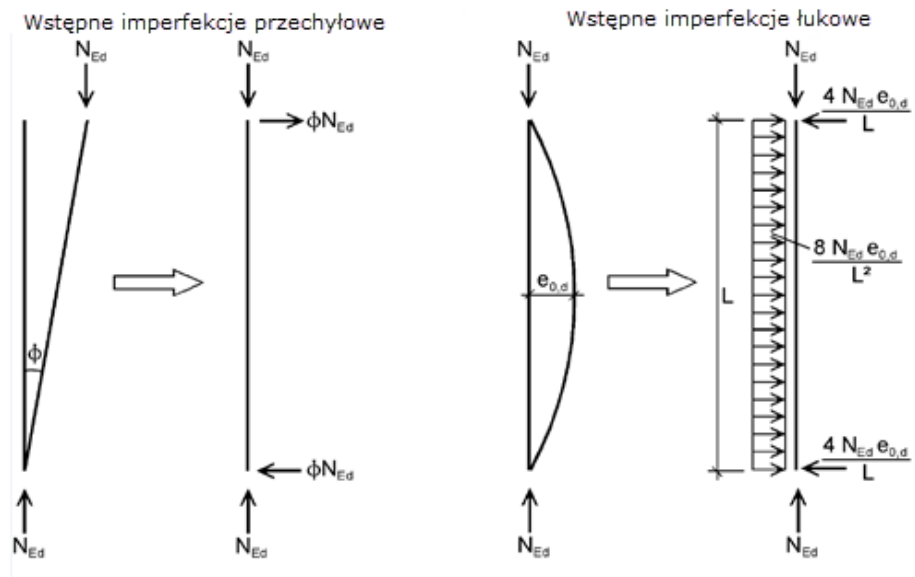
- na prętach stosowane są **obciążenia zastępcze**.
- wykorzystywana jest wstępnie odkształcona **konstrukcja zastępcza**.

Rozdział ten opisuje imperfekcje w postaci obciążeń zastępczych. Szczegółowe informacje na temat generowania konstrukcji zastępczych przy użyciu modułu dodatkowego **RF-IMP** znajdują się w rozdziale 7.3.1 na stronie 290.

Imperfekcję można zastosować po wcześniejszym zdefiniowaniu pręta.

Imperfekcje stanowią odchyłki produkcyjne w geometrii strukturalnej i w charakterystykach materiałowych, powstające podczas procesu produkcji. W sekcji 5.3 normy EN 1993-1-1, stosowanie imperfekcji jest opisane jako przechył (imperfekcje przechyłowe) i wygięcie wstępne (imperfekcje łukowe). Z tego powodu imperfekcje są uważane za obciążenia zastępcze.





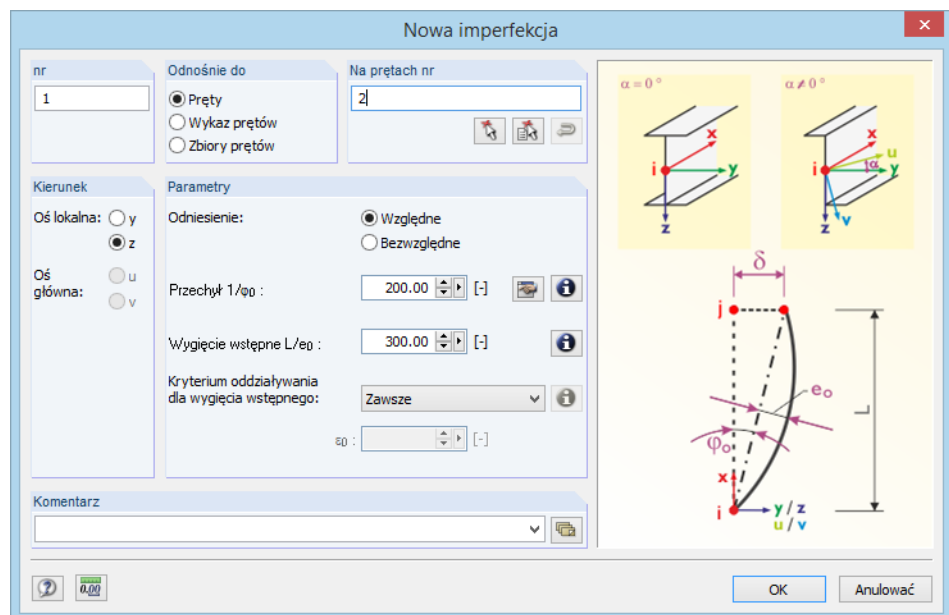
Rysunek 6.47: Obciążenia zastępcze według EN 1993-1-1



Obciążenia zastępcze są uwzględniane również przez program RFEM podczas prowadzenia obliczeń według liniowej analizy statycznej. Należy przy tym zauważyć, że czysty przypadek obciążenia imperfekcją nie wywoła żadnych sił wewnętrznych. Konstrukcja musi dodatkowo posiadać kilka "rzeczywistych" obciążeń zawierających siły osiowe w niedoskonałym pręcie.

Obciążenia i imperfekcje zaleca się przechowywać w osobnych przypadkach obciążeń, które można odpowiednio łączyć ze sobą w kombinacjach obciążeń. Przypadki obciążeń zawierające czyste imperfekcje muszą być zaklasyfikowane jako oddziaływanie typu **Imperfekcja** w danych podstawowych dla przypadków obciążeń (zobacz Rysunek 5.3 na stronie 186). W przeciwnym wypadku kontrola poprawności wyświetli powiadomienie o brakujących obciążeniach.

Ogólnie rzecz ujmując, imperfekcje muszą być ustawione afinicznie do najniższej wartości własnej wybożenia w najbardziej niekorzystnym kierunku.



Rysunek 6.48: Okno dialogowe *Nowa imperfekcja*

3.13 Imperfekcje

PO1 - Ciężar własny

Nr	Odnosnie do	Na prętach nr	Kierunek	Odniesienie	Pochylenie: 1/φ <sub>0</sub> [-]	Wygięcie wstępne l/w <sub>0</sub> [-]	Aktywność Kryterium	Zastosuj w o z so [-]
1	Pręty	2	z	Względna	200.0000	300.0000	Zawsze	
2	Lista prętów	1-3	z	Względna	152.0000	500.0000	EN 1993-1-1 (5)	
3	Zbiory prętów		z	Względna				
4								

Wolne wielokątne obciążenia | Wymuszone odkształcenia węzłowe | Wymuszone przemieszczenia liniowe | Imperfekcje

Proszę wybrać kryterium efektywności pochylenia albo naciśnij F7 by wybrać!

Rysunek 6.49: Tabela 3.13 Imperfekcje

Numer imperfekcji jest przydzielany automatycznie w oknie dialogowym *Nowa imperfekcja*, ale można zmienić go w polu wprowadzania. Kolejność numeracji nie ma znaczenia.

### Odnosnie do

Definiuje się tutaj elementy konstrukcyjne, do których zostanie zastosowana imperfekcja. Do wyboru dostępna jest jedna z następujących opcji:

#### Pręty

Imperfekcja działa na pojedynczym pręcie lub na każdym pręcie w przypadku wybrania kilku prętów.

#### Wykaz prętów

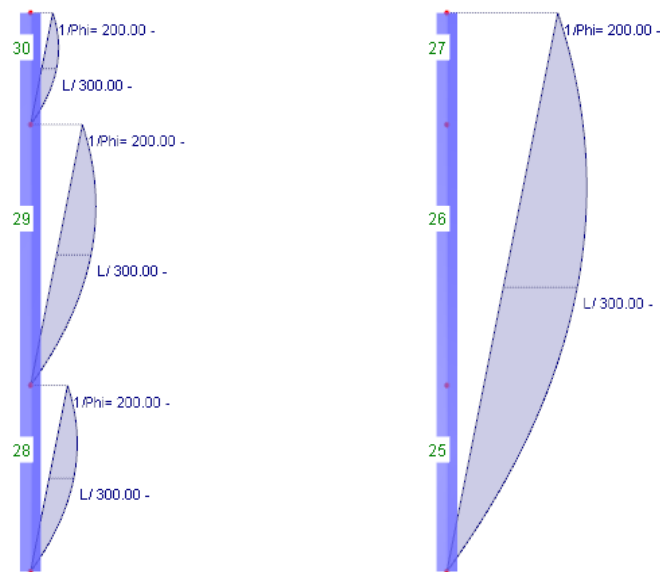
Imperfekcja działa na grupie prętów, które są zdefiniowane przy użyciu listy. Z tego powodu odkształcenia początkowe i pochylenia nie są stosowane pojedynczo do każdego pręta, ale jako imperfekcja całkowita do wszystkich prętów na liście. Oddziaływanie obciążenia imperfekcją na pojedynczych prętach w porównaniu z listą prętów są pokazane na Rysunek 6.50.

Przy użyciu listy prętów można zastosować imperfekcje na wszystkich prętach bez potrzeby definiowania prętów ciągłych.

#### Zbiory prętów

Imperfekcja działa na jednym zbiorze prętów lub na każdym zbiorze w przypadku kilku zbiorów prętów. Podobnie, jak w przypadku listy prętów opisanej powyżej, parametry są stosowane do połączonych prętów znajdujących się w zbiorze prętów.

Zbiory prętów są podzielone na pręty ciągłe i grupy prętów (zobacz rozdział 4.21 na stronie 173). Imperfekcje dla zbiorów prętów można bezproblemowo stosować na prętach ciągłych leżących w jednej linii. Nie nadają się one jednak dla grup prętów ani dla prętów ciągłych, które są wyboczone.



Rysunek 6.50: Imperfekcja w odniesieniu do prętów (po lewo) oraz do listy prętów (po prawo)

### Na prętach nr



W polu tym należy wprowadzić numery prętów lub zbiorów prętów, na których działa imperfekcja. W oknie dialogowym, pręty można wybrać również graficznie przy użyciu funkcji [↵].



W przypadku wybrania wprowadzania graficznego, pole wprowadzania nie będzie dostępne, dopóki nie zostaną wprowadzone dane imperfekcji. Po kliknięciu przycisku [OK], można wybrać odpowiednie pręty lub zbiory prętów jeden po drugim w oknie roboczym.



W przypadku imperfekcji posiadających odniesienie do listy prętów, numery prętów można dostosować przy użyciu przycisku [Odwróć orientację prętów], pokazanego na lewym marginesie tej strony, na przykład, aby odwrócić pochylenie dla wyświetlania graficznego. Sekwencja ta nie ma jednak znaczenia dla obliczeń z powodu identycznych obciążeń zastępczych.

### Kierunek

Imperfekcja może być zastosowana jedynie w kierunku lokalnych osi pręta  $y$  lub  $z$ . W przypadku używania przekrojów niesymetrycznych, do wyboru dodatkowo dostępne są osie główne  $u$  i  $v$  (zobacz rozdział 4.13 na stronie 130). Nie można zdefiniować globalnie działających przechyłów ani wygięć początkowych.

Orientacja osi pręta została opisana w rozdziale 4.17, w sekcji *Obrót pręta* na stronie 158. W przypadku przekrojów symetrycznych, oś  $y$  stanowi tak zwaną oś 'silną', a oś  $z$  odpowiednio 'słabą' oś przekroju pręta.

Jeżeli w oknie dialogowym *Dane ogólne* został wybrany model typu płyta lub ściana (2D), możliwy jest jedynie wybór kierunku  $z$ .

### Odniesienie

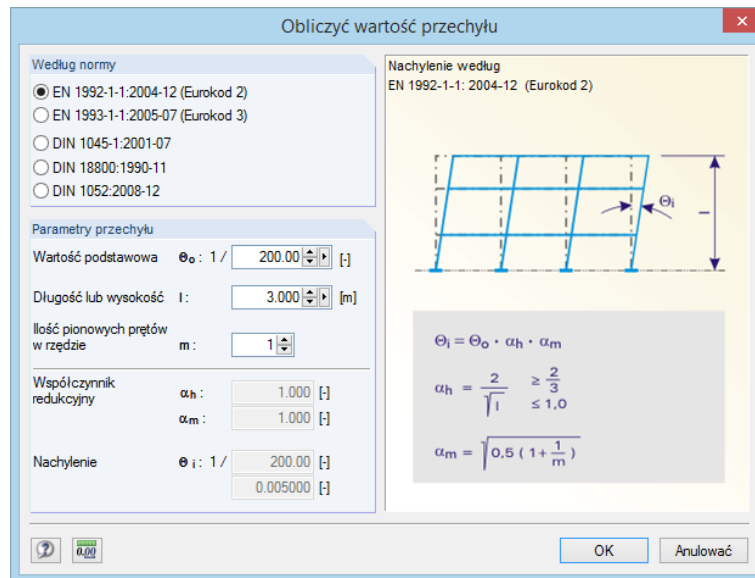
Wartości nachylenia i wygięć początkowych można zdefiniować na dwa sposoby:

*Względne* pozwala na wprowadzenie odwrotnej wartości  $\varphi_0$  i  $w_0$  w odniesieniu do długości pręta, podczas gdy *Bezwzględne* pozwala na bezpośrednie określenie wymiarów geometrycznych.

## Przechył

$\varphi_0$  oznacza kąt przechyłu według opisu w przykładzie EN 1993-1-1, w sekcji 5.3.2. W polu wprowadzania należy podać odwrotną wartość  $\varphi_0$  lub wartość bezwzględną. Ilustrację parametrów można wyświetlić w oknie dialogowym przy użyciu przycisku [Informacje].

Oprócz tego okno to posiada przycisk [Oblicz przechył] służący do określania przechyłu według różnych norm w osobnym oknie dialogowym.



Rysunek 6.51: Okno dialogowe *Oblicz wartość przechyłu*

Sekcja okna dialogowego *Według normy* kontroluje, jakie pola wprowadzania są dostępne w sekcji *Parametry przechyłu*. Na podstawie wprowadzonych specyfikacji, określone są współczynniki redukcyjne i pochylenia według norm. Kliknięcie przycisku [OK] pozwala na przeniesienie tych wartości do początkowego okna dialogowego.

## Wygięcie wstępne $l/w_0$

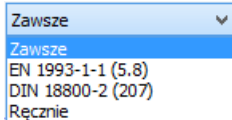
Imperfekcja łukowa  $w_0$  definiuje stopień ugięcia, który zostanie zastosowany według normy (na przykład DIN 18800 część 2, element (204) lub EN 1993-1-1, sekcja 5.3.2). Łukowe wygięcie wstępne zależy od krzywej naprężenia wyoboczeniowego przekroju i jest związane z długością pręta  $l$  lub wprowadzane jako wartość bezwzględna.

## Kryterium oddziaływania dla wygięcia wstępnego

Do wyboru dostępne są następujące opcje służące do definiowania sposobu, w jaki traktowane są wygięcia łukowe istniejące razem z przechyłami pręta:

- **Zawsze**  
Wygięcie łukowe jest uwzględniane we wszystkich przypadkach.
- **EN 1993-1-1 (5.8)**  
Wpływ wygięcia łukowego  $e_{0,d}$  jest stosowany na prętach o smukłości  $\bar{\lambda}$  określonej według EN 1993-1-1:2005, sekcja 5.3.2 (6), równanie (5.8).
- **DIN 18800**  
 $w_0$  jest stosowany jedynie, jeżeli współczynnik pręta  $\varepsilon$  przekracza określoną wartość. Przepis ten odnosi się do DIN 18800, część 2, element (207).
- **Ręcznie**  
Kryterium aktywności można przydzielić indywidualnie.

Kryteria można wyświetlić w grafice okna dialogowego przy użyciu przycisku [Informacje].

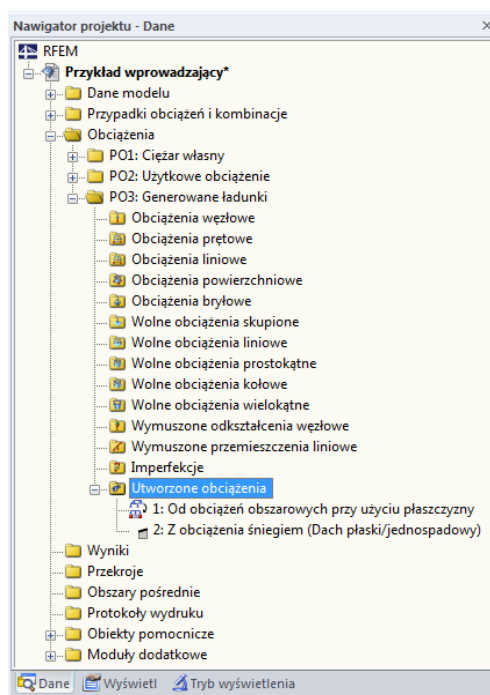


### Uwzględnianie $w_0$ po osiągnięciu $\varepsilon_0$

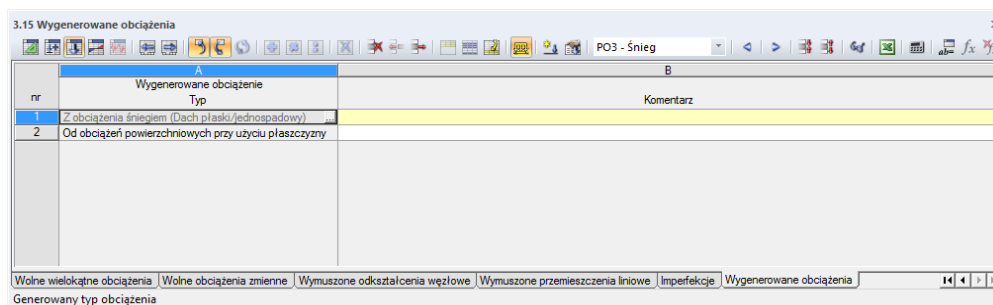
Wygięcie łukowe zostanie uwzględnione dodatkowo wraz z przechyłem, jeżeli współczynnik pręta  $\varepsilon$  będzie większy, niż wartość zdefiniowana w tym polu wprowadzania. DIN 18800-2, element (207) określa, że w większości przypadków  $\varepsilon > 1,6$ .

## 6.14 Utworzone obciążenia

Program RFEM posiada kilka generatorów, które można wykorzystać do łatwego tworzenia obciążeń (zobacz rozdział 11.8 na stronie 555). Wygenerowane obciążenia prętowe lub powierzchniowe znajdują się w tabeli 3.14 oraz w nawigаторze *Dane*.



Rysunek 6.52: Nawigator *Dane* dla *Utworzonych obciążeń*



nr	Wygenerowane obciążenie	Komentarz
	Typ	
1	Z obciążenia śniegiem (Dach płaski/jednostopowy)	
2	Od obciążeń powierzchniowych przy użyciu płaszczyzny	

Rysunek 6.53: Tabela 3.14 *Obciążenia wygenerowane*

Oryginalne okna dialogowe generatora są przechowywane, jako określone obiekty obciążenia, które można modyfikować. W tym celu należy dwukrotnie kliknąć element nawigatora lub wykorzystać przycisk tabeli [...], aby ponownie otworzyć początkowe okno dialogowe (zobacz na przykład Rysunek 11.194 na stronie 567), w którym można dostosować parametry generowania obciążenia.

## 7. Obliczenia

### 7.1 Sprawdzanie danych początkowych

Przed rozpoczęciem obliczeń, zaleca się sprawdzić dane dotyczące konstrukcji i obciążeń oraz sposób modelowania. Program RFEM sprawdza, czy dane dla każdego obiektu konstrukcyjnego i obciążenia są kompletne oraz czy referencje zbiorów danych i modelowanie są poprawne.

Ewentualne błędy można szybko poprawić, dzięki bezpośredniemu dostępowi do wiersza tabeli, w którym wystąpił problem (zobacz Rysunek 7.2).

#### 7.1.1 Sprawdzenie poprawności

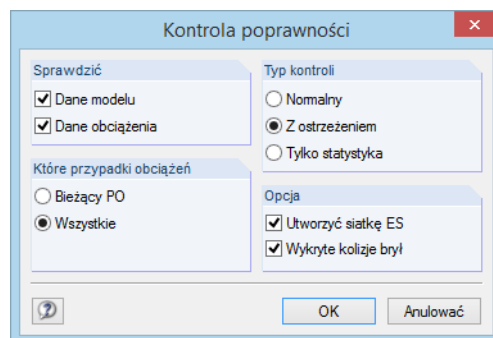


Dane konstrukcyjne oraz obciążenia można sprawdzić pod względem spójności. Okno dialogowe do sprawdzania poprawności otwiera się,

wybierając opcję **Sprawdzenie poprawności** w menu **Narzędzia**

lub klikając przycisk paska narzędzi, pokazany na lewym marginesie tej strony.

Otworzy się okno dialogowe, w którym definiuje się dane początkowe, które zostaną sprawdzone.



Rysunek 7.1: Okno dialogowe *Kontrola poprawności*

W sekcji okna dialogowego *Typ kontroli* można wybrać jedną z trzech opcji:

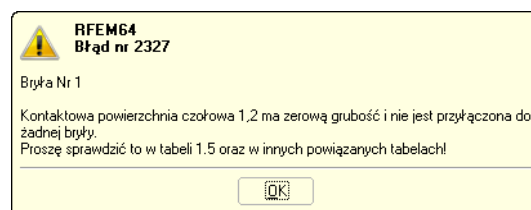
- **Normalny**

Ta standardowa opcja sprawdza kompletność parametrów początkowych oraz poprawność zapisu danych.

- **Z ostrzeżeniem**

Opcja ta służy do prowadzenia szczegółowego sprawdzenia danych początkowych, a także odnalezienia węzłów posiadających identyczne współrzędne lub zwolnień posiadających nieograniczone stopnie swobody.

W przypadku wykrycia niezgodności, pojawi się powiadomienie zawierające szczegółowe informacje na temat problemu. Sprawdzenie może zostać przerwane, aby poprawić błąd.



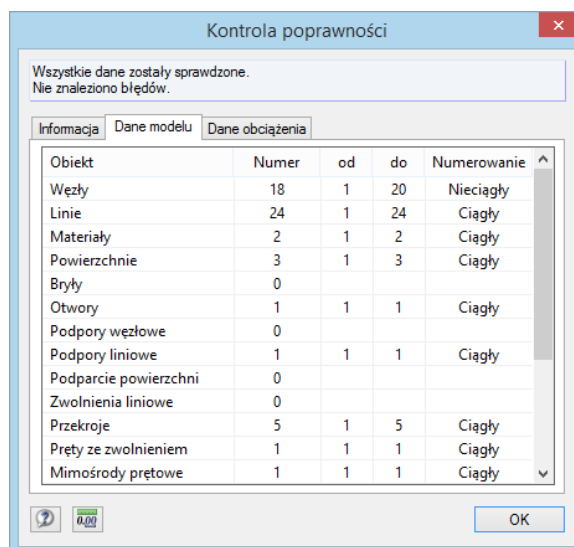
Rysunek 7.2: Sprawdzenie poprawności z ostrzeżeniami

- **Tylko statystyka**

Pojawi się jedynie podsumowanie danych początkowych (wymiary konstrukcyjne, ciężar całkowity, ilość węzłów, linii, podpór, obciążeń powierzchniowych i prętowych itd.).

W przypadku zaznaczenia pola wyboru *Utworzyć siatkę ES*, podczas sprawdzania poprawności zostanie wygenerowana siatka ES. Szczegółowe informacje na ten temat znajdują się w rozdziale 7.2 na stronie 275.

Po pomyślnym zakończeniu sprawdzania poprawności, pojawią się jego wyniki podające podsumowanie danych początkowych.



Rysunek 7.3: Wyniki sprawdzenia poprawności, zakładka *Dane modelu*

## 7.1.2 Sprawdzenie modelu

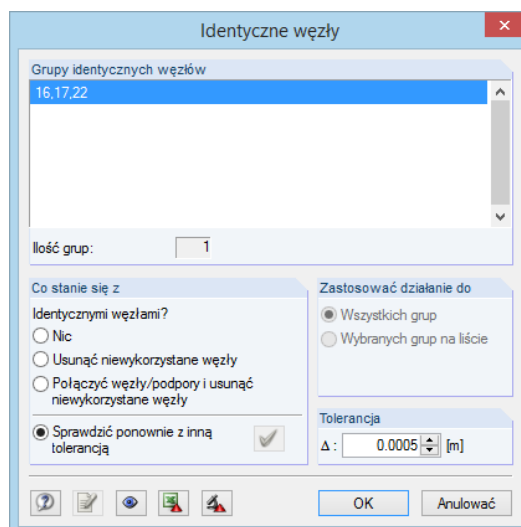
Oprócz ogólnego sprawdzenia poprawności, dostępne jest sprawdzenie konstrukcji wyszukujące niezgodności powstałe podczas modelowania. Odpowiednie okno dialogowe otwiera się,

wskazując opcję **Sprawdzenie modelu** w menu **Narzędzia** i wybierając jedną z kilku opcji sprawdzenia.

### Identyczne węzły

Program RFEM filtruje wszystkie węzły o identycznych współrzędnych i łączy je w grupy wyświetlane w oknie dialogowym.





Rysunek 7.4: Wyniki sprawdzenia konstrukcji pod względem identycznych węzłów

W sekcji okna dialogowego *Co stanie się z: Identyczne węzły?* można zdecydować, jak będą traktowane powtarzające się węzły. W sekcji okna dialogowego *Zastosować działanie do* definiuje się, czy wybór zostanie zastosowany dla wszystkich grup wymienionych powyżej, czy tylko do wybranych wierszy.

W sekcji okna dialogowego *Tolerancja* można dokładnie zdefiniować obszar, w którym współrzędne będą oceniane jako identyczne. Funkcja ta jest szczególnie przydatna w przypadku modeli zaimportowanych z programów CAD, w których często linie są krótkie, ponieważ węzły leżą blisko siebie. Jeżeli węzły te zostaną odfiltrowane przy użyciu odpowiedniej tolerancji, a następnie połączone, pozwoli to na uniknięcie problemów numerycznych powodowanych przez krótkie pręty lub linie.

### Pokrywające się pręty



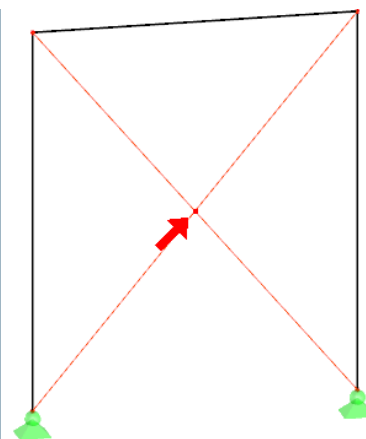
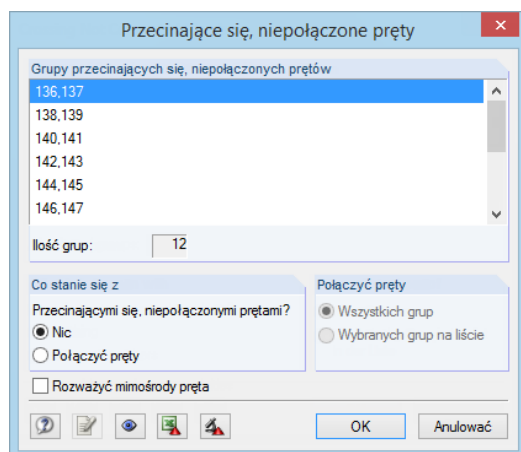
Opcja ta służy do filtrowania wszystkich prętów pokrywających się częściowo lub całkowicie na swoich długościach.

W przypadku wykrycia pokrywających się prętów, zostaną one pokazane w oknie dialogowym, gdzie będą ułożone według grup. Bieżąca grupa jest oznaczona strzałką wyświetlaną w oknie roboczym. Problem ten można rozwiązać po kliknięciu przycisku [OK].

### Przecinające się, niepołączone pręty



Sprawdzenie wyszukuje pręty, które się przecinają, ale nie mają wspólnego węzła w punkcie przecięcia.



Rysunek 7.5: Wyniki sprawdzenia konstrukcji pod względem przecinających się prętów



Wyniki sprawdzenia są pokazywane w sekcji okna dialogowego *Grupy przecinających się niepołączonych prętów*. Przecinające się pręty są wyświetlane w grupach. Zaznaczona grupa jest oznaczona strzałką w oknie roboczym.

W sekcji okna dialogowego *Co stanie się z* można zdecydować, co stanie się z przecinającymi się prętami. Opcja *Połączyć pręty* pozwala na przenoszenie siły wewnętrznej, ale nie nadaje się już na przykład dla zwykłego krzyżowania się stężeń z dociskami.

### Pokrywające się linie



Opcja ta służy do filtrowania wszystkich linii pokrywających się częściowo lub całkowicie na swoich długościach.

W przypadku wykrycia pokrywających się linii, zostaną one pokazane w oknie dialogowym, gdzie będą ułożone według grup. Bieżąca grupa jest oznaczona strzałką wyświetlaną w oknie roboczym. Problem ten można rozwiązać, po kliknięciu przycisku [OK].

### Przecinające się, niepołączone linie



Wyniki sprawdzenia są pokazywane w sekcji okna dialogowego *Grupy przecinających się niepołączonych linii* (zobacz Rysunek 7.5). Przecinające się linie są wyświetlane w grupach. Zaznaczona grupa jest oznaczona strzałką w oknie roboczym.

W sekcji okna dialogowego *Co stanie się z* można zdecydować, co stanie się z przecinającymi się liniami.

### Pokrywające się powierzchnie



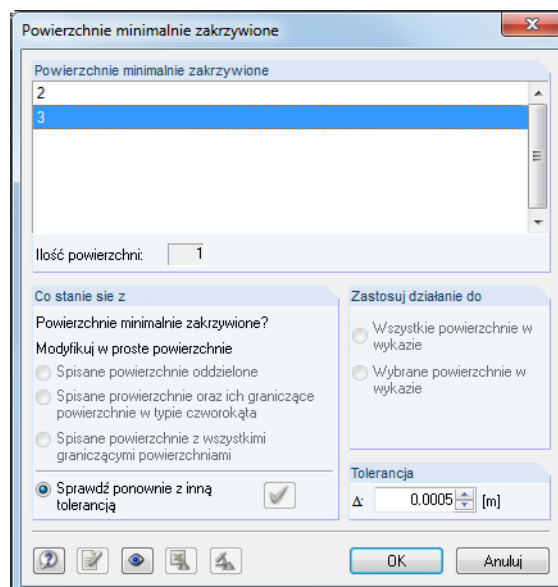
Opcja ta służy do filtrowania wszystkich powierzchni pokrywających się częściowo lub całkowicie.

W przypadku wykrycia pokrywających się powierzchni, zostaną one pokazane w oknie dialogowym, gdzie będą ułożone według grup. Bieżąca grupa jest oznaczona strzałką wyświetlaną w oknie roboczym. Problem ten można rozwiązać, po kliknięciu przycisku [OK].

### Powierzchnie minimalnie zakrzywione



Powyższa opcja pozwala na wyszukanie powierzchni posiadających nieznaczne odchylenia od płaszczyzny.



Rysunek 7.6: Wyniki sprawdzenia konstrukcji pod względem nieznacznych zakrzywień powierzchni

W przypadku wykrycia powierzchni posiadających nieznaczne zakrzywienia, zostaną one pokazane w oknie dialogowym, gdzie będą ułożone według grup. Bieżąca grupa posiadająca węzeł wychodzący poza płaszczyznę będzie oznaczona strzałką w oknie roboczym.

W sekcji okna dialogowego *Co stanie się z* można zdecydować, co stanie się z takimi powierzchniami. W sekcji okna dialogowego *Zastosować działanie do* można wybrać, czy ustawienia te zostaną zastosowane do wszystkich grup wyświetlonych powyżej, czy tylko do wybranej powierzchni.



W sekcji okna dialogowego *Tolerancja* można dokładnie dostosować definicję płaszczyzny. Oprócz tego w przypadku dokonania modyfikacji można powierzchnie zakrzywione *Sprawdzić ponownie z inną tolerancją*.

## Przyciski

Przyciski w oknach dialogowych opcji sprawdzania konstrukcji posiadają następujące funkcje:





	Zastosowuje zmiany w sekcji okna dialogowego <i>Co stanie się z</i>
	Przechodzi do okna roboczego programu RFEM w celu dostosowania widoku
	Eksportuje wymienione obiekty do tabeli aplikacji Excel
	Tworzy nowy widok szczegółowy dla każdej grupy obiektów

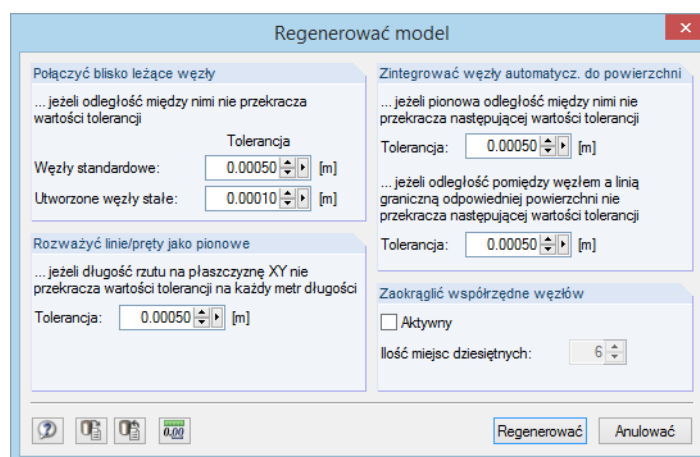
Tabela 7.1: Przyciski w oknach dialogowych funkcji sprawdzania konstrukcji

## 7.1.3 Regenerować model



Program RFEM automatycznie poprawia małe niespójności powstałe w konstrukcji podczas procesu modelowania lub podczas wymiany danych z programami CAD. Odpowiednią funkcję uruchamia się,

wybierając opcję **Regenerować model** w menu **Narzędzia**.



Rysunek 7.7: Okno dialogowe *Regenerować model*

W sekcji okna dialogowego *Połącz blisko leżące węzły* definiuje się próg dla odległości węzłów. Jeżeli wartości znajdują się poniżej *Tolerancji*, węzły będą uważane za identyczne i zostaną połączone w jeden pojedynczy węzeł. Zbędne węzły zostaną usunięte, co może skutkować zmianą numeracji obiektów.

W sekcji okna dialogowego *Rozważyć linie/pręty jako pionowe* kontroluje się pozycję lokalnych osi linii i pręta. W przypadku prętów w pozycji pionowej, orientacja osi różni się znacznie od

prętów w pozycji ogólnej (pochylonych) (zobacz rozdział 4.17 na stronie 159). Przy użyciu pola wprowadzania *Tolerancja*, można wymusić pozycję pionową zamiast ogólnej. W ten sposób zapobiega się "zamianie" osi pręta, co jest również korzystne dla wprowadzania obciążeń oraz podawania wyników dla sił wewnętrznych.

W przypadku węzłów będących w niewielkiej odległości od powierzchni lub linii granicznej, przy użyciu opcji w sekcji okna dialogowego *Zintegrować węzły automatycznie do powierzchni* można automatycznie umieścić je na liście zintegrowanych obiektów powierzchni (zobacz na stronie 88). W rezultacie nie jest potrzebna ich ręczna integracja. Przed rozpoczęciem obliczeń wykonywane jest sprawdzenie wewnętrzne. Jeżeli odległość węzłów od powierzchni jest zbyt duża, będą one uwzględniane jako nienależące do powierzchni.

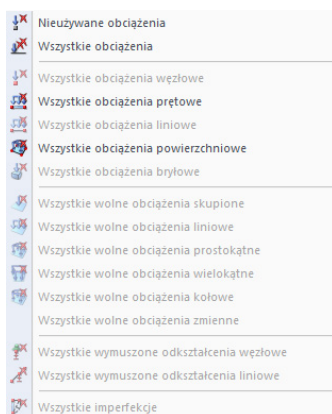
Dodatkowo można aktywować automatyczną funkcję *Zaokrąglić współrzędnych węzłów*, gdzie definiuje się odpowiednią ilość miejsc dziesiętnych.

### 7.1.4 Usunąć nieużywane obciążenia

Obciążenia mogą być definiowane jedynie na obiektach istniejących w modelu. Niemniej podczas procesu modelowania może się zdarzyć, że pręty lub powierzchnie z przydzielonymi obciążeniami zostaną usunięte z układu. Zazwyczaj program RFEM usuwa również ich obciążenia. Jeżeli sprawdzenie poprawności wciąż odnajduje obciążenia na nieistniejących obiektach, możliwe jest ich usunięcie. W tym celu należy w menu

**Narzędzia** wskazać opcję **Usunąć obciążenia**, a następnie wybrać **Nieużywane obciążenia**.

Przy użyciu menu pokazanego na lewym marginesie tej strony można wybrać poszczególne obciążenia w celu ich usunięcia.



Menu **Narzędzia** → **Usunąć obciążenia**

## 7.2 Siatka ES

Przy użyciu programu RFEM można analizować elementy prętowe, płyty, ściany, powłoki oraz bryły. Przed obliczeniem danych należy wygenerować siatkę ES, pozwalającą na utworzenie odpowiednich elementów 1D, 2D i 3D.

Analiza ES wymaga podziału układu konstrukcyjnego na małe podukłady reprezentowane przez elementy skończone. Dla każdego elementu ustawiane są warunki równowagi. Tworzony jest układ równań liniowych z wieloma niewiadomymi składowymi. Wyniki będą tym dokładniejsze, im bardziej będzie zagęszczona siatka elementów skończonych. Wadą wzrostu dokładności jest znaczne zwiększenie czasu obliczeń, ponieważ obliczana jest bardzo duża ilość danych wynikająca z faktu, że dla każdego dodatkowego węzła ES, program musi rozwiązać dodatkowe równania.

Siatka ES tworzona jest automatycznie, ale program posiada opcje pozwalające kontrolować sposób jej generowania.

Przydatne informacje na temat dyskretyzacji i metody elementów skończonych można znaleźć w [15].

### 7.2.1 Podstawowe informacje na temat elementów skończonych w programie RFEM

#### Elementy 1D

W przypadku elementów prętowych zakłada się, że przekrój po odkształceniu pozostaje płaski. Elementy prętowe 1D są używane do reprezentowania belek, kratownic, żeber, kabli oraz połączeń sztywnych. Element prętowy 1D ma łącznie 12 stopni swobody: sześć na początku i sześć na końcu elementu. Odnoszą się one do przemieszczeń ( $u, v, w$ ) i obrotów ( $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ ). Podczas liniowego obliczania danych konstrukcyjnych, rozciąganie, ściskanie i skręcanie są



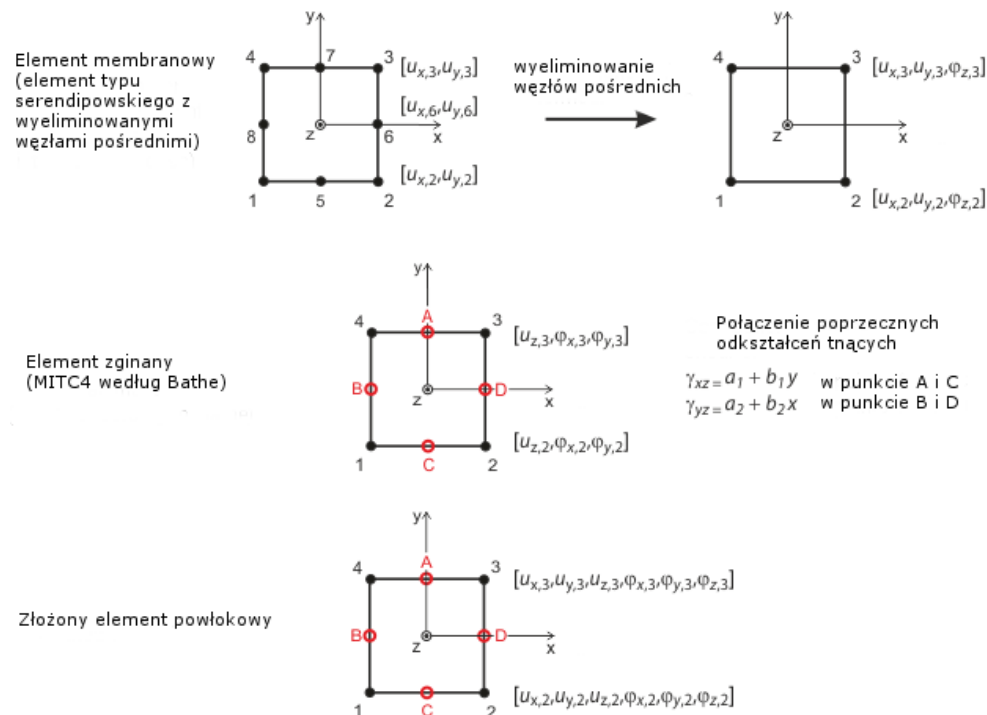
wyrażone jako liniowe funkcje osi  $x$  pręta, niezależnie od zginania i ścinania. Są one przybliżone przez wielomian trzeciego stopnia w  $x$ , z uwzględnieniem wpływu naprężenia tnącego wynikającego z sił tnących  $V_y$  i  $V_z$ . Macierz sztywności  $\mathbf{K}_L(12, 12)$  opisuje liniowe zachowanie elementów 1D. Wzajemne oddziaływanie siły osiowej i zginania, w przypadku problemów geometrycznie nieliniowych, jest wyrażone przez macierz sztywności  $\mathbf{K}_{NL}(12, 12)$ . Dodatkowe informacje na ten temat znajdują się w [18] i [19].

Do obliczeń według analizy dużych deformacji zaleca się wykorzystać zagęszczenie siatki ES linii (zobacz rozdział 4.23 na stronie 182), pozwalające na dokładne obliczenie wyników.

### Elementy 2D

Jako elementy 2D, zazwyczaj używane są elementy czworokątne. Generator siatki dodaje elementy trójkątne tam, gdzie jest to wymagane.

Stopnie swobody w węzłach narożnych czworokąta i elementów trójkątnych są takie same, jak w przypadku elementów 1D: stopnie swobody dla przemieszczenia ( $u_x, u_y, u_z$ ) i obrotu ( $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ ). W ten sposób zagwarantowana jest zgodność elementów 1D i 2D w węzłach. Parametry określone są w płaskim, lokalnym układzie współrzędnych elementów, a następnie, podczas tworzenia globalnej macierzy sztywności, przekształcane są na globalny układ współrzędnych.



Rysunek 7.8: Zastosowane elementy powłokowe

Płaskie elementy powłokowe są obliczane według teorii MINDLINA/REISSNERA. Powyższy rysunek przedstawia koncepcje elementów w sposób graficzny. Aby zapewnić bezpośrednie połączenie z elementami prętowymi, wybierane jest postępowanie kwadratowe w płaszczyźnie powłoki ( $u_x, u_y$ ). Poprzez wyeliminowanie węzłów pośrednich, tworzony jest element czterowęzłowy z dodatkowym stopniem swobody  $\varphi_x$ . Pozwala to bezpośrednie połączenie elementów ścianowych z elementami belkowymi. Na podstawie mieszanej interpolacji odkształceń poprzecznych, obrotów przekroju oraz poprzecznych odkształceń tnących, stosowane są elementy MITC4 (Mixed Interpolation of Tensorial Components) według BATHE'A i DVORKINA [24].

W tym momencie, elementy prętowe są uwzględniane przez bezpośrednie rozwiązanie równania różniczkowego według analizy drugiego rzędu. Nie jest możliwe uwzględnienie oddziaływania otworów razem ze skręcaniem Saint-Venanta.

Analiza membran opiera się na regułach BERGANA [20], [21], [22]. Funkcje podstawowe są podzielone, na przykład dla elementów trójkątnych, na trzy deformacje ciała sztywnego, trzy stałe warunki odkształcenia oraz trzy specjalne liniowe gradienty naprężenia i odkształcenia. Pole odkształcenia wewnątrz elementu jest kwadratowe, natomiast pole naprężenia jest liniowe. Macierz sztywności elementu  $\mathbf{K}_L$  jest następnie przekształcana na dziewięć zbiorowych parametrów typu  $u_x, u_y, \varphi_z$ . Składniki tej macierzy są następnie dodawane do całkowitej macierzy sztywności (18, 18), wraz ze składnikami powodującymi oddziaływania zginające i tnące. Macierz ta jest wynikiem koncepcji LYNNNA-DHILLONA. Następnie stosowane są tak zwane płyty MINDLINA, co oznacza, że płyty z wyraźnym zniekształceniem od ścinania są analizowane według TYMOSZENKI. Dzięki temu program RFEM jest w stanie znaleźć odpowiednie rozwiązanie zarówno dla płyt grubych jak i dla cienkich (płyty NAVIERA).

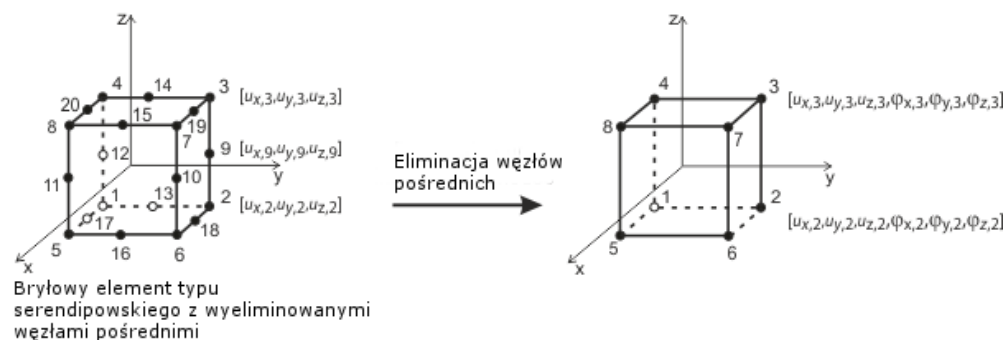
W przypadku problemów geometrycznie nieliniowych, nie jest możliwe podzielenie warunków naprężenia-odkształcenia na stan płaski i na zginanie ze ścinaniem. Wzajemne wpływy tych stanów są uwzględniane w macierzy  $\mathbf{K}_{NL}$ . Program RFEM wykorzystuje stosunkowo proste, ale efektywne typy macierzy  $\mathbf{K}_{NL}$ , oparte na podejściach ZIENKIEWICZA [23]. Stosowana jest kwadratowa składowa  $e_2$  tensora naprężenia GREENA/LAGRANGE'A  $e=e_1+e_2$ . Zakłada się liniowy rozkład  $u_z(x, y)$  płaskiego stanu naprężeń oraz liniowe rozkłady  $u_x(x, y)$  i  $u_y(x, y)$  interakcji. Założenie to jest możliwe, ponieważ główny wynik interakcji zależy od pierwszego wyprowadzenia równania różniczkowego, a także dlatego, iż wpływ składowych wyższego rzędu zmniejsza się szybko podczas podziału na mniejsze elementy. Poprawność tej procedury wykazano w kilku analizach numerycznych.



Elementy powłokowe można stosować, gdy grubości elementów są znacznie mniejsze, niż ich pozostałe wymiary. W przeciwnym wypadku zaleca się modelować obiekty jako bryły.

### Elementy 3D

Szczegółowe informacje na temat elementów i macierzy znajdują się w [48]. Dalsze materiały są udostępniane na życzenie przez firmę DLUBAL ENGINEERING SOFTWARE.

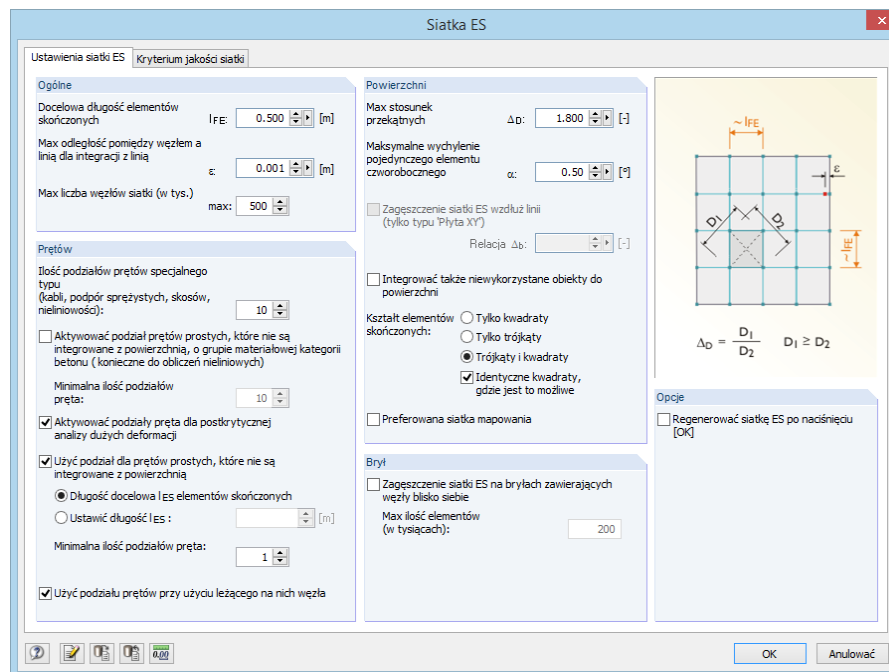


Rysunek 7.9: Element bryłowy

## 7.2.2 Ustawienia siatki ES



Okno dialogowe dla ustawień parametrów siatki ES otwiera się, wybierając opcję **Ustawienia siatki ES** w menu **Obliczyć**.



Rysunek 7.10: Okno dialogowe *Ustawienia siatki ES*

### Ogólne

*Docelowa długość elementów skończonych* kontroluje globalną wielkość siatki. Większe zagęszczenie siatki zwykle prowadzi do otrzymania dokładniejszych wyników. Niemniej ilość obliczanych danych oraz czas obliczeń ulegają znacznemu zwiększeniu ze względu na dodatkowe równania, które muszą być rozwiązane w każdym dodatkowym węźle ES. Ponadto efekty osobliwości występują częściej w przypadku siatki ES o dużym zagęszczeniu.



Dyskretyzacja ma duże znaczenie podczas analizy ES. Zbyt drobna siatka spowalnia obliczenia bez znaczącej poprawy jakości wyników. Zbyt duża długość docelowa nie pozwala na określenie warunków brzegowych w sposób zadowalający. W celu wybrania odpowiedniej długości bocznej elementów skończonych, zazwyczaj stosuje się następującą zasadę: między liniami granicznymi powierzchni powinno być wygenerowanych osiem do dziesięciu elementów skończonych. Jeśli jest to możliwe, należy unikać określania mniej niż czterech elementów.

W drugim polu wprowadzania tej sekcji okna dialogowego określa się dozwoloną odległość  $\varepsilon$  węzła siatki od linii. Jeżeli odległość węzła jest większa niż wprowadzona wartość, w odległości tej zostanie utworzony nowy węzeł ES.

*Maksymalna liczba węzłów siatki* jest definiowana przy użyciu górnej granicy wprowadzanej w ostatnim polu w sekcji okna dialogowego *Ogólne*, w celu ograniczenia liczby generowanych węzłów, a przez to zapewnienia wydajności działania programu i komputera.

### Prętów

W przypadku kabli, fundamentów oraz prętów o zmiennym przekroju lub posiadających charakterystyki plastyczne, można określić liczbę podziałów wewnętrznych, co prowadzi do prawdziwego podziału pręta przez węzły pośrednie. Jednakże, jeśli pręt będzie umieszczony na linii granicznej powierzchni lub, jeżeli linia definicji będzie posiadała zagęszczenie siatki ES, specyfikacja ta nie będzie uwzględniana.

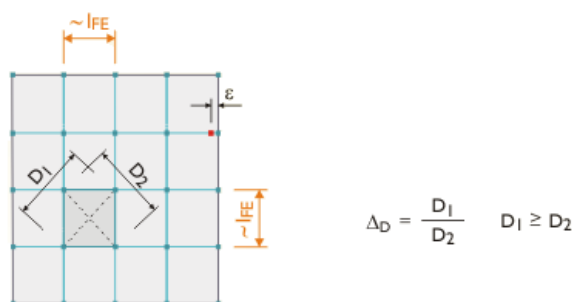
Zaznaczenie pola wyboru *Aktywować podział pręta dla postkrytycznej analizy dużych deformacji*, pozwala również podzielić belki przy użyciu węzłów pośrednich, aby zwymiarować pręty z większą dokładnością, podczas obliczeń według analizy dużych deformacji. Liczba podziałów pręta określana jest w polu wprowadzania powyżej.

W przypadku wybierania *Użyć podział dla prętów prostych, które nie są integrowane z powierzchnią*, węzły ES zostaną wygenerowane na wszystkich wolnych prętach i uwzględnione w obliczeniach według liniowej analizy statycznej oraz analizy drugiego rzędu. Długość elementów skończonych jest albo określana przez globalną długość docelową  $l_{FE}$  ustawianą w sekcji okna dialogowego *Ogólne* lub wprowadzana ręcznie.

Poprzez zaznaczenie opcji *Użyj podziału prętów przy użyciu leżącego na nich węzła*, program RFEM generuje węzły ES w tych miejscach pręta, w których leżą węzły końcowe innych prętów i nie istnieją żadne połączenia pomiędzy tymi prętami.

### Powierzchni

Najdokładniejsze wyniki są określone w przypadku elementów możliwie najbardziej zbliżonych kształtem do kwadratu. Dla kwadratu, stosunek przekątnych  $D_1/D_2=1$ . W polu wprowadzania *Maksymalny stosunek przekątnych* wprowadza się wartość graniczną  $\Delta_D$  dla stosunku przekątnych. Jeżeli wartość ta będzie zbyt wysoka, istnieje ryzyko, że elementy będą generowane z bardzo ostrymi lub rozwartymi kątami. Może to prowadzić do problemów numerycznych.



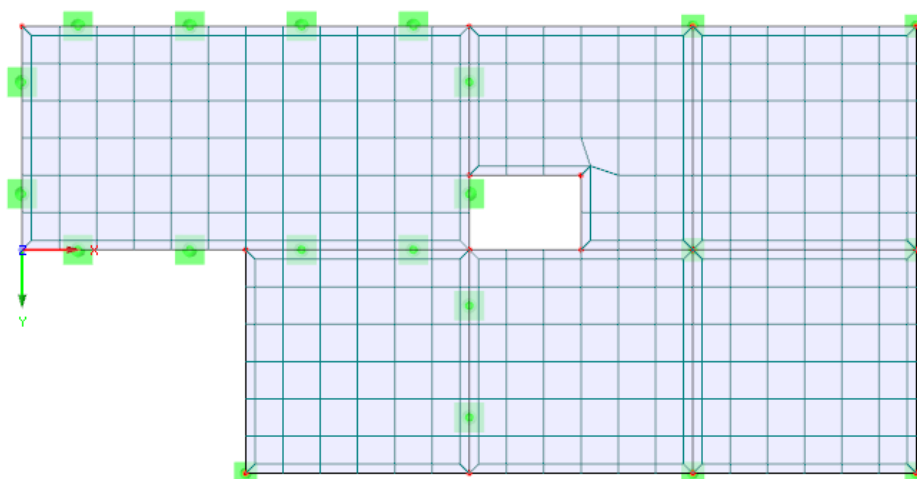
Rysunek 7.11: Elementy z przekątnymi  $D_1$  i  $D_2$

Podczas tworzenia siatki ES, powierzchnia zakrzywiona jest zamieniana na elementy płaskie. Wartość wprowadzona w polu wprowadzania *Maksymalne wychylenie dwóch elementów skończonych z płaszczyzny* określa maksymalny dopuszczalny kąt wychylenia  $\alpha$ . Siatka zostanie automatycznie zagęszczona w miejscu, w którym wartość ta zostanie przekroczona.



Rysunek 7.12: Kąt wychylenia  $\alpha$  pomiędzy dwoma elementami skończonymi

Jeśli konstrukcja została zdefiniowana jako płyta typu 2D w XY, można określić *Zagęszczenie siatki ES wzdłuż linii*, aby utworzyć mniejsze elementy skończone na wszystkich liniach, a przez to lepiej przybliżyć na przykład wyniki wzdłuż podpieranych linii. Stosunek  $\Delta b$  odnosi się do globalnej wielkości siatki i opisuje odległość zagęszczenia od linii.



Rysunek 7.13: Zagęszczenie siatki ES wzdłuż linii granicznych płyty 2D

Zaznaczenie pola wyboru *Integrować także niewykorzystane obiekty do powierzchni* pozwala na wygenerowanie węzłów ES także na obiektach, które nie mają żadnych konkretnych funkcji w powierzchni (np. wolne węzły bez podpory lub obciążeń, linie konstrukcyjne w powierzchniach). Funkcja ta jest domyślnie wyłączona, aby obiekty bez znaczenia konstrukcyjnego nie zniekształcały siatki ES.

*Kształt elementów skończonych* może zostać określony przy użyciu następujących trzech opcji:

- Trójkąty i kwadraty: ustawienie domyślne
- Tylko trójkąty: opcja zalecana, gdy kwadraty powodują silne zniekształcenia siatki
- Tylko kwadraty: opcja zalecana dla większej dokładności wyników

Zaznaczenie opcji *Preferowana siatka mapowana* służy do przeprowadzenia próby wyrównania siatki ES do linii brzegowych powierzchni. Ten typ generowania siatki ES można zdefiniować dla każdej powierzchni indywidualnie (okno dialogowe *Edytować powierzchnię*, zakładka *Siatka ES*).

Siatka mapowana składa się wyłącznie z kwadratów i zazwyczaj zapewnia "dokładniejsze wyniki". Zalecana jest ona podczas generowania siatki, ponieważ dzięki temu w układzie równań rzadziej występują nieznanne wartości.

### Opcja

Pole wyboru *Generować ponownie siatkę ES po naciśnięciu [OK]* zaznacza się tylko, jeżeli po zatwierdzeniu okna dialogowego ma zostać wygenerowana siatka ES.

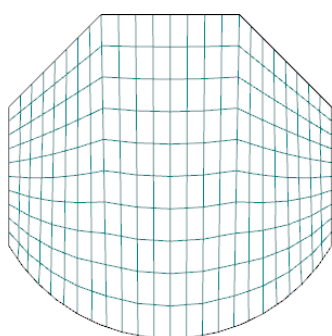
## 7.2.3 Zagęszczenia siatki ES

Zagęszczenie siatki ES można wykorzystać, aby wpłynąć na generowanie siatki ES. Siatkę można zagęścić w odpowiednich punktach, na przykład w strefach połączeń. Zagęszczenia są również wykorzystywane do osiągnięcia odpowiedniego stosunku pomiędzy dokładnością wyników a czasem obliczania.

Zasadniczo istnieją cztery rodzaje zagęszczenia siatki ES:

- Zagęszczenie wokół węzła
- Zagęszczenie na linii
- Zagęszczenie na powierzchni
- Zagęszczenie na bryle

Definiowanie zagęszczeń siatki ES zostało opisane w rozdziale 4.23 na stronie 180.



Mapowana siatka ES



## 7.2.4 Generowanie siatki ES



Aby rozpocząć generowanie siatki ES,

należy wybrać polecenie **Generować siatkę ES** w menu **Obliczyć**.

Oprócz tego siatka ES jest generowana automatycznie po uruchomieniu obliczeń przypadku obciążenia. Niemniej zaleca się sprawdzić wygenerowaną siatkę przed rozpoczęciem obliczeń oraz upewnić się, że dyskretyzacja jest wystarczająca i "harmoniczna", a także ocenić, czy nadal potrzebne są zagęszczone obszary.

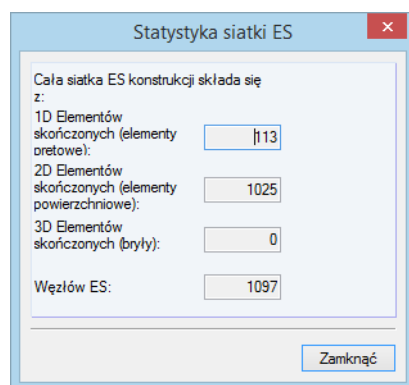
Obszary o mniejszym znaczeniu dla oceny wyników mogą być pokryte większymi oczkami siatki ES, na przykład poprzez określenie powierzchniowego "zagęszczenia siatki" o oczkach wielkości większej niż długość docelowa  $l_{FE}$ . W ten sposób możliwe jest przyspieszenie obliczeń i oceny wyników.



Po pomyślnym wygenerowaniu siatki ES,

należy wybrać opcję **Statystyki siatki ES** w menu **Obliczyć**,

aby otworzyć okno dialogowe zawierające informacje na temat wygenerowanej siatki ES.



Rysunek 7.14: Okno dialogowe *Statystyka siatki ES*

Statystyki pokazują rodzaje i ilości wygenerowanych elementów skończonych, co jest pomocne podczas wyboru odpowiedniej metody rozwiązywania równań i oszacowywania przybliżonego czasu obliczeń (zobacz rozdział 7.3 na stronie 282).



Siatka ES jest usuwana automatycznie podczas modyfikacji modelu. Oprócz tego siatkę można usunąć przy użyciu polecenia

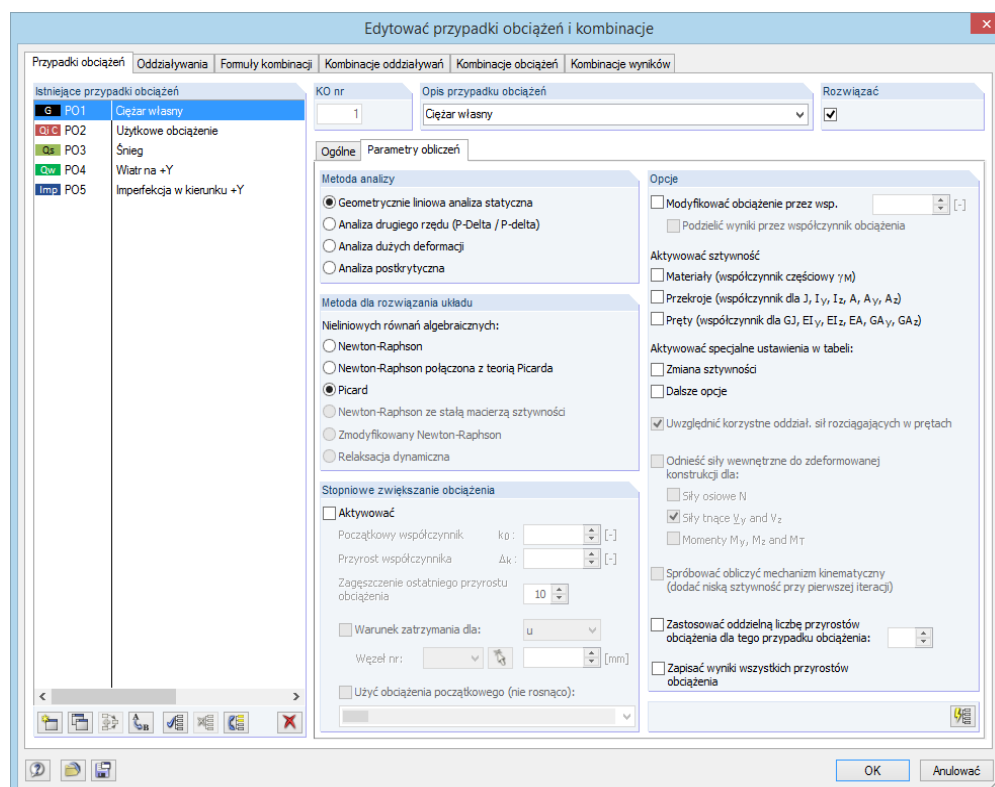
**Usunąć siatkę ES** w menu **Obliczyć**.

Prosimy pamiętać, że zostaną również usunięte wszystkie dostępne wyniki.

## 7.3 Parametry obliczeń

### Okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*

Podczas tworzenia przypadków obciążeń lub kombinacji obciążeń można od razu zdefiniować parametry obliczeń. Ustawienia parametrów określa się w odpowiedniej zakładce sekcji *Parametry obliczeń* w oknie dialogowym *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*.



Rysunek 7.15: Okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*, zakładka *Przypadki obciążeń* i *Parametry obliczeń*

Oprócz przeglądu wszystkich przypadków obciążeń i kombinacji, okno dialogowe *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje* kontroluje parametry obliczeniowe dla każdego przypadku obciążenia, kombinacji obciążeń i kombinacji wyników.

### Okno dialogowe *Parametry obliczeń*

Dostęp do parametrów obliczeń można dodatkowo uzyskać w osobnym oknie dialogowym.

Aby otworzyć okno dialogowe *Parametry obliczeń*,

należy wybrać opcję **Parametry obliczeń** w menu **Obliczyć**

lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony.

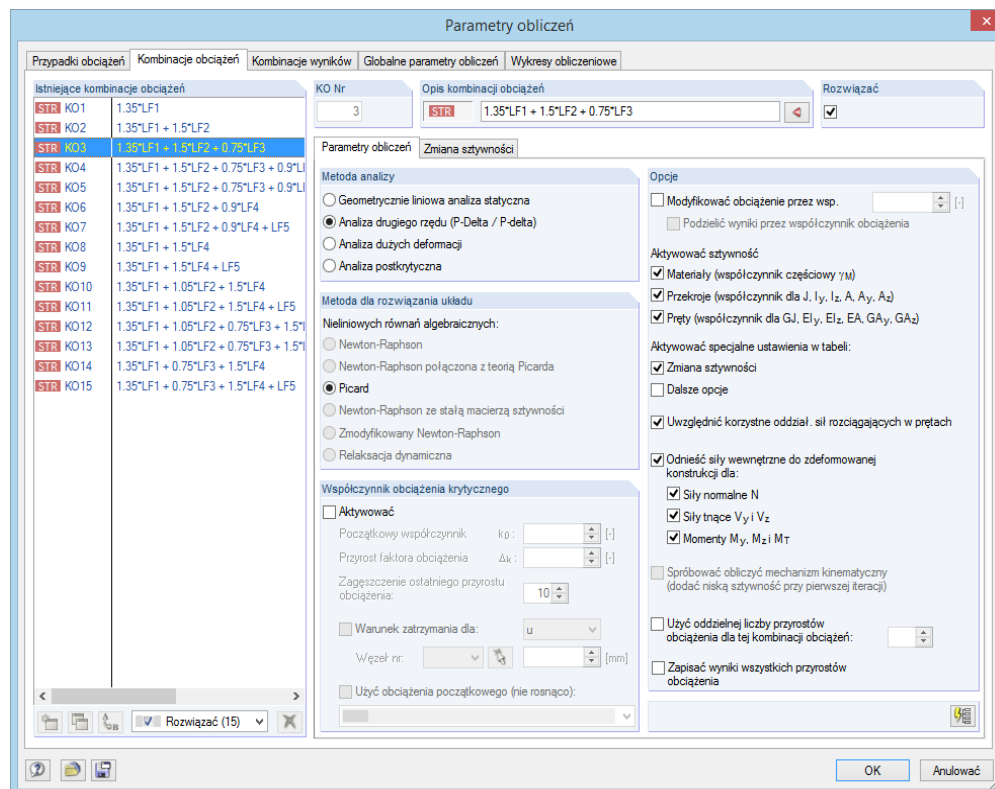


Rysunek 7.16: Przycisk [Parametry obliczeń]

Okno dialogowe *Parametry obliczeń* składa się z czterech zakładek. Pierwsze trzy zakładki zarządzają parametrami obliczeń każdego przypadku obciążenia lub odpowiednio kombinacji obciążeń i wyników. W czwartej zakładce *Globalne parametry obliczeń* (zobacz Rysunek 7.22 na

stronie 292) można sprawdzić i, w razie potrzeby, dostosować wymagania, które mają zastosowanie ogólne.

### 7.3.1 Przypadki obciążeń i kombinacje obciążeń



Rysunek 7.17: Okno dialogowe *Parametry obliczeń*, zakładka *Kombinacje obciążeń*

Sekcja okna dialogowego *Istniejące przypadki obciążeń* lub odpowiednio *Istniejące kombinacje obciążeń* zawiera wszystkie dostępne przypadki obciążeń oraz kombinacje. Parametry obliczeń zaznaczonych wpisów można dostosować w sekcji znajdującej się po prawej stronie okna dialogowego.



Przycisk [Zastosować ustawienia] przypisuje aktualne specyfikacje do wszystkich przypadków obciążeń i kombinacji.

Zakładka okna dialogowego *Kombinacje obciążeń* podzielona jest na zakładki *Parametry obliczeń* oraz ewentualnie *Zmiana sztywności* (zobacz na stronie 288) i *Dalsze opcje* (zobacz na stronie 289).

#### 7.3.1.1 Zakładka okna dialogowego *Parametry obliczeń*

##### Metoda analizy

W tej sekcji okna dialogowego można zdecydować, czy dany przypadek obciążenia lub kombinacja zostanie obliczony według *geometrycznie liniowej analizy statycznej*, *analizy drugiego rzędu* czy *analizy dużych deformacji*. W przypadku wybrania opcji *Analiza postkrytyczna*, analiza stateczności zostanie przeprowadzona według analizy dużych deformacji w odniesieniu do uszkodzenia postkrytycznego całej konstrukcji.

Program RFEM automatycznie ustawia obliczenia liniowe według liniowej analizy statycznej dla przypadków obciążeń oraz obliczenia nieliniowe według analizy drugiego rzędu dla kombinacji obciążeń.

Jeżeli model zawiera pręty kablowe, analiza dużych deformacji zalecana jest we wszystkich przypadkach. Pręty kablowe zawsze obliczane są według analizy dużych deformacji, a pozostałe pręty według wybranej metody analizy.

### Analiza drugiego rzędu

Ogólna "strukturalna" analiza drugiego rzędu stosowana jest do określania równowagi odkształconego układu. Zakłada się, że deformacje są niewielkie. Jeśli w układzie dostępne są siły osiowe, będą one prowadzić do zwiększenia momentów zginających. Tak więc obliczenia według analizy drugiego rzędu według TYMOSZENKI [10] mają zastosowanie tylko wtedy, gdy siły osiowe są znacznie większe niż siły tnące. Dodatkowy moment zginający  $\Delta M$  jest wynikiem siły osiowej  $N$  oraz ramienia sprężystego  $e_{el}$ .

$$\Delta M = N \cdot e_{el}$$

Równanie 7.1

W przypadku układów konstrukcyjnych pod ciśnieniem istnieje liniowa zależność pomiędzy obciążeniem a siłami wewnętrznymi. Zazwyczaj obliczenia prowadzi się również z  $\gamma$ -krotnością oddziaływań.

Różnica sił osiowych w iteracjach stanowi kryterium przerwania. Dla elementów prętowych zakłada się, że siła osiowa zmieniająca sztywność, mająca decydujące znaczenie dla analizy drugiego rzędu, jest stała na całej długości pręta. Obliczenia są zatrzymywane natychmiast, gdy różnica sił normalnych spadnie poniżej określonej wartości. Możliwe jest wpłynięcie na granicę przerwania w sekcji okna dialogowego *Dokładność i tolerancja* w zakładce *Globalne parametry obliczeń*.

Podczas obliczeń nieliniowych według analizy drugiego rzędu, założenia liniowej analizy sprężystej są podobne, ale posiadają następujące założenia dodatkowe:

- Nie występują odkształcenia plastyczne.
- Zewnętrzne siły nie zmieniają kierunku.
- Dla prętów o zmiennej sile osiowej (na przykład słupy), podczas określania współczynnika pręta  $\varepsilon$ , stosowana jest średnia wartość siły osiowej  $N$ .

### Analiza dużych deformacji

Analiza dużych deformacji ("teoria trzeciego rzędu") uwzględnia siły podłużne i poprzeczne podczas analizy sił wewnętrznych. W przypadku zaznaczenia obliczeń według analizy dużych deformacji, wszystkie powierzchnie i pręty będą obliczane zgodnie z tą teorią obliczeń.

Po każdym kroku iteracji tworzona jest macierz sztywności dla odkształconego układu. Należy zwrócić uwagę, że istnieją znaczne różnice pomiędzy obciążeniami zdefiniowanymi jako lokalne i globalne. Na przykład, kiedy obciążenie powierzchniowe zdefiniowane jako globalne na kierunku  $Z$  działa na stropie, zachowuje ono swój kierunek w przypadku wypaczenia elementów skończonych. W przypadku, gdy obciążenie jest efektywne na kierunku lokalnej osi  $z$  z powierzchni, następuje jego skręcanie na każdym elemencie zgodnie z skręcaniem tego elementu.

### Analiza postkrytyczna

Przeprowadzana jest analiza stateczności według uszkodzenia postkrytycznego. Metoda ta stanowi zmodyfikowane obliczenia zgodnie z analizą dużych deformacji według NEWTONA-RAPHSONA, gdzie wpływ sił osiowych jest uwzględniany w postaci zmian zachodzących w sztywności na ścinanie i zginanie. Styczna macierz sztywności jest zapisywana w każdym kroku iteracji. W przypadku osobliwości (oznaczającej niestateczność), macierz sztywności z poprzedniej iteracji zostanie wykorzystana dla nowych geometrycznych iteracji przyrostowych, dopóki styczna macierz sztywności bieżącego ustawienia nie stanie się regularna (stateczność).

## Metoda dla rozwiązania układu

## Nieliniowych równań algebraicznych:

- Newton-Raphson
- Newton-Raphson połączona z teorią Picarda
- Picard
- Newton-Raphson ze stałą macierzą sztywności
- Zmodyfikowany Newton-Raphson
- Relaksacja dynamiczna

## Metoda dla rozwiązywania układu nieliniowych równań algebraicznych

Do wyboru dostępnych jest sześć metod rozwiązywania nieliniowych układów równań algebraicznych:

### Newton-Raphson

Podejście według NEWTONA-RAPHSONA jest automatycznie ustawione w przypadku analizy dużych deformacji. Nieliniowy układ równań jest rozwiązywany numerycznie za pomocą iteracyjnych przybliżeń przy użyciu stycznych. Styczna macierz sztywności jest określana jako funkcja aktualnego stanu odkształcenia i jest ona odwracana w każdym cyklu iteracji. W większości przypadków osiągnięta jest szybka (kwadratowa) zbieżność.

Na wydajność zbieżności można wpływać poprzez ilość przyrostów obciążenia, ustawianą w zakładce okna dialogowego *Globalne parametry obliczeń*.

### Newton-Raphson połączona z metodą Picarda

Na początku stosowane jest podejście według PICARDA (zobacz poniżej). Po kilku iteracjach program zmienia metodę na podejście według NEWTONA-RAPHSONA. Podstawowym założeniem tego podejścia jest zastosowanie efektywniejszej metody PICARDA do pierwszych kroków iteracji, w celu uniknięcia powiadomień o niestateczności. To początkowe przybliżenie jest następnie zastępowane przez szybką metodę według NEWTONA-RAPHSONA, w celu znalezienia najlepszego stanu równowagi.

W sekcji *Ustawienia* zakładki okna dialogowego *Globalne parametry obliczeń* można określić procent obliczeń, które zostaną wykonane podczas iteracji według PICARDA, w przypadku stosowania metody łączonej (zobacz Rysunek 7.22 na stronie 292).

### Picard

Metoda według PICARDA, znana również jako metoda siecznych, może być rozumiana, jako przybliżenie skończonej różnicy z metody Newtona. Program uwzględnia różnicę pomiędzy obecnym przebiegiem iteracji, a oryginalnym przebiegiem iteracji prowadzonym w aktualnym kroku przyrostu obciążenia.

Osiągnięcie zbieżności jest często wolniejsze, niż w metodzie obliczeniowej według NEWTONA-RAPHSONA. Jednak metoda ta okazuje się efektywniejsza w odniesieniu do problemów nieliniowych i zwiększa stabilność obliczeń.

### Newton-Raphson o stałej macierzy sztywności

Ta wersja metody NEWTONA-RAPHSONA może być wybrana do obliczeń według analizy dużych deformacji. Macierz sztywności jest tworzona tylko raz w pierwszym kroku iteracji, a następnie stosowana we wszystkich kolejnych pętlach obliczeniowych.

Z tego powodu obliczenia przebiegają szybciej, ale nie są tak stabilne jak obliczenia według normalnej lub zmodyfikowanej metody NEWTONA-RAPHSONA.

### Zmodyfikowany Newton-Raphson

Metoda ta stosowana jest podczas prowadzenia analizy postkrytycznej (zobacz sekcję okna dialogowego *Metoda analizy*), gdzie musi zostać przekroczony zakres niestabilności. Jeśli występuje niestabilność, a macierz sztywności nie może zostać odwrócona, program wykorzystuje macierz sztywności z ostatniego stabilnego kroku iteracji. Program kontynuuje obliczenia przy użyciu tej macierzy, aż do ponownego osiągnięcia zakresu stabilności.

### Relaksacja dynamiczna

Ostatnia metoda jest odpowiednia do obliczeń według analizy dużych deformacji oraz do rozwiązywania problemów w odniesieniu do analizy postkrytycznej. Wprowadzany jest tutaj sztuczny parametr czasu. Biorąc pod uwagę bezwładności i tłumienie, uszkodzenie może być traktowane jako problem dynamiczny. Podejście to wykorzystuje jednoznaczny metodę integracji czasowej. Macierz sztywności nie zostanie odwrócona.

W przypadku obliczeń przy użyciu relaksacji dynamicznej, żadna część modelu nie może mieć ciężaru właściwego równego zero.

Metoda ta uwzględni tłumienie RAYLEIGHA, które może być określone za pomocą stałych  $\alpha$  i  $\beta$  zgodnie z poniższym równaniem uwzględniającym czas:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = f$$

gdzie	M	Macierz mas
	C	Macierz tłumienia $C = \alpha M + \beta K$
	K	Macierz sztywności
	f	Wektor sił zewnętrznych
	u	Dyskretyzowany wektor przemieszczenia

Równanie 7.2

## Opcje

### Modyfikować obciążenie przez współczynnik

Po zaznaczeniu tego pola wyboru, w polu wprowadzania można wprowadzić współczynnik, o który zostaną pomnożone wszystkie obciążenia znajdujące się w przypadku obciążenia lub w kombinacji. Współczynnik ten również wpływa na wektory obciążenia i wartości w grafice. Dozwolone są również współczynniki ujemne.

Starsze normy pozwalają pomnożyć obciążenia globalnie przez określony współczynnik, w celu zwiększenia oddziaływania według analizy drugiego rzędu podczas obliczeń stateczności. Z drugiej strony, obliczenia muszą być prowadzone na obciążeniach charakterystycznych. Oba wymagania mogą być spełnione przez wprowadzenie współczynnika większego niż 1,00 i zaznaczenie pola wyboru *Podzielić wyniki przez współczynnik obciążenia*.

Podczas analizowania konstrukcji zgodnie z obowiązującymi normami, obciążenie nie może być zmieniane przez żadne współczynniki. Zamiast tego, w przypadku superpozycji w kombinacjach obciążeń i wyników, należy zastosować częściowe współczynniki bezpieczeństwa oraz współczynniki kombinacji.

### Aktywować sztywność

Jeśli odpowiednie pole wyboru jest zaznaczone, w obliczeniach uwzględniane są współczynniki sztywności materiałów (zobacz rozdział 4.3, strona 64), przekrojów (zobacz rozdział 4.13, strona 127) lub prętów (zobacz rozdział 4.17, strona 149). Ustawienia mogą być określone szczegółowo w oknie dialogowym *Zmiana sztywności* (patrz rozdział 7.3.1.2, strona 288).

### Aktywować specjalne ustawienia w tabeli

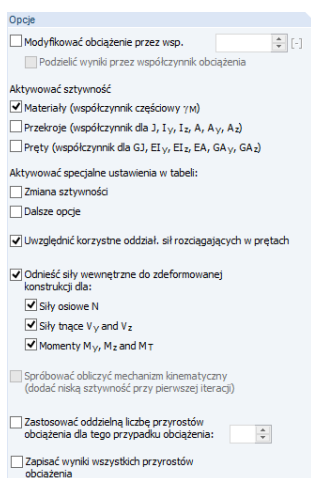
Jeśli odpowiednie pole wyboru jest zaznaczone dostępne stają się dodatkowe zakładki okna dialogowego: *Zmiana sztywności* (zobacz rozdział 7.3.1.2, strona 288) oraz *Dalsze opcje* (zobacz rozdział 7.3.1.3, strona 289).

### Uwzględnić korzystne oddziaływania sił rozciągających w prętach

Siły rozciągające mają korzystny wpływ na wstępnie odkształcone układy konstrukcyjne. Dzięki nim odkształcenie wstępne jest zredukowane, a konstrukcja jest ustabilizowana.

Istnieją różne opinie na temat uwzględniania sił rozciągających oddziałujących w sposób korzystny. Normy zawierają regulacje, zgodnie z którym korzystne oddziaływania należy uwzględnić z mniejszym częściowym współczynnikiem bezpieczeństwa, niż w przypadku oddziaływań niekorzystnych.

Częściowe współczynniki bezpieczeństwa, które zmieniają się w zależności od prętów, nie mogą zostać zastosowane ze względu na bardzo długi czas obliczeń. Z tego powodu program RFEM oferuje możliwość ogólnego ustawienia siły rozciągającej jako zerowej dla obliczeń



według analizy drugiego rzędu. Podejście to gwarantuje pozostanie po bezpiecznej stronie. Aby skorzystać z tej opcji, należy odznaczyć pole wyboru.

Z drugiej strony, można powiedzieć, że normy odnoszą się do oddziaływań, a nie do sił wewnętrznych. W związku z tym konieczne jest rozstrzygnięcie, czy oddziaływanie całkowite jest korzystne czy niekorzystne. Tak więc, jeśli oddziaływanie niekorzystne ma korzystny wpływ w pewnych obszarach konstrukcji, oddziaływanie to może zostać uwzględnione. Z tego powodu, jeśli siły osiowe mają zostać uwzględnione bez żadnych zmian podczas obliczania zgodnie z tym podejściem, pole to musi zostać zaznaczone (ustawienie domyślne).

Korzystny wpływ sił rozciągających powinien być uwzględniony w większości przypadków, na przykład dla hal ze stężeniami lub konstrukcji, na które działają siły zginające. Niemniej należy pamiętać, że odciążenie ze względu na oddziaływanie siły rozciągającej dla belek z kablami wsporczymi może spowodować niepożądane zmniejszenie odkształceń i sił wewnętrznych.

### **Odnieść siły wewnętrzne do zdeformowanej konstrukcji**

Uaktywnienie tej opcji wyświetla wyniki dla obliczeń nieliniowych, pokazujące siły osiowe i tnące oraz momenty zginające i skręcające prętów w stosunku do obróconych układów współrzędnych odkształconego układu. Istnieją trzy pola wyboru dostępne dla typów sił wewnętrznych *Siły osiowe*, *Siły tnące* oraz *Momenty*.

### **Spróbować obliczyć mechanizm kinematyczny**

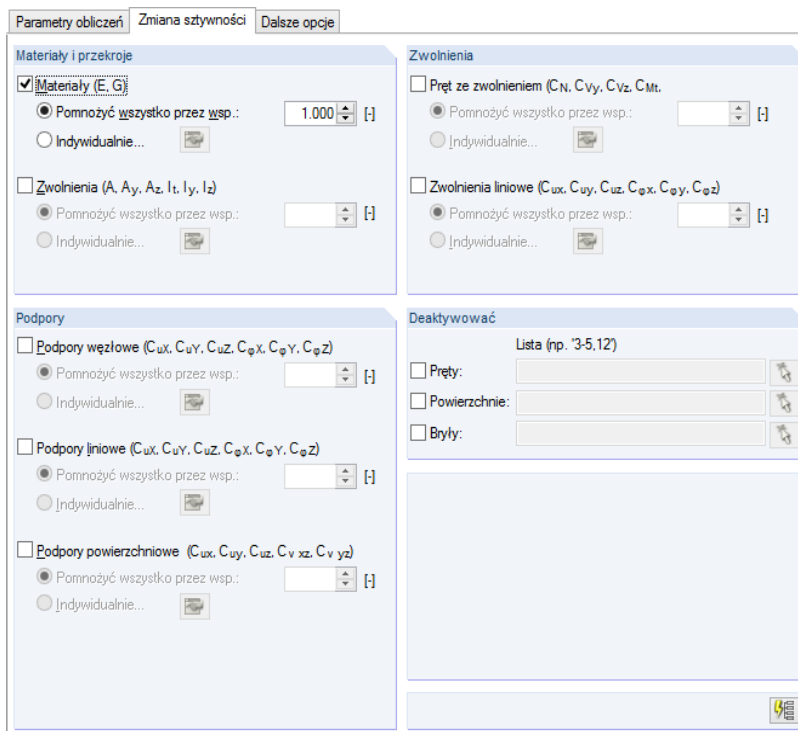
Program RFEM umożliwia obliczenie niestatecznych modeli. W tym celu stosowane są wewnętrznie niewielkie sprężystości stabilizujące konstrukcję podczas pierwszej iteracji. Po osiągnięciu stabilnego stanu początkowego, a przed przeprowadzeniem dalszych iteracji, sprężystości zostaną usunięte.

### **Liczba przyrostów obciążenia definiowana przez użytkownika**

Dla każdego przypadku obciążenia i każdej kombinacji obciążeń można zdefiniować indywidualną liczbę kroków przyrostu obciążenia. Z tego powodu liczba określona w zakładce okna dialogowego *Globalne parametry obliczeń* nie ma już zastosowania (zobacz 7.3.3 na stronie 293).

### 7.3.1.2 Zakładka okna dialogowego *Zmiana sztywności*

Ta zakładka okna dialogowego jest wyświetlana tylko wtedy, gdy zaznaczone jest pole wyboru *Zmiana sztywności* w zakładce *Parametry obliczeń* okna dialogowego *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*.



Rysunek 7.18: Zakładka okna dialogowego *Modyfikuj sztywności*

Ustawienia wprowadzone w tej zakładce okna dialogowego dotyczą tylko przypadku obciążenia lub kombinacji obciążenia, które są zaznaczone na liście po lewej stronie. Przycisk [Zastosować ustawienia] przydziela aktualne parametry do wszystkich przypadków obciążenia lub odpowiednio do kombinacji.

#### **Materiały i przekroje / podpory / zwolnienia**

Przy użyciu parametrów określonych w tych trzech sekcjach okna dialogowego można zdecydować, w jaki sposób sztywności różnych parametrów modelu są uwzględniane w obliczeniach.

- *Pomnożyć wszystko przez współczynnik*  
Określa się współczynnik, przez który jest globalnie mnożona sztywność materiałów, przekrojów, podpór i zwolnień.
- *Indywidualnie*  
Przy użyciu przycisku [Modyfikuj] otwiera się nowe okno dialogowe, w którym można przypisać określony współczynnik sztywności do każdego materiału.

Oba pola wyboru są dostępne dla *Przekrojów*, *Podpór* oraz *Zwolnień*. W ten sposób można szczegółowo wpływać na obliczenia.

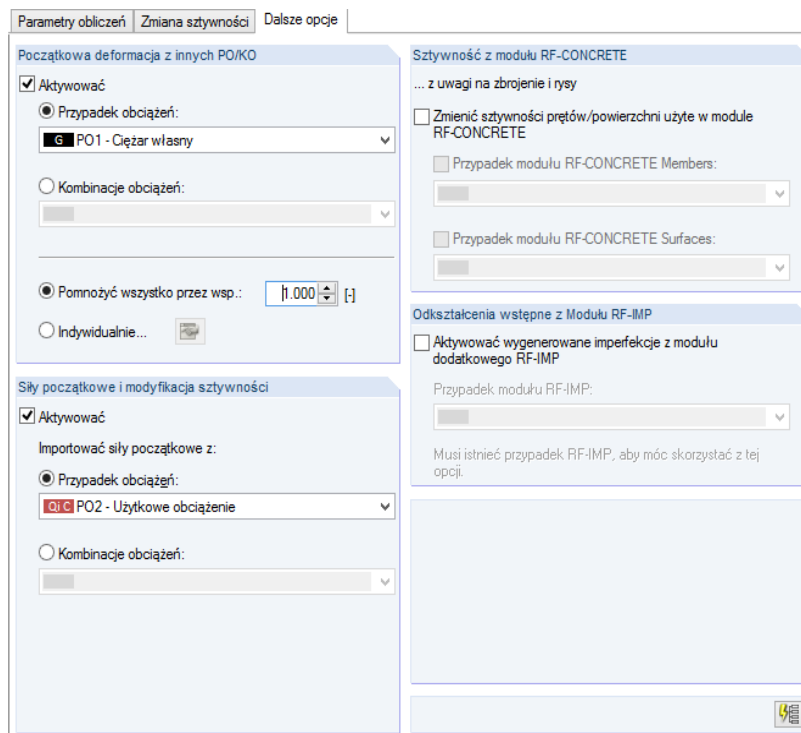
#### **Deaktywować**

Korzystając z tych trzech pól wprowadzania definiuje się, na które *Pręty*, *Powierzchnie* lub *Bryły* nie mają wpływu określone modyfikacje sztywności, co oznacza, że są one uwzględniane w obliczeniach ze współczynnikiem 1,0. Obiekty można również wybrać graficznie przy pomocy funkcji [^].



### 7.3.1.3 Zakładka okna dialogowego *Dalsze opcje*

Ta zakładka okna dialogowego jest wyświetlana tylko wtedy, gdy zaznaczone jest pole wyboru *Dalsze opcje* w zakładce *Parametry obliczeń* okna dialogowego *Edytować przypadki obciążeń i kombinacje*.



Rysunek 7.19: Zakładka okna dialogowego *Dalsze opcje*

### Początkowa deformacja z innego przypadku obciążenia / kombinacji obciążeń

W tej sekcji okna dialogowego można wybrać przypadki obciążeń lub kombinacje obciążeń, których odkształcenia są uwzględniane w obliczeniach jako odkształcenia początkowe. Węzły ES są odpowiednio przesuwane przed rozpoczęciem obliczeń. Jeżeli dla wybranego przypadku obciążenia lub kombinacji obciążeń nie są jeszcze dostępne wyniki, zostaną one obliczone automatycznie.

W tym celu należy określić współczynnik, przez który zostaną przeskalowane odkształcenia:

- *Pomnożyć wszystko przez współczynnik*  
Deformacje prętów, powierzchni i brył są globalnie mnożone przez określony współczynnik.
- *Indywidualnie*  
Przy użyciu przycisku [Modyfikuj] otwiera się nowe okno dialogowe, w którym można przypisać określony współczynnik dla deformacji do każdego pręta, powierzchni i bryły.

### Siły początkowe dla macierzy geometrycznej

Można wybrać przypadek obciążenia lub kombinację, których siły osiowe zostaną użyte dla deformacji początkowej. W ten sposób można uwzględnić na przykład stabilizujące oddziaływanie innego przypadku obciążenia (niż wymienione powyżej w sekcji okna dialogowego *Początkowa deformacja*).

Dostęp do tej części okna dialogowego jest możliwy tylko w przypadku obliczeń według analizy drugiego rzędu.



## Sztywność z modułu RF-CONCRETE

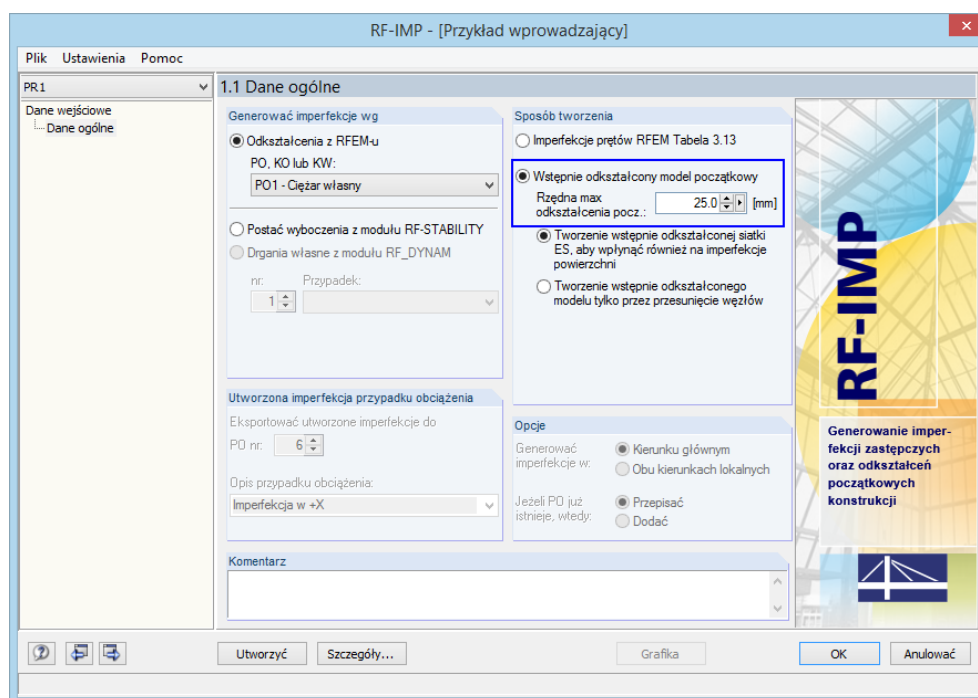
Sztywność elementów żelbetowych, wynikająca ze zbrojenia i analizy rys według nieliniowej metody obliczeniowej przeprowadzonej w modułach RF-CONCRETE, może zostać uwzględniona w obliczeniach. Po zaznaczeniu tego pola wyboru, należy określić przypadek obliczeniowy z dodatkowego modułu **RF-CONCRETE Members** lub **RF-CONCRETE Surfaces**.

Obliczenia przy użyciu sztywności z RF-CONCRETE kończą się powodzeniem tylko wtedy, gdy zostały utworzone przypadki obliczeniowe, a obliczenia przebiegły bez wystąpienia sytuacji nie do rozwiązania.

## Początkowa deformacja z modułu RF-IMP

Imperfekcje można rozpatrywać w postaci wstępnie odkształconego modelu zastępczego utworzonego w dodatkowym module **RF-IMP**. W przypadku braku licencji na ten moduł, imperfekcje zastępcze dla prętów (zobacz rozdział 6.13 na stronie 264) lub odkształcenia początkowe przypadku obciążenia (zobacz powyżej) można utworzyć ręcznie.

Obliczenia z wykorzystaniem wstępnie odkształconego modelu zastępczego są możliwe tylko, jeśli model ten został wcześniej utworzony w dodatkowym module RF-IMP. Moduł ten generuje imperfekcje na podstawie wartości własnych z modułów RF-STABILITY, RF-DYNAM lub na podstawie odkształceń z przypadku obciążenia programu RFEM, które są skalowane do maksymalnej rzędnej.



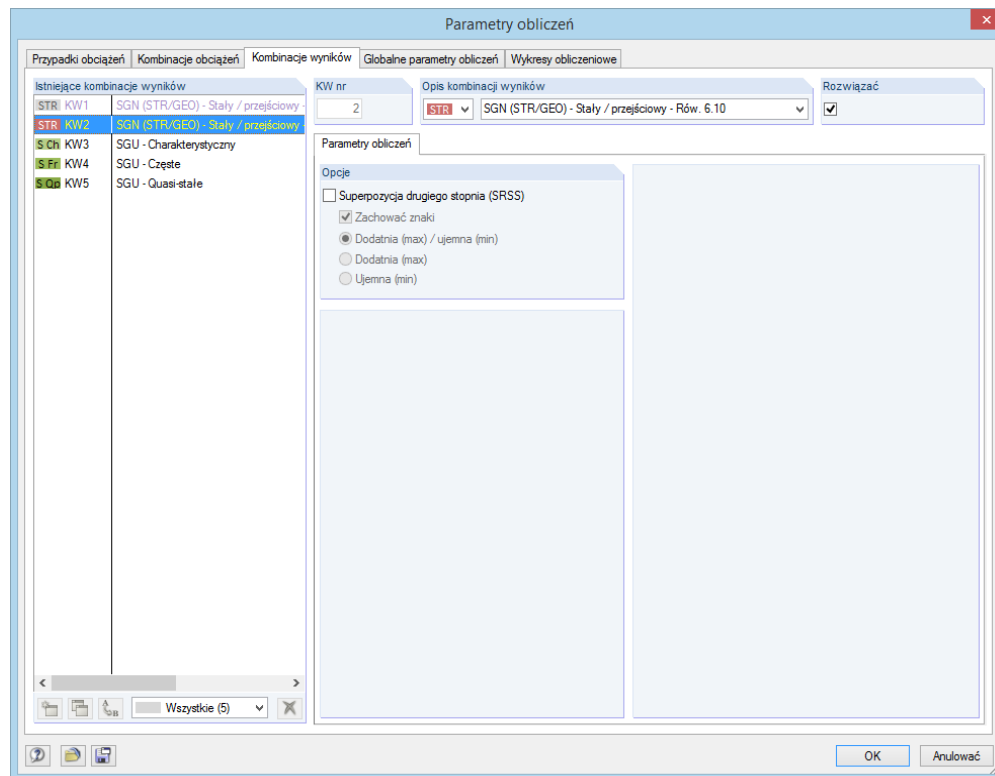
Rysunek 7.20: Dodatkowy moduł RF-IMP z typem generowania *Wstępnie odkształcona konstrukcja początkowa*

Model zastępczy przechowywany jest oddzielnie, bez zmiany charakterystycznych danych geometrycznych. Współrzędne węzłów ES są dostosowywane do modelu zastępczego dopiero po obliczeniu kombinacji obciążeń.

Dla każdej kombinacji obciążeń można wykorzystać inny model zastępczy. Odpowiedni przypadek wybiera się z listy *Przypadek modułu RF-IMP*.

### 7.3.2 Kombinacje wyników

Podstawowe informacje na temat superpozycji przypadków obciążeń w kombinacji wyników znajdują się w rozdział 5.6 Kombinacje wyników na stronie 218.



Rysunek 7.21: Okno dialogowe *Parametry obliczeń*, zakładka *Kombinacje wyników*

W sekcji okna dialogowego *Istniejące kombinacje wyników* znajduje się lista wszystkich utworzonych lub wygenerowanych kombinacji wyników. *Parametry obliczeń* zaznaczonego wpisu można edytować w sekcji znajdującej się w prawej części okna dialogowego.

#### Opcje

*Superpozycja drugiego stopnia* jest domyślnie wyłączona. Z tego powodu siły wewnętrzne są nakładane przy użyciu superpozycji dodatkowej:

$$B = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

Równanie 7.3

Ustawienie domyślne jest odpowiednie dla większości zastosowań. Dodawanie kwadratowe sił wewnętrznych jest istotne dla analizy dynamicznej, na przykład podczas łączenia przypadków obciążeń ze względu na siły odśrodkowe. W tym przypadku suma Pitagorasa tworzona jest w następujący sposób:

$$B = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_n^2}$$

Równanie 7.4

W przypadku aktywacji sumy kwadratowej, można wykorzystać opcję *Dodatnie/Ujemne*, aby zdecydować, które wartości ekstremalne z przypadków obciążeń będą uwzględniane w superkombinacji oraz czy znaki zostaną *Zachowane*. W ten sposób można określić według znaków wartości ekstremalne modalnych sił wewnętrznych i odkształceń oraz wyników należących do składowej nadrzędnej.

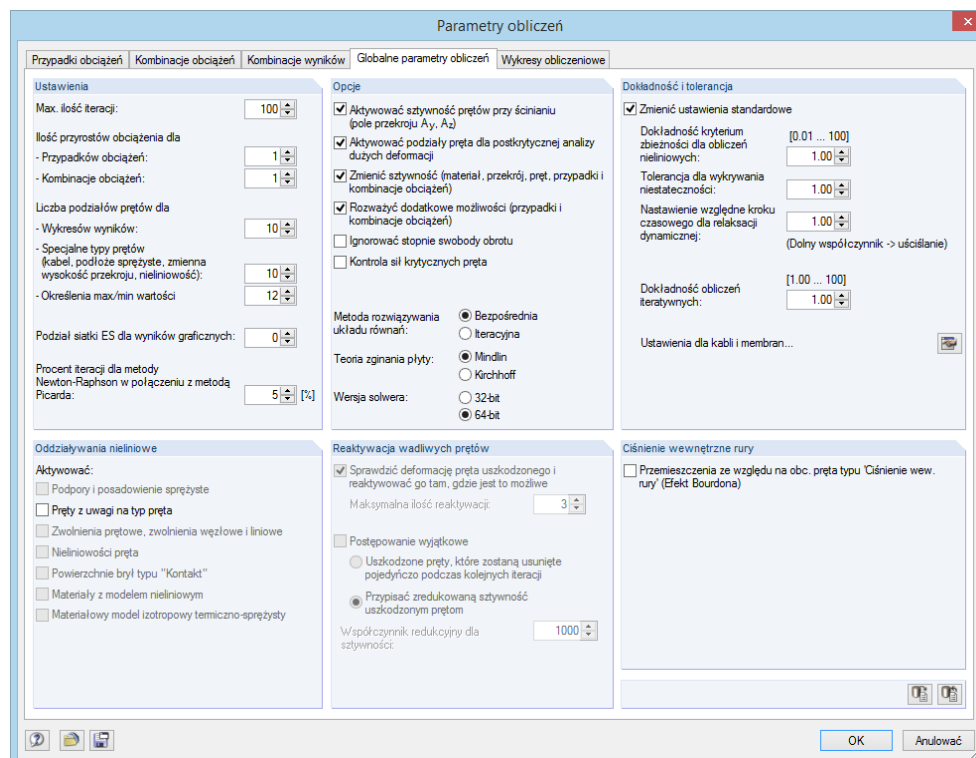
### 7.3.3 Globalne parametry obliczeń



Zakładka okna dialogowego *Globalne parametry obliczeń* zarządza ustawieniami przydzielanymi globalnie do wszystkich przypadków obciążeń i kombinacji obciążeń. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,

należy wybrać **Parametry obliczeń** w menu **Obliczyć**

lub skorzystać z przycisku paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony.



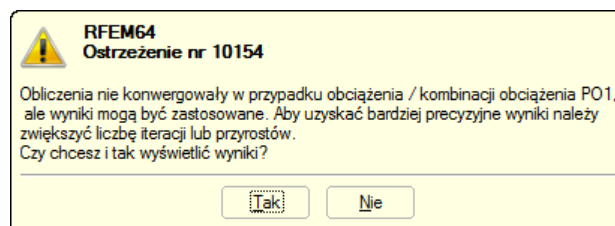
Rysunek 7.22: Okno dialogowe *Parametry obliczeń*, zakładka *Globalne parametry obliczeń*

## Ustawienia

### Maksymalna ilość iteracji

Podczas używania analizy drugiego rzędu lub analizy dużych deformacji, a także obiektów, które są efektywne nieliniowo, należy prowadzić obliczenia iteracyjne. Wartość w polu wprowadzania określa najwyższą możliwą ilość przebiegów obliczeniowych. Parametr ten nie jest powiązany z metodą iteracyjną ustawioną dla układu równań, opisaną w sekcji okna dialogowego *Opcje*.

Gdy obliczenia osiągną maksymalną liczbę iteracji bez osiągnięcia równowagi, program RFEM wyświetli odpowiedni komunikat. Pomimo tego, wyniki mogą zostać wyświetlone.



Rysunek 7.23: Komunikat wyświetlany w przypadku problemów zbieżności

### Ilość przyrostów obciążenia

Parametry w tym polu wprowadzania mają zastosowanie jedynie podczas obliczeń według analizy drugiego rzędu lub analizy dużych deformacji. Pomimo, iż podczas rozważania dużych deformacji znalezienie równowagi jest często trudne, niestabilności można uniknąć, poprzez zastosowanie obciążenia w kilku krokach.

Na przykład, gdy określone są dwa przyrosty obciążenia, połowa obciążenia będzie stosowana w pierwszym kroku. Iteracje będą prowadzone aż do uzyskania stanu równowagi. Następnie, w drugim kroku, pełne obciążenie zostanie zastosowane do już odkształconej konstrukcji, a iteracje zostaną uruchomione ponownie, aż do osiągnięcia stanu równowagi.

Należy pamiętać, że przyrosty obciążenia mają niekorzystny wpływ na czas przetwarzania danych. Z tego powodu w polu wprowadzania automatycznie ustawiana jest wartość 1 (brak stopniowego przyrostu obciążenia).

Dla każdego przypadku obciążenia i kombinacji obciążeń można dodatkowo określić, ile przyrostów obciążenia zostanie zastosowanych (zobacz rozdział 7.3.1.1 na stronie 287). Globalne ustawienia będą ignorowane.

### Liczba podziałów prętów dla wykresów wyników

To pole wprowadzania wpływa na graficzne przedstawianie wyników prętów, które nie mają innego, różniącego się podziału siatki ES (na przykład ze względu na zagęszczenie siatki ES lub przyłączoną powierzchnię). Jeśli ustawiony jest podział wynoszący 10, program RFEM dzieli długość najdłuższego pręta w układzie przez 10. Na podstawie takiego podziału długości, program RFEM określa dla każdego pręta graficzne rozkłady wyników w punktach podziału.

W oknie dialogowym *Ustawienia siatki ES* istnieje inna możliwość podziału prostych prętów, które nie są zintegrowane w powierzchni (zobacz Rysunek 7.10 na stronie 278). Dzięki tej opcji możliwe jest utworzenie węzłów ES na wszystkich wolnych prętach, których wyniki są służyć do graficznych wykresów wyników.

### Liczba podziałów prętów dla specjalnych typów prętów (kabel, podłoże sprężyste, zmienna wysokość przekroju, nieliniowość)

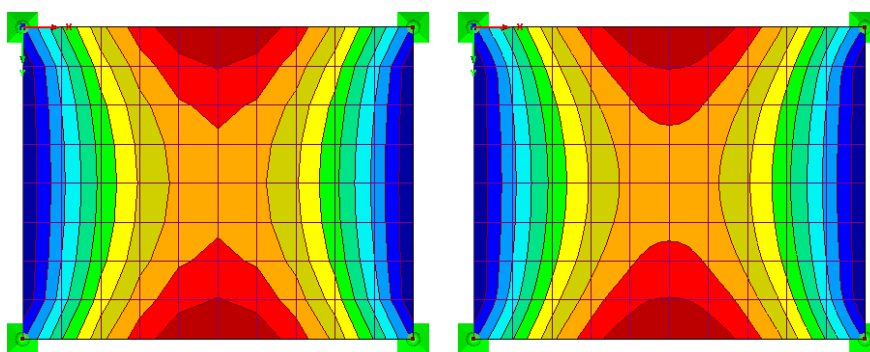
W przeciwieństwie do poprzedniej opcji podziału, prawdziwy podział pręta jest określany w tym przypadku przez wewnętrzne węzły pośrednie. Parametr ten dotyczy kabli, prętów posadowienia (naprężenia kontaktowe), prętów o zmiennym przekroju (interpolacja wartości przekroju) oraz prętów posiadających właściwości plastyczne (strefy uplastycznienia), jeżeli nie zostały podzielone inaczej przez węzły ES. Podział ten nie jest uwzględniany, jeżeli pręt jest umieszczony na linii granicznej powierzchni lub jeżeli linia definicji posiada zagęszczenie siatki ES.

### Liczba podziałów prętów dla określenia max/min wartości

Wartość ta określa wewnętrzny podział, według którego są określane maksymalne i minimalne siły wewnętrzne prętów. Zatem podział ten (ustawienie domyślnie: 12) stanowi podstawę dla wartości granicznych podanych w tabelach wyników oraz w grafice. Podział ten jest również wykorzystywany do obliczania sił wewnętrznych prętów i kombinacji obciążeń.

### Podział siatki ES dla wyników graficznych

Podział ten kontroluje dokładność rozkładów graficznych w obrębie elementów skończonych. Poniższy przykład porównuje wyniki z liczbą podziałów 0 oraz 3.



Rysunek 7.24: Graficzny wykres wyników m-x z podziałem 0 (lewo) i 3 (prawo)

### Procent iteracji dla metody Newton-Raphson w połączeniu z metodą Picarda

Podejście według PICARDA opiera się na założeniu usztywnień siecznych, a metoda NEWTONA-RAPHSONA zakłada usztywnienia styczne (zobacz rozdział 7.3.1 na stronie 285). W przypadku wybrania metody obliczania *Newton-Raphson w połączeniu z metodą Picarda*, w pierwszych iteracjach używane są usztywnienia sieczne, które w późniejszych iteracjach zastępowane są przez usztywnienia styczne.

W polu wprowadzania można określić procent pierwszych iteracji z usztywnieniami siecznymi. Wartość tę należy określić w stosunku do całkowitej ilości iteracji.

### Opcje

#### Aktywować sztywność prętów przy ścinaniu (pole przekroju $A_y$ , $A_z$ )

Uwzględnienie wyników sztywności przy ścinaniu powoduje wzrost odkształceń wywołanych siłami tnącymi. Ponieważ odkształcenie od ścinania nie mają praktycznie znaczenia dla przekrojów walcowanych i spawanych, pole wyboru jest domyślnie nieaktywne. W przypadku przekrojów masywnych i drewnianych, zaleca się jednak uwzględnić sztywność na ścinanie podczas analizy deformacji.

Odkształcenia od ścinania mają wpływ tylko na węzły końcowe prętów. Z tego powodu należy podzielić belkę jednoprzęsłową przy użyciu węzłów pośrednich tak, aby oddziaływanie stało się efektywne.

#### Aktywować podziały pręta dla postkrytycznej analizy dużych deformacji

Belki można podzielić przy użyciu węzłów pośrednich, podczas obliczeń według analizy dużych deformacji, aby obliczyć je z większą dokładnością. Liczba podziałów pobierana jest z pola wprowadzania dla kabli i prętów posadowienia.

#### Zmienić sztywność (materiał, przekrój, pręt, przypadki i kombinacje obciążeń)

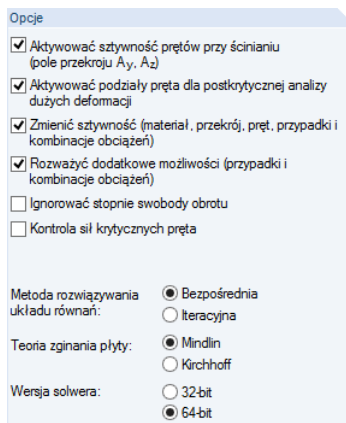
Za pomocą tej opcji można zdefiniować, czy współczynniki korygujące sztywność materiałów (zobacz rozdział 4.3, strona 64), przekrojów (zobacz rozdział 4.13, strona 127) i prętów (zobacz rozdział 4.17, strona 149) będą uwzględniane w obliczeniach przypadków obciążeń i kombinacji obciążeń. Współczynniki w oknach dialogowych prętów i przekrojów są wstępnie ustawione jako 1,00. Tak więc zaznaczenie w polu wyboru zazwyczaj nie wiąże się ze zmniejszeniem lub zwiększeniem sztywności.

#### Rozważyć dodatkowe możliwości

Jeżeli *Dalsze opcje* zostały określone dla parametrów obliczeniowych przypadków obciążeń i kombinacji obciążeń (zobacz rozdział 7.3.1.3, strona 289), możliwa jest ich aktywacja lub dezaktywacja poprzez zaznaczenie lub odznaczenie pola wyboru.

#### Ignorować stopnie swobody obrotu

Zazwyczaj w przypadku przestrzennych układów konstrukcyjnych należy uwzględnić sześć stopni swobody. Aby zaoszczędzić czas, opcja ta pozwala analizować modele konstrukcyjne o tylko trzech stopniach swobody. Następujące uproszczenia mają zastosowanie, gdy możliwe



są tylko przesunięcia, ale nie obroty.

Jako siły wewnętrzne obliczane są tylko siły osiowe. Nie ma to zastosowania w przypadku momentów zginających, skręcających, a także sił tnących - jakby model składał się tylko z dźwigarów kratownicowych, kabli lub powierzchni membranowych.

Podczas wykorzystywania tego założenia, macierz sztywności redukowana jest o połowę wierszy i tabel, co znacznie skraca czas obliczeń.

#### Kontrola sił krytycznych pręta

Przekroczenie obciążenia krytycznego już w pierwszej iteracji często prowadzi do wyświetlenia powiadomienia o niestateczności. Należy zaznaczyć to pole wyboru, aby określić, czy obciążenia krytyczne mają być sprawdzane dla prętów kratownicowych, ściskanych i wyboczeniowych. Uwzględniane będą tylko długości efektywne zdefiniowanych prętów.

#### Metoda rozwiązywania układu równań

Obie opcje kontrolują metodę używaną do rozwiązywania układów równań: *Bezpośrednia* lub *Iteracyjna*. Aby uniknąć nieporozumień: podczas bezpośredniego rozwiązywania układu równań, obliczenia iteracyjne są również prowadzone, jeżeli dostępne są nieliniowości lub dane są obliczane według analizy drugiego rzędu i analizy dużych deformacji. Określenia *Bezpośrednie* i *Iteracyjne* odnoszą się do zarządzania danymi w trakcie obliczeń.

Wybór metody rozwiązywania prowadzącej do szybkiego obliczenia wyników zależy od złożoności modelu oraz ilości dostępnej pamięci RAM:

- W przypadku układów o małych i średnich wielkościach, bardziej efektywna jest *Bezpośrednia* metoda rozwiązywania.
- W przypadku układów dużych i złożonych, bardziej efektywna jest metoda *Iteracyjna*.

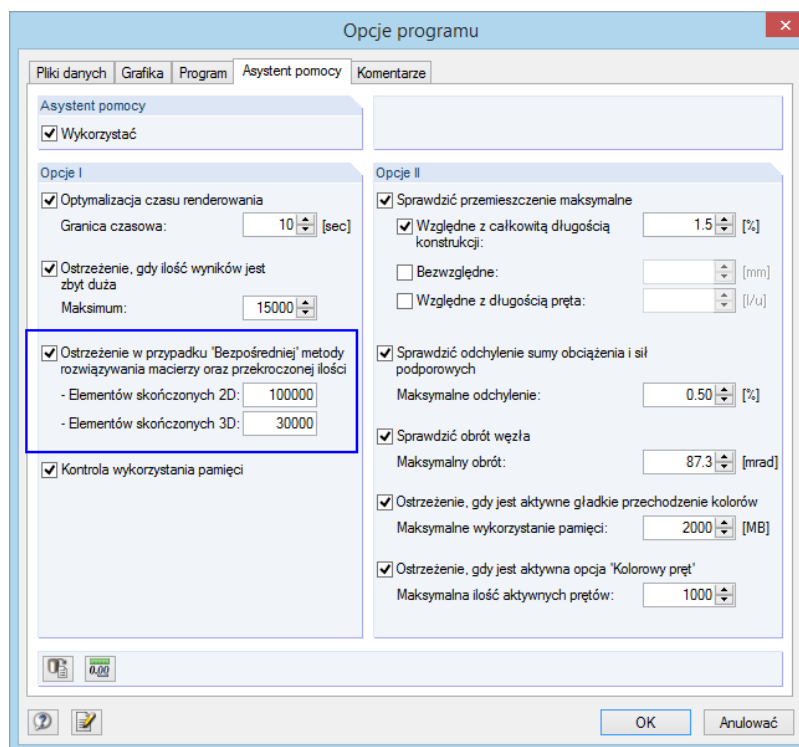
W momencie, gdy macierze dla metody bezpośredniej nie mogą być już dłużej przechowywane w pamięci głównej, Windows zaczyna przesyłać części danych na dysk twardy, co spowalnia obliczenia. Wzrasta aktywność dysku twardego, a obciążenie procesora zostaje zmniejszone, co jest widoczne w Menedżerze zadań systemu Windows. Problemu tego można uniknąć, wykorzystując iteracyjną metodę obliczeń ICG (*Incomplete Conjugate Gradient*).



Konieczne jest upewnienie się, że plik wymiany automatycznie przydzielany przez system Windows jest wystarczająco duży. W przypadku zbyt małego pliku wymiany, może wystąpić awaria programu.



W menu paska narzędzi **Opcje** należy wybrać **Opcje programu** lub użyć przycisku z paska narzędzi, pokazanego na lewym marginesie tej strony, aby otworzyć okno dialogowe *Opcje programu*. W zakładce *Asystent pomocy* można zdefiniować ilość elementów 2D i 3D, po przekroczeniu której, program RFEM pokaże ostrzeżenie o prowadzeniu obliczeń przy użyciu metody bezpośredniej.

Rysunek 7.25: Okno dialogowe *Opcje programu*, zakładka *Asystent pomocy*

### Teoria zginania płyty



Powierzchnie mogą być obliczane zgodnie z teoriami zginania MINDLINA lub KIRCHHOFFA. Obliczenia według MINDLINA uwzględniają odkształcenia od sił tnących, natomiast w obliczeniach według KIRCHHOFFA nie są one brane pod uwagę. Z tego powodu opcja obliczania według *Mindlina* nadaje się dla stosunkowo grubych płyt i powłok stosowanych w konstrukcjach masywnych. Opcja według *Kirchhoffa* jest zalecana dla powierzchni, które są stosunkowo cienkie, jak na przykład arkusze blachy w konstrukcjach stalowych.

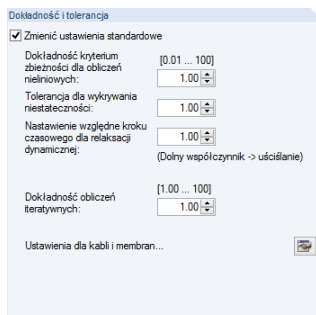
### Wersja solwera

Bezpośrednia metoda rozwiązywania układu równań (zobacz powyżej) jest oparta na rdzeniu analitycznym wykorzystującym rozszerzone możliwości pamięci RAM 64-bitowych systemów operacyjnych. W ten sposób możliwe jest obliczanie wszystkich przypadków obciążeń i kombinacji obciążeń jednocześnie, nawet w przypadku dużych układów konstrukcyjnych, dzięki czemu można zaoszczędzić czas, pod warunkiem, że żadne nieliniowości obiektu nie będą efektywne. Pamięć RAM musi być wystarczająco duża, aby pomieścić macierz sztywności i wszystkie obciążenia.



## Dokładność i tolerancja

Rzadko występuje konieczność dostosowania wstępnie ustawionych parametrów zbieżności i tolerancji. W tym celu należy zaznaczyć pole wyboru *Zmienić ustawienia standardowe*, aby uaktywnić pola wprowadzania znajdujące się poniżej.



### Dokładność kryterium zbieżności dla obliczeń nieliniowych

Jeżeli występują oddziaływania nieliniowe lub jeżeli obliczenia prowadzone są według analizy drugiego rzędu lub analizy dużych deformacji, na obliczenia można wpływać za pomocą kryteriów zbieżności.

Zmiana sił osiowych dwóch kolejnych iteracji jest zawsze sprawdzana dla każdego elementu. Gdy tylko osiągnie ona określoną wartość cząstkową maksymalnej siły osiowej, obliczenia zostaną zatrzymane. W procesie iteracji może się zdarzyć, że siły osiowe z jednego lub kilku elementów będą oscylować pomiędzy dwiema wartościami, zamiast osiągnąć zbieżność. Przy użyciu wartości wpisanej w tym polu, można zdefiniować czułość, aby pominąć efekty tych oscylacji.

Dokładność wpływa także na kryterium zbieżności dla zmian odkształceń w obliczeniach według analizy dużych deformacji, gdzie są uwzględniane nieliniowości geometryczne.

Domyślną wartością jest 1,0. Minimalny współczynnik wynosi 0,1, a wartość maksymalna 100. Im wyższy współczynnik, tym mniej wrażliwa będzie granica zatrzymania.

### Tolerancja dla wykrywania niestateczności

Istnieją różne sposoby analizowania zachowania stateczności konstrukcji. Jednakże nie każda z nich jest zawsze w stanie wykryć osobliwe macierze sztywności.

Program RFEM wykorzystuje dwie procedury określania niestateczności. Z jednej strony, elementy na głównej przekątnej macierzy sztywności są porównywane z taką samą liczbą w iteracjach. Z drugiej strony, każdy element głównej przekątnej jest analizowany w odniesieniu do sąsiedniej liczby. Tolerancja może być ustawiana w polu wprowadzania. Im mniejsza wartość, tym mniej "wrażliwa" analiza zostanie przeprowadzona.

### Nastawienie względne kroku czasowego dla relaksacji dynamicznej

Parametr czasu kontroluje obliczenia przy użyciu metody relaksacji dynamicznej (zobacz rozdział 7.3.1.1 na stronie 283). Im mniejsza wartość, tym mniejszy jest krok czasowy i bardziej dokładne wyniki.

## Wykres zbieżności

Podczas obliczeń wyświetlany jest wykres pokazujący rozwój przemieszczeń i obrotów (zobacz Rysunek 7.31 na stronie 301). Wyświetlane wartości odnoszą się do węzła o maksymalnych odkształceniach.

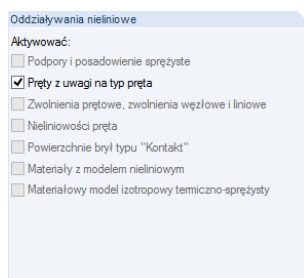


W sekcji okna dialogowego *Wykres zbieżności* istnieje możliwość zdefiniowania szczególnego węzła ze składową deformacji, której wyniki pojawią się dodatkowo w oknie dialogowym *Wykres zbieżności* (zobacz Rysunek 8.2 na stronie 304).

## Oddziaływania nieliniowe

Gdy w modelu używane są elementy oddziałujące nieliniowo, można wykluczyć z obliczeń oddziaływanie następujących elementów:

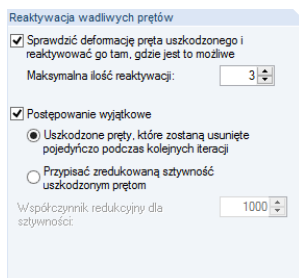
- Uszkodzenie podpór/posadowienie sprężyste (→ rozdział 4.7, str. 104, rozdział 4.8, str. 111, rozdział 4.9, str. 117)
- Uszkodzenie prętów (→ rozdział 4.17, str. 152)
- Zwolnienia na końcach pręta (→ rozdział 4.14, str. 139)
- Nieliniowości prętowe (→ rozdział 4.20, str. 169)
- Bryły kontaktowe (→ rozdział 4.5, str. 96)
- Nieliniowości materiału (→ rozdział 4.3, str. 65)



Zaleca się wyłączyć oddziaływania nieliniowe jedynie dla celów testowych, na przykład, aby odnaleźć przyczynę powstania niestateczności. Opcje w tej sekcji okna dialogowego pomagają odnaleźć błędy. Za przerwanie obliczeń są czasami odpowiedzialne błędnie zdefiniowane kryteria uszkodzenia.

### Reaktywacja wadliwych prętów

Ustawienia w tej sekcji okna dialogowego dotyczą elementów prętowych, które mogą okazać się nienośne (np. pręty rozciągane, ściskane lub pręty posadowienia). Przy użyciu tej opcji można rozwiązać problemy niestateczności, spowodowane przez wadliwe pręty, na przykład, gdy konstrukcja jest usztywniona więzami. Z powodu późniejszego skrócenia wywołanego obciążeniem pionowym, pręty rozciągane otrzymują małe siły ściskające w pierwszym kroku obliczeń i są usuwane z układu. Następnie, w drugim przebiegu obliczeń, konstrukcja jest niestateczna bez więzów.



### Sprawdzić deformację pręta uszkodzonego i reaktywować go, gdzie jest to możliwe

Jeśli to pole wyboru jest zaznaczone, program RFEM analizuje przemieszczenia węzłowe w każdej iteracji. Jeżeli końce pręta w uszkodzonej więzi rozsuwają się, pręt ten jest reaktywowany.

W niektórych przypadkach reaktywowane pręty mogą powodować problemy: pręt jest usuwany po pierwszej iteracji, reaktywowany po drugiej iteracji i usuwany ponownie po trzeciej iteracji itd. Obliczenia przebiegałyby w pętli, aż do osiągnięcia maksymalnej ilości iteracji bez osiągnięcia zbieżności. Sytuacji tej można uniknąć poprzez zdefiniowanie *Maksymalnej ilości reaktywacji*, określając, jak często element prętowy może być reaktywowany, zanim zostanie definitywnie usunięty z macierzy sztywności.

### Postępowanie wyjątkowe

Po zaznaczeniu tego pola wyboru, dostępne są do wyboru dwie metody postępowania z wadliwymi prętami. Mogą one być połączone z opcją reaktywacji opisaną powyżej.

- **Uszkodzone pręty, które zostaną usunięte pojedynczo podczas kolejnych iteracji**

Po pierwszej iteracji, program RFEM przykładowo nie usuwa wszystkich prętów rozciąganych z siłą ściskającą, a jedynie więź z największą siłą ściskającą. Następnie, w drugiej iteracji, w macierzy sztywności będzie brakować tylko jednego pręta. W następnym kroku, program RFEM ponownie usuwa więź posiadającą największą siłę ściskającą. W ten sposób często można uzyskać lepsze zachowanie zbieżności dla układu, dzięki redystrybucji oddziaływań.



Ta opcja obliczania wymaga więcej czasu, ponieważ program musi wykonać większą liczbę iteracji. Ponadto trzeba się upewnić, że ustawiona jest wystarczająca liczba możliwych iteracji w sekcji okna dialogowego *Ustawienia*.

- **Przypisać zredukowaną sztywność uszkodzonym prętom**

Pręty, które zostały uszkodzone, nie są usuwane z macierzy sztywności. Zamiast tego program RFEM przydziela im niewielką sztywność. Określa się ją w polu wprowadzanie *Współczynnik redukcyjny dla sztywności*. Współczynnik wynoszący 1000 oznacza zmniejszenie sztywności do 1/1000.



Należy zauważyć, że opcja ta powoduje wyświetlanie niewielkich sił wewnętrznych na prętach, które w rzeczywistości nie mogą być przenoszone przez pręt ze względu na jego definicję.

## 7.4 Rozpoczynanie obliczeń

Obliczenia można uruchomić na kilka sposobów. Przed rozpoczęciem obliczeń, zaleca się przeprowadzić krótkie sprawdzenie poprawności danych początkowych (zobacz rozdział 7.1.1 na stronie 270).

### Oblicz wszystko

Aby uruchomić odpowiednią funkcję,

należy wybrać opcję **Obliczyć wszystko** w menu **Obliczyć**

lub kliknąć przycisk paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 7.26: Przycisk [Oblicz wszystko]

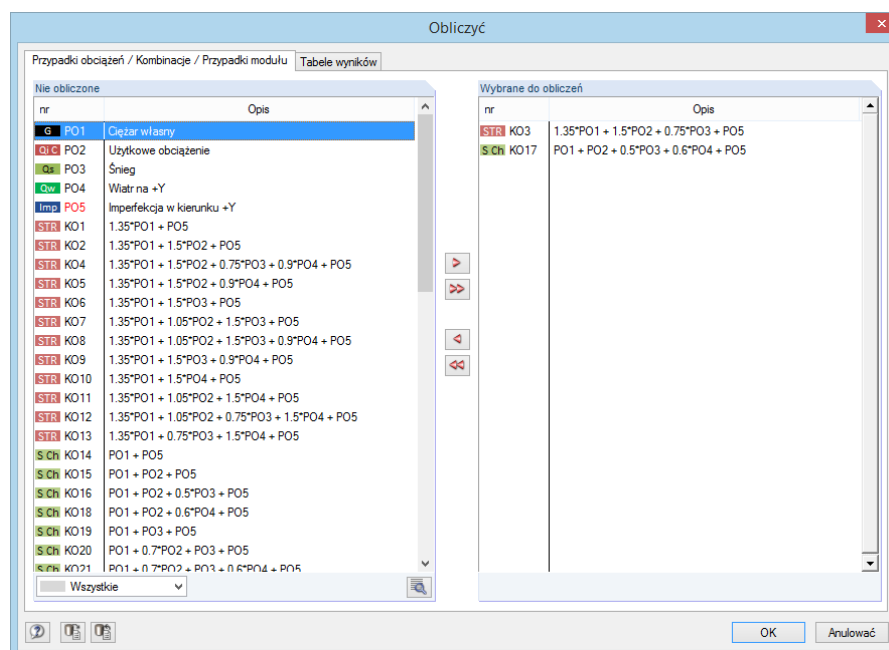
Polecenie to uruchamia obliczanie wszystkich przypadków obciążeń, kombinacji obciążeń i kombinacji wyników, jak również wszystkich dodatkowych modułów, w których dostępne są dane początkowe.

Funkcja [Oblicz wszystko] wymaga pewnej uwagi:

- Wiele przypadków obciążenia nie może wystąpić samodzielnie. Na przykład obciążenie wiatrem zawsze działa razem z ciężarem własnym. W konstrukcjach z uszkodzeniem podpór podczas rozciągania mogą wystąpić niestętności podczas obliczania części wszystkich pojedynczych przypadków obciążenia.
- Jeśli dostępnych jest wiele kombinacji obciążeń i przypadków obliczeniowych modułów, program RFEM może potrzebować dużo czasu obliczeniowego.

### Obliczanie wybranych przypadków obciążeń

Aby otworzyć okno dialogowe do wyboru przypadków obciążeń, które są istotne dla obliczeń, należy wybrać opcję **Obliczyć** w menu **Obliczyć**.



Rysunek 7.27: Okno dialogowe *Obliczyć*



W sekcji *Nieobliczone*, znajdującej się w lewej części okna dialogowego, program RFEM wymienia wszystkie przypadki obciążeń, kombinacje wyników oraz przypadki analityczne z modułów dodatkowych, dla których nie istnieją żadne wyniki. Przy użyciu przycisku [▶] można przenieść wybrane wpisy na listę *Wybrane do obliczeń*. W tym samym celu można również dwukrotnie kliknąć żądane elementy. Aby przenieść całą listę na prawą stronę, należy użyć przycisku [▶▶].

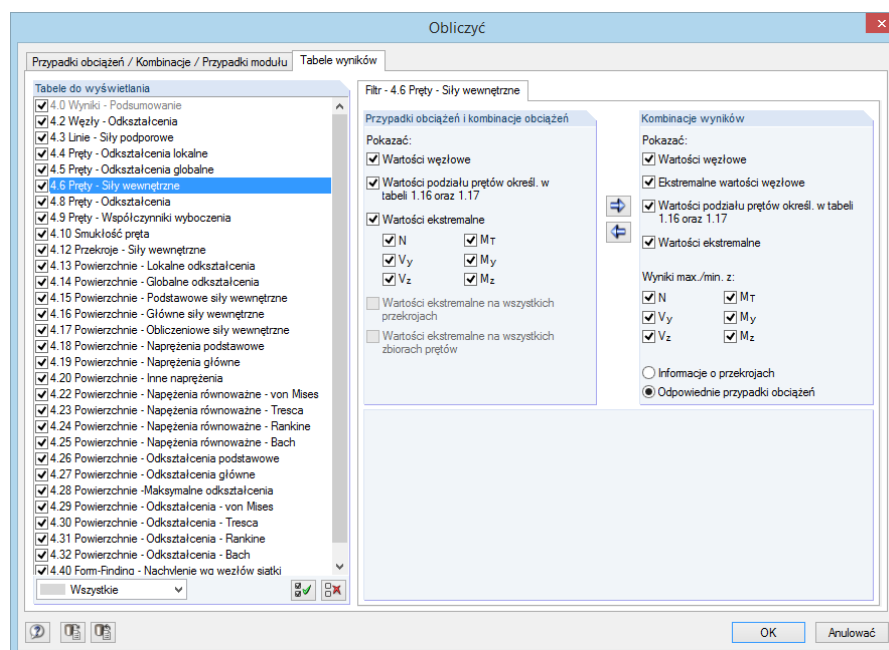
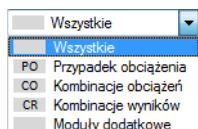
Jeżeli wybrane zostaną kombinacje wyników lub przypadki z modułów, które wymagają wyników z przypadków obciążeń, odpowiednie przypadki obciążeń zostaną obliczone automatycznie.

Obciążenia mogą być sortowane według następujących kryteriów przy użyciu opcji filtrowania dostępnych poniżej listy:

- Przypadki obciążeń
- Kombinacje obciążeń
- Kombinacje wyników
- Moduły dodatkowe

Przycisk [Parametry obliczeń], pokazany na lewym marginesie tej strony, otwiera okno dialogowe *Parametry obliczeń* (zobacz rozdział 7.3 na stronie 292), w którym można sprawdzić ustawienia oraz dostosować je do obliczeń.

Zakładka *Tabele wyników* okna dialogowego *Obliczyć* służy do kontroli tabel wyświetlanych po zakończeniu obliczeń.



Rysunek 7.28: Okno dialogowe *Obliczyć* zakładka *Tabele wyników*

W niektórych tabelach wyników dostępnych jest więcej opcji filtrowania. Opcje te zostały przedstawione w rozdziale 8 *Wyniki* wraz z odpowiednimi tabelami wyników (zobacz na przykład Rysunek 8.15 na stronie 314).

### Obliczanie bieżącego przypadku obciążenia

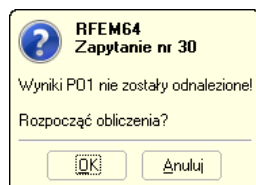
Obliczenia pojedynczego przypadku obciążenia można rozpocząć bezpośrednio. W tym celu należy wybrać przypadek obciążenia albo kombinację obciążeń lub wyników na liście paska narzędzi, a następnie kliknąć przycisk [Pokaż wyniki].





Rysunek 7.29: Bezpośrednie obliczenie przypadku obciążenia przy użyciu przycisku [Pokaż wyniki]

Obliczenia można rozpocząć po wyświetleniu komunikatu, że nie odnaleziono wyników.



Rysunek 7.30: Zapytanie przed rozpoczęciem obliczeń

## Obliczanie wybranych wyników

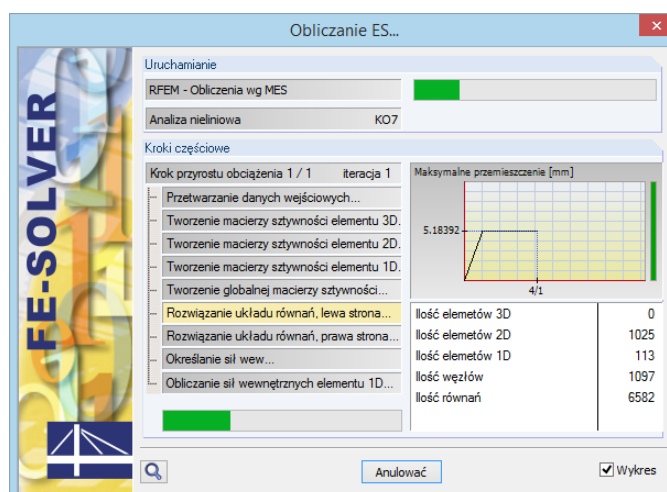
Pasek narzędzi w menu *Obliczyć* oferuje dodatkowe opcje wyboru wyników, które mają zostać obliczone:

- Wszystko
- Tylko wyniki RFEM
- Tylko wyniki modułów
- Wszystkie wyniki wszystkich otwartych modeli
- Tylko wyniki RFEM dla wszystkich otwartych modeli
- Tylko wyniki modułów wszystkich otwartych modeli

Obliczenia rozpoczynane są natychmiast po wywołaniu danej funkcji.

## Proces obliczania

Proces obliczania wyświetlany jest w oknie *Obliczanie ES*, w którym można obserwować, oprócz kroków obliczeniowych, które aktualnie są uruchomione przez program RFEM, wykresy przemieszczeń maksymalnych na wykresie zbieżności.



Rysunek 7.31: Proces obliczania

Zielone lub czerwone pionowe paski po prawej stronie okna służą do wizualizacji zachowania zbieżności podczas obliczeń. Każdy przyrost obciążenia zajmuje część kolumny, na przykład 1/1 na powyższym rysunku przedstawia pierwszy z jednego przyrostu obciążenia. Gdy pasek jest zielony, odkształcenia są w strefie dozwolonej. Czerwony pasek symbolizuje zbyt duże przemieszczenia lub obroty ( $\geq 0,1$  rad).

## 8. Wyniki

Numeracja w tym rozdziale instrukcji odpowiada numeracji tabel wyników, co ułatwia odnalezienie opisu poszczególnych zakładek.



Należy pamiętać, że wszelkie analizy ES stanowią jedynie przybliżenia. Wyniki powinny być interpretowane i sprawdzane pod kątem wiarygodności zgodnie z doświadczeniem inżynierskim.



Gdy dane zostały obliczone, w nawigаторze pojawi się dodatkowa zakładka *Wyniki* (zobacz rozdział 3.4.3 na stronie 26), służąca do kontroli graficznego wyświetlania wyników. Wyniki są przedstawiane numerycznie w osobnych tabelach (zobacz rozdział 3.4.4 na stronie 28).

### Kolorowe skale odniesienia w tabelach

Kolumny wyników w tabelach są częściowo podświetlone w kolorze czerwonym lub niebieskim (zobacz Rysunek 8.4 na stronie 305). Kolorowe paski przedstawiają wartości wyników w formie graficznej. Są one skalowane do ekstremalnych wartości sił wewnętrznych lub odkształceń wszystkich obiektów. Wartości ujemne są symbolizowane przez czerwone paski, a dodatnie przez paski niebieskie. Dzięki temu tabela pozwala również na wizualną ocenę wyników.



Kolorowe paski można włączać i wyłączać poprzez

wybranie opcji **Widok** w menu **Tabela**, a następnie kliknięcie elementu **Skala barw**, lub wykorzystanie przycisku w pasku narzędzi tabeli, pokazanego na lewym marginesie tej strony.



### Filtr tabeli

Wyświetlane tabele zależą od wyboru dokonanego w zakładce *Tabele wyników* okna dialogowego *Obliczyć* (zobacz rozdział 7.4 na stronie 300).

## 8.0 Podsumowanie wyników

### Tabela

Tabela 4.0 Wyniki - *podsumowanie* stanowi podsumowanie procesu obliczeniowego i jest ułożona według przypadków obciążeń i kombinacji.

A	B	C	D
Opis	Wartość	Jednostka	Komentarz
<b>PO1 - Ciężar własny</b>			
Suma obciążeń w X	-26.000	kN	
Suma sił podporowych w X	-26.000	kN	Odchylenie: 0.00 %
Suma obciążeń w Y	0.000	kN	
Suma sił podporowych w Y	0.000	kN	
Suma obciążeń w Z	464.140	kN	
Suma sił podporowych w Z	464.130	kN	Odchylenie: 0.00 %
Wypadkowa reakcji względem X	0.000	kNm	W środku ciężkości modelu (X: 6.092, Y: -2.957, Z: 0.672 m)
Wypadkowa reakcji względem Y	-41.008	kNm	W środku ciężkości modelu
Wypadkowa reakcji względem Z	-1.128	kNm	W środku ciężkości modelu
Maksymalne przemieszczenie w kierunku X	1.4	mm	Pręt nr 9, x: 3.514 m
Maksymalne przemieszczenie w kierunku Y	1.5	mm	Pręt nr 9, x: 3.514 m
Maksymalne przemieszczenie w kierunku Z	6.2	mm	Wzłoz ES nr 240 (X: 3.001, Y: -3.003, Z: 0.000 m)
Maksymalne przemieszczenie wektorowe	6.2	mm	Wzłoz ES nr 240 (X: 3.001, Y: -3.003, Z: 0.000 m)
Maksymalny obrót względem osi X	0.0017	rad	Wzłoz ES nr 105 (X: 0.000, Y: -5.000, Z: 0.000 m)
Maksymalny obrót względem osi Y	-0.0021	rad	Wzłoz ES nr 93 (X: 1.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m)
Maksymalny obrót względem osi Z	0.0005	rad	Pręt nr 9, x: 5.622 m
Metoda analizy	Liniiowy		Geometrycznie liniowa analiza statyczna
Redukcja sztywności	<input type="checkbox"/>		
Ilość przyrostów obciążenia	1		
Ilość iteracji	1		
Wartość maksymalna elementów macierzy sztywności	2.127E+10		
Wartość minimalna elementów macierzy sztywności na	1.579E+06		
Wyznacznik macierzy sztywności	2.053E+2219		

Rysunek 8.1: Tabela 4.0 Wyniki - *podsumowanie*

Ten przegląd pokazuje sumy kontrolne obciążeń i reakcji podporowych. Odchylenie powinno być mniejsze niż 1% w każdym kierunku. Jeżeli będzie ono większe, oznacza to, że wystąpiły problemy numeryczne ze względu na różnice w sztywności. Może to być również spowodowane tym, że model ma niewystarczającą stateczność lub obliczenia osiągnęły maksymalną liczbę iteracji bez osiągnięcia zbieżności. Przegląd informuje użytkownika także o wynikowych reakcjach podporowych, które są efektywne w środku ciężkości modelu w wyidealizowany sposób.

Ponadto podsumowanie to przedstawia maksymalne przesunięcia i obroty odniesione do globalnych osi X, Y oraz Z, jak również największe przemieszczenie całkowite. Dzięki sprawdzeniu odkształceń, można ocenić wiarygodność wyników.

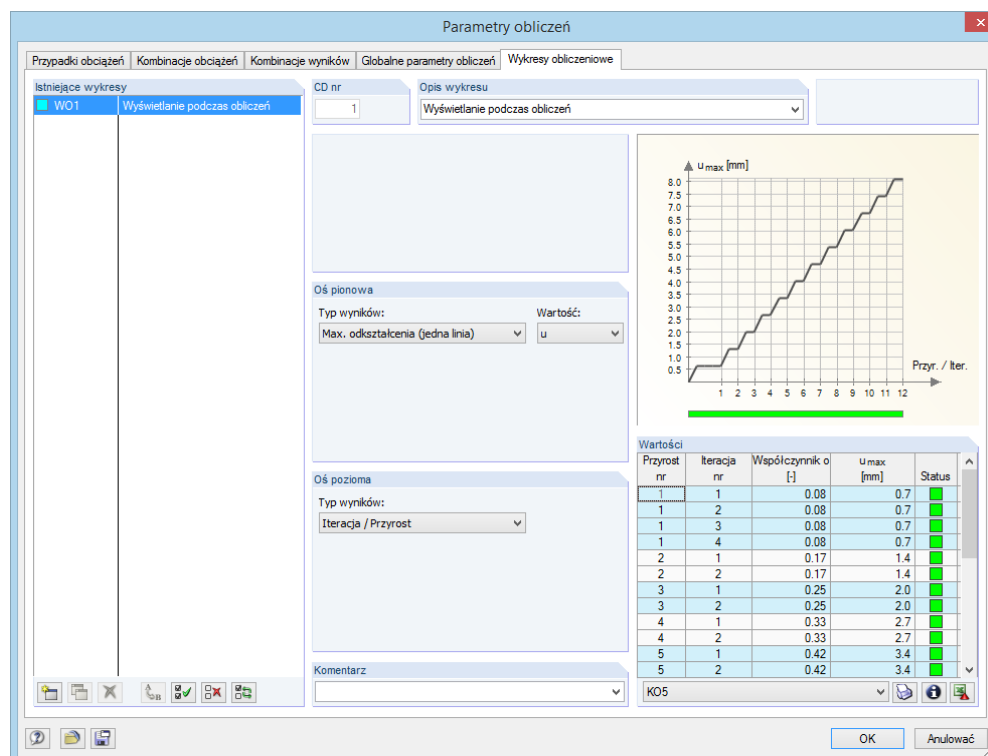
Podsumowanie, które jest wyświetlane według przypadków obciążeń, jest uzupełnione o parametry obliczeniowe, które zostały użyte. *Ilość iteracji*, potrzebnych do uzyskania wyników, jest tutaj szczególnie ważna.

Tabela kończy się *Podsumowaniem* wybranych parametrów rdzenia analitycznego, jak również globalnie obowiązującymi specyfikacjami obliczeń (zobacz Rysunek 7.22 na stronie 292: okno dialogowe *Parametry obliczeń*, zakładka *Globalne parametry obliczeń*).

### Wykres iteracji

Rozwój deformacji jest przedstawiany graficznie podczas obliczeń (zobacz Rysunek 7.31 na stronie 301). Wykres iteracji można wykorzystać także po obliczeniach do oceny "zapisu ich przebiegu". Aby otworzyć odpowiednią zakładkę w oknie dialogowym,

należy wybrać zakładkę **Wykresy obliczeniowe** w opcjach **Parametry obliczeń** w menu **Obliczyć**.

Rysunek 8.2: Zakładka *Wykresy obliczeniowe*

Odpowiedni przypadek obciążenia może być wybrany z listy *Dla przypadku obciążenia / kombinacji obciążeń*.

W sekcji okna dialogowego *Typ deformacji* ustawione są przemieszczenia maksymalne  $u_{\max}$ . Jeżeli dany węzeł z odpowiednim przemieszczeniem został zdefiniowany pośród globalnych parametrów obliczeń (zobacz Rysunek 7.22 na stronie 292, sekcja okna dialogowego *Wykres konwergencji*), deformacje związane z tym węzłem również znajdują się na tej liście.

W drugiej połowie tego okna dialogowego znajdują się wykresy odkształceń aktywowanych w sekcji okna dialogowego *Typ wyników*

Klikając jeden z wierszy dostępnych w sekcji okna dialogowego *Typ wyników*, można zaktualizować wartości wyników odpowiedniego odkształcenia w tabeli *Wartości*. W ten sposób możliwa jest odpowiednia ocena kroków iteracji, węzłów nadrzędnych oraz wykresów odkształcenia.

Ponadto wykres iteracji pozwala podjąć środki zaradcze w przypadku "oscylacji" (braku zbieżności) wyników. Dodatkowo można następnie sprawdzić wykres odkształcenia w iteracjach w przypadku, gdy obliczenia są czasochłonne.

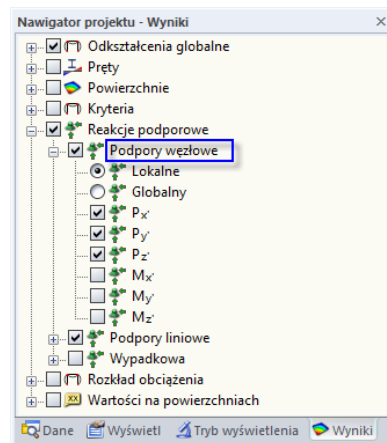
Na podstawie wykresu zbieżności można utworzyć wykres obciążenie-deformacja dla przyrostów obciążenia, poprzez skopiowanie wartości wyników do schowka systemowego.



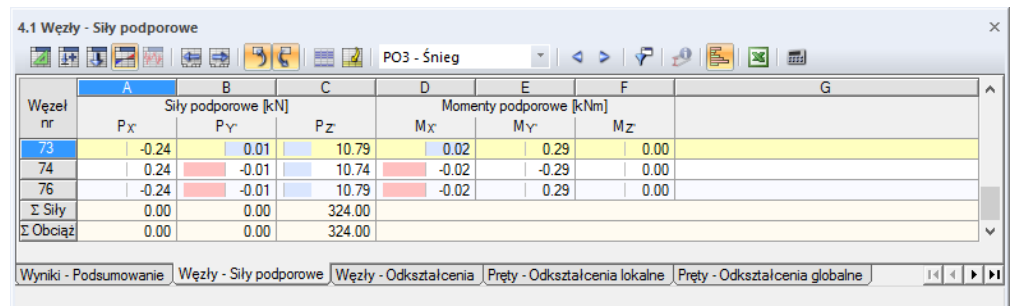
## 8.1 Węzły – Siły podporowe

Przy pomocy wpisów w elemencie *Reakcje podporowe* w nawigаторze *Wyniki* można zdecydować, które składowe będą wyświetlane graficznie w oknie roboczym. Mogą być one związane z lokalnymi osiami obróconych podpór lub z globalnym układem osi XYZ. Tabela 4.1 pokazuje siły podporowe i momenty w postaci numerycznej.

Jeśli konstrukcja jest modelowana w 2D, program RFEM wyświetla tylko te kolumny tabeli dla reakcji podporowych i momentów, które są istotne dla płaskiego układu konstrukcyjnego.



Rysunek 8.3: Nawigator *Wyniki*: *Reakcje podporowe* → *Podpory węzłowe*



Węzeł nr	Siły podporowe [kN]			Momenty podporowe [kNm]			G
	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>	P <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	
73*	-0.24	0.01	10.79	0.02	0.29	0.00	
74	0.24	-0.01	10.74	-0.02	-0.29	0.00	
76	-0.24	-0.01	10.79	-0.02	0.29	0.00	
Σ Siły	0.00	0.00	324.00				
Σ Obciąż	0.00	0.00	324.00				

Rysunek 8.4: Tabela 4.1 *Węzły – Siły podporowe*

Aby wyświetlić reakcje podporowe konkretnego przypadku obciążenia, należy wybrać ten przypadek obciążenia z listy w głównym pasku narzędzi lub w pasku narzędzi tabeli.

### Siły podporowe P<sub>x</sub> / P<sub>y</sub> / P<sub>z</sub>

Reakcje podporowe są wyświetlane w trzech kolumnach tabeli, gdzie są klasyfikowane według węzłów. Zwykle siły te odnoszą się do osi X, Y oraz Z globalnego układu współrzędnych. Aby wyświetlić siły odniesione do lokalnych osi podpory X', Y' i Z' (podpory obrócone) w grafice oraz w tabeli, należy przejść do nawigatora *Wyniki* i ustawić **Reakcje podporowe** → **Podpory węzłowe** → **Lokalne**.

Węzły z obrotami podpór są oznaczone gwiazdką (\*), jak pokazano na Rysunek 8.4. Reakcje są pokazywane w odniesieniu do wybranego układu osi. W ostatniej kolumnie tabeli podawany jest kąt obrotu podpory.

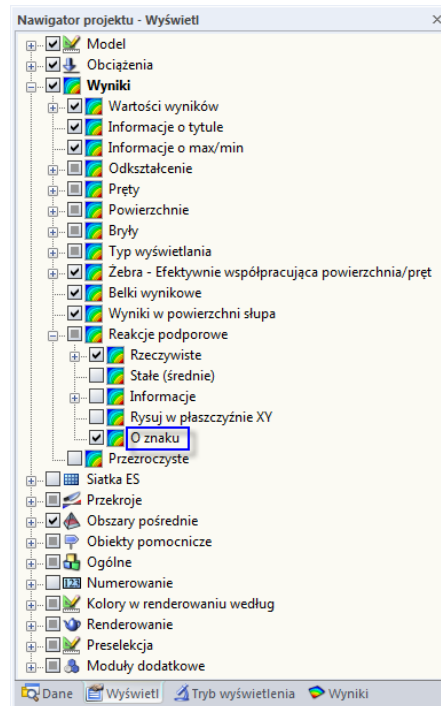


Tabela ta przedstawia reakcje, które są przenoszone na podporę. W odniesieniu do znaków, tabela ta nie przedstawia reakcji w części podpory. Znaki te wynikają z kierunku osi globalnych. Jeśli globalna oś Z jest skierowana w dół, to przykładowo przypadek obciążenia ciężar własny wywoła dodatnią reakcję podporową P<sub>z</sub>, a obciążenie wiatrem względem globalnej osi X

wywołuje ujemną reakcję podporową  $P_x$ . Zatem reakcje podporowe pokazane w tabeli stanowią obciążenia fundamentu.

W przeciwieństwie do tego, zielone wektory w grafice pokazują reakcje w części podpór. Składowe reakcji podpory są przedstawiane przez wielkość i kierunek wektorów.

Znaki reakcji podporowych można wyświetlać w oknie roboczym. W tym celu należy wybrać opcję *Wyniki* w nawigаторze *Wyświetl* i zaznaczyć pole wyboru obok odpowiedniej opcji.



Rysunek 8.5: Nawigator *Wyświetl*, *Wyniki* → *Reakcje podporowe* → *O znaku*

Znaki w grafice odnoszą się do globalnego układu osi XYZ lub lokalnego układu osi  $X'Y'Z'$ , który jest obrócony. Dodatnia reakcja podporowa działa w kierunku odpowiedniej osi dodatniej. Na przykład obciążenie wiatrem prostopadłe do globalnej osi X wywołuje dodatnią reakcję podporową  $P_x$ .

Zaleca się wyświetlać te znaki jedynie w celach kontrolnych, gdyż mogą one prowadzić do błędnych interpretacji. Spowodowane jest to tym, że wektory uwzględniają już wpływ znaków. Znaki w grafice mają być jedynie dodatkową funkcją wyświetlania wektorów, wskazującą kierunki dla wartości w odniesieniu do osi globalnych.

### Momenty podporowe $M_x$ / $M_y$ / $M_z$

Momenty podporowe są wyszczególnione w trzech kolumnach tabeli, gdzie są klasyfikowane według węzłów. Zazwyczaj momenty te odnoszą się do osi X, Y oraz Z globalnego układu współrzędnych. Przy użyciu nawigatora *Wyniki* można wyświetlić momenty odniesione do lokalnych osi podpory  $X'$ ,  $Y'$  i  $Z'$  w grafice oraz w tabeli.

Tabela ta pokazuje momenty, które są wprowadzone na podporę. W odniesieniu do znaków, jak dla sił podporowych, tabela ta nie pokazuje reakcje w części podpory. Znaki wynikają z kierunku osi globalnych. Zatem momenty podporowe przedstawione w tabeli stanowią obciążenia fundamentów.

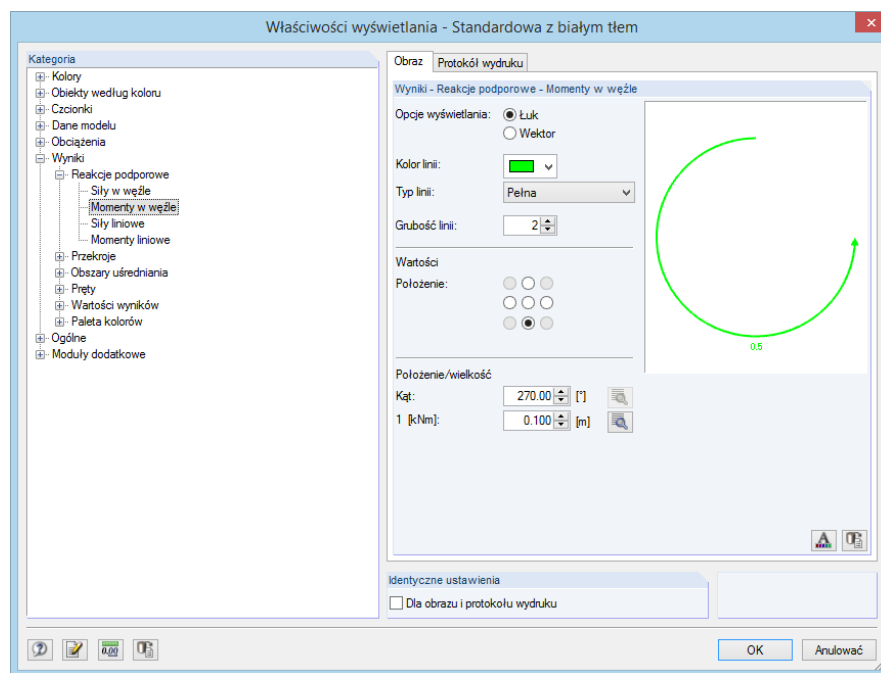
W oknie roboczym momenty reakcji przedstawiane są jednak na części podpory.

Znaki dla momentów podporowych mogą być wyświetlane również w grafice (zobacz Rysunek 8.5). Dodatni moment podporowy oddziałuje zgodnie z ruchem wskazówek zegara według odpowiedniej dodatniej osi globalnej. Podobnie do wektorów sił podporowych, wektory

uwzględniają już wpływ znaków, a więc oznaczenia wartości należy rozpatrywać osobno. Znaki te wskazują kierunki momentów w odniesieniu do osi globalnej.

Momenty podporowe mogą być wyświetlane graficznie jako wektory lub łuki. Aby zmienić typ wyświetlania,

należy wskazać opcję **Właściwości wyświetlania** w menu **Opcje**, a następnie wybrać polecenie **Edytować**.



Rysunek 8.6: Okno dialogowe *Właściwości wyświetlania* (sekcja okna dialogowego): *Momenty w węźle* z opcją wyświetlania *Łuk*

W sekcji *Kategoria* znajdującej się po lewej stronie okna dialogowego, należy ustawić opcję *Wyniki*, *Reakcje podporowe* oraz *Momenty w węźle*, a następnie wybrać *Opcję wyświetlania Łuk* po prawej stronie.

### Obrócone podpory węzłowe

W ostatniej kolumnie tabeli, wyświetlane są kąty obrotu obróconych podpór węzłowych (zobacz Rysunek 8.4 na stronie 305). Węzły te są oznaczone gwiazdką (\*).

### Sumy kontrolne

Na dole tabeli program RFEM wyświetla sumy kontrolne obciążeń i sił podporowych dla przypadków obciążeń i kombinacji obciążeń. Różnice między sumami  $\Sigma$  *siły* i  $\Sigma$  *obciążenia* występują, jeżeli model posiada także podpory liniowe oraz pręty/powierzchnie z podłożami sprężystymi. Z tego powodu  $\Sigma$  *siły* dostępna w tabelach 4.3, 4.7 oraz 4.20 musi być również uwzględniana w sumie całkowitej.

### Zaimportować siły podporowe jako obciążenie



Reakcje podpór węzłowych oraz momenty z innego modelu programu RFEM można zastosować jako obciążenia w modelu, który jest aktualnie obliczany. W ten sposób obciążenie może być przenoszone przez stropy w celu wykonania analizy płyt podłogowych 2D. Funkcja ta jest opisana w rozdziale 8.3 na stronie 313.

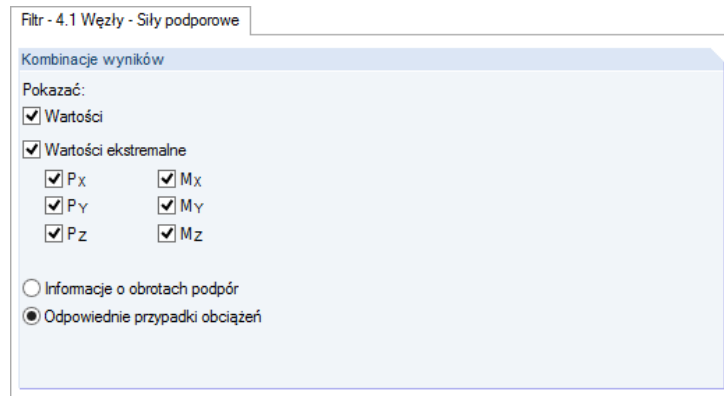
Reakcje podpór węzłowych, które zostały zaimportowane, są stosowane jako wolne obciążenia skupione.



### Filtrowanie reakcji podporowych w kombinacjach wyników

W przypadku kombinacji wyników możliwe jest dostosowywanie domyślnych ustawień wartości ekstremalnych przedstawionych w tej tabeli wyników. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,

należy wybrać opcję **Widok** w menu **Tabela**, a następnie kliknąć **Filtr wyników**, lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi, pokazany na lewym marginesie tej strony.

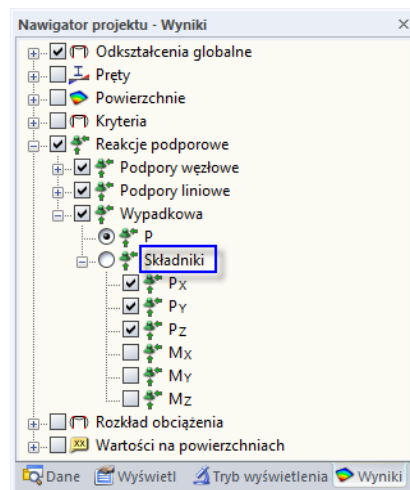


Rysunek 8.7: Okno dialogowe *Filtr tabeli* (sekcja okna dialogowego)

Pola wyboru w sekcji *Kombinacje wyników* okna dialogowego *Filtr tabeli* kontroluje typ i ilość wyników numerycznych.

### Wypadkowa reakcji podporowych

Wypadkowe reakcje podporowych dla przypadków obciążeń i kombinacji obciążeń znajdują się w tabeli 4.0 *Wyniki - podsumowanie* w formie numerycznej dla każdego kierunku globalnego (zobacz Rysunek 8.1 na stronie 303). Przy użyciu nawigatora *Wyniki* można wizualizować wypadkowe reakcje także na modelu.

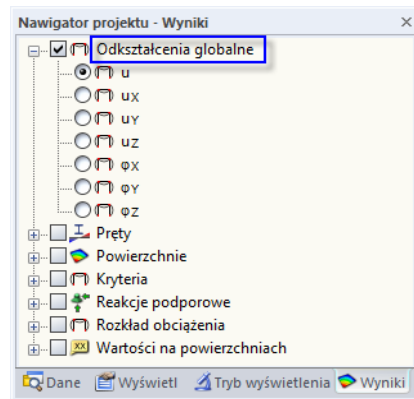


Rysunek 8.8: Nawigator *Wyniki*: *Reakcje podporowe* → *Wypadkowa*

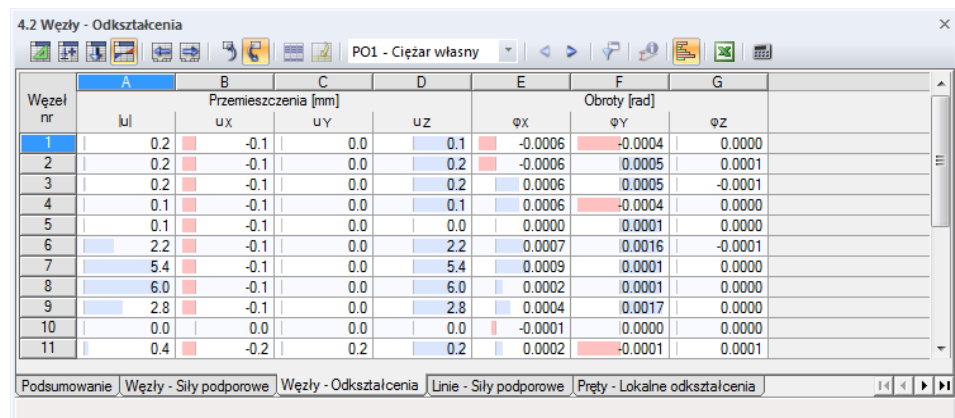
Oprócz całkowitej wypadkowej  $P$ , możliwe jest wyświetlenie poszczególnych *Składników*, które są efektywne w sposób wyidealizowany w środku ciężkości modelu. W ten sposób można szybko sprawdzić pozycję i wielkość wypadkowych reakcji podporowych.

## 8.2 Węzły - Odształcenia

Aby kontrolować wyświetlanie graficzne przemieszczeń węzłowych oraz obrotów węzłowych, należy zaznaczyć pole wyboru dla *Odształceń globalnych* w nawigаторze *Wyniki*. Tabela 4.2 pokazuje odkształcenia węzłów w postaci numerycznej.



Rysunek 8.9: Nawigator *Wyniki*: *Odształcenia globalne*



Węzeł nr	Przemieszczenia [mm]						Obroty [rad]		
	u	ux	uy	uz	φx	φy	φz		
1	0.2	-0.1	0.0	0.1	-0.0006	-0.0004	0.0000		
2	0.2	-0.1	0.0	0.2	-0.0006	0.0005	0.0001		
3	0.2	-0.1	0.0	0.2	0.0006	0.0005	-0.0001		
4	0.1	-0.1	0.0	0.1	0.0006	-0.0004	0.0000		
5	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0000	0.0001	0.0000		
6	2.2	-0.1	0.0	2.2	0.0007	0.0016	-0.0001		
7	5.4	-0.1	0.0	5.4	0.0009	0.0001	0.0000		
8	6.0	-0.1	0.0	6.0	0.0002	0.0001	0.0000		
9	2.8	-0.1	0.0	2.8	0.0004	0.0017	0.0000		
10	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0001	0.0000	0.0000		
11	0.4	-0.2	0.2	0.2	0.0002	-0.0001	0.0001		

Rysunek 8.10: Tabela 4.2 *Węzły - Odształcenia*

Przemieszczenia i obroty są wymieniane według węzłów.

### Przemieszczenia / obroty

Odształcenia mają następujące znaczenie:

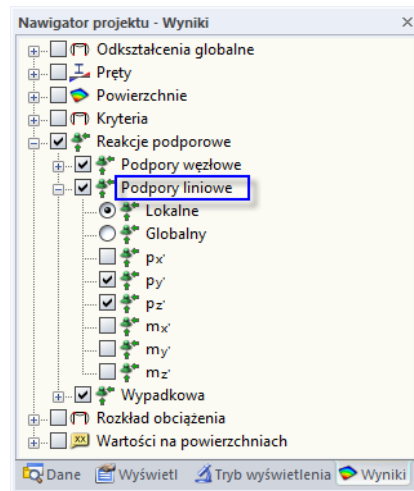
u	Przemieszczenie całkowite
ux	Przemieszczenie w kierunku globalnej osi X
uy	Przemieszczenie w kierunku globalnej osi Y
uz	Przemieszczenie w kierunku globalnej osi Z
φx	Obrót względem globalnej osi X
φy	Obrót względem globalnej osi Y
φz	Obrót względem globalnej osi Z

Tabela 8.1: Odształcenia węzłowe

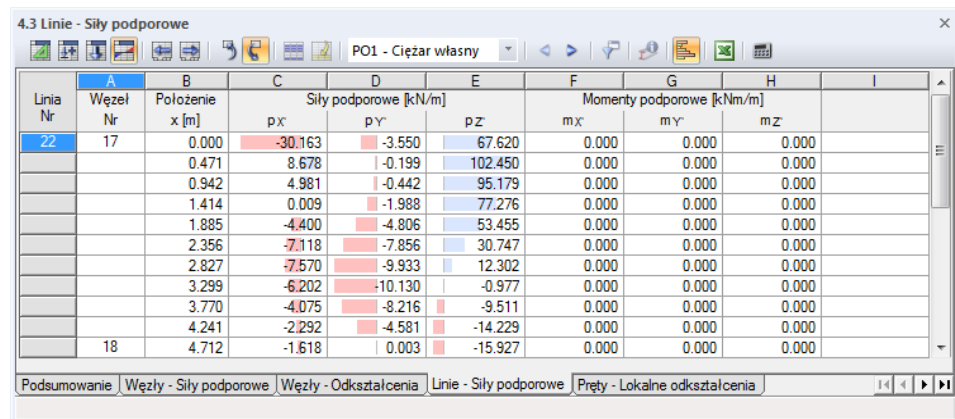
### 8.3 Linie – Siły podporowe

Przy użyciu wpisów w sekcji *Reakcje podporowe* w nawigatorze *Wyniki* można zdecydować, które składowe będą wyświetlane graficznie w oknie roboczym. Mogą one być odniesione do lokalnych osi obróconych podpór lub do globalnego układu osi XYZ. Tabela 4.3 pokazuje reakcje podporowe i momenty w postaci numerycznej.

Jeśli konstrukcja jest modelowana w 2D, program RFEM wyświetla tylko te kolumny tabeli dla reakcji podporowych i momentów, które są istotne dla płaskiego układu konstrukcyjnego.



Rysunek 8.11: Nawigator *Wyniki*: *Reakcje podporowe* → *Podpory liniowe*



Linia Nr	Wzł. Nr	Położenie x [m]	Sily podporowe [kN/m]			Momenty podporowe [kNm/m]		
			p <sub>x</sub>	p <sub>y</sub>	p <sub>z</sub>	m <sub>x</sub>	m <sub>y</sub>	m <sub>z</sub>
22	17	0.000	-30.163	-3.550	67.620	0.000	0.000	0.000
		0.471	8.678	-0.199	102.450	0.000	0.000	0.000
		0.942	4.981	-0.442	95.179	0.000	0.000	0.000
		1.414	0.009	-1.988	77.276	0.000	0.000	0.000
		1.885	-4.400	-4.806	53.455	0.000	0.000	0.000
		2.356	-7.118	-7.856	30.747	0.000	0.000	0.000
		2.827	-7.570	-9.933	12.302	0.000	0.000	0.000
		3.299	-6.202	-10.130	-0.977	0.000	0.000	0.000
		3.770	-4.075	-8.216	-9.511	0.000	0.000	0.000
		4.241	-2.292	-4.581	-14.229	0.000	0.000	0.000
	18	4.712	-1.618	0.003	-15.927	0.000	0.000	0.000

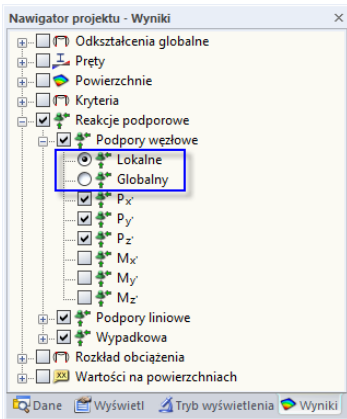
Rysunek 8.12: Tabela 4.3 *Linie – Siły podporowe*

PO3 - Śnieg

Aby wyświetlić reakcje podporowe konkretnego przypadku obciążenia, należy wybrać ten przypadek obciążenia z listy w głównym pasku narzędzi lub w pasku narzędzi tabeli.

#### Położenie x

Reakcje podporowe są wyszczególniane według linii. Położenia x podane w kolumnie tabeli stanowią odstęp między węzłami ES wzdłuż linii. Są one odniesione do węzła początkowego linii. Raster powierzchni nie jest istotny dla reakcji podporowych linii.

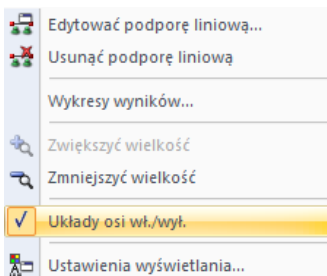


### Siły podporowe $p_x$ / $p_y$ / $p_z$

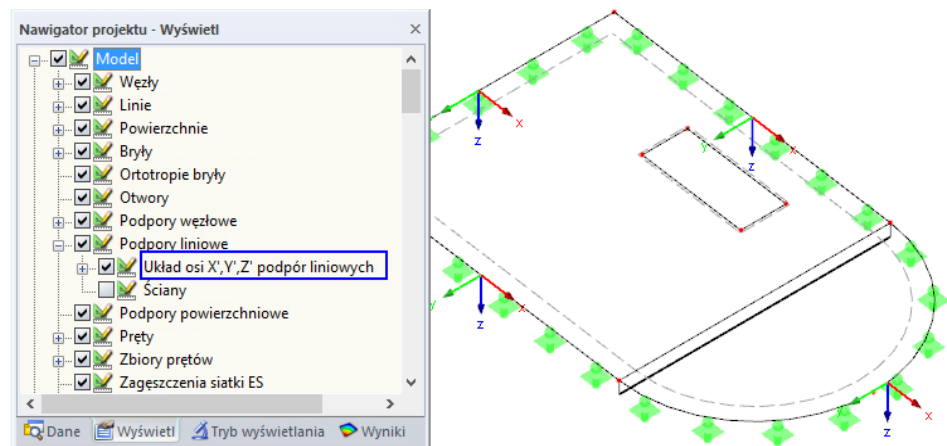
Siły podporowe są wyszczególniane w trzech kolumnach tabeli, gdzie są sortowane według linii. Reakcje te mogą być odniesione do globalnych osi X, Y i Z lub do lokalnych osi X', Y' i Z' podpór liniowych. Oś odniesienia w tabeli jest kontrolowana przez ustawienia w nawigatorze *Wyniki* (zobacz na rysunku po lewej stronie).

Tabela ta przedstawia reakcje przenoszone na podporę. Zatem w odniesieniu do znaków, tabela ta nie przedstawia reakcji w części podpory. Jeżeli reakcje podporowe odnoszą się do globalnego układu współrzędnych, znaki te wynikają z kierunków osi globalnych. Jeżeli globalna oś Z jest skierowana w dół, to na przykład przypadek obciążenia ciężar własny prowadzi do powstania dodatniej reakcji podporowej  $p_z$ , a obciążenie wiatrem według globalnej osi X wywołuje ujemną reakcję podporową  $p_x$ . Z tego powodu reakcje podporowe pokazane w tej tabeli stanowią obciążenia fundamentu.

Jeżeli wyświetlane są lokalne reakcje podporowe  $p_x$ ,  $p_y$  i  $p_z$ , siły te odnoszą się do osi podpór liniowych X', Y' i Z'. Zatem znaki w tabeli dla wprowadzonych sił wynikają z kierunków lokalnych osi podpory. Osie te wyświetla się przy użyciu nawigatora *Wyświetl* lub menu kontekstowego podpory liniowej.



Menu kontekstowe podpory liniowej



Rysunek 8.13: Aktywowanie układów osi lokalnych podpór liniowych w nawigatorze *Wyświetl*

W przeciwieństwie do tego, zielone wektory w grafice pokazują siły reakcji w części podpór. Składowe reakcje podporowych są wizualizowane według wielkości i kierunku wektorów.

### Momenty podporowe $m_x$ / $m_y$ / $m_z$

Momenty podporowe są wyszczególnione w trzech kolumnach tabeli, gdzie są klasyfikowane według linii. Są one odniesione do globalnego układu osi XYZ lub do lokalnego układu osi podpory liniowej X'Y'Z'. Jeśli zostało ustawione odniesienie lokalne, momenty podporowe będą oznaczone jako  $m_x$ ,  $m_y$  i  $m_z$ .

Tabela ta pokazuje momenty wprowadzone na podporę. Zatem w odniesieniu do znaków, tabela ta nie pokazuje reakcji części podpory liniowej.

Niemniej w oknie roboczym, momenty reakcji przedstawiane są na części podpory. Dodatkowo, oprócz wyświetlania wektorowego, można ustawić wyświetlanie łukowe. W tym celu należy wskazać opcję **Właściwości wyświetlania** w menu **Opcje**, a następnie wybrać polecenie **Edytować** (zobacz Rysunek 8.6 na stronie 307).

### Sumy kontrolne

Na dole tabeli program RFEM wyświetla sumy kontrolne obciążeń i reakcji podporowych dla przypadków obciążeń i kombinacji obciążeń. Są one zawsze odniesione do globalnego układu osi. Różnice pomiędzy sumami  $\Sigma$  siły i  $\Sigma$  obciążeń występują, jeżeli model posiada także

podpory liniowe oraz pręty/powierzchnie z podłożami sprężystymi. Z tego powodu  $\Sigma$  sił dostępna w tabelach 4.1, 4.7 oraz 4.20 musi również zostać uwzględniona w sumie całkowitej.

### Wykresy wyników

Wykresy wyników podpór liniowych można ocenić w osobnym oknie dialogowym. Aby tego dokonać, należy kliknąć prawym przyciskiem myszy (wybrane) podpory liniowe, a następnie kliknąć opcję *Wykresy wyników* w menu kontekstowym (zobacz rysunek na lewym marginesie Rysunek 8.13).

Więcej szczegółowych informacji na temat okna *Wykresy wyników* znajduje się w rozdziale 9.5 na stronie 381.

W oknie roboczym dostępne są dodatkowe informacje dla każdej podpory liniowej:

- $\Sigma$  Suma jako siła wypadkowa
- $\Phi$  Wartość średnia
- x Odległość punktu środkowego linii od jej początku
- e Mimośród siły wypadkowej odniesiony do punktu środkowego linii
- M Moment wywołany mimośrodem siły wypadkowej

Aby wyświetlić te informacje, należy wybrać opcję *Wyniki* w nawigatorze *Wyświetl* lub kliknąć dwukrotnie pozycję *Reakcje podporowe*, a następnie zaznaczyć pole wyboru *Informacje*.

### Zaimportować reakcje podporowe jako obciążenie

Składowe Z węzłowych lub liniowych reakcji podporowych z innego modelu programu RFEM można zastosować, jako obciążenia w modelu, który jest aktualnie obliczany. W ten sposób obciążenie może być przeniesione przez stropy w celu wykonania analizy płyt podłogowych 2D.

Reakcje podporowe zostaną zaimportowane do bieżącego przypadku obciążenia. Z tego powodu pomocne może okazać się wcześniejsze utworzenie przypadku obciążenia dla nowych obciążeń.

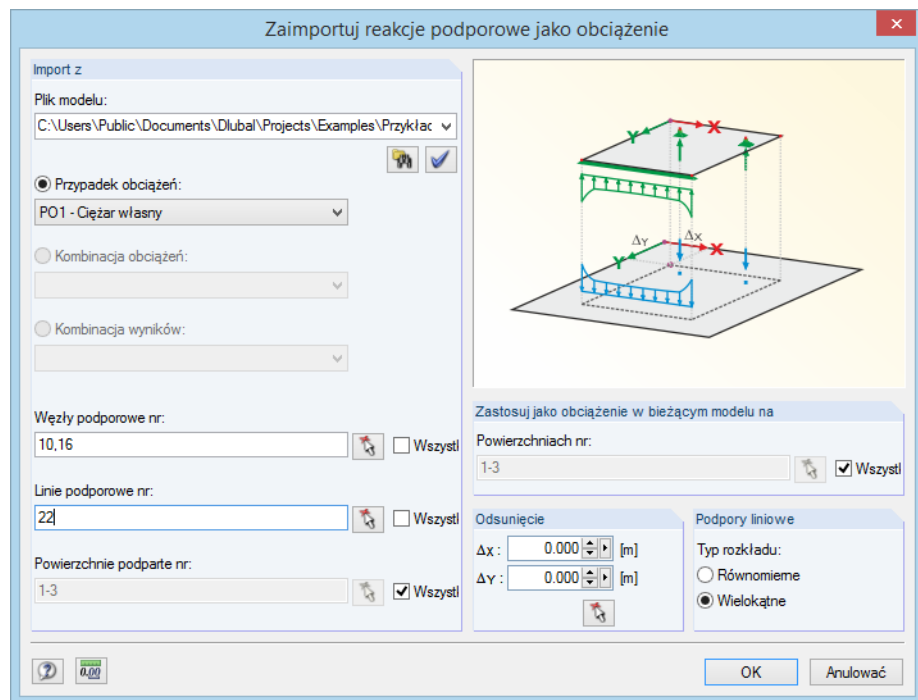
Aby otworzyć okno dialogowe dla importu,

należy wybrać opcję **Zaimportować reakcje podporowe jako obciążenie** w menu **Narzędzia**.

p-Z  
 $\Sigma$ : 445.08 kN  
 $\Phi$ : 63.58 kN/m  
 x: 3.500 m  
 e: 0.284 m  
 M: 126.350 kNm





Rysunek 8.14: Okno dialogowe *Zaimportować reakcje podporowe jako obciążenie*

Na początku należy określić odpowiedni model w sekcji okna dialogowego *Import z*. Przycisk pokazany na lewym marginesie tej strony pozwala wybrać odpowiedni model. Następnie program RFEM importuje obliczone przypadki obciążeń, kombinacje obciążeń oraz kombinacje wyników. W przypadku ustawienia kombinacji wyników (*KW*), należy następnie określić, czy zostaną zaimportowane maksymalne lub minimalne reakcje podporowe.



Jeśli nie mają zostać zaimportowane *Wszystkie* reakcje podporowe, można określić numery odpowiednich węzłów, linii i płaszczyzn. Możliwe jest również wybranie ich graficznie w oryginalnym modelu przy użyciu funkcji [*F*].



W sekcji okna dialogowego *Zastosować jako obciążenie w bieżącym modelu na* wprowadza się numery powierzchni, dla której zostaną utworzone obciążenia. Możliwe jest również wybranie ich w sposób graficzny.

Jeżeli powierzchnia oryginalna i docelowa leżą dokładnie jedna na drugiej, nie jest wymagany wpis w sekcji okna dialogowego *Odsunięcie*. W przeciwnym razie można użyć pól wprowadzania w celu określenia ogólnych przesunięć  $\Delta X$  i  $\Delta Y$  dla importu. Odnoszą się one do osi globalnych.

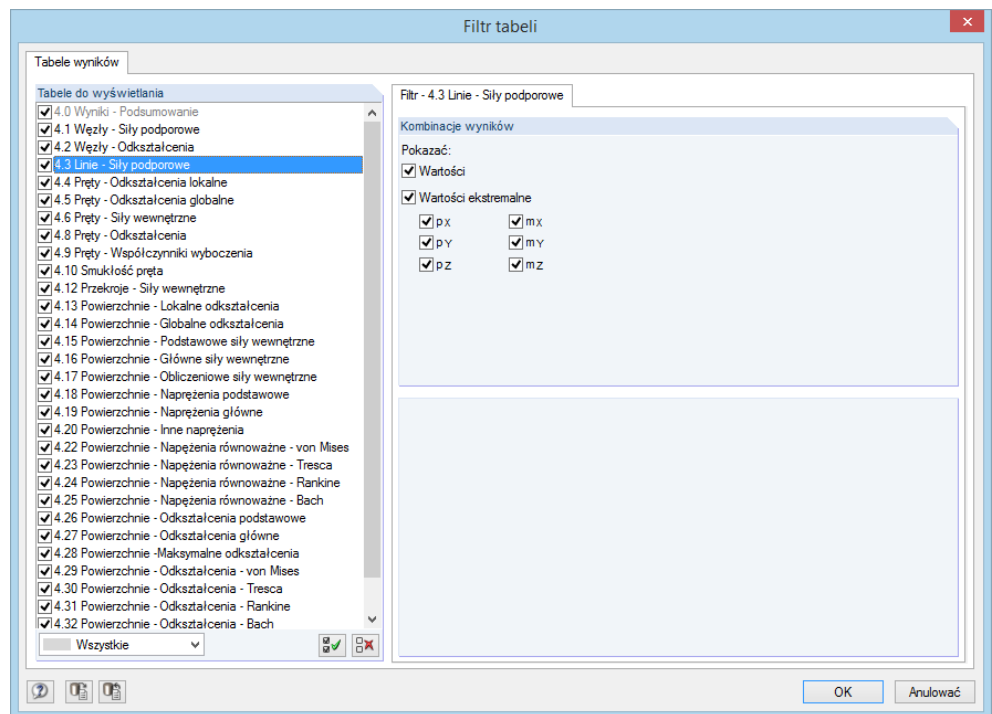
W sekcji okna dialogowego *Podpory liniowe* można wybrać, czy reakcje podporowe będą tworzone jako wolne obciążenia liniowe o równomiernym lub wielokątnym rozkładzie obciążenia.

### Filtrowanie reakcji podporowych w kombinacjach wyników



W przypadku kombinacji wyników możliwe jest dostosowywanie domyślnych ustawień wartości ekstremalnych przedstawionych w tej tabeli wyników. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,

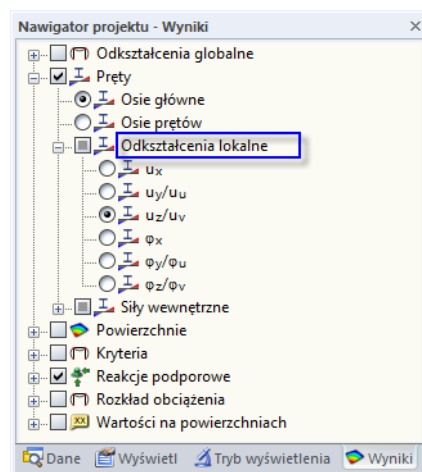
należy wybrać opcję **Widok** w menu **Tabela**, a następnie kliknąć **Filtr wyników** lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi, pokazany na lewym marginesie tej strony.

Rysunek 8.15: Okno dialogowe *Filtr tabeli*

Pola wyboru w oknie dialogowym *Filtr tabeli* kontrolują typ i ilość wyników numerycznych.

## 8.4 Pręty – Odkształcenia lokalne

Kontrola graficznego wyświetlania przemieszczeń i obrotów prętów możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Prętów* w nawigatorze *Wyniki*. W przypadku wykorzystywania przekrojów asymetrycznych, można wybrać, czy wyniki mają się odnosić do głównych osi  $u$  i  $v$  (zobacz rysunek na stronie 129) czy do standardowych osi  $y$  i  $z$ . Tabela 4.4 pokazuje lokalne odkształcenia prętów w postaci numerycznej.

Rysunek 8.16: Nawigator *Wyniki*: *Pręty* → *Odształcenia lokalne*

4.4 Pręty - Lokalne odkształcenia

PO1 - Ciężar własny

Pręt Nr	Węzeł Nr	B Polożenie x [m]	C l/l	D Przeszyczenia [mm]			E Przeszyczenia [mm]			F Przeszyczenia [mm]			G Przeszyczenia [mm]			H Obroty [rad]			I Przekrój
				u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub> / u <sub>u</sub>	u <sub>z</sub> / u <sub>v</sub>	φ <sub>x</sub>	φ <sub>y</sub> / φ <sub>u</sub>	φ <sub>z</sub> / φ <sub>v</sub>	φ <sub>x</sub>	φ <sub>y</sub> / φ <sub>u</sub>	φ <sub>z</sub> / φ <sub>v</sub>	φ <sub>x</sub>	φ <sub>y</sub> / φ <sub>u</sub>	φ <sub>z</sub> / φ <sub>v</sub>				
1	2	0.000	0.2	0.000	-0.2	0.0	-0.1	-0.0001	0.0005	-0.0006	1 - HE A 300 ; DIN 1025-3:1994								
	11	3.732	0.4	0.000	-0.2	0.2	-0.2	-0.0001	-0.0001	0.0002									
	Maks.u <sub>x</sub>	0.000	0.2	0.000	-0.2	0.0	-0.1	-0.0001	0.0005	-0.0006									
	Min.u <sub>x</sub>	3.732	0.4	0.000	-0.2	0.2	-0.2	-0.0001	-0.0001	0.0002									
	Maks.u <sub>y</sub>	3.732	0.4	0.000	-0.2	0.2	-0.2	-0.0001	-0.0001	0.0002									
	Min.u <sub>y</sub>	1.493	0.6	0.000	-0.2	0.4	-0.5	-0.0001	0.0001	0.0001									
	Maks.u <sub>z</sub>	0.000	0.2	0.000	-0.2	0.0	-0.1	-0.0001	0.0005	-0.0006									
	Min.u <sub>z</sub>	1.493	0.6	0.000	-0.2	0.4	-0.5	-0.0001	0.0001	0.0001									
	Maks.φ <sub>x</sub>	3.732	0.4	0.000	-0.2	0.2	-0.2	-0.0001	-0.0001	0.0002									
	Min.φ <sub>x</sub>	0.000	0.2	0.000	-0.2	0.0	-0.1	-0.0001	0.0005	-0.0006									
	Maks.φ <sub>y</sub>	0.000	0.2	0.000	-0.2	0.0	-0.1	-0.0001	0.0005	-0.0006									
	Min.φ <sub>y</sub>	2.986	0.4	0.000	-0.2	0.0	-0.3	-0.0001	-0.0001	0.0003									
Maks.φ <sub>z</sub>	2.986	0.4	0.000	-0.2	0.0	-0.3	-0.0001	-0.0001	0.0003										
Min.φ <sub>z</sub>	0.000	0.2	0.000	-0.2	0.0	-0.1	-0.0001	0.0005	-0.0006										
2	1	0.000	0.2	0.000	-0.1	0.0	-0.1	0.0000	-0.0004	-0.0006	1 - HE A 300 ; DIN 1025-3:1994								
	12	3.732	0.2	0.000	-0.1	0.0	-0.2	0.0001	0.0001	0.0001									

Węzły - Siły podporowe | Węzły - Odkształcenia | Linie - Siły podporowe | Pręty - Lokalne odkształcenia | Pręty - deformacje globalne | Pręty - Siły wewnętrzne

Rysunek 8.17: Tabela 4.4 Pręty – Odkształcenia lokalne

Aby wyświetlić odkształcenia danego przypadku obciążenia, należy wybrać ten przypadek obciążenia z listy w głównym pasku narzędzi lub w pasku narzędzi tabeli.

### Węzeł nr

Numer węzła początkowego i końcowego są wyświetlane dla każdego pręta w dwóch pierwszych wierszach tabeli, pozwalając na odczytanie wartości węzłowych. W kolejnych wierszach można zobaczyć informacje na temat odkształcenia maksymalnego lub minimalnego pokazane w kolumnach tabeli od D do I.

### Położenie x

Tabela ta pokazuje odkształcenia każdego pręta w następujących miejscach:

- Węzeł początkowy i końcowy
- Punkty podziału według zdefiniowanego podziału pręta (zobacz rozdział 4.16 na stronie 148)
- Wartości ekstremalne (*Max/Min*) przemieszczeń i obrotów

Aby dostosować domyślne ustawienie wyświetlanego położenia x,

należy wybrać opcję **Widok** w menu **Tabela**, a następnie kliknąć przycisk **Filtr wyników** lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi, pokazany na lewym marginesie tej strony.

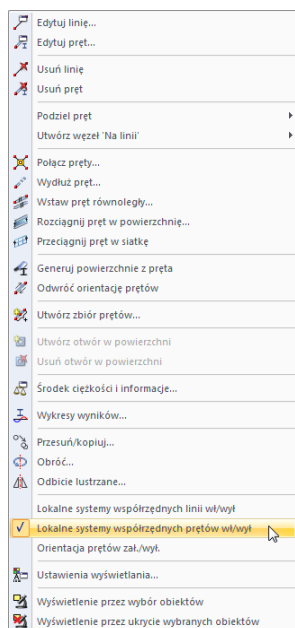


Filtr - 4.4 Pręty - Odkształcenia lokalne

Przypadki obciążeń / Kombinacje obciążeń	Kombinacje wyników
Pokazać: <input checked="" type="checkbox"/> Wartości węzłowe <input checked="" type="checkbox"/> Wartości podziału prętów określ. w tabeli 1.16 oraz 1.17 <input checked="" type="checkbox"/> Wartości ekstremalne <input checked="" type="checkbox"/> u <sub>x</sub> <input checked="" type="checkbox"/> φ <sub>x</sub> <input checked="" type="checkbox"/> u <sub>y</sub> <input checked="" type="checkbox"/> φ <sub>y</sub> <input checked="" type="checkbox"/> u <sub>z</sub> <input checked="" type="checkbox"/> φ <sub>z</sub>	Pokazać: <input checked="" type="checkbox"/> Wartości węzłowe <input checked="" type="checkbox"/> Wartości podziału prętów określ. w tabeli 1.16 oraz 1.17

Rysunek 8.18: Okno dialogowe Filtr tabeli (sekcja okna dialogowego)

Pola wyboru w oknie dialogowym *Filtr tabeli* (zobacz Rysunek 8.15 na stronie 314) pozwalają kontrolować rodzaj i ilość wyników numerycznych.



Menu kontekstowe pręta

## Przemieszczenia / obroty

Odształcenia prętów mają następujące znaczenie:

$u$	Bezwzględne przemieszczenie całkowite (nie dla kombinacji wyników)
$u_x$	Przemieszczenie pręta w kierunku jego osi podłużnej
$u_y / u_u$	Przemieszczenie pręta w kierunku jego lokalnej osi y lub u (zobacz na stronie 129)
$u_z / u_v$	Przemieszczenie pręta w kierunku jego lokalnej osi z lub v
$\varphi_x$	Obrót pręta wokół jego osi podłużnej
$\varphi_y / \varphi_u$	Obrót pręta wokół osi lokalnej y lub u
$\varphi_z / \varphi_v$	Obrót pręta wokół jego osi lokalnej z lub v

odszałcenia pręta

Aby sprawdzić położenie lokalnych osi pręta, należy wybrać opcję *Model*, a następnie *Pręty w nawigatorze Wyświetl* oraz aktywować *Układy osi x,y,z pręta* (zobacz Rysunek 8.24 na stronie 320). W tym samym celu można wykorzystać również menu kontekstowe pręta pokazane na lewym marginesie tej strony.

Ponadto lokalny układ osi pręta ma wpływ na znaki odształcenia. Dodatkowo przemieszczenie zachodzi w kierunku dodatniej osi lokalnej, a dodatni obrót odbywa się zgodnie z ruchem wskazówek zegara według dodatniej osi pręta.

## Przekrój

Ostatnia kolumna tabeli podaje informacje na temat przekrojów wykorzystywanych przez pręty lub na temat odpowiednich przypadków obciążeń (dla kombinacji wyników).

W oknie roboczym odształcenia prętowe można wyświetlać przy użyciu dwóch kolorów, a także w wyświetlaniu wielokolorowym lub w trybie renderowania (zobacz rozdział 9.3 na stronie 371).

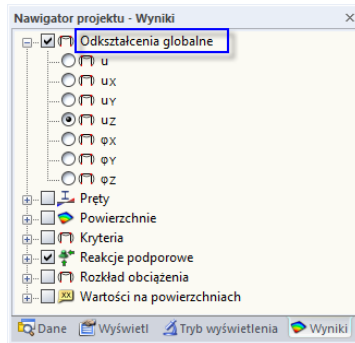
Ponadto odształcenia prętowe mogą być wizualizowane jako animacja procesu odształcenia (zobacz rozdział 9.10 na stronie 405).



## 8.5 Pręty – Odształcenia globalne



Aby kontrolować graficzne wyświetlanie przemieszczeń i obrotów prętów odniesionych do globalnych osi X, Y i Z, należy zaznaczyć pole wyboru dla *Odształceń globalnych* w nawigatorze *Wyniki*. Tabela 4.5 pokazuje globalne odkształcenia prętowe w postaci numerycznej.



Rysunek 8.19: Nawigator *Wyniki*: *Odształcenia globalne*

Pręt Nr	Węzeł Nr	Położenie x [m]	u	Przemieszczenia [mm]			uz	Obroty [rad]			Przekrój
				ux	uy			φx	φy	φz	
1	2	0.000	0.2	-0.1	0.0	0.2	-0.0006	0.0005	0.0001	1 - HE A 300 ; DIN	
	11	3.732	0.4	-0.2	0.2	0.2	0.0002	-0.0001	0.0001		
	Maks.ux	0.000	0.2	-0.1	0.0	0.2	-0.0006	0.0005	0.0001		
	Minux	1.493	0.6	-0.5	-0.4	0.2	0.0001	0.0001	0.0001		
	Maks.uy	3.732	0.4	-0.2	0.2	0.2	0.0002	-0.0001	0.0001		
	Minuy	1.493	0.6	-0.5	-0.4	0.2	0.0001	0.0001	0.0001		
	Maks.uz	2.239	0.5	-0.4	-0.2	0.2	0.0003	-0.0001	0.0001		
	Minuz	0.000	0.2	-0.1	0.0	0.2	-0.0006	0.0005	0.0001		
	Maks.φx	2.986	0.4	-0.3	0.0	0.2	0.0003	-0.0001	0.0001		
	Minφx	0.000	0.2	-0.1	0.0	0.2	-0.0006	0.0005	0.0001		
	Maks.φy	0.000	0.2	-0.1	0.0	0.2	-0.0006	0.0005	0.0001		
	Minφy	2.986	0.4	-0.3	0.0	0.2	0.0003	-0.0001	0.0001		
	Maks.φz	0.000	0.2	-0.1	0.0	0.2	-0.0006	0.0005	0.0001		
Minφz	3.732	0.4	-0.2	0.2	0.2	0.0002	-0.0001	0.0001			
2	1	0.000	0.2	-0.1	0.0	0.1	-0.0006	-0.0004	0.0000	1 - HE A 300 ; DIN	
	12	3.732	0.2	-0.2	0.0	0.1	0.0001	0.0001	-0.0001		

Rysunek 8.20: Tabela 4.5 Pręty – Odształcenia globalne

Kolumny tabeli *Węzeł nr* i *Położenie x* odpowiadają kolumnom z poprzedniej tabeli wyników 4.4 Pręty – Odształcenia lokalne.

### Przemieszczenia / obroty

Odształcenia prętowe mają następujące znaczenie:

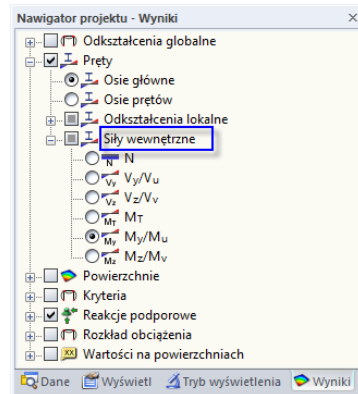
u	Bezwzględne przemieszczenie całkowite (nie dla kombinacji wyników)
ux	Przemieszczenie pręta w kierunku globalnej osi X
uy	Przemieszczenie pręta w kierunku globalnej osi Y
uz	Przemieszczenie pręta w kierunku globalnej osi Z
φx	Obrót pręta wokół globalnej osi X
φy	Obrót pręta wokół globalnej osi Y
φz	Obrót pręta wokół globalnej osi Z

Tabela 8.3: Globalne odkształcenia prętowe

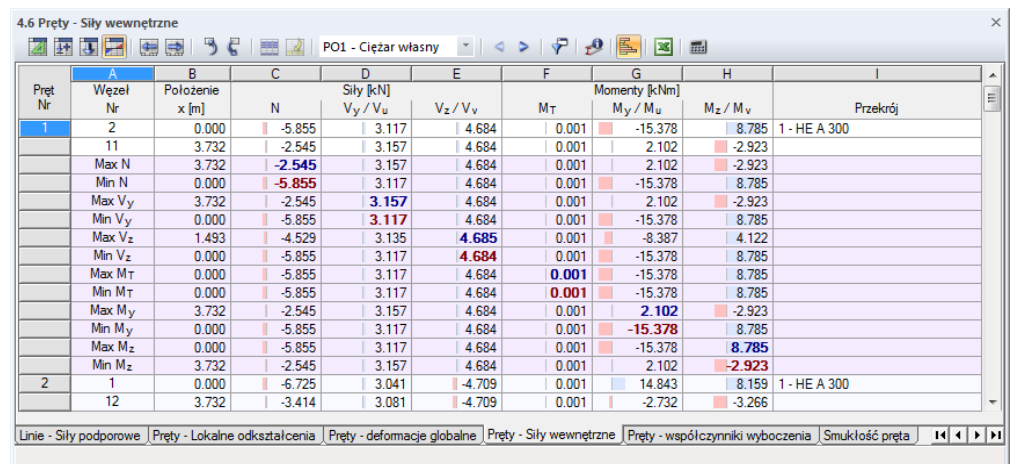
## 8.6 Pręty – Siły wewnętrzne

Aby kontrolować graficzne wyświetlanie sił wewnętrznych prętów, należy zaznaczyć pole wyboru dla Prętów w nawigаторze Wyniki. Tabela 4.6 pokazuje siły wewnętrzne i momenty w postaci numerycznej.

Jeśli konstrukcja jest modelowana w 2D, program RFEM wyświetla tylko te kolumny tabeli dla sił wewnętrznych, które są istotne dla płaskiego układu konstrukcyjnego.



Rysunek 8.21: Nawigator Wyniki: Pręty → Siły wewnętrzne



Pręt Nr	Węzeł Nr	B	C	D			G			Przekrój
				Polozienie x [m]	N	Sily [kN] Vy / Vu	Vz / Vv	M <sub>T</sub>	Momenty [kNm] My / Mu	
1	2	0.000	-5.855	3.117	4.684	0.001	-15.378	8.785	1 - HE A 300	
	11	3.732	-2.545	3.157	4.684	0.001	2.102	-2.923		
	Max N	3.732	-2.545	3.157	4.684	0.001	2.102	-2.923		
	Min N	0.000	-5.855	3.117	4.684	0.001	-15.378	8.785		
	Max Vy	3.732	-2.545	3.157	4.684	0.001	2.102	-2.923		
	Min Vy	0.000	-5.855	3.117	4.684	0.001	-15.378	8.785		
	Max Vz	1.493	-4.529	3.135	4.685	0.001	-8.387	4.122		
	Min Vz	0.000	-5.855	3.117	4.684	0.001	-15.378	8.785		
	Max MT	0.000	-5.855	3.117	4.684	0.001	-15.378	8.785		
	Min MT	0.000	-5.855	3.117	4.684	0.001	-15.378	8.785		
	Max My	3.732	-2.545	3.157	4.684	0.001	2.102	-2.923		
	Min My	0.000	-5.855	3.117	4.684	0.001	-15.378	8.785		
	Max Mz	0.000	-5.855	3.117	4.684	0.001	-15.378	8.785		
	Min Mz	3.732	-2.545	3.157	4.684	0.001	2.102	-2.923		
2	1	0.000	-6.725	3.041	-4.709	0.001	14.843	8.159	1 - HE A 300	
	12	3.732	-3.414	3.081	-4.709	0.001	-2.732	-3.266		

Rysunek 8.22: Tabela 4.6 Pręty – Siły wewnętrzne

Aby wyświetlić siły wewnętrzne danego przypadku obciążenia, należy wybrać ten przypadek obciążenia z listy w głównym pasku narzędzi lub w pasku narzędzi tabeli.

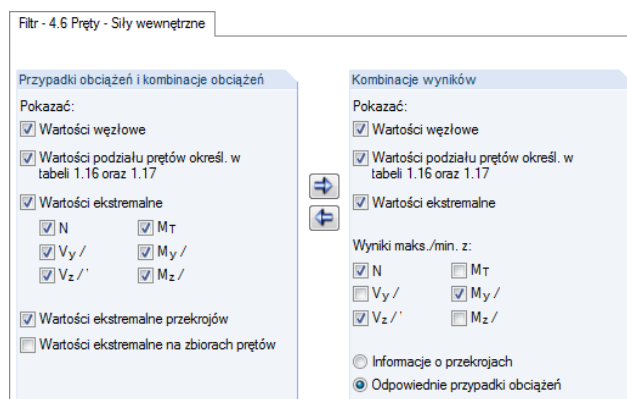
### Położenie x

Tabela ta pokazuje siły wewnętrzne każdego pręta w następujących miejscach:

- Węzeł początkowy i końcowy
- Punkty podziału według zdefiniowanego podziału pręta (zobacz rozdział 4.16 na stronie 148)
- Wartości ekstremalne (Max/Min) sił wewnętrznych N, Vz i My.



Aby dostosować domyślne ustawienia położenia x wyświetlanych w tabeli wyników, należy wybrać opcję **Widok** w menu **Tabela**, a następnie kliknąć przycisk **Filtr wyników** lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi, pokazany na lewym marginesie tej strony.

Rysunek 8.23: Okno dialogowe *Filtr tabeli* (sekcja okna dialogowego)

Pola wyboru w oknie dialogowym *Filtr tabeli* pozwalają kontrolować rodzaj i ilość wyników numerycznych (zobacz rozdział 11.5.5 na stronie 520).

Wykresy sił wewnętrznych opierają się na wartościach wyników w węzłach siatki ES lub odpowiednio w węzłach podziałów pręta, które zostały zdefiniowane w sekcji *Ustawienia* okna dialogowego *Parametry obliczeń* (zobacz rozdział 7.3.3 na stronie 292).

## Siły / momenty

Siły wewnętrzne prętów mają następujące znaczenie:

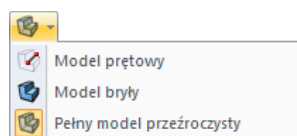
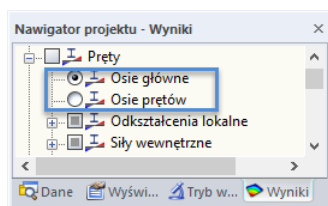
N	Siła osiowa w pręcie
$V_y / V_u$	Siła tnąca w kierunku lokalnej osi pręta y lub u (zobacz na stronie 129)
$V_z / V_v$	Siła tnąca w kierunku lokalnej osi pręta z lub v
$M_\tau$	Moment skręcający
$M_y / M_u$	Moment zginający wokół osi y lub u
$M_z / M_v$	Moment zginający wokół osi z lub v

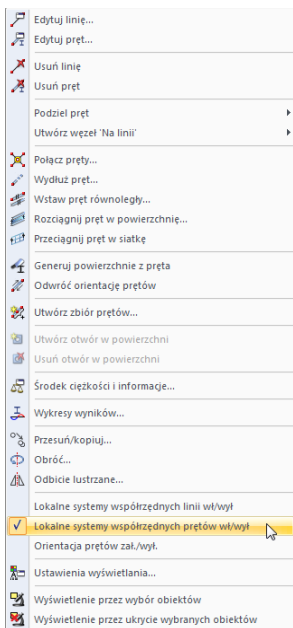
Tabela 8.4: Siły wewnętrzne prętów

Lokalne osie pręta y i z lub u i v są głównymi osiami przekroju. Oś y lub u stanowi "silną" oś, a oś "słaba" jest reprezentowana przez oś z lub v (zobacz rozdział 4.17 na stronie 158). Kiedy używane są przekroje asymetryczne, można wybrać, czy siły wewnętrzne odnoszą się do osi głównych u i v (zobacz grafika na stronie 129) czy do standardowych osi danych y i z. Aby ustawić wyświetlanie wyników, należy użyć nawigatora *Wyniki*, jak pokazano to na lewym marginesie tej strony. Ustawienie to wpływa zarówno na wyświetlanie graficzne wyników, jak i na przedstawianie wyników w tabelach.

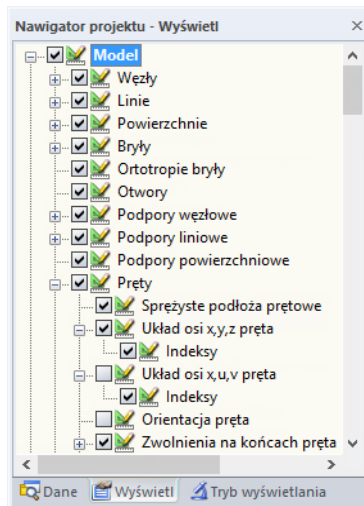
W przypadku prowadzenia analizy nieliniowej, siły wewnętrzne mogą być także odniesione do odkształconych układów osi pręta. Odniesienie sił wewnętrznych ustawia się w sekcji *Opcje* okna dialogowego *Parametry obliczeń* (zobacz rozdział 7.3.1 na stronie 287).

Aby sprawdzić położenie pręta, należy użyć renderowania 3D. W tym samym celu można również wykorzystać nawigator *Wyświetl*, w którym można wybrać opcję *Model i Pręty*, a następnie zaznaczyć pole wyboru dla *Układów osi x,y,z pręta* (zobacz na poniższym rysunku).

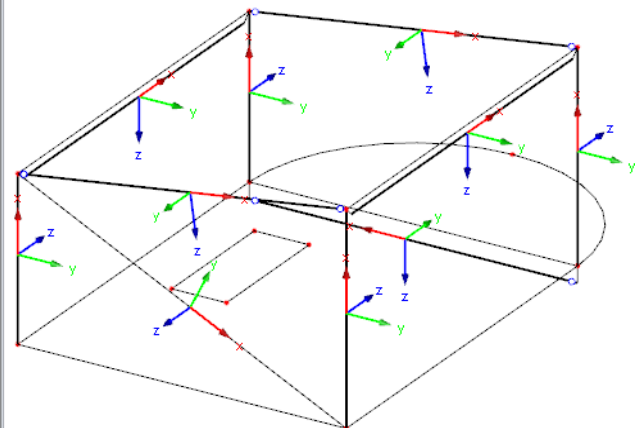




Menu kontekstowe pręta

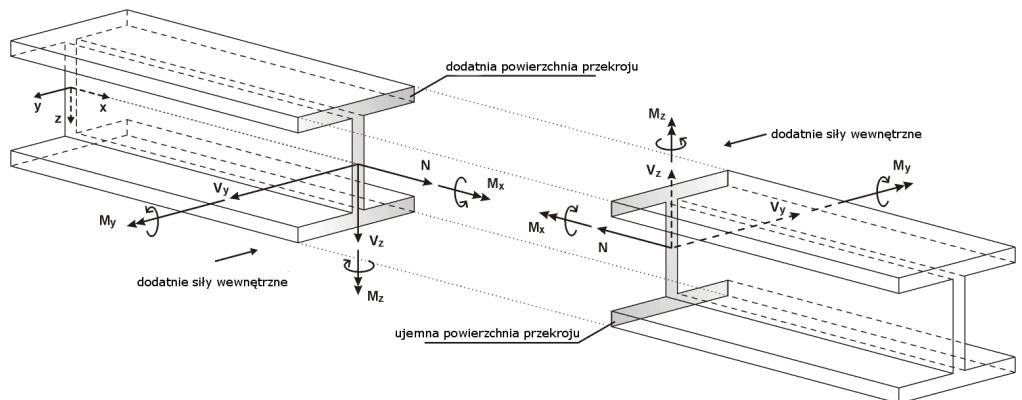


Rysunek 8.24: Wybieranie lokalnych układów osi pręta w nawigatorze Wyświetl



Wyświetlanie osi pręta można również aktywować w menu kontekstowym pręta, pokazanym na lewym marginesie tej strony.

Lokalny układ osi pręta wpływa na znaki sił wewnętrznych.



Rysunek 8.25: Dodatnia definicja sił wewnętrznych



Moment zginający  $M_y$  jest dodatni, jeżeli naprężenia rozciągające występują na dodatniej stronie pręta (w kierunku osi z).  $M_z$  jest dodatni, jeżeli naprężenia ściskające występują na dodatniej stronie pręta (w kierunku osi y). Definicje znaków momentów skręcających, sił osiowych oraz sił tnących są zgodne z konwencją standardową. Wymienione siły wewnętrzne są dodatnie, jeżeli działają one w kierunku dodatnim.

### Wartości ekstremalne



Jeżeli aktywowane jest tabelaryczne wyświetlanie wartości ekstremalnych (zobacz Rysunek 8.23 na stronie 319), program RFEM pokazuje maksymalne dodatnie (*Max*) i minimalne ujemne (*Min*) siły wewnętrzne dla każdego pręta. W tabeli wyników, wartości ekstremalne są wyróżnione pogrubioną czcionką. Wartości w pozostałych kolumnach danego wiersza tabeli reprezentują siły wewnętrzne odniesione do wartości ekstremalnej (zobacz również w rozdziale 11.5.5 na stronie 520).

### Przekrój / Odpowiednie przypadki obciążeń

Ostatnia kolumna tabeli informuje o przekrojach wykorzystywanych dla prętów.



### Kombinacje wyników

W przypadku wyników kombinacji wyników, kolumna jest zatytułowana *Odpowiednie przypadki obciążeń* (zobacz Rysunek 8.22). Tabela ta przedstawia numery przypadków obciążenia lub kombinacje, które zostały wykorzystane do określenia minimalnych lub maksymalnych sił wewnętrznych danego wiersza tabeli. Przypadki obciążeń zaklasyfikowane jako *Stale*, zawsze pojawiają się w tej kolumnie tabeli. *Zmienne* przypadki obciążeń są wyświetlane jedynie wtedy, gdy ich siły wewnętrzne mają niekorzystny wpływ na wynik (zobacz rozdział 5.6 na stronie 222).

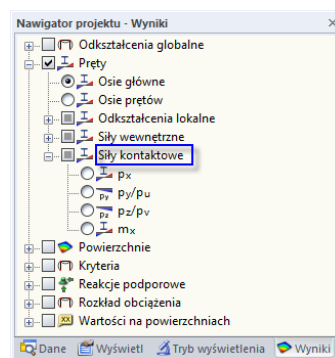
Jednocześnie tabela ta będzie rozszerzona o trzecią kolumnę C. Na końcu listy sił wewnętrznych pręta można odczytać wartości maksymalne dodatnie (**Max**) i minimalne ujemne (**Min**).

Ilości danych w tabelach wyników można zmniejszyć przy użyciu specjalnych funkcji filtrowania dostępnych w oknie dialogowym *Filtr tabeli* (zobacz Rysunek 8.23 na stronie 319). Aby otworzyć to okno dialogowe,

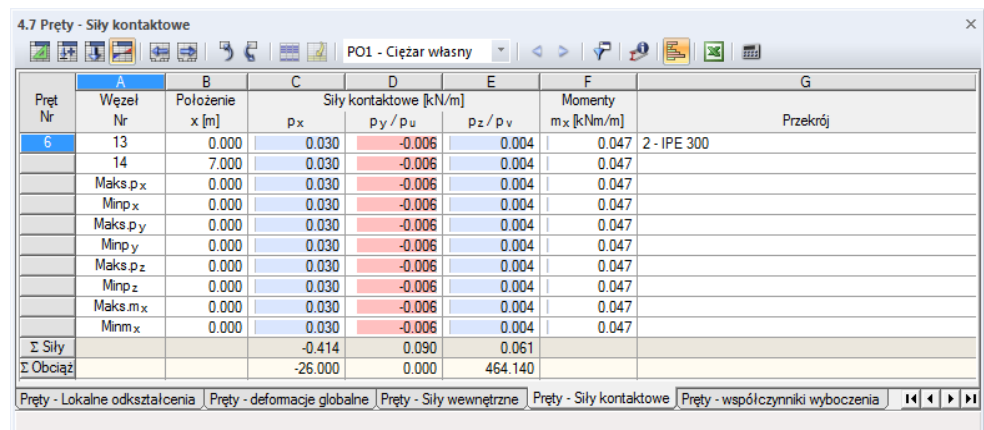
należy wybrać opcję **Widok** w menu **Tabela** i kliknąć przycisk **Filtr wyników** lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi tabeli pokazany na lewym marginesie tej strony.

## 8.7 Pręty – Siły kontaktowe

Jeżeli w modelu istnieją pręty z podłożami sprężystymi (zobacz rozdział 4.19 na stronie 167), siły kontaktowe i momenty są wyświetlane numerycznie w tabeli 4.6. Graficzne wyświetlanie wyników można kontrolować poprzez zaznaczenie pola wyboru dla *Prętów* w nawigatorze *Wyniki*.



Rysunek 8.26: Nawigator *Wyniki*: *Pręty* → *Siły kontaktowe*



Pręt Nr	Węzeł Nr	B Położenie x [m]	D Siły kontaktowe [kN/m]			E Momenty mx [kNm/m]		G Przekrój
			C px	py / pu	pz / pv	mx		
6	13	0.000	0.030	-0.006	0.004	0.047	2 - IPE 300	
	14	7.000	0.030	-0.006	0.004	0.047		
	Maks.px	0.000	0.030	-0.006	0.004	0.047		
	Minp_x	0.000	0.030	-0.006	0.004	0.047		
	Maks.py	0.000	0.030	-0.006	0.004	0.047		
	Minp_y	0.000	0.030	-0.006	0.004	0.047		
	Maks.pz	0.000	0.030	-0.006	0.004	0.047		
	Minp_z	0.000	0.030	-0.006	0.004	0.047		
	Maks.mx	0.000	0.030	-0.006	0.004	0.047		
	Minm_x	0.000	0.030	-0.006	0.004	0.047		
	Σ Siły			-0.414	0.090	0.061		
	Σ Obciąż			-26.000	0.000	464.140		

Rysunek 8.27: ER *Pręty* – *Siły kontaktowe*

### Węzeł nr

Numery węzła początkowego i końcowego są wyświetlane dla każdego pręta posadowienia w dwóch pierwszych wierszach tabeli. W kolejnych wierszach można zobaczyć informacje na temat typów wartości maksymalnych dostępnych dla sił kontaktowych i momentów.



Aby dostosować ustawienia domyślne dla wyników dla wartości ekstremalnych, należy wybrać opcję **Widok** w menu **Tabela** i kliknąć przycisk **Filtr wyników** lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi tabeli pokazany na lewym marginesie tej strony.

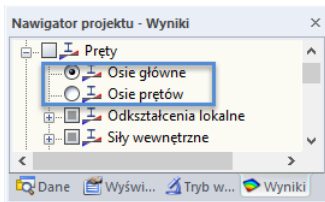
### Położenie x

Tabela ta pokazuje siły wewnętrzne każdego pręta w następujących miejscach:

- Węzeł początkowy i końcowy
- Punkty podziału według zdefiniowanego podziału pręta (zobacz rozdział 4.16 na stronie 148)
- Wartości ekstremalne (*Max/Min*) sił kontaktowych i momentów

### Siły kontaktowe $p_x / p_y / p_z$

Siły kontaktowe, które są efektywne w kierunku lokalnych osi pręta  $x$ ,  $y$  i  $z$  są przedstawione w odniesieniu do długości standardowych. W przypadku stosowania przekrojów asymetrycznych, można wybrać, czy siły kontaktowe odnoszą się do osi głównych  $u$  i  $v$  (zobacz rysunek na stronie 129) czy do standardowych osi danych  $y$  i  $z$ . Aby dostosować wyświetlanie wyników, należy użyć nawigatora *Wyniki*.



Aby sprawdzić położenie osi lokalnych, należy wybrać opcję *Model*, a następnie *Pręty* w nawigatorze *Wyświetl* oraz aktywować *Układy osi x,y,z pręta* (zobacz Rysunek 8.24). Znaki są zgodne ze standardowymi definicjami, wyjaśnionymi w rozdziale 8.6 na stronie 320, podczas opisywania sił wewnętrznych prętów.

W przypadku określania parcia kontaktowego gruntu na podstawie wartości tabelarycznych, dodatkowo należy podzielić wyniki przez szerokości odpowiednich przekrojów.

### Momenty $m_x$

Momenty kontaktowe względem podłużnej osi pręta  $x$  również odnoszą się do długości standardowej. Na momenty  $m_x$  wpływa stała sprężystości obrotowej  $C_\varphi$ .

### Przekrój / odpowiednie przypadki obciążeń

Ostatnia kolumna tabeli zawiera informacje na temat przekrojów wykorzystywanych przez pręty. Kiedy ustawiona jest kombinacja wyników, pokazywane są przypadki i kombinacje obciążeń, które zostały wykorzystane do określenia maksymalnych lub minimalnych sił kontaktowych w odpowiednim wierszu tabeli.

### Sumy kontrolne

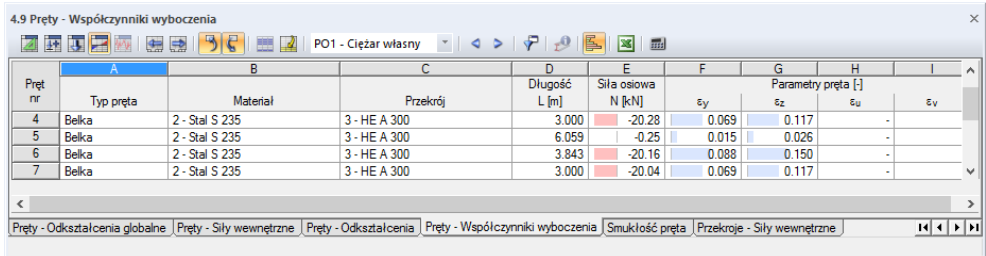
Na dole tabeli program RFEM wyświetla sumy kontrolne obciążeń i sił kontaktowych dla przypadków obciążeń i kombinacji obciążeń. Różnice pomiędzy sumami  $\Sigma$  *siły* i  $\Sigma$  *obciążeń* występują, jeżeli model posiada dodatkowo podpory węzłowe i liniowe lub powierzchnie z podłożami sprężystymi. Z tego powodu  $\Sigma$  *siły* dostępna w tabelach 4.1, 4.3 i 4.20 musi być uwzględniona w sumie całkowitej.

## 8.8 Pręty – Współczynniki wybożenia

Podczas obliczania modeli prętowych obciążonych parciem według analizy drugiego rzędu, duże znaczenie ma współczynnik prętowy  $\varepsilon$  (zobacz rozdział 7.3.1 na stronie 284). Każdy pręt posiada swój własny współczynnik prętowy, który jest określany na podstawie siły ściskającej, długości pręta oraz jego sztywności.

Pręty posiadające współczynniki prętowe większe niż 1 muszą zostać poddane analizie, w odpowiednich przypadkach, według analizy drugiego rzędu. Również normy niektórych krajów, takich jak Stany Zjednoczone określają zasady, które wymagają ograniczenia współczynników prętowych.

Tabela 4.9 przedstawia współczynniki prętowe o decydującym znaczeniu dla wybożenia. Nie ma tutaj możliwości przedstawienia graficznego.



Pręt nr	Typ pręta	Material	Przekrój	Długość L [m]	Siła osiowa N [kN]	$\varepsilon_y$	$\varepsilon_z$	$\varepsilon_u$	$\varepsilon_v$
4	Belka	2 - Stal S 235	3 - HE A 300	3.000	-20.28	0.069	0.117	-	-
5	Belka	2 - Stal S 235	3 - HE A 300	6.059	-0.25	0.015	0.026	-	-
6	Belka	2 - Stal S 235	3 - HE A 300	3.843	-20.16	0.088	0.150	-	-
7	Belka	2 - Stal S 235	3 - HE A 300	3.000	-20.04	0.069	0.117	-	-

Rysunek 8.28: Tabela 4.9 Pręty – Współczynniki dla wybożenia

Wymienione współczynniki prętowe są sortowane według numerów prętów.

### Typ pręta

Typy prętów są wskazane w celach informacyjnych (zobacz rozdział 4.17 na stronie 151). Program RFEM określa współczynniki pręta tylko dla prętów, które są w stanie przenieść siły ściskające.

### Material

Charakterystyki materiału wpływają na sztywności pręta.

### Przekrój

Geometryczne momenty bezwładności przekroju są wymagane do określenia sztywności pręta.

### Długość L

Kolumna D tabeli pokazuje długości pręta.

### Siła osiowa N

Kolumna ta wyświetla siły osiowe wykorzystywane do określania współczynnika prętowego. Siły osiowe występują w środku pręta ( $x = L/2$ ).

Współczynniki prętowe są określane jedynie dla prętów, które posiadają siły ściskające w przynajmniej jednej ze swoich części (dźwigar kratownicowy) lub wzdłuż całego pręta (pręt ściskany, pręt wybożeniowy itp.).

### Współczynniki pręta $\varepsilon_y / \varepsilon_z$

Współczynnik pręta zależy od długości pręta L, siły ściskającej N oraz sztywności E · I.

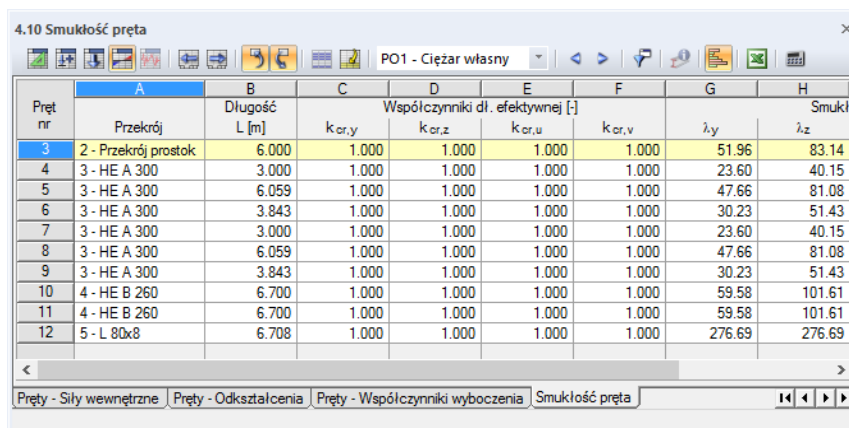
$$\varepsilon = L \cdot \sqrt{\frac{|N|}{E \cdot I}}$$

Równanie 8.1: Współczynnik pręta  $\varepsilon$

Kolumny F i G tabeli pokazują współczynniki pręta odnoszące się do lokalnego układu osi y i z pręta. W przypadku wykorzystywania przekrojów asymetrycznych, takich jak kątowniki, pojawiają się dwie kolumny dodatkowe, w których wyświetlane są współczynniki prętowe w odniesieniu do osi głównych u i v.

## 8.9 Smukłości pręta

Tabela 4.10 pokazuje wskaźniki smukłości prętów. Są one istotne dla oceny zachowania wybożenia prętów obciążonych parciem. Nie istnieje możliwość przedstawienia graficznego.



Pręt nr	A Przekrój	B Długość L [m]	C $k_{cr,y}$	D Współczynniki dl. efektywnej [-] $k_{cr,z}$	E $k_{cr,u}$	F $k_{cr,v}$	G $\lambda_y$	H Smukł. $\lambda_z$
3	2 - Przekrój prostok.	6.000	1.000	1.000	1.000	1.000	51.96	83.14
4	3 - HE A 300	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	23.60	40.15
5	3 - HE A 300	6.059	1.000	1.000	1.000	1.000	47.66	81.08
6	3 - HE A 300	3.843	1.000	1.000	1.000	1.000	30.23	51.43
7	3 - HE A 300	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	23.60	40.15
8	3 - HE A 300	6.059	1.000	1.000	1.000	1.000	47.66	81.08
9	3 - HE A 300	3.843	1.000	1.000	1.000	1.000	30.23	51.43
10	4 - HE B 260	6.700	1.000	1.000	1.000	1.000	59.58	101.61
11	4 - HE B 260	6.700	1.000	1.000	1.000	1.000	59.58	101.61
12	5 - L 80x8	6.708	1.000	1.000	1.000	1.000	276.69	276.69

Rysunek 8.29: Tabela 4.10 Smukłości pręta

Wymienione smukłości pręta są sortowane według numerów prętów.

### Przekrój

Promienie bezwładności przekroju są wymagane do określenia smukłości.

### Długość L

Długości pręta są przedstawiane w kolumnie B tabeli.

### Współczynniki długości efektywnej $k_{cr,y}$ / $k_{cr,z}$

Współczynniki długości wybożeniowej opisują stosunek długości wybożenia do długości pręta.

$$k_{cr} = \frac{s_k}{L}$$

Równanie 8.2: Współczynnik długości wybożeniowej  $k_{cr}$

Długość wybożenia  $s_k$  odnosi się do zachowania wybożeniowego prostopadłego do 'silnej' osi pręta y lub odpowiednio do 'słabej' osi pręta z. Jeżeli nie zostały zdefiniowane ręcznie żadne długości wybożeniowe (zobacz rozdział 4.17 na stronie 162), zakładany jest EULEROWSKI tryb wybożeniowy 2. W tym przypadku, długość wybożenia jest równa długości pręta. Dokładniejsze analizy mogą być wykonane w dodatkowym module RF-STABILITY lub w modułach obliczeniowych firmy Dlubal, takich jak RF-STEEL EC3.

### Smukłości $\lambda_y$ / $\lambda_z$

Stopień smukłości stanowi czystą wartość geometryczną. Jest ona określana na podstawie współczynnika długości efektywnej  $k_{cr}$ , długości pręta L oraz promienia bezwładności i.

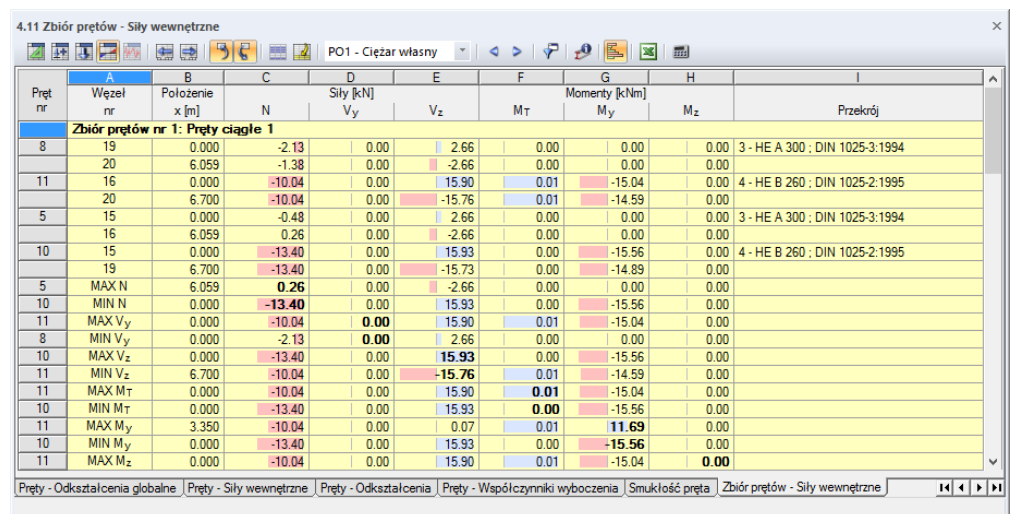
$$\lambda = \frac{k_{cr} \cdot L}{i}$$

Równanie 8.3: Smukłość  $\lambda$

Kolumny tabeli E i F przedstawiają smukłości odnoszące się do lokalnego układu osi pręta y i z. W przypadku wykorzystywania przekrojów asymetrycznych, takich jak kątowniki, pojawiają się dwie kolumny dodatkowe, w których wyświetlane są smukłości w odniesieniu do osi głównych u i v.

## 8.10 Zbiory prętów – Siły wewnętrzne

Tabela 4.11 pokazuje siły wewnętrzne posortowane według zbiorów prętów (zobacz rozdział 4.21 na stronie 173).



Pręt nr	Wzł. nr	Położenie x [m]	N	Siły [kN] Vy	Vz	M <sub>T</sub>	Momenty [kNm] My	Mz	Przekrój
<b>Zbiór prętów nr 1: Pręty ciągłe 1</b>									
8	19	0.000	-2.13	0.00	2.66	0.00	0.00	0.00	3 - HE A 300 ; DIN 1025-3:1994
	20	6.059	-1.38	0.00	-2.66	0.00	0.00	0.00	
11	16	0.000	-10.04	0.00	15.90	0.01	-15.04	0.00	4 - HE B 260 ; DIN 1025-2:1995
	20	6.700	-10.04	0.00	-15.76	0.01	-14.59	0.00	
5	15	0.000	-0.48	0.00	2.66	0.00	0.00	0.00	3 - HE A 300 ; DIN 1025-3:1994
	16	6.059	0.26	0.00	-2.66	0.00	0.00	0.00	
10	15	0.000	-13.40	0.00	15.93	0.00	-15.56	0.00	4 - HE B 260 ; DIN 1025-2:1995
	19	6.700	-13.40	0.00	-15.73	0.00	-14.89	0.00	
5	MAX N	6.059	0.26	0.00	-2.66	0.00	0.00	0.00	
10	MIN N	0.000	-13.40	0.00	15.93	0.00	-15.56	0.00	
11	MAX Vy	0.000	-10.04	0.00	15.90	0.01	-15.04	0.00	
8	MIN Vy	0.000	-2.13	0.00	2.66	0.00	0.00	0.00	
10	MAX Vz	0.000	-13.40	0.00	15.93	0.00	-15.56	0.00	
11	MIN Vz	6.700	-10.04	0.00	-15.76	0.01	-14.59	0.00	
11	MAX M <sub>T</sub>	0.000	-10.04	0.00	15.90	0.01	-15.04	0.00	
10	MIN M <sub>T</sub>	0.000	-13.40	0.00	15.93	0.00	-15.56	0.00	
11	MAX My	3.350	-10.04	0.00	0.07	0.01	11.69	0.00	
10	MIN My	0.000	-13.40	0.00	15.93	0.00	-15.56	0.00	
11	MAX Mz	0.000	-10.04	0.00	15.90	0.01	-15.04	0.00	

Rysunek 8.30: Tabela 4.11 Zbiory prętów – Siły wewnętrzne

Struktura tej tabeli jest podobna do struktury tabeli 4.6 Pręty – Siły wewnętrzne opisanej w rozdziale 8.6 z tą różnicą, że znajdujące się w niej wyniki są posortowane według prętów ciągłych lub grup prętów. Opisy zbiorów prętów pozostają na swoim miejscu w górnym wierszu tabeli, ułatwiając przegląd wyników podczas przewijania.

Tabela ta zawiera wyniki wszystkich prętów zawartych w zbiorze prętów przedstawione pręt po pręcie. Lista wyników dla zbioru prętów kończy się wierszami tabeli wyróżnionymi przy użyciu kolorów. Pokazują one ekstrema całkowite **MAX** i **MIN** każdego rodzaju siły wewnętrznej w zbiorze prętów. Wartości ekstremalne są wyróżnione pogrubioną czcionką. Wartości z pozostałych kolumn odpowiedniego wiersza tabeli stanowią siły wewnętrzne odniesione do wartości ekstremalnej.

Zmniejszenie ilości danych w tabeli jest możliwe za pomocą określonych funkcji filtrowania, dostępnych w oknie dialogowym *Filtr tabeli* (zobacz rozdział 11.5.5 na stronie 520). Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,

należy wybrać opcję **Widok** w menu **Tabela**, a następnie kliknąć przycisk **Filtr wyników**, lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi tabeli pokazany na lewym marginesie tej strony.

## 8.11 Przekroje – Siły wewnętrzne

Tabela 4.12 pokazuje siły wewnętrzne posortowane według przekrojów.

4.12 Przekroje - Siły wewnętrzne									
PO1 - Ciężar własny									
Pręt nr	A Węzeł nr	B Położenie x [m]	C N	D Siły [kN] V <sub>y</sub>	E V <sub>z</sub>	F M <sub>T</sub>	G Momenty [kNm] M <sub>y</sub>	H M <sub>z</sub>	I
<b>Przekrój nr 3: HE A 300 ; DIN 1025-3:1994</b>									
6	2	0.000	-21.98	0.11	-10.04	0.00	19.71	0.43	
	16	3.843	-18.57	0.11	-10.04	0.00	-18.88	0.01	
7	4	0.000	-21.32	-1.74	13.40	0.00	-21.01	-5.22	
	19	3.000	-18.66	-1.74	13.40	0.00	19.20	0.00	
8	19	0.000	-2.13	0.00	2.66	0.00	0.00	0.00	
	20	6.059	-1.38	0.00	-2.66	0.00	0.00	0.00	
9	3	0.000	-21.61	1.74	10.04	0.00	-20.18	6.68	
	20	3.843	-18.20	1.74	10.04	0.00	18.41	-0.01	
5	MAX N	6.059	<b>0.26</b>	0.00	-2.66	0.00	0.00	0.00	
6	MIN N	0.000	<b>-21.98</b>	0.11	-10.04	0.00	19.71	0.43	
9	MAX V <sub>y</sub>	0.000	-21.61	<b>1.74</b>	10.04	0.00	-20.18	6.68	
7	MIN V <sub>y</sub>	0.000	-21.32	<b>-1.74</b>	13.40	0.00	-21.01	-5.22	
7	MAX V <sub>z</sub>	0.000	-21.32	-1.74	<b>13.40</b>	0.00	-21.01	-5.22	
4	MIN V <sub>z</sub>	0.000	-21.61	-0.11	<b>-13.40</b>	0.00	20.31	-0.33	
7	MAX M <sub>T</sub>	0.000	-21.32	-1.74	13.40	<b>0.00</b>	-21.01	-5.22	
9	MIN M <sub>T</sub>	0.000	-21.61	1.74	10.04	<b>0.00</b>	-20.18	6.68	
4	MAX M <sub>y</sub>	0.000	-21.61	-0.11	-13.40	0.00	<b>20.31</b>	-0.33	
7	MIN M <sub>y</sub>	0.000	-21.32	-1.74	13.40	0.00	<b>-21.01</b>	-5.22	
9	MAX M <sub>z</sub>	0.000	-21.61	1.74	10.04	0.00	-20.18	<b>6.68</b>	
7	MIN M <sub>z</sub>	0.000	-21.32	-1.74	13.40	0.00	-21.01	<b>-5.22</b>	
<b>Przekrój nr 4: HE B 260 ; DIN 1025-2:1995</b>									
10	15	0.000	-13.40	0.00	15.93	0.00	-15.56	0.00	
	19	6.700	-13.40	0.00	-15.73	0.00	-14.89	0.00	
11	16	0.000	-10.04	0.00	15.90	0.01	-15.04	0.00	
	20	6.700	-10.04	0.00	-15.76	0.01	-14.59	0.00	
11	MAX N	0.000	<b>-10.04</b>	0.00	15.90	0.01	-15.04	0.00	
10	MIN N	0.000	<b>-13.40</b>	0.00	15.93	0.00	-15.56	0.00	
11	MAX V <sub>y</sub>	0.000	-10.04	<b>0.00</b>	15.90	0.01	-15.04	0.00	
10	MIN V <sub>y</sub>	0.000	-13.40	<b>0.00</b>	15.93	0.00	-15.56	0.00	
10	MAX V <sub>z</sub>	0.000	-13.40	0.00	<b>15.93</b>	0.00	-15.56	0.00	

Rysunek 8.31: Tabela 4.12 Przekroje – Siły wewnętrzne

Struktura tej tabeli jest podobna do struktury tabeli 4.6 Pręty – Siły wewnętrzne opisanej w rozdziale 8.6 z tą różnicą, że znajdujące się w niej wyniki są posortowane według przekrojów. Opisy przekrojów pozostają na swoim miejscu w górnym wierszu tabeli, ułatwiając przegląd wyników podczas przewijania.

Tabela ta zawiera wyniki wszystkich prętów wykorzystujących dany przekrój, przedstawione pręt po pręcie. Lista wyników dla przekrojów kończy się wierszami tabeli wyróżnionymi przy użyciu kolorów. Pokazują one ekstrema całkowite **MAX** i **MIN** każdego rodzaju siły wewnętrznej w przekroju. Wartości ekstremalne są wyróżnione pogrubioną czcionką. Wartości z pozostałych kolumn odpowiedniego wiersza tabeli stanowią siły wewnętrzne odniesione do wartości ekstremalnej.

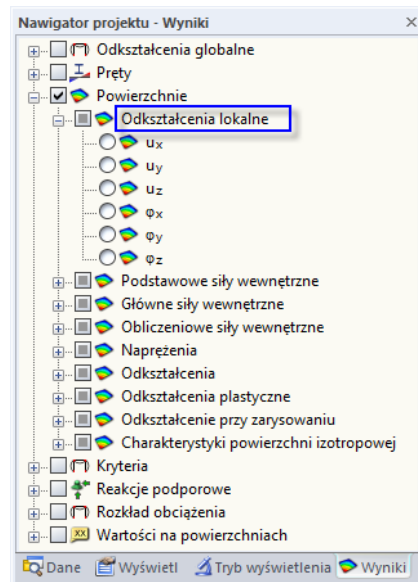
Zmniejszenie ilości danych w tabeli jest możliwe za pomocą określonych funkcji filtrowania, dostępnych w oknie dialogowym *Filtr tabeli* (zobacz rozdział 11.5.5 na stronie 520).

## 8.12 Powierzchnie – Lokalne odkształcenia



Kontrola graficznego wyświetlania lokalnych odkształceń powierzchni możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchnie* w nawigatorze *Wyniki*. Tabela 4.13 pokazuje lokalne odkształcenia powierzchni w postaci numerycznej.

W przypadku konstrukcji 2D program RFEM pokazuje tylko kolumny tabeli odpowiednie dla odkształceń.



Rysunek 8.32: Nawigator *Wyniki*: *Powierzchnie* → *Odształcenia lokalne*

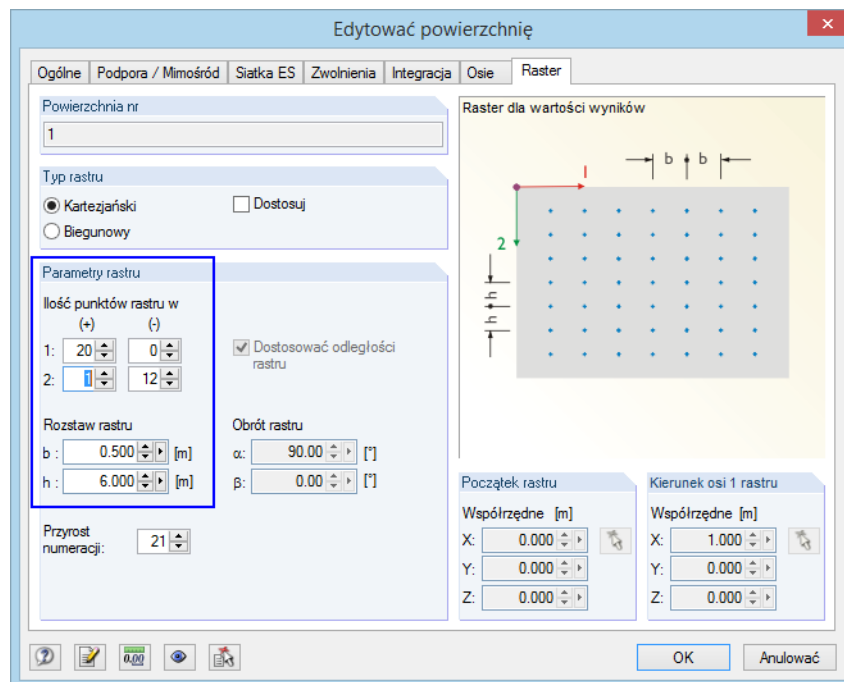
wierzchn nr	Raster Punkt	Współrzędne punktów rastu [m]			u	Przemieszczenia [mm]			Obroty [mrad]		
		X	Y	Z		u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	u <sub>z</sub>	φ <sub>x</sub>	φ <sub>y</sub>	φ <sub>z</sub>
1	1	0.000	0.000	0.000	0.1	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	0.0
2	2	0.500	0.000	0.000	0.4	-0.1	-0.0	0.4	0.2	-1.1	0.0
3	3	1.000	0.000	0.000	1.0	-0.1	-0.0	1.0	0.2	-1.3	0.0
4	4	1.500	0.000	0.000	1.7	-0.1	-0.0	1.7	0.1	-1.3	0.0
5	5	2.000	0.000	0.000	2.3	-0.1	-0.0	2.3	0.1	-1.2	0.0
6	6	2.500	0.000	0.000	2.8	-0.1	-0.0	2.8	0.1	-0.9	0.0
7	7	3.000	0.000	0.000	3.2	-0.1	-0.0	3.2	0.1	-0.5	0.0
8	8	3.500	0.000	0.000	3.3	-0.1	-0.0	3.3	0.2	-0.0	0.0
9	9	4.000	0.000	0.000	3.2	-0.1	-0.0	3.2	0.3	0.4	0.0
10	10	4.500	0.000	0.000	2.9	-0.1	-0.0	2.9	0.3	0.8	0.0
11	11	5.000	0.000	0.000	2.4	-0.1	-0.0	2.4	0.4	1.1	-0.0
12	12	5.500	0.000	0.000	1.8	-0.1	-0.0	1.8	0.5	1.3	-0.0
13	13	6.000	0.000	0.000	1.1	-0.1	-0.0	1.1	0.6	1.3	-0.0
14	14	6.500	0.000	0.000	0.5	-0.1	0.0	0.5	0.6	1.0	-0.0

Rysunek 8.33: Tabela 4.13 *Powierzchnie - Lokalne odkształcenia*

Tabela ta pokazuje przemieszczenia i obroty posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastu każdej z powierzchni.

### Punkt rastu

Numery punktów rastu powierzchni wyświetlane są według powierzchni. Stanowią one charakterystyki dowolnej powierzchni. Ilość i rozmieszczenie punktów rastu można ustawić w zakładce *Raster* w oknie dialogowym *Edytować powierzchnię*.

Rysunek 8.34: Okno dialogowe *Edytować powierzchnię*, zakładka *Raster*

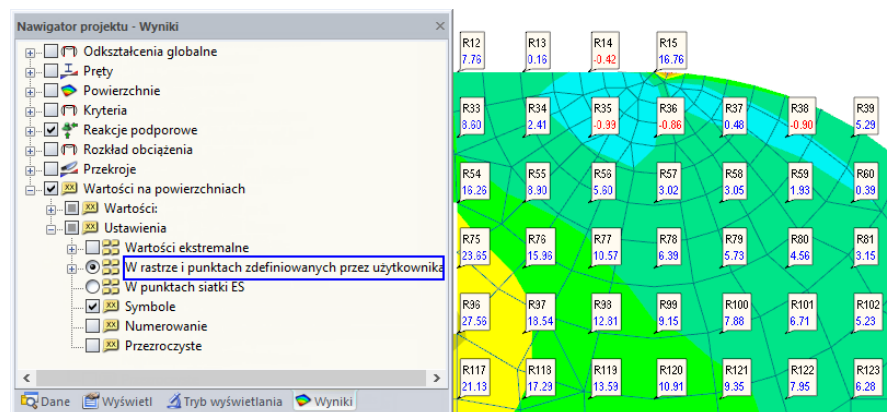
W zakładce okna dialogowego *Raster* można zdefiniować *Typ rastru*, *Parametry rastru* oraz, w razie potrzeby, *Początek rastru* wraz z *Kierunkiem osi 1 rastru*. Domyślnym ustawieniem jest kartezjański raster powierzchni z równomiernym *Rozstawem rastru* wynoszącym 0,5 cm dla punktów rastru w obu kierunkach.



Raster pozwala na przedstawienie wyników w punktach wynikowych o jednakowych odległościach, które można dostosowywać i które nie zależą od siatki ES. W przypadku małych powierzchni, standardowy rozmiar oczek rastru wynoszący 0,5 m może spowodować wygenerowanie tylko kilku punktów rastru (lub nawet tylko jednego punktu rastru wynikowego w punkcie początkowym rastru). W takim wypadku należy dostosować *ilość i odległości* punktów rastru do wielkości powierzchni w celu wygenerowania większej ilości punktów rastru.

Po modyfikacji rastru powierzchni, nowe obliczenie wyników nie jest konieczne, ponieważ wartości rastru są interpolowane na podstawie wartości wynikowych węzłów ES.

Przedstawianie wyników w tabeli opiera się na rastrze wyników powierzchni. W oknie roboczym mogą być wyświetlane obie wartości - dla węzłów ES i dla punktów rastru. Aby ustawić sposób wyświetlania, należy wykorzystać nawigátor *Wyniki*:

Rysunek 8.35: Nawigátor *Wyniki*: *Wartości na powierzchniach* → *Ustawienia* → *W rastrze* lub *punktach Siatki ES*



Program RFEM automatycznie numeruje punkty rastru. Aby wyświetlić numery punktów rastru w grafice wyników, należy zaznaczyć pole wyboru *Numerowanie* w nawigаторze *Wyniki*, jak pokazano to na powyższym rysunku.

### Współrzędne punktów rastru

Kolumny tabeli od B do D pokazują współrzędne punktów rastru w globalnym układzie współrzędnych XYZ. Po kliknięciu w wierszu tabeli, odpowiedni punkt rastru zostanie wskazany przez strzałkę w oknie roboczym.

### Przemieszczenia / obroty

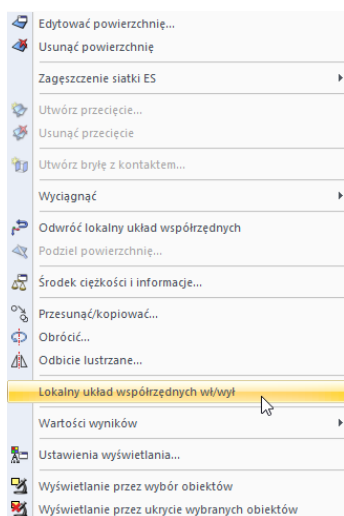
Poszczególne typy odkształceń mają następujące znaczenie:

$ u $	Bezwzględne przemieszczenie całkowite (nie dla kombinacji wyników)
$U_x$	Przemieszczenie powierzchni w kierunku lokalnej osi x
$U_y$	Przemieszczenie powierzchni w kierunku lokalnej osi y
$U_z$	Przemieszczenie powierzchni w kierunku lokalnej osi z
$\varphi_x$	Obrót powierzchni wokół lokalnej osi x
$\varphi_y$	Obrót powierzchni wokół lokalnej osi y
$\varphi_z$	Obrót powierzchni wokół lokalnej osi z

Tabela 8.5: Lokalne odkształcenia powierzchni

Aby sprawdzić położenie lokalnych osi powierzchni, należy wybrać opcję *Model*, a następnie *Powierzchnie* w nawigаторze *Wyświetl* i aktywować *Układ osi powierzchni x,y,z*. W tym samym celu można także skorzystać z menu kontekstowego powierzchni, pokazanego na lewym marginesie tej strony.

Podczas analizowania powierzchni zakrzywionych, odnoszą się one do osi elementów skończonych (zobacz Rysunek 8.40 na stronie 332).

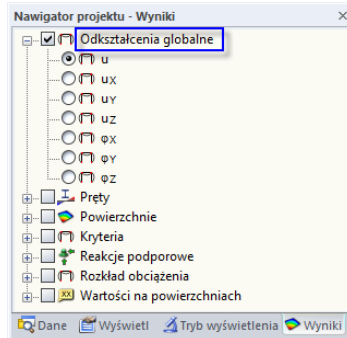


Menu kontekstowe powierzchni

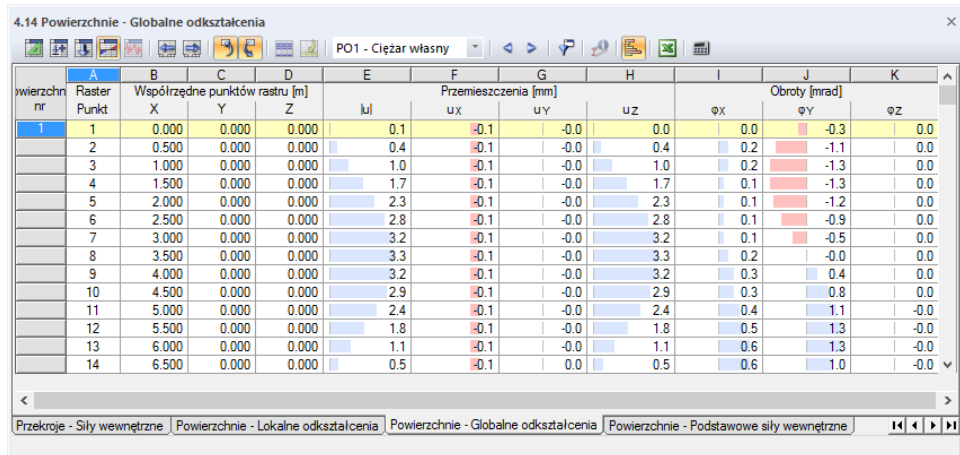
### 8.13 Powierzchnie – Globalne odkształcenia



Kontrola graficznego wyświetlania przemieszczeń i obrotów powierzchni odniesionych do globalnych osi X, Y i Z możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Odkształceń globalnych* w nawigatorze *Wyniki*. Tabela 4.14 pokazuje globalne odkształcenia powierzchni w postaci numerycznej.



Rysunek 8.36: Nawigator *Wyniki*: *Odkształcenia globalne*



Powierzchnia nr	Raster Punkt	Współrzędne punktów rastru [m]			Przemieszczenia [mm]						Obroty [mrad]		
		X	Y	Z	u	u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	u <sub>z</sub>	φ <sub>x</sub>	φ <sub>y</sub>	φ <sub>z</sub>		
1	1	0.000	0.000	0.000	0.1	-0.1	-0.0	0.0	0.0	-0.3	0.0		
2	0.500	0.000	0.000	0.000	0.4	-0.1	-0.0	0.4	0.2	-1.1	0.0		
3	1.000	0.000	0.000	0.000	1.0	-0.1	-0.0	1.0	0.2	-1.3	0.0		
4	1.500	0.000	0.000	0.000	1.7	-0.1	-0.0	1.7	0.1	-1.3	0.0		
5	2.000	0.000	0.000	0.000	2.3	-0.1	-0.0	2.3	0.1	-1.2	0.0		
6	2.500	0.000	0.000	0.000	2.8	-0.1	-0.0	2.8	0.1	-0.9	0.0		
7	3.000	0.000	0.000	0.000	3.2	-0.1	-0.0	3.2	0.1	-0.5	0.0		
8	3.500	0.000	0.000	0.000	3.3	-0.1	-0.0	3.3	0.2	-0.0	0.0		
9	4.000	0.000	0.000	0.000	3.2	-0.1	-0.0	3.2	0.3	0.4	0.0		
10	4.500	0.000	0.000	0.000	2.9	-0.1	-0.0	2.9	0.3	0.8	0.0		
11	5.000	0.000	0.000	0.000	2.4	-0.1	-0.0	2.4	0.4	1.1	-0.0		
12	5.500	0.000	0.000	0.000	1.8	-0.1	-0.0	1.8	0.5	1.3	-0.0		
13	6.000	0.000	0.000	0.000	1.1	-0.1	-0.0	1.1	0.6	1.3	-0.0		
14	6.500	0.000	0.000	0.000	0.5	-0.1	0.0	0.5	0.6	1.0	-0.0		

Rysunek 8.37: Tabela 4.14 *Powierzchnie – Globalne odkształcenia*

Kolumny tabeli *Punkt rastru* i *Współrzędne punktów rastru* odpowiadają kolumnom z poprzedniej tabeli wyników 4.13 *Powierzchnie – Lokalne odkształcenia*.

#### Przemieszczenia / obroty

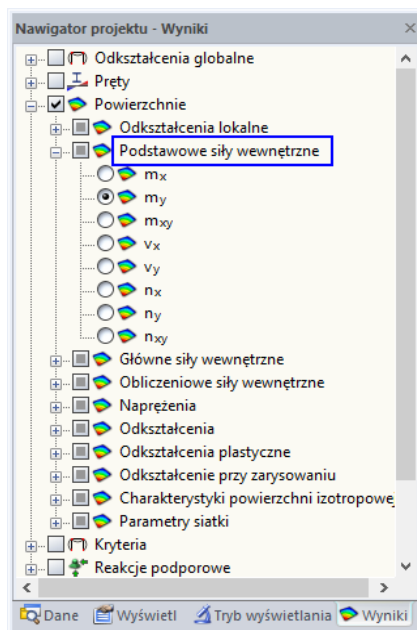
Poszczególne odkształcenia powierzchni mają następujące znaczenie:

u	Bezwzględne przemieszczenie całkowite (nie dla kombinacji wyników)
u <sub>x</sub>	Przemieszczenie powierzchni w kierunku globalnej osi X
u <sub>y</sub>	Przemieszczenie powierzchni w kierunku globalnej osi Y
u <sub>z</sub>	Przemieszczenie powierzchni w kierunku globalnej osi Z
φ <sub>x</sub>	Obrót powierzchni wokół globalnej osi X
φ <sub>y</sub>	Obrót powierzchni wokół globalnej osi Y
φ <sub>z</sub>	Obrót powierzchni wokół globalnej osi Z

Tabela 8.6: Globalne odkształcenia powierzchni

## 8.14 Powierzchnie – Podstawowe siły wewnętrzne

Kontrola graficznego wyświetlania podstawowych sił wewnętrznych możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigаторze *Wyniki*, a następnie wybranie opcji *Podstawowe siły wewnętrzne*. Tabela 4.15 pokazuje podstawowe siły wewnętrzne w postaci numerycznej.



Rysunek 8.38: Nawigator *Wyniki*: *Powierzchnie* → *Podstawowe siły wewnętrzne*

4.15 Powierzchnie - Podstawowe siły wewnętrzne												
wierzch nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Momenty [kNm/m]			Siły tnące [kN/m]		Siły osiowe [kN/m]		
		X	Y	Z	$m_x$	$m_y$	$m_{xy}$	$v_x$	$v_y$	$n_x$	$n_y$	$n_{xy}$
1	1	0.000	0.000	0.000	-23.45	8.25	0.19	60.68	-72.12	36.85	-55.67	
2	0.500	0.000	0.000	0.000	-20.26	-3.66	0.47	52.81	39.10	72.33		
3	1.000	0.000	0.000	0.000	-4.97	11.18	0.77	22.59	1.39	34.37	0.26	
4	1.500	0.000	0.000	0.000	3.46	0.12	0.77	17.31	0.86	26.74	-0.75	
5	2.000	0.000	0.000	0.000	9.77	0.01	0.12	9.97	1.76	29.82	0.04	
6	2.500	0.000	0.000	0.000	14.55	0.13	-0.86	1.22	3.08	36.88	0.02	
7	3.000	0.000	0.000	0.000	19.13	0.28	-0.88	-5.76	-1.43	40.87	1.66	
8	3.500	0.000	0.000	0.000	20.78	0.15	-1.96	-10.17	1.28	36.14	-2.14	
9	4.000	0.000	0.000	0.000	19.37	0.29	-1.73	-15.16	0.24	26.55	1.33	
10	4.500	0.000	0.000	0.000	15.37	-0.04	-1.95	-23.94	2.97	20.98	-3.60	
11	5.000	0.000	0.000	0.000	10.78	0.19	-1.83	-37.57	-0.01	4.34	-0.58	
12	5.500	0.000	0.000	0.000	3.80	0.30	-1.77	-44.56	0.41	3.02	0.51	
13	6.000	0.000	0.000	0.000	-4.77	-0.60	-1.88	-53.77	-0.27	6.69	0.05	
14	6.500	0.000	0.000	0.000	-18.00	-0.06	-0.62	-54.29	-2.24	-46.95	2.28	
15	7.000	0.000	0.000	0.000	-0.87	-9.34	15.17	-147.64	46.78	-591.22	-13.60	2

Rysunek 8.39: Tabela 4.15 *Powierzchnie - Podstawowe siły wewnętrzne*

Tabela ta pokazuje podstawowe siły wewnętrzne posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastru każdej z powierzchni.

### Punkt rastru

Numery punktów rastru wyświetlane są według powierzchni. Więcej informacji na temat punktów rastru znajduje się w rozdział 8.12 na stronie 328.

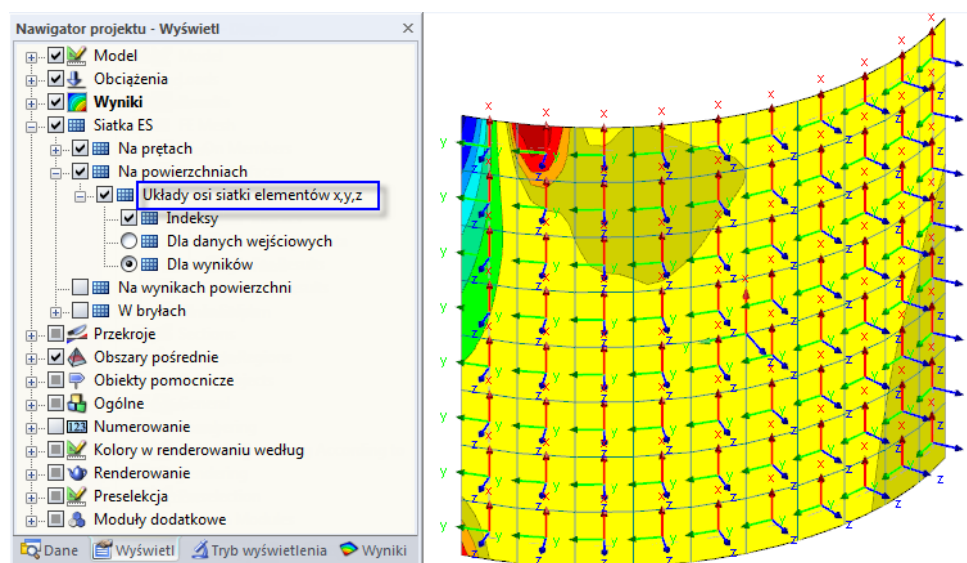
### Współrzędne punktów rastru

Kolumny tabeli od B do D pokazują współrzędne punktów rastru w globalnym układzie współrzędnych XYZ. Po kliknięciu w wierszu tabeli, odpowiedni punkt rastru zostanie wskazany przez strzałkę w oknie roboczym.

### Momenty / siły tnące / siły osiowe

W odróżnieniu od sił wewnętrznych prętów, siły wewnętrzne powierzchni oznaczone są małymi literami. Z definicji momentów zginających  $m_x$  i  $m_y$  wynika fakt, że momenty są związane z kierunkami osi powierzchni, gdzie powstają odpowiednie naprężenia normalne. Aby wyświetlić osie powierzchni, należy użyć menu kontekstowego powierzchni (zobacz Rysunek 4.115 na stronie 126).

W przypadku analizowania powierzchni zakrzywionych, siły wewnętrzne odnoszą się do lokalnych osi poszczególnych elementów skończonych. Osie można wyświetlić, zaznaczając odpowiednie pole wyboru w nawigаторze *Wyświetl*:

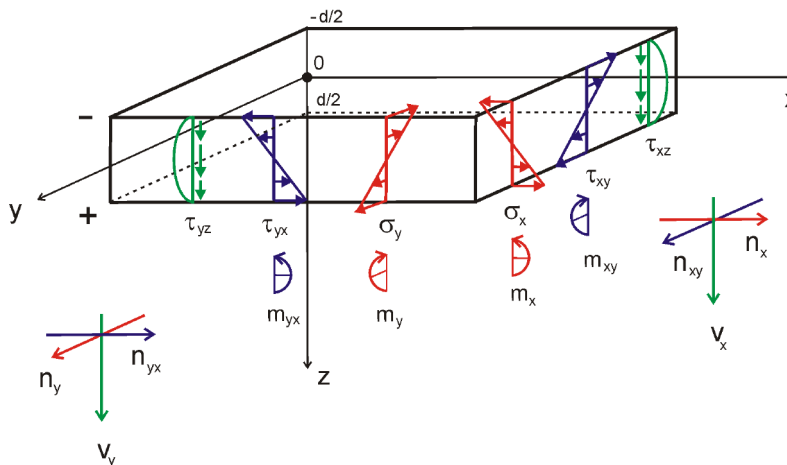


Rysunek 8.40: Nawigator Wyświetl: Układy osi ES x,y,z



Istnieje zasadnicza różnica w zrozumieniu sił wewnętrznych powierzchni i prętów. Moment prętowy  $M_y$  "obraca" względem lokalnej osi pręta y, podczas gdy moment powierzchniowy  $m_y$  działa w kierunku lokalnej osi powierzchni y, czyli względem osi x powierzchni.

Poniższy rysunek wyjaśnia definicję podstawowych sił wewnętrznych powierzchni:



Rysunek 8.41: Siły wewnętrzne powierzchni i naprężenia powierzchni

Momenty oraz naprężenia tnące działające prostopadle do powierzchni posiadają wykres paraboliczny wzdłuż grubości powierzchni.

Znaki pomagają określić, po której stronie powierzchni znajduje się siła wewnętrzna. Jednakże znaki te zależą również od orientacji globalnej osi Z. Jeżeli oś globalna jest skierowana w dół (standardowo), dodatnie siły wewnętrzne powodują wystąpienie naprężeń rozciągających na dodatniej stronie powierzchni (czyli w kierunku dodatniej osi powierzchni z). Są one przedstawiane przy użyciu niebieskich pasków w tabeli. Ujemne siły wewnętrzne prowadzą do powstania naprężeń ściskających na dodatniej stronie powierzchni. Są one reprezentowane przez czerwone paski w tabeli.

Jeżeli globalna oś Z jest skierowana w górę, znaki momentów zginających i sił tnących są odwrócone.

**Kiedy oś Z jest skierowana w dół**, podstawowe siły wewnętrzne są określane w następujący sposób:

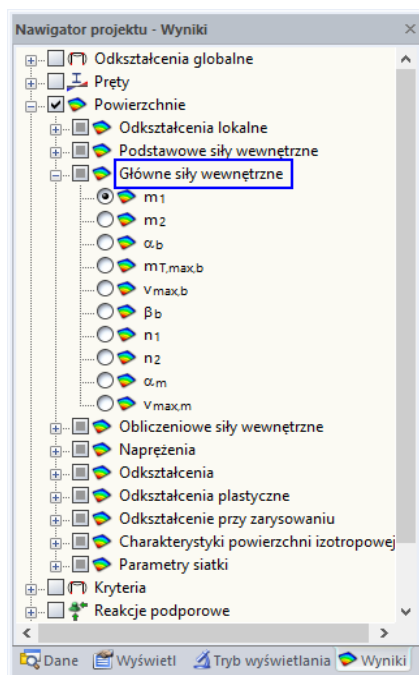
$m_x$	Moment zginający prowadzący do powstania naprężenia w kierunku lokalnej osi x $m_x = \int_{-d/2}^{+d/2} \sigma_x z dz$
$m_y$	Moment zginający prowadzący do powstania naprężenia w kierunku lokalnej osi y $m_y = \int_{-d/2}^{+d/2} \sigma_y z dz$
$m_{xy}$	Moment skręcający $m_{xy} = m_{yx} = \int_{-d/2}^{+d/2} \tau_{xy} z dz$
$v_x$	Siła tnąca $v_x$ $v_x = \int_{-d/2}^{+d/2} \tau_{xz} dz$
$v_y$	Siła tnąca $v_y$ $v_y = \int_{-d/2}^{+d/2} \tau_{yz} dz$
$n_x$	Siła osiowa w kierunku lokalnej osi x $n_x = \int_{-d/2}^{+d/2} \sigma_x dz$
$n_y$	Siła osiowa w kierunku lokalnej osi y $n_y = \int_{-d/2}^{+d/2} \sigma_y dz$
$n_{xy}$	Przeptyw ścinania

$$n_{xy} = \int_{-d/2}^{+d/2} \tau_{xy} dz$$

Tabela 8.7: Podstawowe siły wewnętrzne

## 8.15 Powierzchnie – Główne siły wewnętrzne

Kontrola graficznego wyświetlania głównych sił wewnętrznych możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigatorze *Wyniki*, a następnie wybranie opcji *Główne siły wewnętrzne*. Tabela 4.16 pokazuje główne siły wewnętrzne w postaci numerycznej.

Rysunek 8.42: Nawigator *Wyniki*: *Powierzchnie* → *Główne siły wewnętrzne*

wierchn nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			m <sub>1</sub>	Momenty [kNm/m]			Siły tnące [kN/m]		n <sub>1</sub>	Siły osiowe n <sub>2</sub>
	X	Y	Z		m <sub>2</sub>	α <sub>b</sub> [°]	m <sub>T,max,b</sub>	V <sub>max,b</sub>	β <sub>b</sub> [°]			
1	1	0.000	0.000	0.000	29.64	-44.80	85.73	37.22	262.96	-62.20	60.00	-158.38
2	2	0.500	0.000	0.000	-10.31	-41.46	84.17	15.58	167.48	48.86	193.31	58.48
3	3	1.000	0.000	0.000	-2.89	-11.05	75.62	4.08	47.12	-0.16	73.65	-1.75
4	4	1.500	0.000	0.000	7.15	-0.07	12.90	3.61	35.98	2.76	39.92	-1.97
5	5	2.000	0.000	0.000	19.80	0.03	0.56	9.89	20.75	10.24	31.79	-0.88
6	6	2.500	0.000	0.000	29.97	0.18	-3.56	14.90	6.22	67.01	32.38	-0.82
7	7	3.000	0.000	0.000	39.61	0.40	-3.12	19.61	12.51	-174.08	34.44	0.42
8	8	3.500	0.000	0.000	43.84	-0.01	-5.58	21.93	20.29	174.10	33.22	-0.94
9	9	4.000	0.000	0.000	41.40	0.34	-5.59	20.53	29.91	178.21	29.84	0.67
10	10	4.500	0.000	0.000	34.46	0.34	-7.50	17.06	50.36	-179.82	26.84	1.41
11	11	5.000	0.000	0.000	24.41	-0.19	-10.07	12.30	58.14	-179.92	25.65	-1.15
12	12	5.500	0.000	0.000	11.26	-0.98	-24.18	6.12	87.03	179.24	30.06	0.96
13	13	6.000	0.000	0.000	1.37	-9.50	-70.44	5.44	111.82	-179.84	24.76	1.89
14	14	6.500	0.000	0.000	-0.11	-37.23	-88.22	18.56	117.86	-178.60	0.87	-63.34
15	15	7.000	0.000	0.000	14.19	-58.98	51.79	36.59	119.80	159.22	128.73	-909.07

Rysunek 8.43: Tabela 4.16 *Powierzchnie - Główne siły wewnętrzne*

Tabela ta pokazuje główne siły wewnętrzne posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastru każdej z powierzchni.

Kolumny tabeli *Punkt rastru* i *Współrzędne punktów rastru* odpowiadają kolumnom poprzedniej tabeli wyników 4.15 *Powierzchnie – Podstawowe siły wewnętrzne*.

### Momenty / siły tnące / siły osiowe

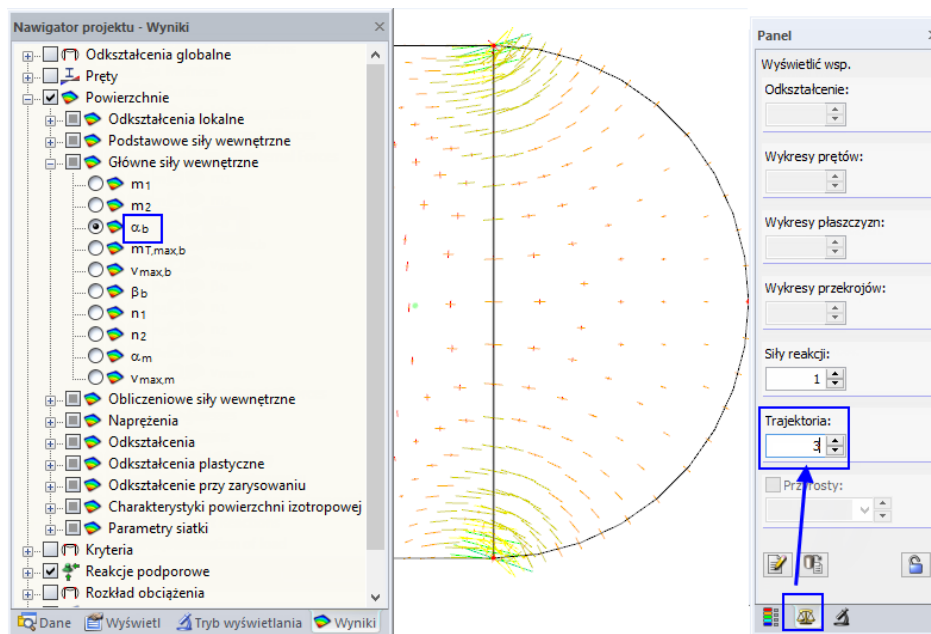
Podstawowe siły wewnętrzne, opisane w poprzednim rozdziale, odnoszą się do mniej więcej swobodnie określonego układu współrzędnych xyz powierzchni. W przeciwieństwie do nich, Główne siły wewnętrzne stanowią ekstremalne wartości sił wewnętrznych w elemencie powierzchniowym. W tym celu podstawowe siły wewnętrzne są przekształcane w kierunkach obu osi głównych. Oś główna 1 (wartość maksymalna) i 2 (wartość minimalna) ułożone są ortogonalnie.

Główne siły wewnętrzne są wyznaczone z podstawowych sił wewnętrznych:

$m_1$	Moment zginający w kierunku głównej osi 1 $\frac{1}{2} \left( m_x + m_y + \sqrt{(m_x - m_y)^2 + 4 \cdot m_{xy}^2} \right)$
$m_2$	Moment zginający w kierunku głównej osi 2 $\frac{1}{2} \left( m_x + m_y - \sqrt{(m_x - m_y)^2 + 4 \cdot m_{xy}^2} \right)$
$\alpha_b$	Kąt pomiędzy lokalną osią x (lub y) oraz osią główną 1 (lub 2) $\frac{1}{2} \left[ \arctan \left( \frac{2 \cdot m_{xy}}{m_x - m_y} \right) \right]$
$m_{T,max,b}$	Maksymalny moment skręcający $\frac{\sqrt{(m_x - m_y)^2 + 4 \cdot m_{xy}^2}}{2}$
$v_{max,b}$	Maksymalne wypadkowe siły tnące ze składowych zginających $v_{max,b} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$
$\beta_b$	Kąt pomiędzy główną siłą tnącą $v_{max,b}$ a osią lokalną x $\beta = \arctan \frac{v_y}{v_x}$
$n_1$	Siła osiowa w kierunku osi głównej 1 $\frac{1}{2} \left( n_x + n_y + \sqrt{(n_x - n_y)^2 + 4 \cdot n_{xy}^2} \right)$
$n_2$	Siła osiowa w kierunku osi głównej 2 $\frac{1}{2} \left( n_x + n_y - \sqrt{(n_x - n_y)^2 + 4 \cdot n_{xy}^2} \right)$
$\alpha_m$	Kąt pomiędzy osią x a osią główną 1 (dla siły osiowej $n_1$ ) $\frac{1}{2} \left[ \arctan \left( \frac{2 \cdot n_{xy}}{n_x - n_y} \right) \right]$
$v_{max,m}$	Maksymalna siła tnąca od składowych membranowych $\frac{\sqrt{(n_x - n_y)^2 + 4 \cdot n_{xy}^2}}{2}$

Tabela 8.8: Główne siły wewnętrzne

Kierunki osi głównych  $\alpha_b$  (dla momentów zginających),  $\beta_b$  (dla sił tnących) oraz  $\alpha_m$  (dla sił osiowych) mogą być wyświetlane jako trajektorie w oknie roboczym.



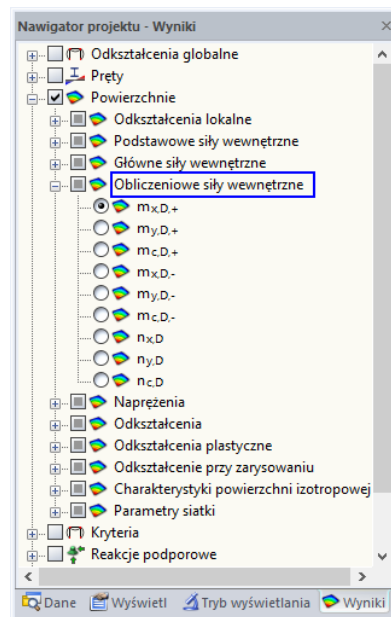
Rysunek 8.44: Trajektorie osi głównych

Na powyższym rysunku przykładowo wyświetlenie dla kąta  $\alpha_b$  pokazuje również wielkość odpowiednich momentów głównych, ponieważ trajektorie są skalowane do wartości momentów  $m_1$  i  $m_2$ .



## 8.16 Powierzchnie – Obliczeniowe siły wewnętrzne

Kontrola graficznego wyświetlania obliczeniowych sił wewnętrznych możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigаторze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Obliczeniowe siły wewnętrzne*. Tabela 4.17 pokazuje obliczeniowe siły wewnętrzne w postaci numerycznej.



Rysunek 8.45: Nawigator *Wyniki*: *Powierzchnie* → *Obliczeniowe siły wewnętrzne*

Powierzchn nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Momenty [kNm/m]					Siły osiowe		
		X	Y	Z	$m_{x,D+}$	$m_{y,D+}$	$m_{c,D+}$	$m_{x,D-}$	$m_{y,D-}$	$m_{c,D-}$	$n_{x,D}$	$n_{y,t}$
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	8.25	-23.46	23.46	0.00	-8.25	36.86	
2	0.500	0.000	0.000	0.000	0.00	-3.65	-20.27	20.73	4.13	-0.93	83.73	
3	1.000	0.000	0.000	0.000	0.00	-1.06	-5.08	5.73	1.95	-1.54	34.94	
4	1.500	0.000	0.000	0.000	4.23	0.90	-1.54	0.00	0.05	-3.63	27.03	
5	2.000	0.000	0.000	0.000	9.89	0.13	-0.24	0.00	-0.00	-9.77	30.98	
6	2.500	0.000	0.000	0.000	15.41	0.99	-1.72	0.00	-0.08	-14.60	39.07	
7	3.000	0.000	0.000	0.000	20.01	1.16	-1.75	0.00	-0.24	-19.17	41.67	
8	3.500	0.000	0.000	0.000	22.74	2.11	-3.92	0.00	0.03	-20.97	38.45	
9	4.000	0.000	0.000	0.000	21.10	2.02	-3.47	0.00	-0.13	-19.52	27.49	
10	4.500	0.000	0.000	0.000	17.31	1.91	-3.89	0.00	0.28	-15.61	21.54	
11	5.000	0.000	0.000	0.000	12.61	2.02	-3.65	0.00	0.12	-11.09	4.42	
12	5.500	0.000	0.000	0.000	5.57	2.07	-3.54	0.00	0.52	-4.62	4.06	
13	6.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.15	-5.51	6.65	2.48	-3.76	8.64	
14	6.500	0.000	0.000	0.000	0.00	-0.04	-18.02	18.62	0.69	-1.25	0.00	
15	7.000	0.000	0.000	0.000	14.30	5.82	-30.33	16.03	24.51	-30.33	0.00	

Rysunek 8.46: Tabela 4.17 *Powierzchnie - Obliczeniowe siły wewnętrzne*

Tabela ta przedstawia obliczeniowe siły wewnętrzne posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastru każdej z powierzchni.

### Punkt rastru

Numery punktów rastru wyświetlane są według powierzchni. Więcej informacji na temat punktów rastru znajduje się w rozdziale 8.12 na stronie 328.

### Współrzędne punktów rastru

Kolumny tabeli od B do D pokazują współrzędne punktów rastru w globalnym układzie współrzędnych XYZ.

### Momenty / siły osiowe

Momenty obliczeniowe i siły osiowe przedstawione w tej tabeli opierają się na podejściu opisanym w DIN V ENV 1992-1-1, załącznik 2, A 2.8 i A 2.9. W ten sposób, program RFEM udostępnia użytkownikom, którzy nie mają dostępu do modułu RF-CONCRETE Surfaces, pomocne narzędzie do ręcznego wymiarowania żelbetu. Ponieważ dodatkowy moduł wykorzystuje metodę BAUMANNA, obliczeniowe siły wewnętrzne z programu RFEM nie są stosowane w tym module.



W związku z tym należy mieć na uwadze, że momenty obliczeniowe i siły osiowe tabeli 4.17 nie mogą być łączone. Jak wyjaśniono w DIN V ENV 1992-1-1, załącznik 2.8, momenty odnoszą się wyłącznie do zbrojenia płytowego. Siły osiowe opierają się na obliczeniach elementów ścianowych opisanych w załączniku 2.9.

Obliczeniowe siły wewnętrzne mają następujące znaczenie:

$m_{x,D+}$	<p>Moment zginający w kierunku lokalnej osi x na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni)</p> $m_x +  m_{xy}  \quad \text{dla } m_x \leq m_y \text{ oraz } m_x \geq - m_{xy} $ $0 \quad \text{dla } m_x > m_y \text{ oraz } m_y \geq - m_{xy} $ $0 \quad \text{dla } m_x \leq m_y \text{ oraz } m_x < - m_{xy} $ $m_x + \frac{m_{xy}^2}{ m_y } \quad \text{dla } m_x > m_y \text{ oraz } m_y < - m_{xy} $
$m_{y,D+}$	<p>Moment obliczeniowy w kierunku lokalnej osi y na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni)</p> $m_y +  m_{xy}  \quad \text{dla } m_x \leq m_y \text{ oraz } m_x \geq - m_{xy} $ $0 \quad \text{dla } m_x > m_y \text{ oraz } m_y \geq - m_{xy} $ $0 \quad \text{dla } m_x \leq m_y \text{ oraz } m_x < - m_{xy} $ $0 \quad \text{dla } m_x > m_y \text{ oraz } m_x < - m_{xy} $
$m_{c,D+}$	<p>Moment obliczeniowy dla obliczeń naprężeń w betonie na dodatniej stronie powierzchni</p> $-2 \cdot  m_{xy}  \quad \text{dla } m_x \leq m_y \text{ oraz } m_x \geq - m_{xy} $ $0 \quad \text{dla } m_x > m_y \text{ oraz } m_y \geq - m_{xy} $ $m_x - \frac{m_{xy}^2}{ m_x } \quad \text{dla } m_x \leq m_y \text{ oraz } m_x < - m_{xy} $ $m_y - \frac{m_{xy}^2}{ m_y } \quad \text{dla } m_x > m_y \text{ oraz } m_x < - m_{xy} $

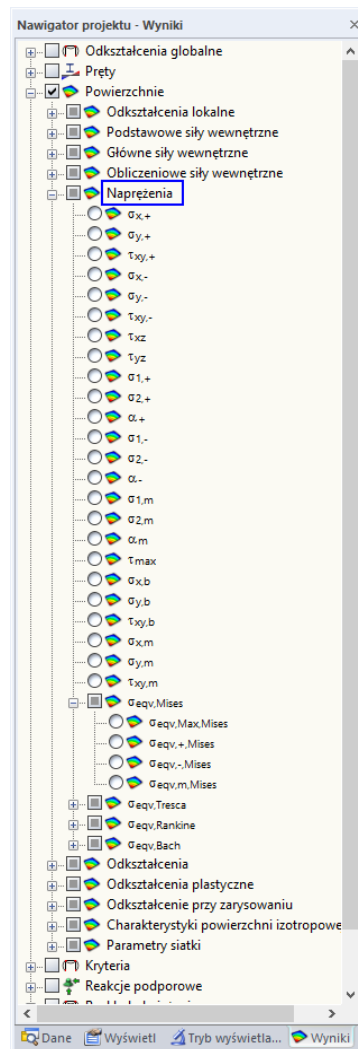
$m_{x,D-}$	<p>Moment obliczeniowy w kierunku osi x na ujemnej stronie powierzchni</p> $-m_x +  m_{xy} $ <p>dla <math>m_x \leq m_y</math> oraz <math>m_y \leq  m_{xy} </math></p> $-m_x + \frac{m_{xy}^2}{ m_y }$ <p>dla <math>m_x &gt; m_y</math> oraz <math>m_x \leq  m_{xy} </math></p> $-m_x + \frac{m_{xy}^2}{ m_y }$ <p>dla <math>m_x \leq m_y</math> oraz <math>m_y &gt;  m_{xy} </math></p> $0$ <p>dla <math>m_x &gt; m_y</math> oraz <math>m_x &gt;  m_{xy} </math></p>
$m_{y,D-}$	<p>Moment obliczeniowy w kierunku osi y na ujemnej stronie powierzchni</p> $-m_y +  m_{xy} $ <p>dla <math>m_x \leq m_y</math> oraz <math>m_y \leq  m_{xy} </math></p> $-m_y + \frac{m_{xy}^2}{ m_x }$ <p>dla <math>m_x &gt; m_y</math> oraz <math>m_x \leq  m_{xy} </math></p> $0$ <p>dla <math>m_x \leq m_y</math> oraz <math>m_y &gt;  m_{xy} </math></p> $-m_y + \frac{m_{xy}^2}{ m_x }$ <p>dla <math>m_x &gt; m_y</math> oraz <math>m_x &gt;  m_{xy} </math></p>
$m_{c,D-}$	<p>Moment obliczeniowy dla obliczeń naprężeń w betonie na ujemnej stronie powierzchni</p> $-2 \cdot  m_{xy} $ <p>dla <math>m_x \leq m_y</math> oraz <math>m_y \leq  m_{xy} </math></p> $-m_y - \frac{m_{xy}^2}{ m_y }$ <p>dla <math>m_x &gt; m_y</math> oraz <math>m_x \leq  m_{xy} </math></p> $-m_y - \frac{m_{xy}^2}{ m_y }$ <p>dla <math>m_x \leq m_y</math> oraz <math>m_y &gt;  m_{xy} </math></p> $-m_x - \frac{m_{xy}^2}{ m_x }$ <p>dla <math>m_x &gt; m_y</math> oraz <math>m_x &gt;  m_{xy} </math></p>
$n_{x,D}$	<p>Siła obliczeniowa w kierunku lokalnej osi x</p> $n_x +  n_{xy} $ <p>dla <math>n_x \leq n_y</math> oraz <math>n_x \geq - n_{xy} </math></p> $n_x + \frac{n_{xy}^2}{ n_y }$ <p>dla <math>n_x &gt; n_y</math> oraz <math>n_y \geq - n_{xy} </math></p> $0$ <p>dla <math>n_x \leq n_y</math> oraz <math>n_x &lt; - n_{xy} </math></p> $n_x + \frac{n_{xy}^2}{ n_y }$ <p>dla <math>n_x &gt; n_y</math> oraz <math>n_y &lt; - n_{xy} </math></p>
$n_{y,D}$	<p>Siła obliczeniowa w kierunku lokalnej osi y</p> $n_y +  n_{xy} $ <p>dla <math>n_x \leq n_y</math> oraz <math>n_x \geq - n_{xy} </math></p> $n_y + \frac{n_{xy}^2}{ n_x }$ <p>dla <math>n_x &gt; n_y</math> oraz <math>n_y \geq - n_{xy} </math></p> $0$ <p>dla <math>n_x \leq n_y</math> oraz <math>n_x &lt; - n_{xy} </math></p> $n_y + \frac{n_{xy}^2}{ n_x }$ <p>dla <math>n_x &gt; n_y</math> oraz <math>n_y &lt; - n_{xy} </math></p>
$n_{c,D}$	Siła obliczeniowa dla obliczeń naprężeń w betonie

$-2 \cdot  n_{xy} $	dla $n_x \leq n_y$ oraz $n_x \geq - n_{xy} $
	dla $n_x > n_y$ oraz $n_y \geq - n_{xy} $
$- n_x  - \frac{n_{xy}^2}{ n_x }$	dla $n_x \leq n_y$ oraz $n_x < - n_{xy} $
$- n_y  - \frac{n_{xy}^2}{ n_y }$	dla $n_x > n_y$ oraz $n_y < - n_{xy} $

Tabela 8.9: Obliczeniowe siły wewnętrzne

## 8.17 Powierzchnie – Naprężenia podstawowe

Kontrola graficznego wyświetlania naprężeń podstawowych możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigаторze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Naprężenia*. Tabela 4.18 pokazuje naprężenia podstawowe w postaci numerycznej.

Rysunek 8.47: Nawigator *Wyniki*: *Powierzchnie* → *Naprężenia*

4.18 Powierzchnie - Naprężenia podstawowe

PO1 - Ciężar własny

Powierzchni nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Naprężenia osiowe [MPa]				Naprężenia styczne [MPa]		
		X	Y	Z	$\sigma_{x,+}$	$\sigma_{y,+}$	$\sigma_{x,-}$	$\sigma_{y,-}$	$\tau_{xy,+}$	$\tau_{xy,-}$	$\tau_{yz}$
1	1	0.000	0.000	0.000	-3.3	1.0	3.7	-1.5	0.0	-0.0	0.5
2	2	0.500	0.000	0.000	-2.7	0.5	3.4	0.6	0.1	-0.0	0.4
3	3	1.000	0.000	0.000	-0.6	-0.2	0.9	0.2	0.1	-0.1	0.2
4	4	1.500	0.000	0.000	0.7	0.0	-0.4	-0.0	0.1	-0.1	0.1
5	5	2.000	0.000	0.000	1.6	0.0	-1.3	-0.0	0.0	-0.0	0.1
6	6	2.500	0.000	0.000	2.4	0.0	-2.0	-0.0	-0.1	0.1	0.0
7	7	3.000	0.000	0.000	3.1	0.1	-2.7	-0.0	-0.1	0.1	-0.0
8	8	3.500	0.000	0.000	3.3	0.0	-2.9	-0.0	-0.3	0.3	-0.1
9	9	4.000	0.000	0.000	3.0	0.1	-2.8	-0.0	-0.3	0.3	-0.1
10	10	4.500	0.000	0.000	2.4	-0.0	-2.2	-0.0	-0.3	0.3	-0.2
11	11	5.000	0.000	0.000	1.6	0.0	-1.6	-0.0	-0.3	0.3	-0.3
12	12	5.500	0.000	0.000	0.6	0.0	-0.6	-0.0	-0.3	0.3	-0.3
13	13	6.000	0.000	0.000	-0.7	-0.1	0.7	0.1	-0.3	0.3	-0.4
14	14	6.500	0.000	0.000	-2.9	0.0	2.5	0.0	-0.1	0.1	-0.4
15	15	7.000	0.000	0.000	-3.1	-1.5	-2.8	1.3	3.3	-1.2	-1.1

Rysunek 8.48: Tabela 4.18 Powierzchnie – Naprężenia podstawowe

Tabela ta przedstawia naprężenia podstawowe posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastru każdej z powierzchni.

**Punkt rastru**

Numery punktów rastru wyświetlane są według powierzchni. Więcej informacji na temat punktów rastru znajduje się w rozdziale 8.12 na stronie 328.

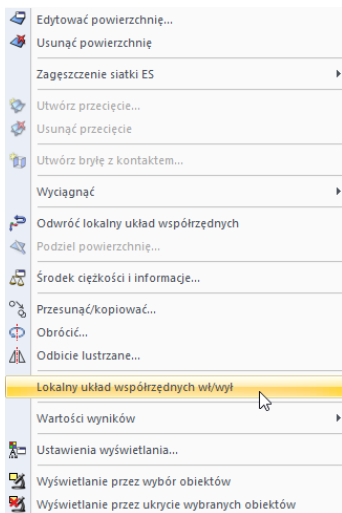
**Współrzędne punktów rastru**

Kolumny tabeli od B do D pokazują współrzędne punktów rastru w globalnym układzie współrzędnych XYZ.

**Naprężenia podstawowe**

Naprężenia podstawowe są związane z kierunkami lokalnych osi powierzchni. W przypadku analizowania powierzchni zakrzywionych, odnoszą się one do osi elementów skończonych (zobacz Rysunek 8.40 na stronie 332).

Naprężenia podstawowe są przedstawione na Rysunek 8.41 na stronie 332 i mają następujące znaczenie:



Menu kontekstowe powierzchni

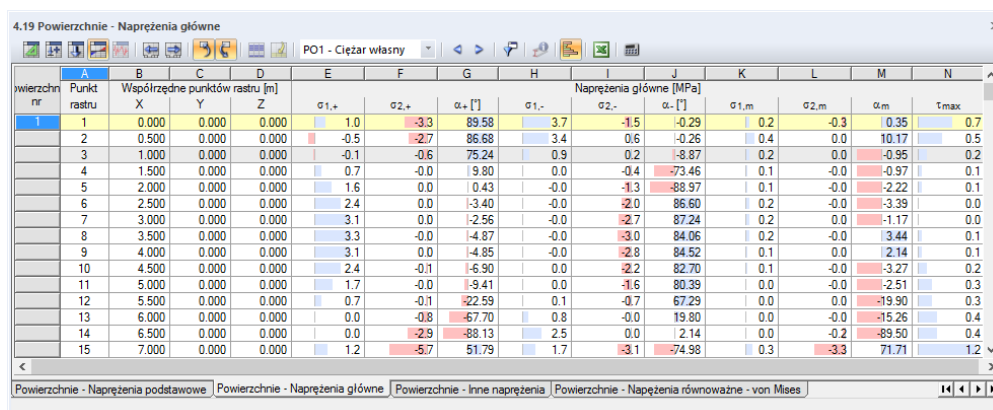
$\sigma_{x,+}$	Naprężenie w kierunku lokalnej osi x na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni) $\sigma_{x,+} = \frac{n_x}{d} + \frac{6 \cdot m_x}{d^2}$ gdzie d: grubość powierzchni
$\sigma_{y,+}$	Naprężenie w kierunku lokalnej osi y na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni) $\sigma_{y,+} = \frac{n_y}{d} + \frac{6 \cdot m_y}{d^2}$
$\sigma_{x,-}$	Naprężenie w kierunku osi x na ujemnej stronie powierzchni $\sigma_{x,-} = \frac{n_x}{d} - \frac{6 \cdot m_x}{d^2}$
$\sigma_{y,-}$	Naprężenie w kierunku osi y na ujemnej stronie powierzchni $\sigma_{y,-} = \frac{n_y}{d} - \frac{6 \cdot m_y}{d^2}$
$\tau_{xy,+}$	Naprężenie skręcające na dodatniej stronie powierzchni

	$\tau_{xy,+} = \frac{n_{xy}}{d} + \frac{6 \cdot m_{xy}}{d^2}$
$\tau_{xy,-}$	Napężenie skręcające na ujemnej stronie powierzchni $\tau_{xy,-} = \frac{n_{xy}}{d} - \frac{6 \cdot m_{xy}}{d^2}$
$\tau_{xz}$	Napężenie tnące ortogonalne do powierzchni w kierunku osi x $\frac{3 \cdot v_x}{2 \cdot d}$ gdzie d: grubość powierzchni
$\tau_{yz}$	Napężenie tnące ortogonalne do powierzchni w kierunku osi y $\frac{3 \cdot v_y}{2 \cdot d}$

Tabela 8.10: Napężenia podstawowe

## 8.18 Powierzchnie – Napężenia główne

Kontrola graficznego wyświetlania napężeń głównych możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigatorze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Napężenia* (zobacz Rysunek 8.47 na stronie 340). Tabela 4.19 pokazuje napężenia główne powierzchni w postaci numerycznej.



wierzchn nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Napężenia główne [MPa]									
	X	Y	Z	$\sigma_{1,+}$	$\sigma_{2,+}$	$\alpha$ [°]	$\sigma_{1,-}$	$\sigma_{2,-}$	$\alpha$ [°]	$\sigma_{1,m}$	$\sigma_{2,m}$	$\alpha_m$	$\tau_{max}$	
1	0.000	0.000	0.000	1.0	-3.3	89.58	3.7	-1.5	-0.29	0.2	-0.3	0.35	0.7	
2	0.500	0.000	0.000	-0.5	-2.7	86.68	3.4	0.6	-0.26	0.4	0.0	10.17	0.5	
3	1.000	0.000	0.000	-0.1	-0.6	75.24	0.9	0.2	-8.87	0.2	0.0	-0.95	0.2	
4	1.500	0.000	0.000	0.7	-0.0	9.80	0.0	-0.4	-73.46	0.1	-0.0	-0.97	0.1	
5	2.000	0.000	0.000	1.6	0.0	0.43	-0.0	-1.3	-88.97	0.1	-0.0	-2.22	0.1	
6	2.500	0.000	0.000	2.4	0.0	-3.40	-0.0	-2.0	86.60	0.2	-0.0	-3.39	0.0	
7	3.000	0.000	0.000	3.1	0.0	-2.56	-0.0	-2.7	87.24	0.2	0.0	-1.17	0.0	
8	3.500	0.000	0.000	3.3	-0.0	-4.87	-0.0	-3.0	84.06	0.2	-0.0	3.44	0.1	
9	4.000	0.000	0.000	3.1	0.0	-4.85	-0.0	-2.8	84.52	0.1	0.0	2.14	0.1	
10	4.500	0.000	0.000	2.4	-0.1	-6.90	0.0	-2.2	82.70	0.1	-0.0	-3.27	0.2	
11	5.000	0.000	0.000	1.7	-0.0	-9.41	0.0	-1.6	80.39	0.0	-0.0	-2.51	0.3	
12	5.500	0.000	0.000	0.7	-0.1	-22.59	0.1	-0.7	67.29	0.0	0.0	-19.90	0.3	
13	6.000	0.000	0.000	0.0	-0.8	-67.70	0.8	-0.0	19.80	0.0	-0.0	-15.26	0.4	
14	6.500	0.000	0.000	0.0	-2.9	-88.13	2.5	0.0	2.14	0.0	-0.2	-89.50	0.4	
15	7.000	0.000	0.000	1.2	-5.7	51.79	1.7	-3.1	-74.98	0.3	-3.3	71.71	1.2	

Rysunek 8.49: Tabela 4.19 Powierzchnie – Napężenia główne

Tabela ta przedstawia napężenia główne posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastru każdej z powierzchni.

Kolumny tabeli *Punkt rastru* i *Współrzędne punktów rastru* odpowiadają kolumnom poprzedniej tabeli wyników 4.18 *Powierzchnie – Napężenia podstawowe*.

### Napężenia główne

Napężenia podstawowe opisane w rozdziale 8.17 odnoszą się do układu współrzędnych xyz powierzchni. W przeciwieństwie do nich, napężenia główne stanowią ekstremalne wartości napężeń w elemencie powierzchniowym. Osie główne 1 (wartość maksymalna) i 2 (wartość minimalna) ułożone są ortogonalnie.

Orientacje osi głównych  $\alpha$  można wyświetlić w oknie roboczym jako trajektorie (zobacz Rysunek 8.44 na stronie 336).

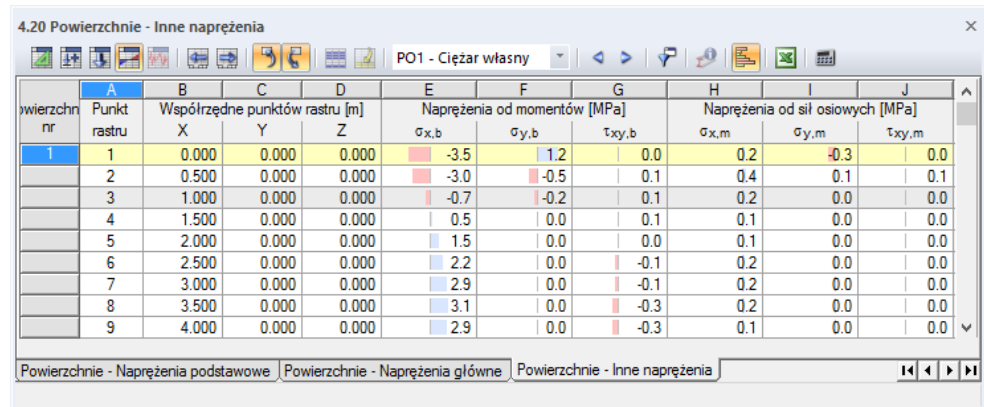
Naprężenia główne są określane na podstawie naprężeń podstawowych:

$\sigma_{1,+}$	Naprężenie w kierunku głównej osi 1 na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni) $\sigma_{1,+} = \frac{1}{2} \left( \sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} + \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,+}^2} \right)$
$\sigma_{2,+}$	Naprężenie w kierunku głównej osi 2 na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni) $\sigma_{2,+} = \frac{1}{2} \left( \sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} - \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,+}^2} \right)$
$\alpha_+$	Kąt pomiędzy lokalną osią x (lub y) a osią główną 1 (lub 2) dla naprężeń na dodatniej stronie powierzchni $\alpha_+ = \frac{1}{2} a \tan 2 \left( 2 \cdot \tau_{xy,+}, \sigma_{x,+} - \sigma_{y,+} \right) \in (-90^\circ, 90^\circ)$
$\sigma_{1,-}$	Naprężenie w kierunku głównej osi 1 na ujemnej stronie powierzchni $\sigma_{1,-} = \frac{1}{2} \left( \sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} + \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,-}^2} \right)$
$\sigma_{2,-}$	Naprężenie w kierunku głównej osi 2 na ujemnej stronie powierzchni $\sigma_{2,-} = \frac{1}{2} \left( \sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} - \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,-}^2} \right)$
$\alpha_-$	Kąt pomiędzy lokalną osią x (lub y) a osią główną 1 (lub 2) dla naprężeń na dodatniej stronie powierzchni $\alpha_- = \frac{1}{2} a \tan 2 \left( 2 \cdot \tau_{xy,-}, \sigma_{x,-} - \sigma_{y,-} \right) \in (-90^\circ, 90^\circ)$
$\sigma_{1,m}$	Naprężenie membranowe w kierunku głównej osi 1 $\sigma_{1,m} = \frac{1}{2} \left( \sigma_{x,m} + \sigma_{y,m} + \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,m}^2} \right)$
$\sigma_{2,m}$	Naprężenie membranowe w kierunku głównej osi 2 $\sigma_{2,m} = \frac{1}{2} \left( \sigma_{x,m} + \sigma_{y,m} - \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,m}^2} \right)$
$\alpha_m$	Kąt między lokalną osią x a osią główną 1 dla naprężenia membranowego $\alpha_m = \frac{1}{2} a \tan 2 \left( 2 \cdot \tau_{xy,m}, \sigma_{x,m} - \sigma_{y,m} \right) \in (-90^\circ, 90^\circ]$
$\tau_{\max}$	Maksymalne naprężenie tnące prostopadłe do powierzchni $\tau_{\max} = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2}$

Tabela 8.11: Naprężenia główne

## 8.19 Powierzchnie – Inne naprężenia

Kontrola graficznego wyświetlania składowych naprężeń od momentów zginających i sił membranowych możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigаторze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Naprężenia* (zobacz Rysunek 8.47 na stronie 340). Tabela 4.20 pokazuje naprężenia w postaci numerycznej.



Powierzchni nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Naprężenia od momentów [MPa]			Naprężenia od sił osiowych [MPa]		
		X	Y	Z	$\sigma_{x,b}$	$\sigma_{y,b}$	$\tau_{xy,b}$	$\sigma_{x,m}$	$\sigma_{y,m}$	$\tau_{xy,m}$
1	1	0.000	0.000	0.000	-3.5	1.2	0.0	0.2	-0.3	0.0
	2	0.500	0.000	0.000	-3.0	-0.5	0.1	0.4	0.1	0.1
	3	1.000	0.000	0.000	-0.7	-0.2	0.1	0.2	0.0	0.0
	4	1.500	0.000	0.000	0.5	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
	5	2.000	0.000	0.000	1.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
	6	2.500	0.000	0.000	2.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
	7	3.000	0.000	0.000	2.9	0.0	-0.1	0.2	0.0	0.0
	8	3.500	0.000	0.000	3.1	0.0	-0.3	0.2	0.0	0.0
	9	4.000	0.000	0.000	2.9	0.0	-0.3	0.1	0.0	0.0

Rysunek 8.50: Tabela 4.20 Powierzchnie – Inne naprężenia

Tabela ta przedstawia inne naprężenia posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastru każdej z powierzchni.

### Punkt rastru

Numery punktów rastru wyświetlane są według powierzchni. Więcej informacji na temat punktów rastru znajduje się w rozdziale 8.12 na stronie 328.

### Współrzędne punktów rastru

Kolumny tabeli od B do D pokazują współrzędne punktów rastru w globalnym układzie współrzędnych XYZ.

### Naprężenia od momentów / sił osiowych

Naprężenia te są związane z kierunkami lokalnych osi powierzchni. Podczas analizowania powierzchni zakrzywionych, odnoszą się one do osi elementów skończonych (zobacz Rysunek 8.40 na stronie 332).

Naprężenia mają następujące znaczenie:

$\sigma_{x,b}$	Naprężenie wywołane przez moment zginający $m_x$ $\sigma_{x,b} = \frac{6 \cdot m_x}{d^2}$ gdzie d: grubość powierzchni
$\sigma_{y,b}$	Naprężenie wywołane przez moment zginający $m_y$ $\sigma_{y,b} = \frac{6 \cdot m_y}{d^2}$
$\tau_{xy,b}$	Naprężenie wywołane przez moment skręcający $m_{xy}$ $\tau_{xy,b} = \frac{6 \cdot m_{xy}}{d^2}$
$\sigma_{x,m}$	Naprężenie membranowe wywołane przez siłę osiową $n_x$



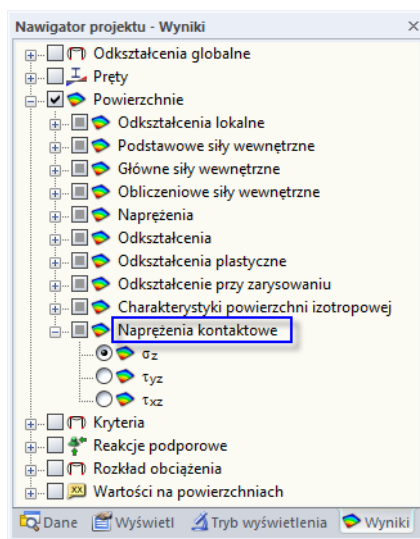
	$\sigma_{x,m} = \frac{n_x}{d}$
$\sigma_{y,m}$	Naprężenie membranowe wywołane przez siłę osiową $n_y$ $\sigma_{y,m} = \frac{n_y}{d}$ gdzie d: grubość powierzchni
$\tau_{xy,m}$	Naprężenie membranowe wywołane przez przepływ ścinania $n_{xy}$ $\tau_{xy,m} = \frac{n_{xy}}{d}$

Tabela 8.12: Inne naprężenia

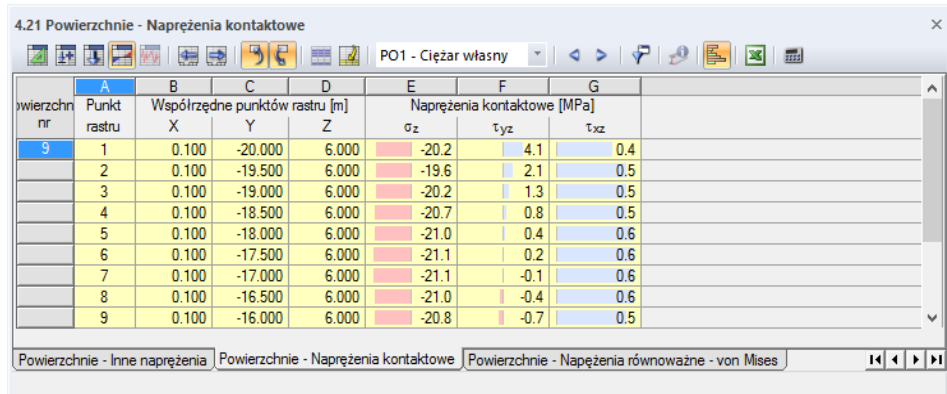
## 8.20 Powierzchnie – Naprężenia kontaktowe

Kiedy model posiada podpory powierzchniowe (zobacz rozdział 4.9 na stronie 112), tabela 4.21 pokazuje naprężenia kontaktowe ("naprężenia kontaktowe gruntu") powierzchni w postaci numerycznej. Kontrola graficznego wyświetlania wyników możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigаторze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Naprężenia kontaktowe*.

W przypadku płyt 2D wyświetlana jest tylko kolumna wyników  $\sigma_z$ .



Rysunek 8.51: Nawigator Wyniki: Powierzchnie → Naprężenia kontaktowe



Powierzchni nr	Punkt rastu	Współrzędne punktów rastu [m]			Naprężenia kontaktowe [MPa]		
		X	Y	Z	$\sigma_z$	$\tau_{yz}$	$\tau_{xz}$
9	1	0.100	-20.000	6.000	-20.2	4.1	0.4
	2	0.100	-19.500	6.000	-19.6	2.1	0.5
	3	0.100	-19.000	6.000	-20.2	1.3	0.5
	4	0.100	-18.500	6.000	-20.7	0.8	0.5
	5	0.100	-18.000	6.000	-21.0	0.4	0.6
	6	0.100	-17.500	6.000	-21.1	0.2	0.6
	7	0.100	-17.000	6.000	-21.1	-0.1	0.6
	8	0.100	-16.500	6.000	-21.0	-0.4	0.6
	9	0.100	-16.000	6.000	-20.8	-0.7	0.5

Rysunek 8.52: Tabela 4.21 Powierzchnie - Naprężenia kontaktowe

Tabela ta przedstawia naprężenia kontaktowe posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastru każdej z powierzchni.

### Punkt rastru

Numery punktów rastru wyświetlane są według powierzchni. Więcej informacji na temat punktów rastru znajduje się w rozdziale 8.12 na stronie 328.

### Współrzędne punktów rastru

Kolumny tabeli od B do D pokazują współrzędne punktów rastru w globalnym układzie współrzędnych XYZ. Po kliknięciu w wierszu tabeli, odpowiedni punkt rastru zostanie wskazany przez strzałkę w oknie roboczym, pod warunkiem, że aktywna jest synchronizacja wyboru (zobacz rozdział 11.5.4 na stronie 519).

### Naprężenia kontaktowe

Naprężenia te są związane z kierunkami lokalnych osi powierzchni. W przypadku analizowania powierzchni zakrzywionych, odnoszą się one do osi elementów skończonych (zobacz Rysunek 8.40 na stronie 332).

Naprężenia kontaktowe mają następujące znaczenie:

$\sigma_z$	<p>Naprężenie kontaktowe ("parcie gruntu") w kierunku osi z powierzchni</p> $\sigma_z = v \cdot (\sigma_x + \sigma_y)$ <p>gdzie <math>\sigma_x / \sigma_y</math>:    naprężenia w gruncie  <math>v</math>:    współczynnik Poissona dla gruntu</p>
$\tau_{yz}$	<p>Naprężenie tnące od podpory powierzchniowej</p> $\tau_{yz} = \frac{3 \cdot v_y}{2 \cdot d}$ <p>gdzie <math>d</math>: grubość powierzchni</p>
$\tau_{xz}$	<p>Naprężenie tnące od podpory powierzchniowej</p> $\tau_{xz} = \frac{3 \cdot v_x}{2 \cdot d}$

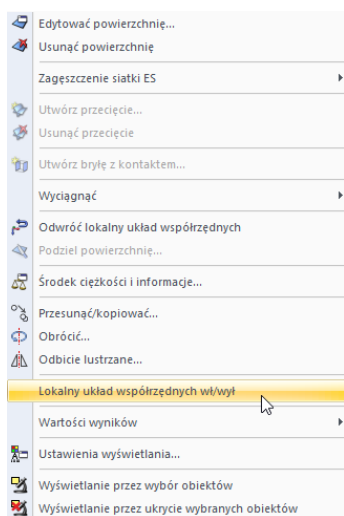
Tabela 8.13: Naprężenia kontaktowe

Dodatkowo naprężenia kontaktowe są wizualizowane przy użyciu niebieskich pasków w tabeli, natomiast naprężenia ujemne przy użyciu czerwonych pasków.



Tabela ta przedstawia naprężenia przenoszone na podporę w postaci siły na powierzchnię. Zatem w odniesieniu do znaków, tabela ta nie pokazuje reakcji na części podpory. Przykładowo jeżeli lokalna oś powierzchni skierowana jest w dół, obciążenia w kierunku osi z wywołują naprężenia dodatnie  $\sigma_z$ . Tak więc znaki wyników wynikają z kierunku osi z powierzchni (zobacz Rysunek 4.73 na stronie 90).

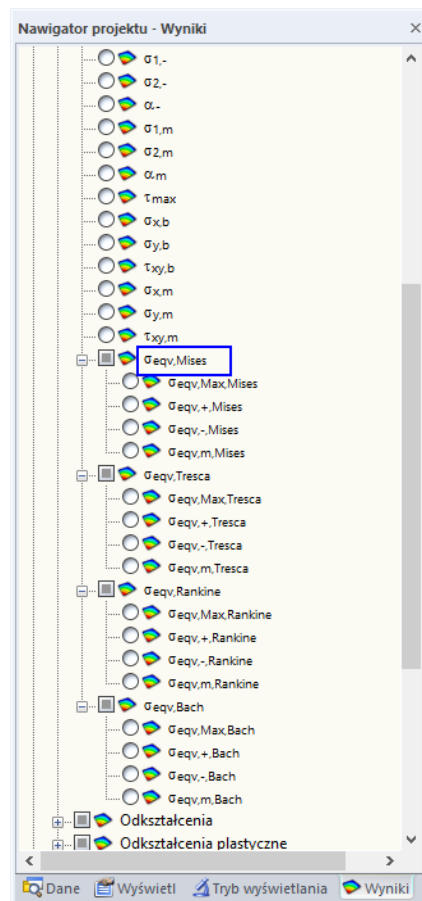
W przypadku konstrukcji 3D, orientację lokalnej osi z powierzchni można szybko zamienić. W tym celu należy kliknąć tę powierzchnię prawym przyciskiem myszy, aby otworzyć jej menu kontekstowe (zobacz rysunek na marginesie powyżej), a następnie wybrać opcję *Odwróć lokalny układ osi*. Należy pamiętać jednak, że zdefiniowana nieefektywność również zmieni później kierunek oddziaływania.



Menu kontekstowe powierzchni

## 8.21 Powierzchnie – Naprężenia równoważne - von Mises

Kontrola graficznego wyświetlania naprężeń równoważnych powierzchni możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigаторze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Naprężenia*. Tabela 4.22 pokazuje naprężenia równoważne określone według VON MISESA w postaci numerycznej.



Rysunek 8.53: Naprężenia równoważne w Nawigаторze *Wyniki*: *Powierzchnie* → *Naprężenia* →  $\sigma_{eqv,Mises}$

Powierzchni nr	Punkt rastu	Współrzędne punktów rastu [m]			Naprężenia równoważne von Mises [MPa]			
		X	Y	Z	$\sigma_{eqv,max}$	$\sigma_{eqv,+}$	$\sigma_{eqv,-}$	$\sigma_{eqv,m}$
1	1	0.000	0.000	0.000	8.5	7.4	8.5	0.6
	2	0.500	0.000	0.000	6.0	4.8	6.0	0.6
	3	1.000	0.000	0.000	1.6	1.0	1.6	0.3
	4	1.500	0.000	0.000	1.4	1.4	1.0	0.2
	5	2.000	0.000	0.000	3.2	3.2	2.8	0.2
	6	2.500	0.000	0.000	4.7	4.7	4.2	0.3
	7	3.000	0.000	0.000	6.1	6.1	5.5	0.3
	8	3.500	0.000	0.000	6.6	6.6	6.1	0.3
	9	4.000	0.000	0.000	6.1	6.1	5.7	0.2

Rysunek 8.54: Tabela 4.22 *Powierzchnie - Naprężenia równoważne - von Mises*

Tabela ta przedstawia naprężenia równoważne posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastu każdej z powierzchni.

### Punkt rastru

Numery punktów rastru wyświetlane są według powierzchni. Więcej informacji na temat punktów rastru znajduje się w rozdziale 8.12 na stronie 328.

### Współrzędne punktów rastru

Kolumny tabeli od B do D pokazują współrzędne punktów rastru w globalnym układzie współrzędnych XYZ.

### Naprężenia równoważne

W nawigatorze *Wyniki* dostępne są do wyboru cztery równorzędne teorie naprężeń dla płaskiego stanu naprężenia. Podejście VON MISESA, znane również jako "hipoteza energii odkształcenia" zakłada, że materiał ulega uszkodzeniu, gdy tylko energia modyfikująca kształt przekroczy określoną granicę. Energia ta jest rodzajem energii, która powoduje zniekształcenie lub odkształcenie obiektu.

Podejście to stanowi najbardziej znaną i często stosowaną teorię naprężenia równoważnego. Nadaje się ona dla wszystkich materiałów, które nie są kruche i dlatego jest powszechnie stosowana w przypadku konstrukcji stalowych. Jednak teoria ta nie nadaje się dla hydrostatycznych warunków naprężeń przy jednakowych naprężeniach głównych we wszystkich kierunkach, ponieważ w takim wypadku naprężenie równoważne wynosi zero.

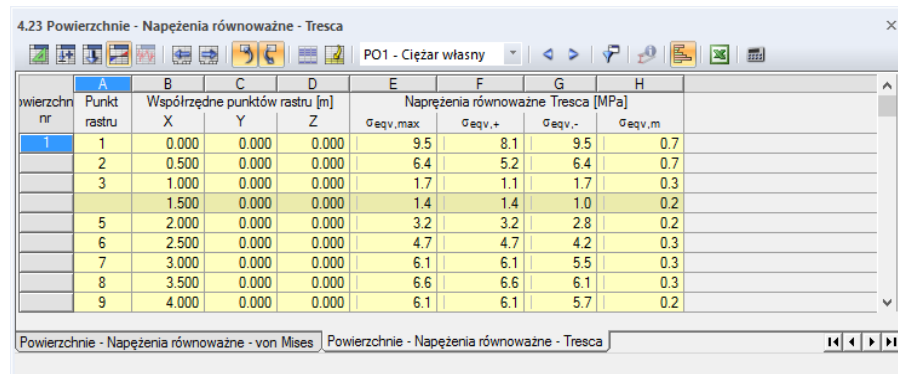
Naprężenie równoważne według VON MISESA dla płaszczyznowych warunków naprężenia posiadają następujące znaczenie:

$\sigma_{\text{eqv},+}$	Naprężenie równoważne na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni) $\sigma_{v,+} = \sqrt{\sigma_{x,+}^2 + \sigma_{y,+}^2 - \sigma_{x,+} \cdot \sigma_{y,+} + 3 \cdot \tau_{xy,+}^2}$
$\sigma_{\text{eqv},-}$	Naprężenie równoważne na ujemnej stronie powierzchni $\sigma_{v,-} = \sqrt{\sigma_{x,-}^2 + \sigma_{y,-}^2 - \sigma_{x,-} \cdot \sigma_{y,-} + 3 \cdot \tau_{xy,-}^2}$
$\sigma_{\text{eqv},m}$	Membranowe naprężenie równoważne $\sigma_{v,m} = \sqrt{\sigma_{x,m}^2 + \sigma_{y,m}^2 - \sigma_{x,m} \cdot \sigma_{y,m} + 3 \cdot \tau_{xy,m}^2}$

Tabela 8.14: Naprężenia równoważne według VON MISESA

## 8.22 Powierzchnie – Naprężenia równoważne - Tresca

Kontrola graficznego wyświetlania naprężeń równoważnych powierzchni możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigatorze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Naprężenia* (zobacz Rysunek 8.53 na stronie 347). Tabela 4.23 pokazuje naprężenia równoważne powierzchni określone według TRESCI w postaci numerycznej.



wierzchn nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Naprężenia równoważne Tresca [MPa]			
		X	Y	Z	$\sigma_{eqv,max}$	$\sigma_{eqv,+}$	$\sigma_{eqv,-}$	$\sigma_{eqv,m}$
1	1	0.000	0.000	0.000	9.5	8.1	9.5	0.7
	2	0.500	0.000	0.000	6.4	5.2	6.4	0.7
	3	1.000	0.000	0.000	1.7	1.1	1.7	0.3
		1.500	0.000	0.000	1.4	1.4	1.0	0.2
	5	2.000	0.000	0.000	3.2	3.2	2.8	0.2
	6	2.500	0.000	0.000	4.7	4.7	4.2	0.3
	7	3.000	0.000	0.000	6.1	6.1	5.5	0.3
	8	3.500	0.000	0.000	6.6	6.6	6.1	0.3
	9	4.000	0.000	0.000	6.1	6.1	5.7	0.2

Rysunek 8.55: Tabela 4.23 Powierzchnie – Naprężenia równoważne - Tresca

Kolumny tabeli *Punkt rastru* i *Współrzędne punktów rastru* odpowiadają kolumnom poprzedniej tabeli wyników 4.22 *Powierzchnie – Naprężenia równoważne - von Mises*.

Podejście według TRESCI jest znane również jako "hipoteza największych naprężeń stycznych". Zakłada ona, że uszkodzenie jest powodowane przez maksymalne naprężenie tnące. Teoria ta ma szczególne zastosowanie dla materiałów kruchych i jest często stosowana w inżynierii mechanicznej.

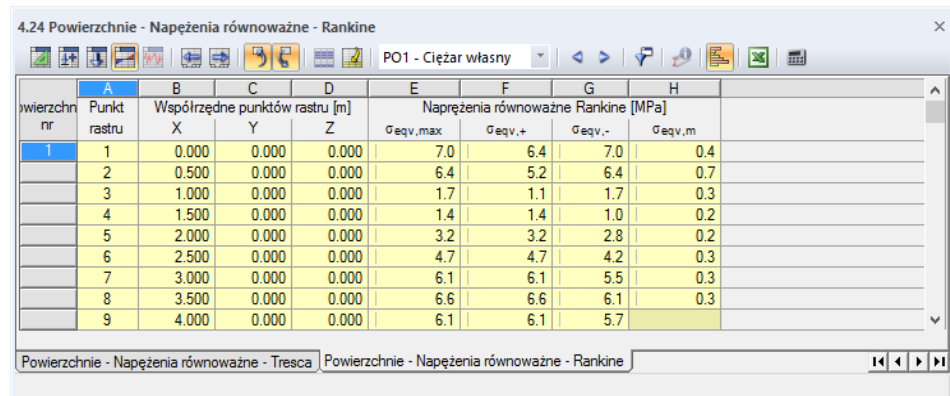
Naprężenia równoważne według TRESCI są określane w następujący sposób:

$\sigma_{eqv,max}$	Maksymalne naprężenie równoważne na dodatniej i ujemnej stronie powierzchni
$\sigma_{eqv,+}$	Maksymalna wartość naprężenia na dodatniej stronie powierzchni $\sigma_{v,+} = \max( \sigma_{1,+} - \sigma_{2,+} ;  \sigma_{2,+} ;  \sigma_{1,+} ) \quad \text{lub}$ $\sigma_{v,+} = \max\left(\sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,+}^2};  \sigma_{2,+} ;  \sigma_{1,+} \right)$
$\sigma_{eqv,-}$	Maksymalna wartość naprężenia na ujemnej stronie powierzchni $\sigma_{v,-} = \max( \sigma_{1,-} - \sigma_{2,-} ;  \sigma_{2,-} ;  \sigma_{1,-} ) \quad \text{lub}$ $\sigma_{v,-} = \max\left(\sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,-}^2};  \sigma_{2,-} ;  \sigma_{1,-} \right)$
$\sigma_{eqv,m}$	Membranowe naprężenie równoważne $\sigma_{v,m} = \max( \sigma_{1,m} - \sigma_{2,m} ;  \sigma_{2,m} ;  \sigma_{1,m} ) \quad \text{lub}$ $\sigma_{v,m} = \max\left(\sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,m}^2};  \sigma_{2,m} ;  \sigma_{1,m} \right)$

Tabela 8.15: Naprężenia równoważne według TRESCI

## 8.23 Powierzchnie – Naprężenia równoważne - Rankine

Kontrola graficznego wyświetlania naprężeń równoważnych powierzchni możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigatorze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Naprężenia* (zobacz Rysunek 8.53 na stronie 347). Tabela 4.24 pokazuje naprężenia równoważne powierzchni określone według RANKINE'A w postaci numerycznej.



Powierzchni nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Naprężenia równoważne Rankine [MPa]			
		X	Y	Z	$\sigma_{eqv,max}$	$\sigma_{eqv,+}$	$\sigma_{eqv,-}$	$\sigma_{eqv,m}$
1	1	0.000	0.000	0.000	7.0	6.4	7.0	0.4
2	2	0.500	0.000	0.000	6.4	5.2	6.4	0.7
3	3	1.000	0.000	0.000	1.7	1.1	1.7	0.3
4	4	1.500	0.000	0.000	1.4	1.4	1.0	0.2
5	5	2.000	0.000	0.000	3.2	3.2	2.8	0.2
6	6	2.500	0.000	0.000	4.7	4.7	4.2	0.3
7	7	3.000	0.000	0.000	6.1	6.1	5.5	0.3
8	8	3.500	0.000	0.000	6.6	6.6	6.1	0.3
9	9	4.000	0.000	0.000	6.1	6.1	5.7	

Rysunek 8.56: Tabela 4.24 Powierzchnie – Naprężenia równoważne - Rankine

Kolumny tabeli *Punkt rastru* i *Współrzędne punktów rastru* odpowiadają kolumnom poprzedniej tabeli wyników 4.22 *Powierzchnie – Naprężenia równoważne - von Mises*.

Teoria naprężenia równoważnego według RANKINE'A jest znana również jako "kryterium maksymalnego naprężenia głównego". Zakłada ona, że uszkodzenie jest powodowane przez maksymalne naprężenie główne.

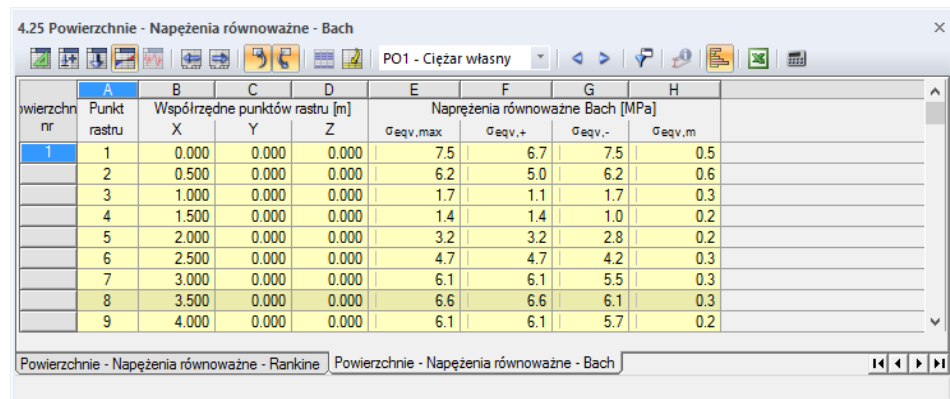
Naprężenia równoważne są określane w następujący sposób:

$\sigma_{eqv,max}$	Maksymalne naprężenie równoważne na dodatniej i ujemnej stronie powierzchni
$\sigma_{eqv,+}$	Maksymalna wartość bezwzględna naprężenia równoważnego na dodatniej stronie powierzchni $\sigma_{v,+} = \frac{1}{2}  \sigma_{x,+} + \sigma_{y,+}  + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,+}^2}$
$\sigma_{eqv,-}$	Maksymalna wartość bezwzględna naprężenia równoważnego na ujemnej stronie powierzchni $\sigma_{v,-} = \frac{1}{2}  \sigma_{x,-} + \sigma_{y,-}  + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,-}^2}$
$\sigma_{eqv,m}$	Maksymalna wartość bezwzględna membranowego naprężenia równoważnego $\sigma_{v,m} = \frac{1}{2}  \sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}  + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,m}^2}$

Tabela 8.16: Naprężenia równoważne według RANKINE'A

## 8.24 Powierzchnie – Naprężenia równoważne - Bach

Kontrola graficznego wyświetlania naprężeń równoważnych powierzchni możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigatorze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Naprężenia* (zobacz Rysunek 8.53 na stronie 347). Tabela 4.25 pokazuje naprężenia równoważne powierzchni określone według BACHA w postaci numerycznej.



Powierzchni nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Naprężenia równoważne Bach [MPa]			
		X	Y	Z	$\sigma_{eqv,max}$	$\sigma_{eqv,+}$	$\sigma_{eqv,-}$	$\sigma_{eqv,m}$
1	1	0.000	0.000	0.000	7.5	6.7	7.5	0.5
2	2	0.500	0.000	0.000	6.2	5.0	6.2	0.6
3	3	1.000	0.000	0.000	1.7	1.1	1.7	0.3
4	4	1.500	0.000	0.000	1.4	1.4	1.0	0.2
5	5	2.000	0.000	0.000	3.2	3.2	2.8	0.2
6	6	2.500	0.000	0.000	4.7	4.7	4.2	0.3
7	7	3.000	0.000	0.000	6.1	6.1	5.5	0.3
8	8	3.500	0.000	0.000	6.6	6.6	6.1	0.3
9	9	4.000	0.000	0.000	6.1	6.1	5.7	0.2

Rysunek 8.57: Tabela 4.25 Powierzchnie – Naprężenia równoważne - Bach

Kolumny tabeli *Punkt rastru* i *Współrzędne punktów rastru* odpowiadają kolumnom poprzedniej tabeli wyników 4.21 *Powierzchnie – Naprężenia równoważne - von Mises*.

Teoria naprężenia równoważnego według BACHA jest znana również jako "kryterium odkształcenia głównego". Zakłada ona, że uszkodzenie zachodzi w kierunku odkształcenia maksymalnego. Podejście to jest podobne do określania naprężeń według RANKINE' A opisane w rozdziale 8.24, z tą różnicą, że zamiast naprężenia głównego jest tutaj wykorzystywane odkształcenie główne.

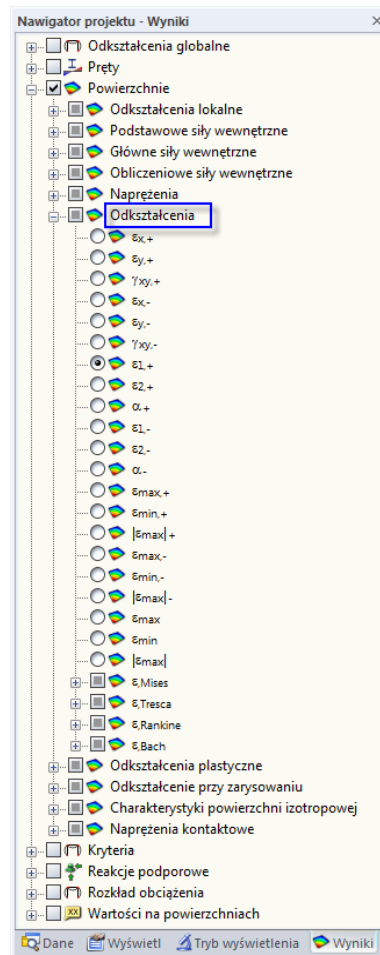
Naprężenia równoważne według BACHA są określane w następujący sposób:

$\sigma_{eqv,max}$	Maksymalne naprężenie równoważne na dodatniej i ujemnej stronie powierzchni
$\sigma_{eqv,+}$	Maksymalna wartość bezwzględna naprężenia równoważnego na dodatniej stronie powierzchni $\sigma_{v,+} = \max \left[ \frac{1-\nu}{2}  \sigma_{x,+} + \sigma_{y,+}  + \frac{1+\nu}{2} \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,+}^2}, \nu  \sigma_{x,+} + \sigma_{y,+}  \right]$ gdzie $\nu$ : współczynnik Poissona (zobacz rozdział 4.3 na stronie 65)
$\sigma_{eqv,-}$	Maksymalna wartość bezwzględna naprężenia równoważnego na ujemnej stronie powierzchni $\sigma_{v,-} = \max \left[ \frac{1-\nu}{2}  \sigma_{x,-} + \sigma_{y,-}  + \frac{1+\nu}{2} \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,-}^2}, \nu  \sigma_{x,-} + \sigma_{y,-}  \right]$
$\sigma_{eqv,m}$	Maksymalna wartość absolutna równoważnego naprężenia membranowego $\sigma_{v,m} = \max \left[ \frac{1-\nu}{2}  \sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}  + \frac{1+\nu}{2} \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \tau_{xy,m}^2}, \nu  \sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}  \right]$

Tabela 8.17: Naprężenia równoważne według BACHA

## 8.25 Powierzchnie – Odształcenia podstawowe

Kontrola graficznego wyświetlania odkształceń powierzchni możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigаторze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Odształcenia*. Tabela 4.26 pokazuje odkształcenia podstawowe powierzchni w postaci numerycznej.



Rysunek 8.58: Nawigator *Wyniki*: *Powierzchnie* → *Odształcenia*

4.26 Powierzchnie - Odształcenia podstawowe										
Powierzchni nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Odształcenia podstawowe [-]					
		X	Y	Z	$\epsilon_{x,+}$	$\epsilon_{y,+}$	$\gamma_{xy,+}$	$\epsilon_{x,-}$	$\epsilon_{y,-}$	$\gamma_{xy,-}$
1	1	0.000	0.000	0.000	-0.00020	0.00009	0.00001	0.00023	-0.00012	-0.00000
	2	0.500	0.000	0.000	-0.00015	0.00001	0.00002	0.00019	-0.00001	-0.00001
	3	1.000	0.000	0.000	-0.00003	-0.00000	0.00002	0.00005	-0.00000	-0.00002
	4	1.500	0.000	0.000	0.00004	-0.00001	0.00002	-0.00003	0.00000	-0.00002
	5	2.000	0.000	0.000	0.00010	-0.00002	0.00000	-0.00008	0.00002	-0.00000
	6	2.500	0.000	0.000	0.00014	-0.00003	-0.00002	-0.00013	0.00002	0.00002
	7	3.000	0.000	0.000	0.00018	-0.00003	-0.00002	-0.00017	0.00003	0.00002
	8	3.500	0.000	0.000	0.00020	-0.00004	-0.00004	-0.00018	0.00004	0.00004
	9	4.000	0.000	0.000	0.00018	-0.00003	-0.00004	-0.00017	0.00003	0.00004

Rysunek 8.59: Tabela 4.26 *Powierzchnie* – *Odształcenia podstawowe*

Tabela ta przedstawia odkształcenia posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastru każdej z powierzchni.



### Punkt rastru

Numery punktów rastru wyświetlane są według powierzchni. Więcej informacji na temat punktów rastru znajduje się w rozdziale 8.12 na stronie 328.

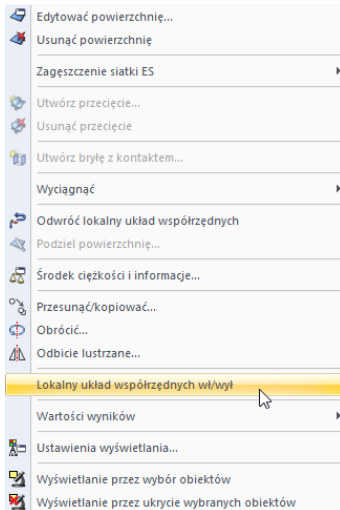
### Współrzędne punktów rastru

Kolumny tabeli od B do D pokazują współrzędne punktów rastru w globalnym układzie współrzędnych XYZ.

### Naprężenia podstawowe

Odształcenia są związane z kierunkami lokalnych osi powierzchni. Podczas analizowania powierzchni zakrzywionych, odnoszą się one do osi elementów skończonych (zobacz Rysunek 8.40 na stronie 332).

Naprężenia podstawowe mają następujące znaczenie:



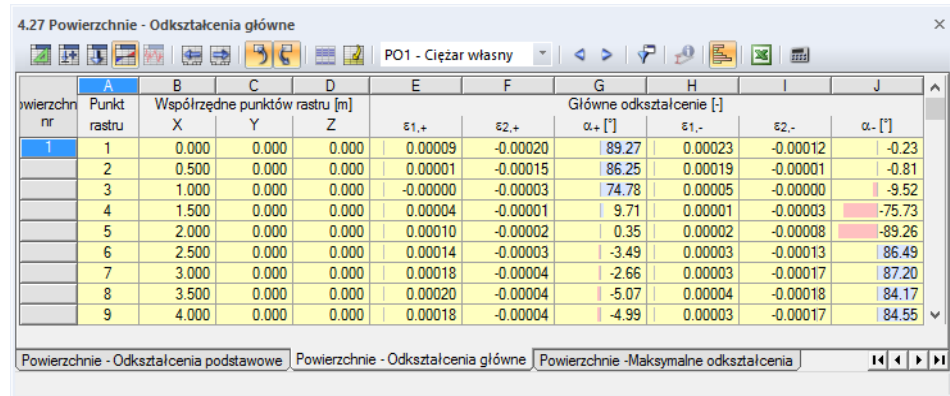
Menu kontekstowe powierzchni

$\epsilon_{x,+}$	Odształcenie w kierunku lokalnej osi z na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni) $\epsilon_{x,+} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{d}{2} \cdot \frac{\partial \varphi_y}{\partial x}$ gdzie d: grubość powierzchni
$\epsilon_{y,+}$	Odształcenie w kierunku lokalnej osi y na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni) $\epsilon_{y,+} = \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{d}{2} \cdot \left( -\frac{\partial \varphi_x}{\partial y} \right)$
$\gamma_{xy,+}$	Powiązany obrót na dodatniej stronie powierzchni $\gamma_{xy,+} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{d}{2} \cdot \left( \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} - \frac{\partial \varphi_x}{\partial x} \right)$
$\epsilon_{x,-}$	Odształcenie w kierunku osi x na ujemnej stronie powierzchni $\epsilon_{x,-} = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{d}{2} \cdot \frac{\partial \varphi_y}{\partial x}$
$\epsilon_{y,-}$	Odształcenie w kierunku osi y na ujemnej stronie powierzchni $\epsilon_{y,-} = \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{d}{2} \cdot \left( -\frac{\partial \varphi_x}{\partial y} \right)$
$\gamma_{xy,-}$	Powiązany obrót na ujemnej stronie powierzchni $\gamma_{xy,-} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{d}{2} \cdot \left( \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} - \frac{\partial \varphi_x}{\partial x} \right)$

Tabela 8.18: Odształcenia podstawowe

## 8.26 Powierzchnie – Odształcenia główne

Kontrola graficznego wyświetlania odształceń możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigаторze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Odształcenia* (zobacz Rysunek 8.58 na stronie 352). Tabela 4.27 pokazuje odształcenia główne powierzchni w postaci numerycznej.



Powierzchni nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Główne odształcenie [-]					
		X	Y	Z	$\varepsilon_{1,+}$	$\varepsilon_{2,+}$	$\alpha_{+}$ [°]	$\varepsilon_{1,-}$	$\varepsilon_{2,-}$	$\alpha_{-}$ [°]
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00009	-0.00020	89.27	0.00023	-0.00012	-0.23
2	2	0.500	0.000	0.000	0.00001	-0.00015	86.25	0.00019	-0.00001	-0.81
3	3	1.000	0.000	0.000	-0.00000	-0.00003	74.78	0.00005	-0.00000	-9.52
4	4	1.500	0.000	0.000	0.00004	-0.00001	9.71	0.00001	-0.00003	-75.73
5	5	2.000	0.000	0.000	0.00010	-0.00002	0.35	0.00002	-0.00008	-89.26
6	6	2.500	0.000	0.000	0.00014	-0.00003	-3.49	0.00003	-0.00013	86.49
7	7	3.000	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	-2.66	0.00003	-0.00017	87.20
8	8	3.500	0.000	0.000	0.00020	-0.00004	-5.07	0.00004	-0.00018	84.17
9	4.000	0.000	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	-4.99	0.00003	-0.00017	84.55

Rysunek 8.60: Tabela 4.27 Powierzchnie – Odształcenia główne

Tabela ta przedstawia odształcenia główne posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastru każdej z powierzchni.

Kolumny tabeli *Punkt rastru* i *Współrzędne punktów rastru* odpowiadają kolumnom poprzedniej tabeli wyników 4.26 *Powierzchnie – Odształcenia podstawowe*.

### Odształcenia główne

Odształcenie podstawowe, opisane w rozdziale 8.25 odnoszą się do układu współrzędnych xyz powierzchni. Odształcenie główne stanowią wartości ekstremalne odształceń w elemencie powierzchniowym. Główne osie 1 (wartość maksymalna) i 2 (wartość minimalna) są ułożone ortogonalnie.

Orientacje osi głównych  $\alpha$  można wyświetlić w oknie roboczym jako trajektorie (zobacz Rysunek 8.44 na stronie 336 dla głównych sił wewnętrznych).

Odształcenia główne mają następujące znaczenie:

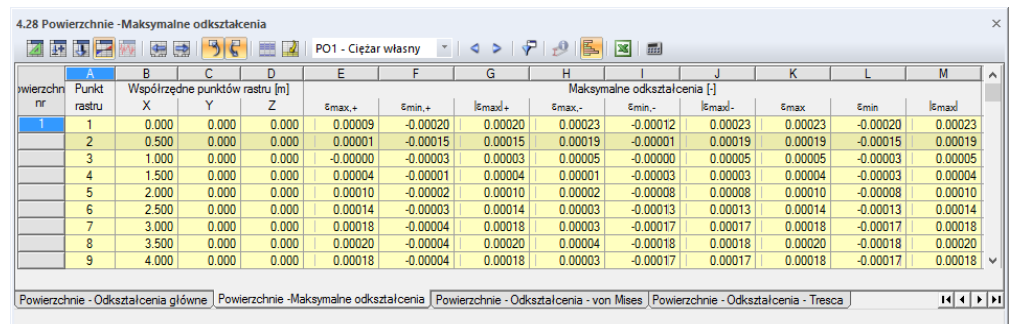
$\varepsilon_{1,+}$	Odształcenie w kierunku głównej osi 1 na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni) $\varepsilon_{1,+} = \frac{1}{2} \left( \varepsilon_{x,+} + \varepsilon_{y,+} + \sqrt{(\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+})^2 + \gamma_{xy,+}^2} \right)$
$\varepsilon_{2,+}$	Odształcenie w kierunku głównej osi 2 na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni) $\varepsilon_{2,+} = \frac{1}{2} \left( \varepsilon_{x,+} + \varepsilon_{y,+} - \sqrt{(\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+})^2 + \gamma_{xy,+}^2} \right)$
$\alpha_{+}$	Kąt pomiędzy lokalną osią x (lub y) a główną osią 1 (lub 2) dla odształceń na dodatniej stronie powierzchni $\alpha_{+} = \frac{1}{2} \left( \arctan \left( \frac{\gamma_{xy,+}}{\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+}} \right) \right)$

$\varepsilon_{1,-}$	Odształcenie w kierunku głównej osi 1 na ujemnej stronie powierzchni $\varepsilon_{1,-} = \frac{1}{2} \left( \varepsilon_{x,-} + \varepsilon_{y,-} + \sqrt{(\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-})^2 + \gamma_{xy,-}^2} \right)$
$\varepsilon_{2,-}$	Odształcenie w kierunku głównej osi 2 na ujemnej stronie powierzchni $\varepsilon_{2,-} = \frac{1}{2} \left( \varepsilon_{x,-} + \varepsilon_{y,-} - \sqrt{(\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-})^2 + \gamma_{xy,-}^2} \right)$
$\alpha_{-}$	Kąt pomiędzy lokalną osią x (lub y) a główną osią 1 (lub 2) dla odkształceń na ujemnej stronie powierzchni $\alpha_{-} = \frac{1}{2} \left( \arctan \left( \frac{\gamma_{xy,-}}{\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-}} \right) \right)$

Tabela 8.19: Odształcenia główne

## 8.27 Powierzchnie – Odształcenia maksymalne

Kontrola graficznego wyświetlania wartości odkształceń ekstremalnych możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigatorze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Odształcenia* (zobacz Rysunek 8.58 na stronie 352). Tabela 4.28 pokazuje te odkształcenia w postaci numerycznej.



Powierzchni nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Maksymalne odkształcenia [ ]								
		X	Y	Z	$\varepsilon_{max,+}$	$\varepsilon_{min,+}$	$ \varepsilon_{max} _+$	$\varepsilon_{max,-}$	$\varepsilon_{min,-}$	$ \varepsilon_{max} _-$	$\varepsilon_{max}$	$\varepsilon_{min}$	$ \varepsilon_{max} $
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00009	-0.00020	0.00020	0.00023	-0.00012	0.00023	0.00023	-0.00020	0.00023
2	2	0.500	0.000	0.000	0.00001	-0.00015	0.00015	0.00019	-0.00001	0.00019	0.00019	-0.00015	0.00019
3	3	1.000	0.000	0.000	-0.00000	-0.00003	0.00003	0.00005	-0.00000	0.00005	0.00005	-0.00003	0.00005
4	4	1.500	0.000	0.000	0.00004	-0.00001	0.00004	0.00001	-0.00003	0.00003	0.00004	-0.00003	0.00004
5	5	2.000	0.000	0.000	0.00010	-0.00002	0.00010	0.00002	-0.00008	0.00008	0.00010	-0.00008	0.00010
6	6	2.500	0.000	0.000	0.00014	-0.00003	0.00014	0.00003	-0.00013	0.00013	0.00014	-0.00013	0.00014
7	7	3.000	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	0.00018	0.00003	-0.00017	0.00017	0.00018	-0.00017	0.00018
8	8	3.500	0.000	0.000	0.00020	-0.00004	0.00020	0.00004	-0.00018	0.00018	0.00020	-0.00018	0.00020
9	9	4.000	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	0.00018	0.00003	-0.00017	0.00017	0.00018	-0.00017	0.00018

Rysunek 8.61: Tabela 4.28 Powierzchnie – Odształcenia maksymalne

Tabela ta przedstawia wartości ekstremalne odkształceń posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastru każdej z powierzchni.

Kolumny tabeli *Punkt rastru* i *Współrzędne punktów rastru* odpowiadają kolumnom poprzedniej tabeli wyników 4.26 *Powierzchnie - Odształcenia podstawowe*.

### Odształcenia maksymalne

Wartości te stanowią wartości ekstremalne odkształceń określone przy użyciu równań pokazanych w Tabeli 8.19.

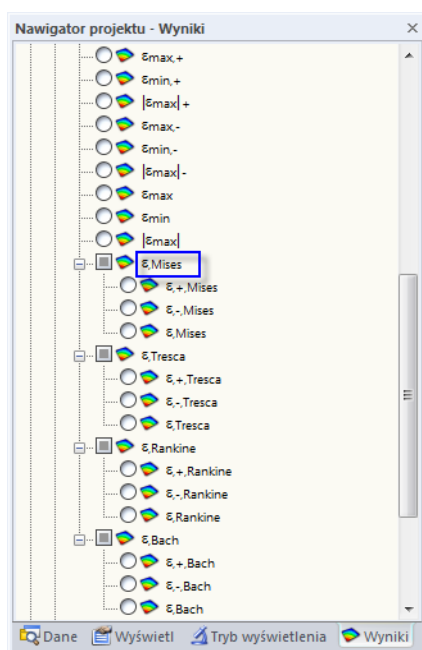
$\varepsilon_{max,+}$	Maksymalna wartość odkształcenia na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni)
$\varepsilon_{min,+}$	Minimalna wartość odkształcenia na dodatniej stronie powierzchni
$ \varepsilon_{max} _+$	Maksymalna wartość bezwzględna obu wartości ekstremalnych na dodatniej stronie powierzchni
$\varepsilon_{max,-}$	Maksymalna wartość odkształcenia na ujemnej stronie powierzchni

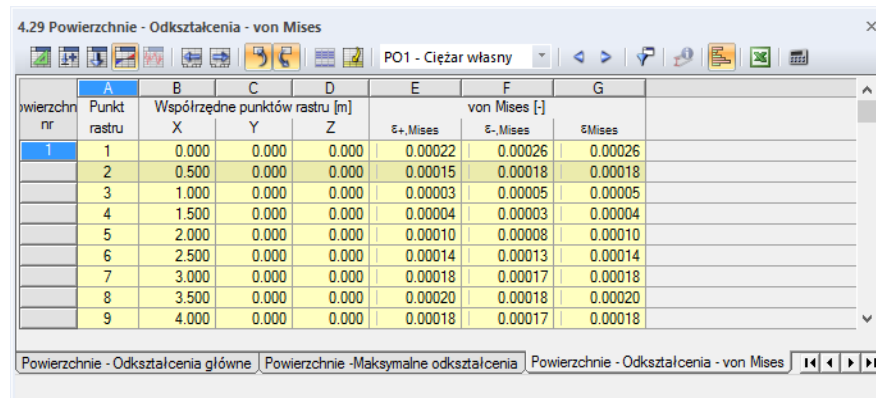
$\epsilon_{\min,-}$	Minimalna wartość odkształcenia na ujemnej stronie powierzchni
$ \epsilon_{\max} _{-}$	Maksymalna wartość bezwzględna obu wartości ekstremalnych na ujemnej stronie powierzchni
$\epsilon_{\max}$	Maksymalna wartość odkształcenia na dodatniej lub ujemnej stronie powierzchni (kolumny E i H)
$\epsilon_{\min}$	Minimalna wartość odkształcenia na dodatniej lub ujemnej stronie powierzchni (kolumny F i I)
$ \epsilon_{\max} $	Maksymalna wartość bezwzględna odkształcenia na dodatniej lub ujemnej stronie powierzchni (kolumny K i L)

Tabela 8.20: Odkształcenia maksymalne

## 8.28 Powierzchnie - Odkształcenia - von Mises

Kontrola graficznego wyświetlania odkształceń powierzchni dostępnych przy użyciu teorii naprężeń równoważnych według VON MISESA, możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigаторze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Odkształcenia*. Tabela 4.29 pokazuje te odkształcenia w postaci numerycznej.

Rysunek 8.62: Odkształcenia zastępcze w nawigаторze *Wyniki: Powierzchnie* → *Odkształcenia*



Powierzchni nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			von Mises [-]		
		X	Y	Z	$\epsilon_{+,Mises}$	$\epsilon_{-,Mises}$	$\epsilon_{Mises}$
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00022	0.00026	0.00026
2	2	0.500	0.000	0.000	0.00015	0.00018	0.00018
3	3	1.000	0.000	0.000	0.00003	0.00005	0.00005
4	4	1.500	0.000	0.000	0.00004	0.00003	0.00004
5	5	2.000	0.000	0.000	0.00010	0.00008	0.00010
6	6	2.500	0.000	0.000	0.00014	0.00013	0.00014
7	7	3.000	0.000	0.000	0.00018	0.00017	0.00018
8	8	3.500	0.000	0.000	0.00020	0.00018	0.00020
9	9	4.000	0.000	0.000	0.00018	0.00017	0.00018

Rysunek 8.63: Tabela 4.29 Powierzchnie - Odształcenia - von Mises

Tabela ta przedstawia wartości ekstremalne odkształceń posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastru każdej z powierzchni.

### Punkt rastru

Numery punktów rastru wyświetlane są według powierzchni. Więcej informacji na temat punktów rastru znajduje się w rozdziale 8.12 na stronie 328.

### Współrzędne punktów rastru

Kolumny tabeli od B do D pokazują współrzędne punktów rastru w globalnym układzie współrzędnych XYZ.

### Odształcenia według VON MISESA

Podejście opisane dla płaskiego stanu odkształcenia w rozdziałach od 8.21 do 8.24 są dostępne do wyboru w nawigatorze *Wyniki*. Podejście według VON MISESA jest znane również jako "hipoteza energii odkształcenia". Zakłada ona, że materiał zostanie uszkodzony, gdy tylko energia modyfikująca kształt przekroczy określoną granicę. Energia ta jest rodzajem energii, która powoduje zniekształcenie lub odkształcenie obiektu (zobacz rozdział 8.21 na stronie 347).

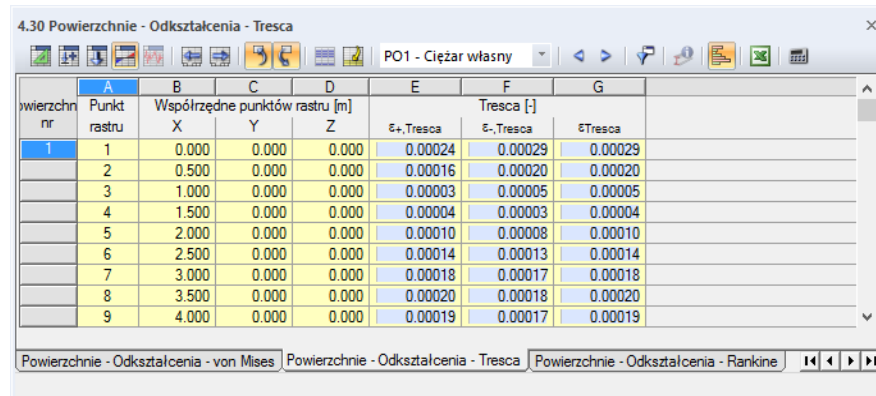
Odształcenia według VON MISESA dla płaskich warunków odkształcenia mają następujące znaczenie:

$\epsilon_{+,Mises}$	<p>Odształcenie zastępcze na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni)</p> $\epsilon_{+} = \frac{\sqrt{(\epsilon_{x,+} - \epsilon_{y,+})^2 + \left(\frac{\epsilon_{x,+} + \nu \cdot \epsilon_{y,+}}{1 - \nu}\right)^2 + \left(\frac{\nu \cdot \epsilon_{x,+} + \epsilon_{y,+}}{1 - \nu}\right)^2 + \frac{3}{2} \gamma_{xy,+}^2}}{\sqrt{2} \cdot (1 + \nu)}$
$\epsilon_{-,Mises}$	<p>Odształcenie zastępcze na ujemnej stronie powierzchni</p> $\epsilon_{-} = \frac{\sqrt{(\epsilon_{x,-} - \epsilon_{y,-})^2 + \left(\frac{\epsilon_{x,-} + \nu \cdot \epsilon_{y,-}}{1 - \nu}\right)^2 + \left(\frac{\nu \cdot \epsilon_{x,-} + \epsilon_{y,-}}{1 - \nu}\right)^2 + \frac{3}{2} \gamma_{xy,-}^2}}{\sqrt{2} \cdot (1 + \nu)}$
$\epsilon_{Mises}$	<p>Maksymalne odkształcenie zastępcze na dodatniej lub ujemnej stronie powierzchni (kolumny E i F)</p>

Tabela 8.21: Odształcenia według VON MISESA

## 8.29 Powierzchnie - Odształcenia - Tresca

Kontrola graficznego wyświetlania odkształceń powierzchni dostępnych przy użyciu teorii naprężeń równoważnych według TRESCCI, możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigаторze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Odształcenia* (zobacz Rysunek 8.62 na stronie 356). Tabela 4.30 pokazuje te odkształcenia w postaci numerycznej.



Powierzchni nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Tresca [-]		
		X	Y	Z	ε+,Tresca	ε-,Tresca	εTresca
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00024	0.00029	0.00029
2	2	0.500	0.000	0.000	0.00016	0.00020	0.00020
3	3	1.000	0.000	0.000	0.00003	0.00005	0.00005
4	4	1.500	0.000	0.000	0.00004	0.00003	0.00004
5	5	2.000	0.000	0.000	0.00010	0.00008	0.00010
6	6	2.500	0.000	0.000	0.00014	0.00013	0.00014
7	7	3.000	0.000	0.000	0.00018	0.00017	0.00018
8	8	3.500	0.000	0.000	0.00020	0.00018	0.00020
9	9	4.000	0.000	0.000	0.00019	0.00017	0.00019

Rysunek 8.64: Tabela 4.30 Powierzchnie - Odształcenia - Tresca

Kolumny tabeli *Punkt rastru* i *Współrzędne punktów rastru* odpowiadają kolumnom poprzedniej tabeli wyników 4.30 *Powierzchnie - Odształcenia - von Mises*.

Podejście według TRESCCI zakłada, że uszkodzenie powodowane jest przez maksymalne naprężenie tnące (zobacz rozdział 8.22 na stronie 349).

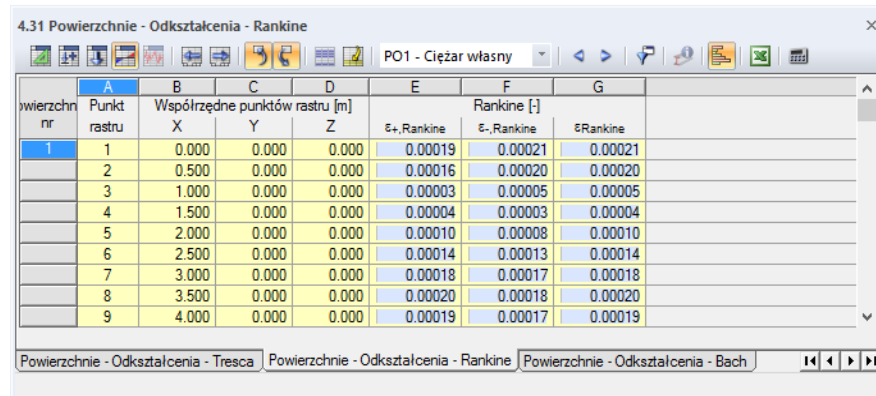
Odształcenia według TRESCCI są określane w następujący sposób:

ε <sub>+,Tresca</sub>	<p>Odształcenie równoważne na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni)</p> $\varepsilon_{+} = \frac{\sqrt{(\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+})^2 + \gamma_{xy,+}^2}}{1 + \nu}$ <p>W tym samym czasie analizowane jest odkształcenie równoważne według RANKINE'A (zobacz w następnym rozdziale 8.30). Jeżeli przy użyciu tej teorii zostanie osiągnięte większe odkształcenie, wartość ta zostanie pokazana w kolumnie E.</p>
ε <sub>-,Tresca</sub>	<p>Odształcenie równoważne na ujemnej stronie powierzchni</p> $\varepsilon_{-} = \frac{\sqrt{(\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-})^2 + \gamma_{xy,-}^2}}{1 + \nu}$ <p>Jeżeli teoria RANKINE'A wykaże większe odkształcenie równoważne, wartość ta zostanie pokazana w kolumnie F.</p>
ε <sub>Tresca</sub>	<p>Maksymalna odkształcenie równoważne na dodatniej lub ujemnej stronie powierzchni (kolumny E i F)</p>

Tabela 8.22: Odształcenia według TRESCCI

### 8.30 Powierzchnie - Odształcenia - Rankine

Kontrola graficznego wyświetlania odształceń powierzchni dostępnych przy użyciu teorii naprężeń równoważnych według RANKINE'A, możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla Powierzchni w nawigаторze Wyniki, a następnie wybraniu opcji Odształcenia (zobacz Rysunek 8.62 na stronie 356). Tabela 4.31 pokazuje te odształcenia w postaci numerycznej.



Powierzchni nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Rankine [-]		
		X	Y	Z	$\epsilon_{+,Rankine}$	$\epsilon_{-,Rankine}$	$\epsilon_{Rankine}$
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00019	0.00021	0.00021
2	0.500	0.000	0.000	0.000	0.00016	0.00020	0.00020
3	1.000	0.000	0.000	0.000	0.00003	0.00005	0.00005
4	1.500	0.000	0.000	0.000	0.00004	0.00003	0.00004
5	2.000	0.000	0.000	0.000	0.00010	0.00008	0.00010
6	2.500	0.000	0.000	0.000	0.00014	0.00013	0.00014
7	3.000	0.000	0.000	0.000	0.00018	0.00017	0.00018
8	3.500	0.000	0.000	0.000	0.00020	0.00018	0.00020
9	4.000	0.000	0.000	0.000	0.00019	0.00017	0.00019

Rysunek 8.65: Tabela 4.31 Powierzchnie - Odształcenia - Rankine

Kolumny tabeli *Punkt rastru* i *Współrzędne punktów rastru* odpowiadają kolumnom poprzedniej tabeli wyników 4.29 *Powierzchnie - Odształcenia - von Mises*.

Podejście według RANKINE'A zakłada, że uszkodzenie powodowane jest przez maksymalne naprężenie główne (zobacz rozdział 8.23 na stronie 350).

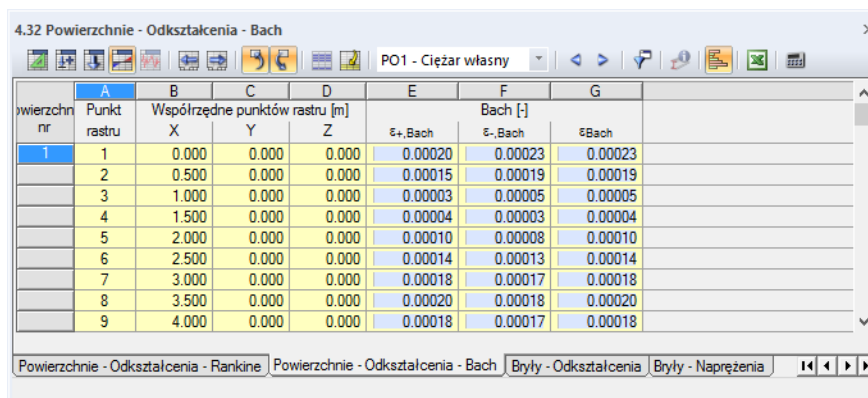
Odształcenia według RANKINE'A są określane w następujący sposób:

$\epsilon_{+,Rankine}$	<p>Odształcenie równoważne na dodatniej stronie powierzchni (czyli na stronie w kierunku dodatniej osi z powierzchni)</p> $\epsilon_{+} = \frac{1}{2} \left( \frac{ \epsilon_{x,+} + \epsilon_{y,+} }{1-\nu} + \frac{\sqrt{(\epsilon_{x,+} - \epsilon_{y,+})^2 + \gamma_{xy,+}^2}}{1+\nu} \right)$
$\epsilon_{-,Rankine}$	<p>Odształcenie równoważne na ujemnej stronie powierzchni</p> $\epsilon_{-} = \frac{1}{2} \left( \frac{ \epsilon_{x,-} + \epsilon_{y,-} }{1-\nu} + \frac{\sqrt{(\epsilon_{x,-} - \epsilon_{y,-})^2 + \gamma_{xy,-}^2}}{1+\nu} \right)$
$\epsilon_{Rankine}$	<p>Maksymalne odształcenie równoważne na dodatniej lub ujemnej stronie powierzchni (kolumny E i F)</p>

Tabela 8.23: Odształcenia według RANKINE'A

### 8.31 Powierzchnie - Odształcenia - Bach

Kontrola graficznego wyświetlania odkształceń powierzchni dostępnych przy użyciu teorii naprężeń równoważnych według BACHA, możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Powierzchni* w nawigаторze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Odształcenia* (zobacz Rysunek 8.62 na stronie 356). Tabela 4.32 pokazuje te odkształcenia w postaci numerycznej.



Powierzchni nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Bach [-]		
		X	Y	Z	$\epsilon_{+,Bach}$	$\epsilon_{-,Bach}$	$\epsilon_{Bach}$
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00020	0.00023	0.00023
2	0.500	0.000	0.000	0.000	0.00015	0.00019	0.00019
3	1.000	0.000	0.000	0.000	0.00003	0.00005	0.00005
4	1.500	0.000	0.000	0.000	0.00004	0.00003	0.00004
5	2.000	0.000	0.000	0.000	0.00010	0.00008	0.00010
6	2.500	0.000	0.000	0.000	0.00014	0.00013	0.00014
7	3.000	0.000	0.000	0.000	0.00018	0.00017	0.00018
8	3.500	0.000	0.000	0.000	0.00020	0.00018	0.00020
9	4.000	0.000	0.000	0.000	0.00018	0.00017	0.00018

Rysunek 8.66: Tabela 4.32 Powierzchnie - Odształcenia - Bach

Kolumny tabeli *Punkt rastru* i *Współrzędne punktów rastru* odpowiadają kolumnom poprzedniej tabeli wyników 4.29 *Powierzchnie - Odształcenia - von Mises*.

Podejście według BACHA zakłada, że uszkodzenie zachodzi w kierunku odkształcenia maksymalnego (zobacz rozdział 8.24 na stronie 351).

Odształcenia według BACHA są określane w następujący sposób:

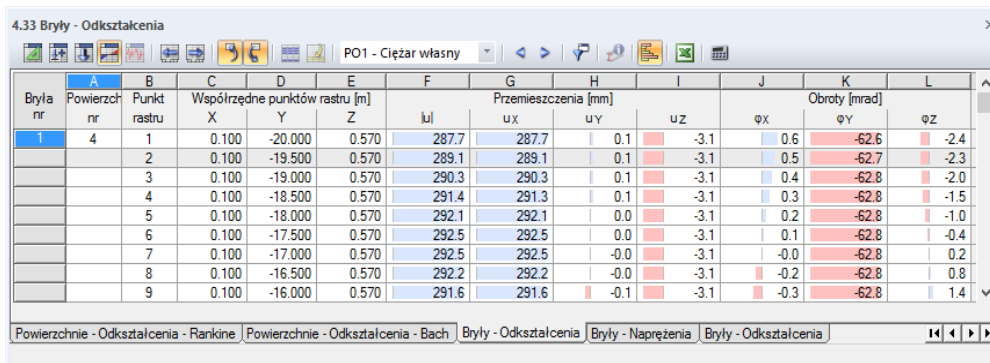
$\epsilon_{+,Bach}$	Maksymalna wartość bezwzględna odkształcenia głównego $\epsilon_{1+}$ lub $\epsilon_{2+}$ na dodatniej stronie powierzchni (zobacz rozdział 8.26 na stronie 355).
$\epsilon_{-,Bach}$	Maksymalna wartość bezwzględna odkształcenia głównego $\epsilon_{1-}$ lub $\epsilon_{2-}$ na ujemnej stronie powierzchni (np. na stronie w kierunku przeciwnym do dodatniej osi z powierzchni)
$\epsilon_{Bach}$	Maksymalne odkształcenie zastępcze na dodatniej lub ujemnej stronie powierzchni (kolumny E i F)

Tabela 8.24: Odształcenia według BACHA



## 8.32 Bryły – Odształcenia globalne

Kontrola graficznego wyświetlania odształceń brył możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Odształceń globalnych* w nawigаторze *Wyniki* (zobacz Rysunek 8.36 na stronie 330). Tabela 4.33 pokazuje odształcenia dla powierzchni granicznych w postaci numerycznej.



Bryła nr	Powierzchn. nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Przemieszczenia [mm]				Obroty [mrad]		
			X	Y	Z	u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	u <sub>z</sub>	φ <sub>x</sub>	φ <sub>y</sub>	φ <sub>z</sub>	
1	4	1	0.100	-20.000	0.570	287.7	287.7	0.1	-3.1	0.6	-62.6	-2.4
		2	0.100	-19.500	0.570	289.1	289.1	0.1	-3.1	0.5	-62.7	-2.3
		3	0.100	-19.000	0.570	290.3	290.3	0.1	-3.1	0.4	-62.8	-2.0
		4	0.100	-18.500	0.570	291.4	291.3	0.1	-3.1	0.3	-62.8	-1.5
		5	0.100	-18.000	0.570	292.1	292.1	0.0	-3.1	0.2	-62.8	-1.0
		6	0.100	-17.500	0.570	292.5	292.5	0.0	-3.1	0.1	-62.8	-0.4
		7	0.100	-17.000	0.570	292.5	292.5	-0.0	-3.1	-0.0	-62.8	0.2
		8	0.100	-16.500	0.570	292.2	292.2	-0.0	-3.1	-0.2	-62.8	0.8
		9	0.100	-16.000	0.570	291.6	291.6	-0.1	-3.1	-0.3	-62.8	1.4

Rysunek 8.67: Tabela 4.33 *Bryły - Odształcenia*

Tabela ta przedstawia przemieszczenia i obroty dla punktów rastru poszczególnych powierzchni granicznych. Odształcenia wewnątrz bryły nie są pokazywane.

### Punkt rastru

Numery punktów rastru wyświetlane są według powierzchni. Więcej informacji na temat punktów rastru znajduje się w rozdziale 8.12 na stronie 328.

### Współrzędne punktów rastru

Kolumny tabeli od C do E pokazują współrzędne punktów rastru w globalnym układzie współrzędnych XYZ.

### Przemieszczenia / obroty

Poszczególne odształcenia mają następujące znaczenie:

u	Bezwzględne przemieszczenie całkowite (nie dla kombinacji wyników)
u <sub>x</sub>	Przemieszczenie bryły w kierunku globalnej osi X
u <sub>y</sub>	Przemieszczenie bryły w kierunku globalnej osi Y
u <sub>z</sub>	Przemieszczenie bryły w kierunku globalnej osi Z
φ <sub>x</sub>	Obrót bryły względem globalnej osi X
φ <sub>y</sub>	Obrót bryły względem globalnej osi Y
φ <sub>z</sub>	Obrót bryły względem globalnej osi Z

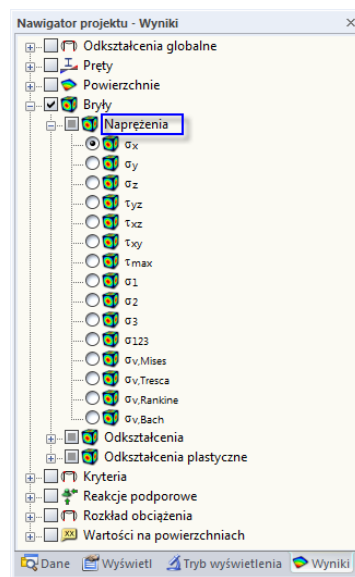
Tabela 8.25: Odształcenia bryłowe

### 8.33 Bryły - Naprężenia

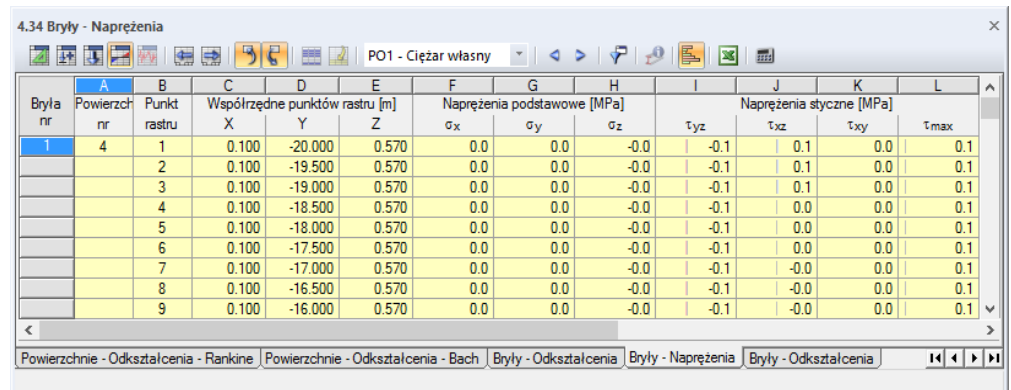
Kontrola graficznego wyświetlania naprężeń bryłowych możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Brył* w nawigatorze *Wyniki*. Tabela 4.34 pokazuje naprężenia bryłowe w postaci numerycznej.



Wyniki w tej tabeli odnoszą się do punktów rastru powierzchni granicznych. Oznacza to, że w tabeli nie są wyświetlane żadne naprężenia występujące wewnątrz bryły. Niemniej naprężenia wewnątrz bryły można przedstawić graficznie na wewnętrznych punktach siatki ES. W tym celu w nawigatorze *Wyniki*, należy zaznaczyć pole wyboru dla *Wartości na powierzchniach*, a następnie wybrać opcję *Ustawienia i W punktach siatki ES*. Przy użyciu płaszczyzny obcinania (zobacz rozdział 9.9.2 na stronie 402) można wyświetlić te wartości w określony sposób.



Rysunek 8.68: Nawigator *Wyniki*: *Bryły* → *Naprężenia*



Bryła nr	Powierzchn nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Naprężenia podstawowe [MPa]			Naprężenia styczne [MPa]			
			X	Y	Z	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\tau_{yz}$	$\tau_{xz}$	$\tau_{xy}$	$\tau_{max}$
1	4	1	0.100	-20.000	0.570	0.0	0.0	-0.0	-0.1	0.1	0.0	0.1
		2	0.100	-19.500	0.570	0.0	0.0	-0.0	-0.1	0.1	0.0	0.1
		3	0.100	-19.000	0.570	0.0	0.0	-0.0	-0.1	0.1	0.0	0.1
		4	0.100	-18.500	0.570	0.0	0.0	-0.0	-0.1	0.0	0.0	0.1
		5	0.100	-18.000	0.570	0.0	0.0	-0.0	-0.1	0.0	0.0	0.1
		6	0.100	-17.500	0.570	0.0	0.0	-0.0	-0.1	0.0	0.0	0.1
		7	0.100	-17.000	0.570	0.0	0.0	-0.0	-0.1	-0.0	0.0	0.1
		8	0.100	-16.500	0.570	0.0	0.0	-0.0	-0.1	-0.0	0.0	0.1
		9	0.100	-16.000	0.570	0.0	0.0	-0.0	-0.1	-0.0	0.0	0.1

Rysunek 8.69: Tabela 4.34 *Bryły - Naprężenia*

Tabela ta przedstawia naprężenia bryłowe posortowane według powierzchni. Wyniki wyświetlane są w odniesieniu do punktów rastru każdej powierzchni.

#### Punkt rastru

Numerы punktów rastru wyświetlane są według powierzchni. Więcej informacji na temat punktów rastru znajduje się w rozdziale 8.12 na stronie 328.

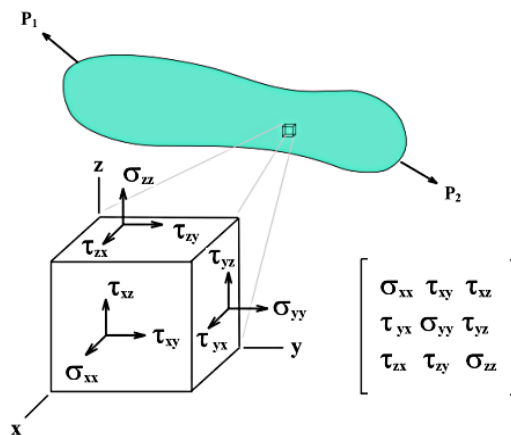
### Współrzędne punktów rastru

Kolumny tabeli od C do E pokazują współrzędne punktów rastru w globalnym układzie współrzędnych XYZ.

### Naprężenia podstawowe / naprężenia tnące / naprężenia główne

W przeciwieństwie do naprężeń powierzchniowych, naprężenia bryłowe nie mogą być opisane za pomocą prostych równań. *Naprężenia podstawowe*  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  i  $\sigma_z$  oraz *Naprężenia tnące*  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$  i  $\tau_{xz}$  są określane bezpośrednio przez rdzeń analityczny.

Jeśli sześcian o długościach boków  $d_x$ ,  $d_y$  i  $d_z$  zostanie wycięty z obiektu 3D posiadającego obciążenie trójosiowe, naprężenia w każdej powierzchni sześcienniej można podzielić na naprężenia normalne i tnące. Jeżeli nie są uwzględniane ani siły przestrzenne ani różnice naprężeń na powierzchniach równoległych, stan naprężeń w lokalnym układzie współrzędnych sześcianu może być opisany przez dziewięć składowych naprężeń.



Rysunek 8.70: Element bryłowy ze składowymi naprężeniami

Macierz tensora naprężeń jest następująca:

$$S = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

Równanie 8.4: Macierz tensora naprężeń

*Naprężenia główne*  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  i  $\sigma_3$  wynikają z wartości własnych tensora zgodnie z następującym równaniem:

$$\det(S - \sigma E) = 0$$

gdzie E: macierz jednostkowa 3x3

Równanie 8.5: Naprężenia główne

Maksymalne *Naprężenie tnące*  $\tau_{max}$  jest określane na podstawie koła Mohra.

$$\tau_{max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$$

Równanie 8.6: Maksymalne naprężenie tnące

Trajektorie naprężeń głównych można przedstawić w postaci graficznej, wybierając żadaną pozycję nawigatora  $\sigma_{123}$ .

### Naprężenia równoważne

Naprężenie równoważne  $\sigma_v$  według VON MISESA można wyrazić za pomocą następujących równań homologicznych:

$$\sigma_{v,Mises} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]}$$

Równanie 8.7: Naprężenie równoważne od naprężeń głównych według VON MISESA

$$\sigma_{v,Mises} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_x\sigma_z - \sigma_y\sigma_z + 3 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$$

Równanie 8.8: Naprężenie równoważne od naprężeń podstawowych według VON MISESA

Podczas określania *Naprężenia równoważnego*  $\sigma_v$  według TRESCI, program RFEM analizuje różnice z naprężeń głównych w celu określenia wartości maksymalnej.

$$\sigma_{v,Tresca} = \max(|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_3 - \sigma_1|)$$

Równanie 8.9: Określanie naprężenia równoważnego według TRESCI

*Naprężenie równoważne*  $\sigma_v$  według RANKINA jest określane na podstawie maksymalnych bezwzględnych wartości naprężeń głównych.

$$\sigma_{v,Tresca} = \max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|)$$

Równanie 8.10: Określanie naprężenia równoważnego według RANKINA

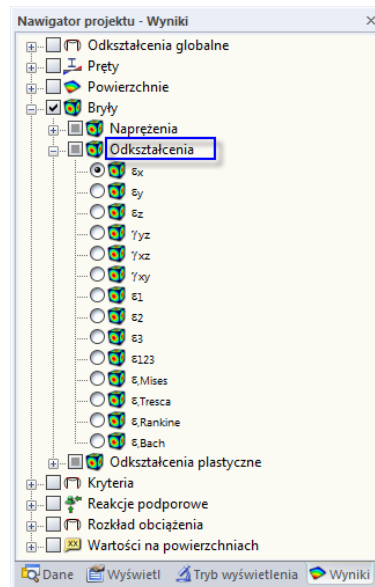
Podczas określania *Naprężenia równoważnego*  $\sigma_v$  według BACHA, program RFEM analizuje różnice naprężenia głównego, uwzględniając współczynnik Poissona, w celu ustalenia wartości maksymalnej.

$$\sigma_{v,Bach} = \max[|\sigma_1 - \nu \cdot (\sigma_2 + \sigma_3)|, |\sigma_2 - \nu \cdot (\sigma_3 + \sigma_1)|, |\sigma_3 - \nu \cdot (\sigma_1 + \sigma_2)|]$$

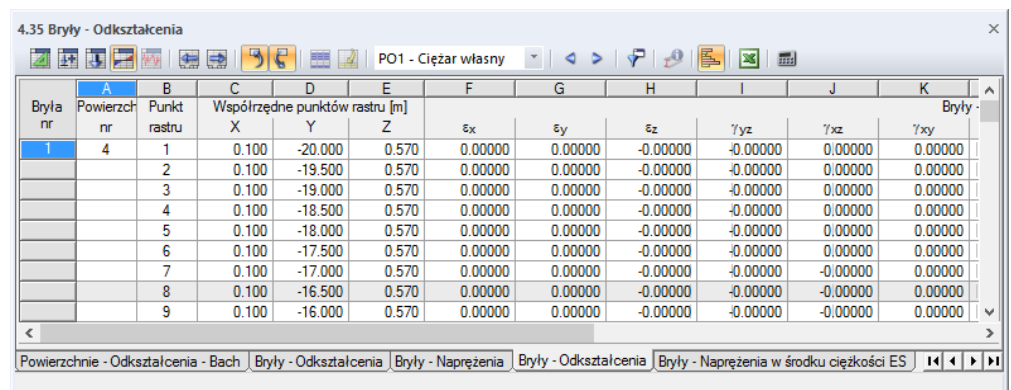
Równanie 8.11: Określanie naprężenia równoważnego według BACHA

## 8.34 Bryły – Odształcenia

Kontrola graficznego wyświetlania odkształceń bryły możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Brył* w nawigatorze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Odształcenia*. Tabela 4.35 pokazuje te odkształcenia w postaci numerycznej.



Rysunek 8.71: Nawigator Wyniki: *Bryły* → *Odształcenia*



Bryła nr	Powierzchn nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			$\epsilon_x$	$\epsilon_y$	$\epsilon_z$	$\gamma_{yz}$	$\gamma_{xz}$	$\gamma_{xy}$	Bryły -
			X	Y	Z							
1	4	1	0.100	-20.000	0.570	0.00000	0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000	
		2	0.100	-19.500	0.570	0.00000	0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000	
		3	0.100	-19.000	0.570	0.00000	0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000	
		4	0.100	-18.500	0.570	0.00000	0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000	
		5	0.100	-18.000	0.570	0.00000	0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000	
		6	0.100	-17.500	0.570	0.00000	0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000	
		7	0.100	-17.000	0.570	0.00000	0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000	
		8	0.100	-16.500	0.570	0.00000	0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000	
		9	0.100	-16.000	0.570	0.00000	0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000	

Rysunek 8.72: Tabela 4.35 *Bryły - Odształcenia*

Tabela ta pokazuje odkształcenia posortowane według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastru każdej z powierzchni otaczających bryłę.

Kolumny tabeli *Punkt rastru* i *Współrzędne punktów rastru* odpowiadają kolumnom poprzedniej tabeli wyników 4.34 *Bryły - Naprężenia*.

### Bryły - odkształcenia

Odształcenia określane są bezpośrednio przez rdzeń analityczny na podstawie analizy wartości własnych macierzy odkształceń. Jeżeli model jest analizowany według liniowej analizy statycznej lub analizy drugiego rzędu, wykonywane są obliczenia liniowe. W przypadku obliczeń według analizy dużych deformacji, odkształcenia są określane przy użyciu podejścia logarytmicznego.

Odształcenia równoważne są określane według czterech teorii naprężeń w następujący sposób:

$\epsilon_{\text{Mises}}$	$\epsilon_{\text{Mises}} = \frac{1}{1+\nu} \sqrt{\epsilon_x^2 + \epsilon_y^2 + \epsilon_z^2 - \epsilon_x \epsilon_y - \epsilon_y \epsilon_z - \epsilon_z \epsilon_x + \frac{3}{4}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{xz}^2)}$
$\epsilon_{\text{Tresca}}$	Maksimum z różnic wartości własnych według macierzy R (zobacz Równanie 8.12) $\epsilon_{\text{Tresca}} = \max( R_1 - R_2 ,  R_2 - R_3 ,  R_3 - R_1 )$
$\epsilon_{\text{Rankine}}$	Maksimum z różnic wartości własnych według macierzy R $\epsilon_{\text{Rankine}} = \max( R_1 ,  R_2 ,  R_3 )$
$\epsilon_{\text{Bach}}$	Maksimum z różnic wartości własnych przy uwzględnieniu współczynnika Poissona $\nu$ według macierzy R $\epsilon_{\text{Bach}} = \max[ R_1 - \nu \cdot (R_2 + R_3) ,  R_2 - \nu \cdot (R_3 + R_1) ,  R_3 - \nu \cdot (R_1 + R_2) ]$

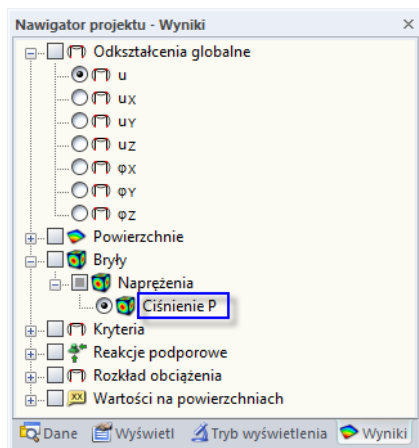
Tabel 8.26: Odształcenia równoważne

$$R = \frac{1}{1+\nu} \cdot \begin{bmatrix} \frac{(1-\nu) \cdot \epsilon_x + \nu \cdot (\epsilon_y + \epsilon_z)}{1-2\nu} & \frac{\gamma_{xy}}{2} & \frac{\gamma_{xz}}{2} \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} & \frac{(1-\nu) \cdot \epsilon_y + \nu \cdot (\epsilon_x + \epsilon_z)}{1-2\nu} & \frac{\gamma_{yz}}{2} \\ \frac{\gamma_{xz}}{2} & \frac{\gamma_{yz}}{2} & \frac{(1-\nu) \cdot \epsilon_z + \nu \cdot (\epsilon_x + \epsilon_y)}{1-2\nu} \end{bmatrix}$$

Równanie 8.12: Macierz R

## 8.35 Bryły – Ciśnienie gazu

Kontrola graficznego wyświetlania ciśnienia gazu możliwa jest po zaznaczeniu pola wyboru dla *Brył* w nawigatorze *Wyniki*, a następnie wybraniu opcji *Ciśnienie P*. Tabela 4.36 pokazuje ciśnienie gazu brył w postaci numerycznej.



Rysunek 8.73: Nawigator *Wyniki*: *Bryły* → *Napreżenia* → *Ciśnienie P*



Bryła nr	Powierzchn nr	Punkt rastru	Współrzędne punktów rastru [m]			Ciśnienie p p [MPa]
			X	Y	Z	
2	10	1	34.323	1.588	0.000	1.0
		2	34.823	1.588	0.000	1.0
		3	35.323	1.588	0.000	1.0
		4	35.823	1.588	0.000	1.0
		5	36.323	1.588	0.000	1.0
		6	36.823	1.588	0.000	1.0
		7	37.323	1.588	0.000	1.0

Rysunek 8.74: Tabela 4.36 *Bryły – Ciśnienie gazu*

Tabela ta pokazuje rozkład ciśnienia posortowany według powierzchni. Wyniki podawane są w odniesieniu do punktów rastru każdej z powierzchni otaczających bryłę.

Kolumny tabeli *Punkt rastru* i *Współrzędne punktów rastru* odpowiadają kolumnom poprzedniej tabeli wyników 4.34 *Bryły - Napreżenia*.

### Ciśnienie gazu p

Ciśnienie gazu stanowi specyficzny rodzaj naprężenia dla brył typu "gaz" (zobacz rozdział 4.5 na stronie 91). Jest ono określane przy użyciu funkcji stanu dla objętości  $V$  i temperatury  $T$  według następującego warunku:

$$p \cdot \frac{V}{T} = \text{const}$$

Równanie 8.13: Równanie stanu dla gazów

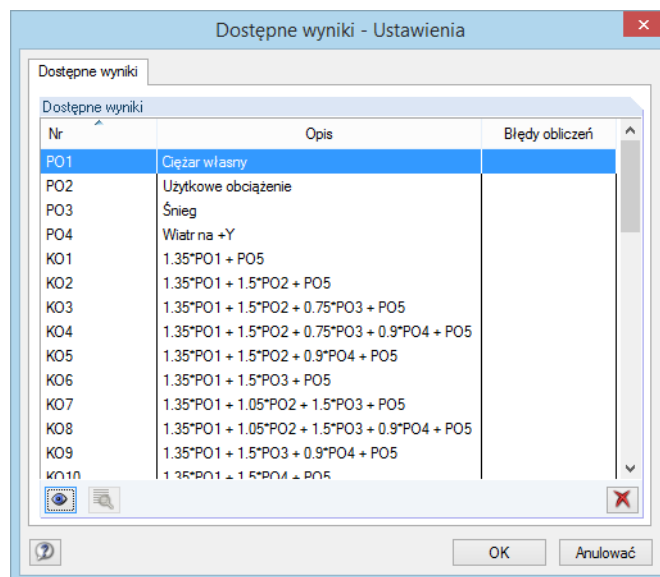
## 9. Ocena wyników

### 9.1 Dostępne wyniki

Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,

należy wybrać opcję **Dostępne wyniki** z menu **Wyniki**.

Pojawi się okno dialogowe z przeglądem wszystkich obliczonych przypadków obciążeń i kombinacji.



Rysunek 9.1: Okno dialogowe *Dostępne wyniki - Ustawienia*



Na liście można zobaczyć, które przypadki obciążeń oraz kombinacje obciążeń i wyników zostały obliczone. Wszystkie przyczyny problemów, które mogły wystąpić podczas procesu obliczeniowego, są wymieniane w kolumnie tabeli *Błędy obliczeń*. Aby wyświetlić szczegółowe informacje na temat błędów, należy wybrać odpowiedni przypadek obciążenia, a następnie kliknąć przycisk [Szczegóły], pokazany na lewym marginesie tej strony.

Aby wyświetlić konkretny wynik w grafice, należy wybrać go w oknie dialogowym i kliknąć przycisk [Pokaż]. W tym samym celu można też dwukrotnie kliknąć daną pozycję. Wyniki, które nie są niezbędne, mogą zostać usunięte za pomocą przycisku [X].

Można również wybrać przypadki obciążeń lub kombinacje obciążeń i wyników z listy w głównym pasku narzędzi lub w pasku narzędzi tabeli wyników. Grafika wyników i wyświetlanie tabelaryczne są aktualizowane automatycznie, jeżeli aktywna jest synchronizacja wyboru (zobacz rozdział 11.5.4 na stronie 519).

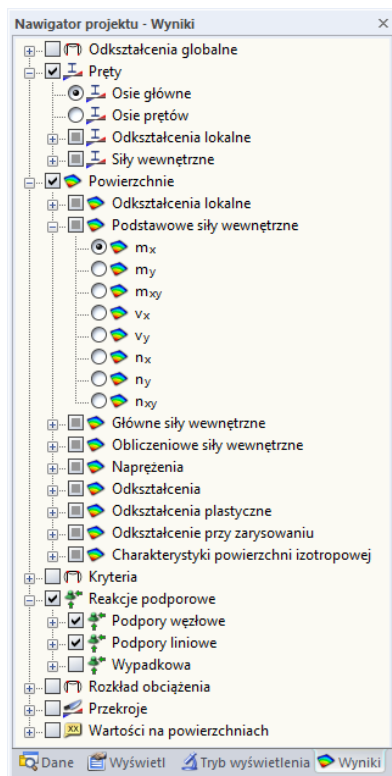
PO3 - Śnieg



## 9.2 Wybór wyników



Przy użyciu nawigatora *Wyniki*, w zależności od przypadku, można kontrolować wyświetlanie deformacji, sił wewnętrznych, naprężeń, odkształceń i/lub reakcji podporowych, jak również przekrojów i zakresów uśredniania wartości.



Rysunek 9.2: Nawigator *Wyniki*

Wyniki można również wybrać przy użyciu paska narzędzi *Wyniki*.

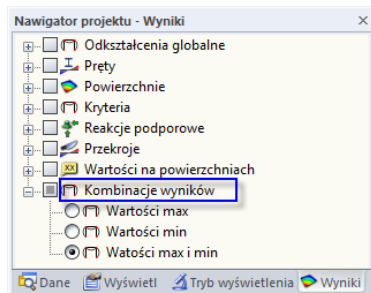


Rysunek 9.3: Przyciski w pasku narzędzi *Wyniki*



Włączanie i wyłączanie wyświetlania wyników graficznych możliwe jest przy użyciu przycisku z paska narzędzi [Pokaż wyniki], pokazanego na lewym marginesie tej strony. Aby wyświetlić wartości wyników, należy użyć przycisku z paska narzędzi [Wyświetl wartości wyników] znajdującego się po prawej stronie.

Dla wyników kombinacji wyników (KW) nawigator oferuje dodatkowy wpis *Kombinacje wyników*.

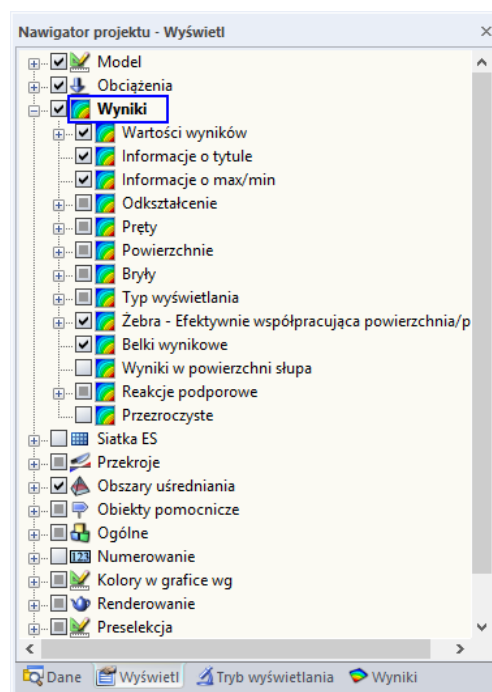


Rysunek 9.4: Nawigator *Wyniki* dla kombinacji wyników

Do wyboru dostępne są trzy opcje wpływające na graficzne wyświetlanie wyników odkształceń oraz sił wewnętrznych i podporowych. Wartości *Max* i *Min* można wyświetlać osobno. Aby wyświetlić obie obwiednie ze wszystkich wartości ekstremalnych w tym samym czasie, należy wybrać opcję *Wartości Max i Min*.

### 9.3 Wyświetlanie wyników

Sposób wyświetlania wyników ustawia się w nawigatorze *Wyświetl*.



Rysunek 9.5: Nawigator *Wyświetl*: *Wyniki*



W nawigatorze *Wyniki* można określić, które wyniki są wyświetlane. Nawigator *Wyświetl* określa sposób, w jaki sposób wyniki są wyświetlane.

### 9.3.1 Wyniki na prętach

Siły wewnętrzne prętów są domyślnie wyświetlane *Dwubarwnie*. Dodatkowo siły wewnętrzne są reprezentowane przez jasnoniebieskie linie, natomiast ujemne siły wewnętrzne są reprezentowane przez czerwone linie. Deformacje prętów są domyślnie pokazywane jako jednokolorowe *Linie*.

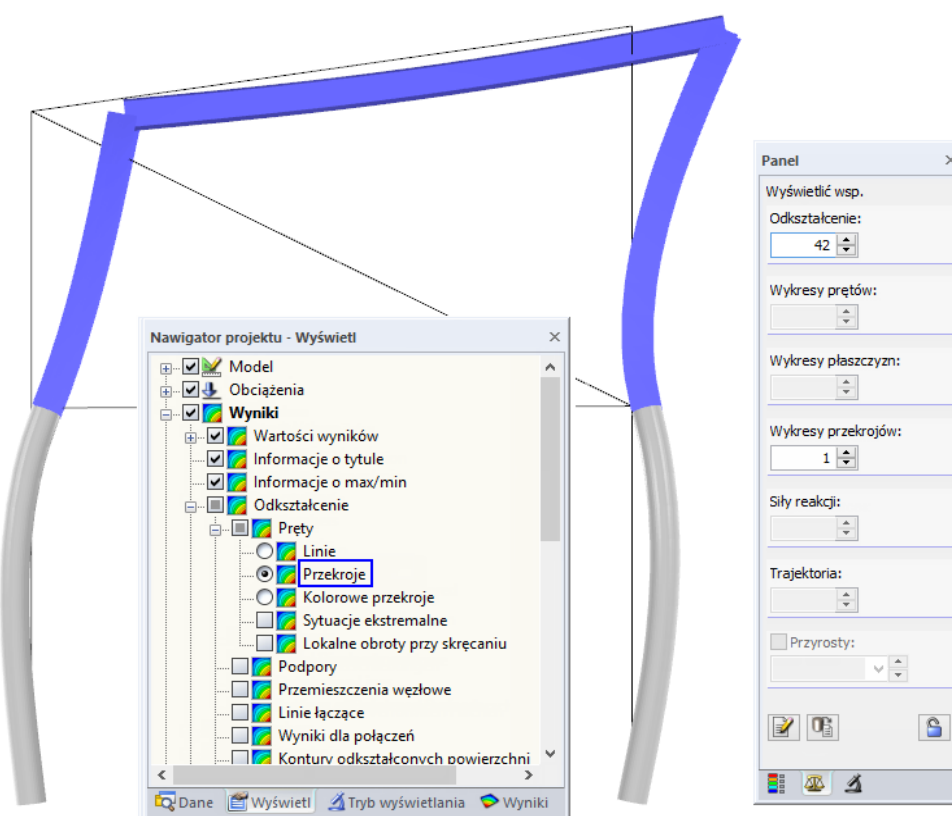
Graficzny wykres wyników jest kontrolowany przez numer wpisywany w polu wprowadzania *Ilość podziałów prętów dla wykresów końcowych* w zakładce *Globalne parametry obliczeń* okna dialogowego *Parametry obliczeń* (zobacz Rysunek 7.22 na stronie 292). Jeżeli podział jest ustawiony na 10, program RFEM dzieli długość najdłuższego pręta w układzie przez 10. Na podstawie takiego podziału długości, który jest związany z układem, program RFEM określa graficzny rozkład wyników w punktach podziału dla każdego pręta.



W przypadku ustawienia wyświetlania wielobarwnego (opcje *z/bez wykresu lub przekrojów*), dostępny będzie panel barw ze standardowymi opcjami sterowania. Więcej informacji na temat dostosowywania wartości i widma barw znajduje się w rozdziale 3.4.6 na stronie 31.

Siły wewnętrzne mogą być również wyświetlane jako *Przekroje*. Pojawia się fotorealistyczna reprezentacja prętów pokazująca kolorowe wykresy sił wewnętrznych na renderowanych prętach.

Analogicznie można wyświetlać odkształcenia *Przekrojów* (renderowanie 3D odkształceń) lub *Kolorowych przekrojów* (renderowanie odkształceń z gradacją kolorów).

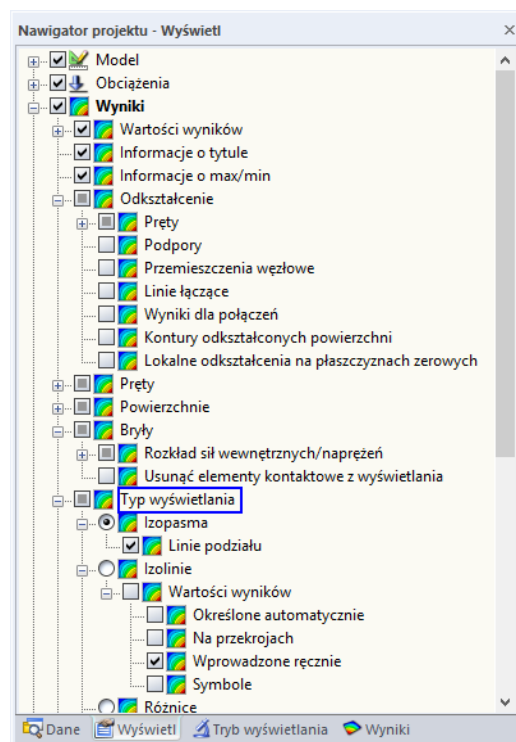


Rysunek 9.6: Skalowane przedstawianie odkształceń pręta w renderowaniu 3D

### 9.3.2 Wyniki powierzchni i brył

Wyniki powierzchni i brył są domyślnie wyświetlane jako *Izopasma*. Barwy przydziela się w panelu kontrolnym (zobacz rozdział 3.4.6 na stronie 31).

Ponadto nawigator *Wyświetl* oferuje różne opcje wyświetlania dla wyników powierzchni i brył dzięki opcjom *Wyniki* i *Typ wyświetlania*.



Rysunek 9.7: Nawigator *Wyświetl*: *Wyniki* → *Typ wyświetlania*

Wyniki powierzchni i brył mogą być wyświetlane jako *Izopasma* lub *Izolinie*. Izolinie są częściej stosowane podczas drukowania na drukarce monochromatycznej.

Opcja wyświetlania *Bez reprezentacji graficznej* pozwala na przedstawianie samych wartości wyników. *Izopasma* lub *izolinie* są ukryte i wyświetlane są tylko wartości wyników na rastrze lub w punktach siatki ES. To ustawienie jest również odpowiednie do drukowania.

Opcja wyświetlania *Różnice* jest dostępna tylko dla naprężeń. Przy użyciu tych ustawień można zobaczyć zmiany naprężeń w elementach skończonych, co pozwala wyciągnąć wnioski dotyczące jakości siatki ES. W przypadku istotnych różnic w sąsiednich elementach ES, należy rozważyć dopracowanie siatki ES w tych miejscach.



Naprężenia  
w bryłach



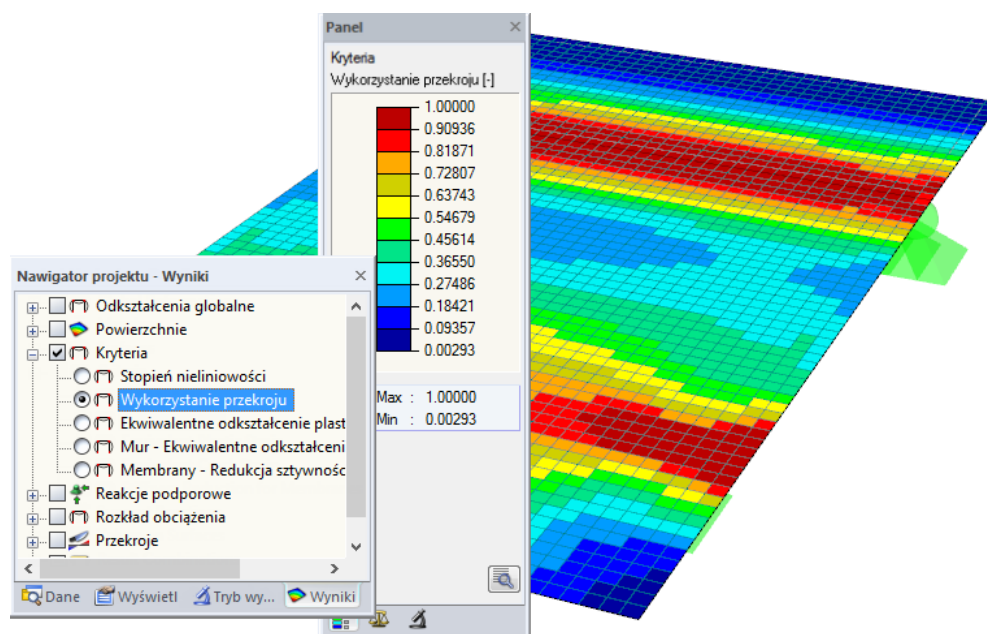
Wybierając opcję *Węzły ES bryły* można oceniać naprężenia wewnątrz bryły pod warunkiem, że siatka ES jest wystarczająca. Przypisanie koloru węzłów ES następuje według spektrum z panelu kontrolnego. Jeżeli dodatkowo aktywowana zostanie opcja *Wartości* w punktach siatki ES w nawigatorze *Wyniki*, można bezpośrednio zobaczyć naprężenia brył wyświetlone na modelu.

Skalowanie odształceń i sił wewnętrznych można kontrolować poprzez ustawienia w zakładce panelu kontrolnego *Współczynniki wyświetlania* (pośrodku). Zakładka *Filtr* (po prawo) jest używana do wyboru konkretnych prętów, powierzchni lub brył, których wyniki mają zostać wyświetlone (zobacz Rysunek 9.51 na stronie 405). Obie zakładki panelu opisane są w rozdziale 3.4.6 na stronie 34.

### Kryteria dla nieliniowych charakterystyk materiałowych

W przypadku wybrania modelu materiału posiadającego oddziaływana nieliniowe (zobacz rozdział 4.3 na stronie 65), można graficznie sprawdzić, które obszary posiadają zmniejszoną sztywność, na przykład po osiągnięciu granicy plastyczności. Prosimy pamiętać, że opcję tą można wykorzystać jedynie w przypadku posiadania licencji dla modułu dodatkowego **RF-MAT NL**.

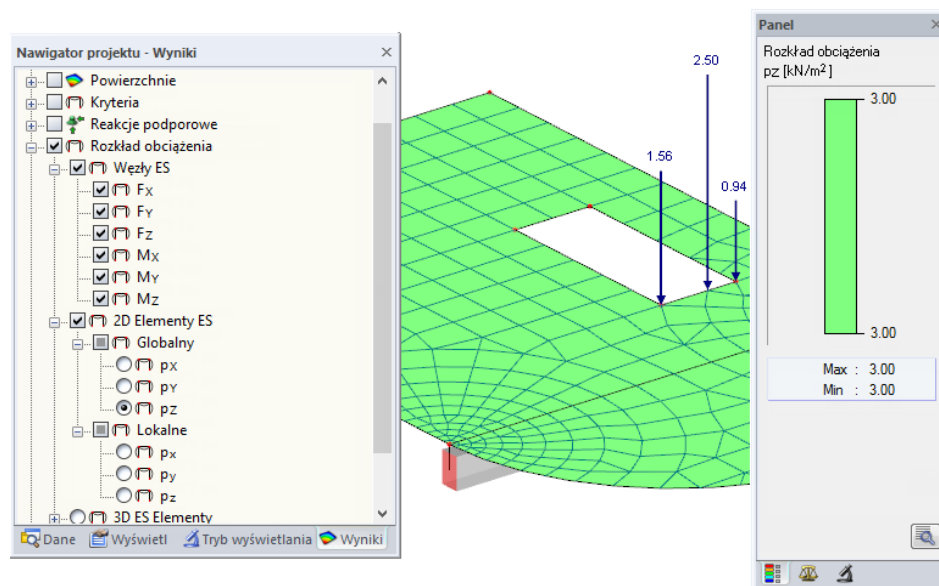
Opcja wyświetlania wyników *Jest nieliniowy* pokazuje część punktów GAUSSA, które były analizowane nieliniowo przynajmniej jeden raz w czasie analizy. Przy użyciu opcji *Kryterium plastyczności* można na przykład sprawdzić, jakie strefy uplastycznienia powstają powyżej podpór płyty.



Rysunek 9.8: Redukcja sztywności dla płyty ze strefami uplastycznienia

### Rozkład obciążenia

Poprzez zaznaczenie pól wyboru przy wpisie w nawigatorze *Rozkład obciążenia*, można wyświetlić siły i momenty otrzymane w *Węzłach ES* lub w *Elementach ES* z wprowadzonych obciążeń. Siły elementów skończonych można przedstawić w odniesieniu do osi globalnego układu XYZ lub do lokalnych osi xyz powierzchni.



Rysunek 9.9: Rozkład obciążenia z obciążeniami siatki dla obciążenia liniowego ( $F_z$ ) i obciążenia powierzchniowego ( $p_z$ )

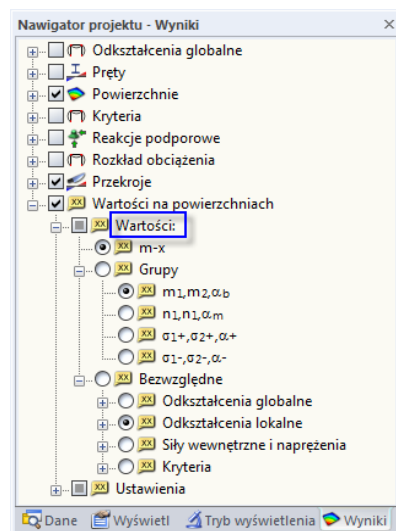
Wykorzystanie obciążeń siatki pozwala sprawdzić wprowadzone obciążenia. Na przykład w przypadku wolnych obciążeń skupionych można sprawdzić, czy obciążenie działa na wszystkich powierzchniach wymienionych w wykazie *Na powierzchniach* (zobacz Rysunek 6.31 na stronie 252).

## 9.4 Wyświetlanie wartości

Wyświetlanie wartości zarządzane jest w nawigаторze *Wyniki* (zobacz rozdział 3.4.3 na stronie 27).

### 9.4.1 Wartości wyników

Kategoria nawigatora *Wartości* kontroluje wartości wyników wyświetlane w oknie roboczym.



Rysunek 9.10: Nawigator *Wyniki*: *Wartości na powierzchniach* → *Wartości*

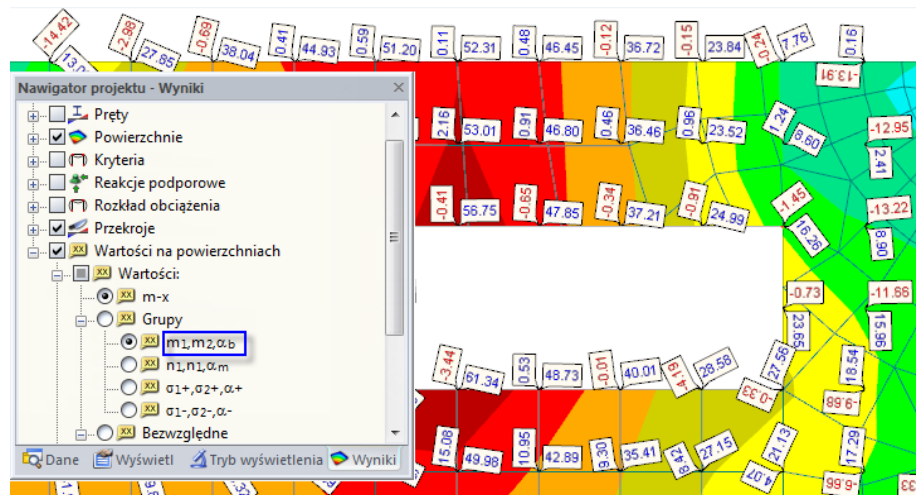
### Wartości grafik wyników

Pierwsza opcja ( $m-1$  na rysunku powyżej) jest dostosowana do typu wyniku, który jest wyświetlany w oknie roboczym. Gdy pole wyboru jest aktywne, program RFEM wyświetla

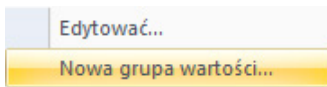
wartości wyników dla bieżącej grafiki odkształcenia, grafiki naprężeń lub grafiki sił wewnętrznych.

### Grupy wartości

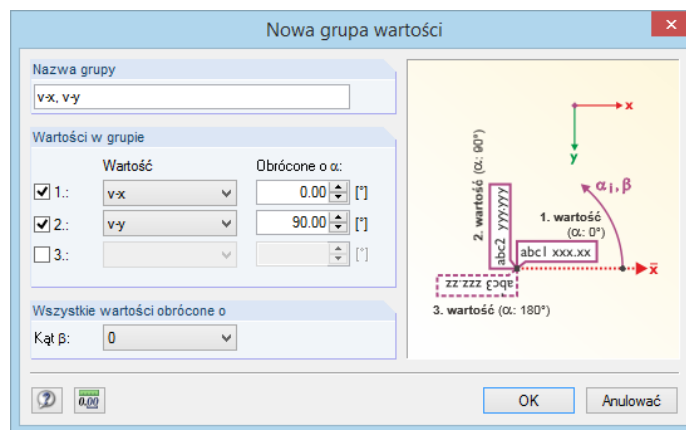
Przy użyciu opcji *Grupy* można pokazać dwie wartości wyników dla każdego położenia dla wyników powierzchni. Ustawione są cztery grupy. Poniższy rysunek przedstawia pierwszą grupę z momentami głównymi  $m_1$  i  $m_2$ . Ustawione wartości rastru są obracane o kąt  $\alpha_b$ .



Rysunek 9.11: Grupa wartości momentów głównych w grafice



Możliwe jest również tworzenie zdefiniowanych przez użytkownika grup wartości. W tym celu należy kliknąć prawym przyciskiem myszy element nawigatora *Grupy*, aby otworzyć menu kontekstowe wyświetlane na lewym marginesie tej strony. Następnie należy wybrać opcję *Nowa grupa wartości*, aby otworzyć następujące okno dialogowe.

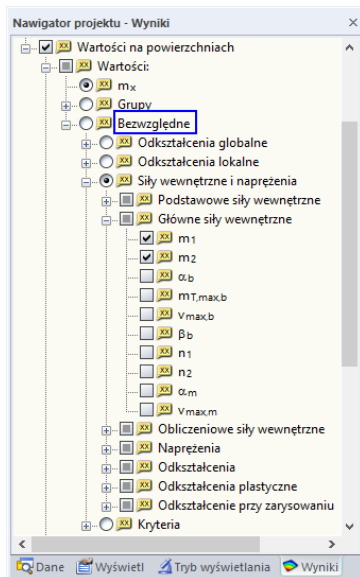


Rysunek 9.12: Okno dialogowe *Nowa grupa wartości*

Na początku należy określić *Nazwę grupy*, która później pojawi się jako pozycja w nawigatorze. W sekcji okna dialogowego *Wartości w grupie* można wybrać typy wyników z listy *1. wartość*, *2. wartość* oraz *3. wartość*. Obrót tych wartości jest określany w polach poniżej o nazwie *Obrócone o α*.

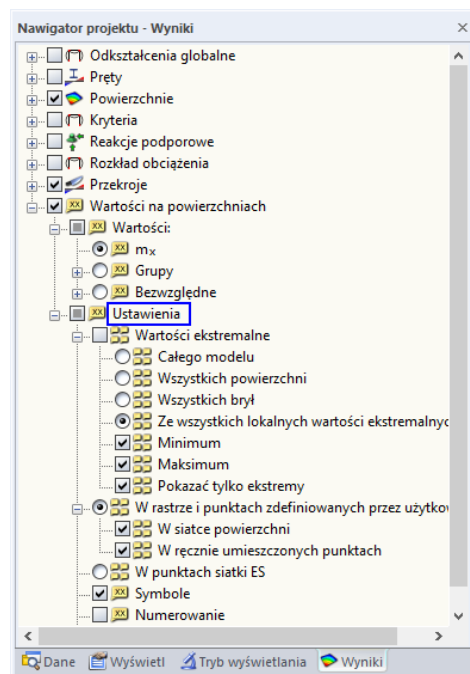
### Bezwzględne wartości wyników

Przy użyciu pola wyboru *Bezwzględne* można określić, które wartości wyników (deformacje, siły wewnętrzne, naprężenia, odkształcenia) zostaną wyświetlone, bez względu na typ wyników aktywnych w oknie roboczym. W ten sposób można wyświetlać różne dane jednocześnie, np. graficznie na temat odkształceń powierzchni oraz w tym samym czasie na temat wartości głównych sił wewnętrznych  $m_1$  i  $m_2$ , jak zostało to pokazane na lewym marginesie tej strony.



## 9.4.2 Ustawienia

Opcje wyświetlania dostępne przy wpisie nawigatora *Ustawienia* kontrolują miejsca obliczeniowe wartości wyników oraz ich przedstawianie.



Rysunek 9.13: Nawigator *Wyniki*: *Wartości na powierzchniach* → *Ustawienia*

### Wartości ekstremalne

W przypadku wybrania opcji *Wartości ekstremalne*, wyświetlane są tylko odpowiednie minima lub maksima, w zależności od ustawień.

### Punkty rastru / Punkty siatki ES

Dodatkowo wartości wyników mogą być wyświetlane *W rastrze i punktach określonych przez użytkownika* lub *W punktach siatki ES*. Podczas używania tej ostatniej wymienionej opcji należy zachować ostrożność, ponieważ import wszystkich wartości wyników ES wymaga dużo czasu w przypadku większych modeli.

### Symbole / numerowanie / przezroczystość

Ostatnie trzy pola wyboru znajdujące się w *Ustawieniach* kontrolują rodzaj i zakres oznaczania elementów.

- *Symbole* ustawionego typu wyników ( $u$ ,  $m_x$ ,  $\sigma_z$  etc.), które można wyświetlić dodatkowo.
- *Numerowanie* punktów rastru lub węzłów siatki ES ( $G1$ ,  $M1$  etc.), które można wyświetlić dodatkowo.
- Wartości można wyświetlić przy użyciu opcji *Przezroczyste*, czyli bez obramowania i tła.

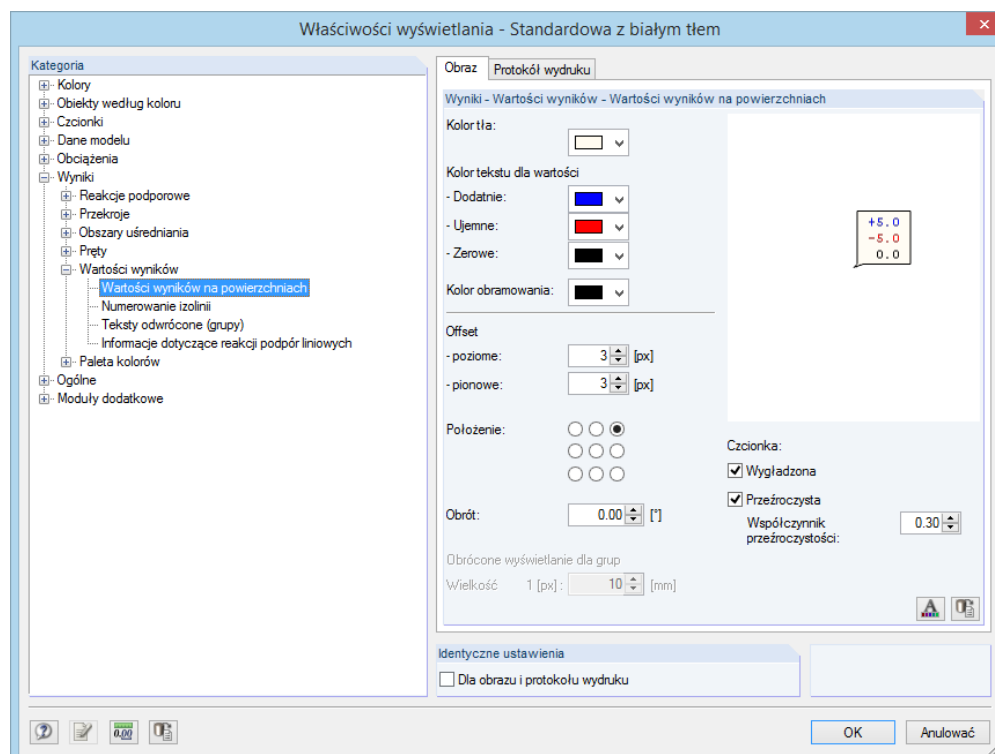
Aby ustawić kolory i czcionki wartości wyników,

należy wskazać opcję **Właściwości wyświetlania** w menu **Opcje**, a następnie wybrać polecenie **Edytować**.

Otworzy się okno dialogowe *Właściwości wyświetlania –Standard*, w którym należy zaznaczyć opcję *Wartości wynikowe* w kategorii *Wyniki*, a następnie kliknąć *Wartości wyników na powierzchniach*, aby wprowadzić swoje własne ustawienia.

m-x	22.12
G95	M52
16.31	19.84
M75	
m-x	21.12
m-y	7.50





Rysunek 9.14: Okno dialogowe *Właściwości wyświetlania*: kategoria *Wyniki* – *Wartości wyników* – *Wartości wyników na powierzchniach*

### 9.4.3 Wartości wyników zdefiniowane przez użytkownika

#### Wartości rastru

Punkty rastru stanowią atrybut powierzchni, dlatego liczbę i rozmieszczenie punktów rastru można ustawić w zakładce *Raster* w oknie dialogowym *Edytować powierzchnię*. Przedstawianie wyników w tabeli opiera się na rastrze wynikowym dla powierzchni. W grafice mogą być wyświetlane obie wartości węzłów ES, jak również punktów rastru.

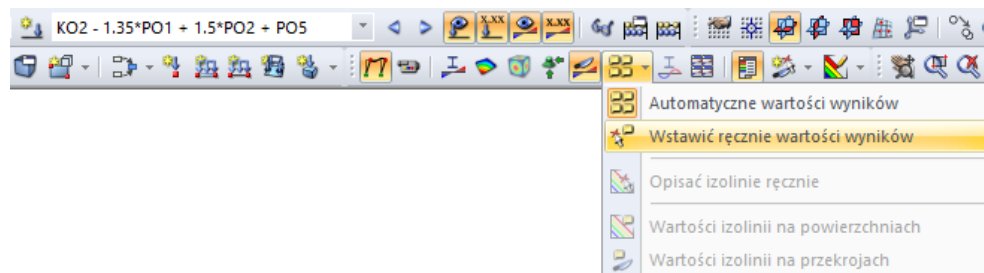
Więcej informacji na temat punktów rastru znajduje się w rozdziale 8.12 na stronie 328.

#### Wartości w grafice

W oknie roboczym można ustawić wartości wyników w dowolnym miejscu modelu. Jeżeli aktywne jest wyświetlanie wyników, dostęp do to funkcji można uzyskać w następujący sposób:

wybierając opcję **Wstawić ręcznie wartości wyników** w menu **Wyniki**

lub wykorzystać przycisk paska narzędzi, pokazany na lewym marginesie tej strony (zobacz Rysunek 9.15).

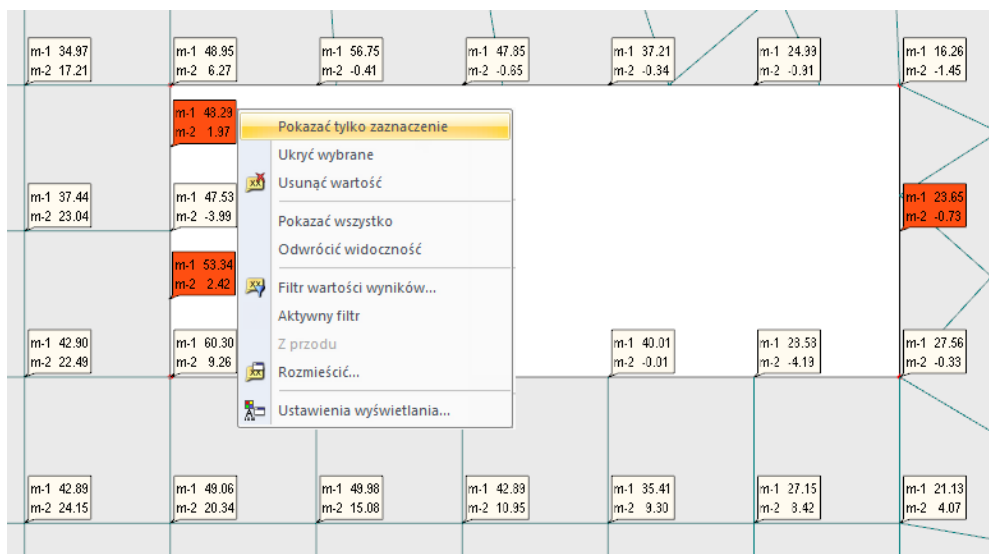


Rysunek 9.15: Funkcja *Wstawić ręcznie wartości wyników* w pasku narzędzi *Wyniki*

Po najechaniu kursorem myszy na powierzchnię, wartości wyników pojawiają się w miejscu najechania kursorem. Wartości wyników można umieścić w odpowiednich miejscach przy użyciu kliknięcia myszą.

Ręcznie wprowadzane wartości można łatwo usunąć. W tym celu należy wybrać wartość przez kliknięcie myszą, a następnie wcisnąć klawisz [Del] na klawiaturze. Aby dokonać wielokrotnego wyboru, należy przytrzymać wcisnięty klawisz [Ctrl] lub narysować okno przez wszystkie wartości, które mają zostać zaznaczone.

Aby uzyskać dostęp do menu kontekstowego wartości wyników, należy kliknąć prawym przyciskiem myszy jedną z wartości. Menu to zawiera określone funkcje wyświetlania i filtrowania dla oceny graficznej.



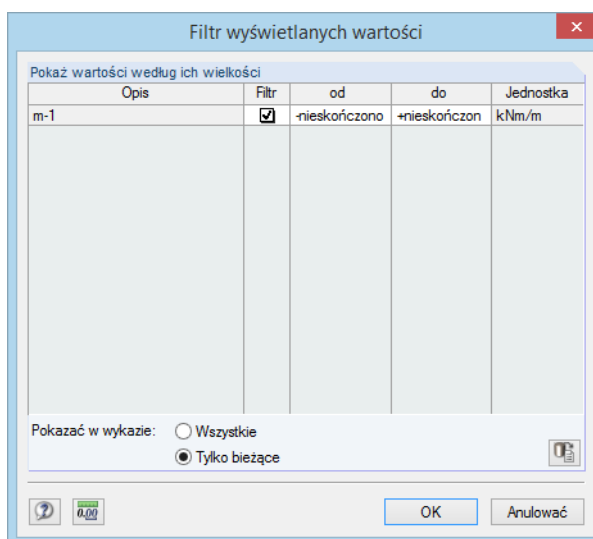
Rysunek 9.16: Menu kontekstowe wartości wyników



Przy użyciu funkcji menu kontekstowego *Filtr wartości wyników* (zobacz rysunek powyżej) można dokładnie zdefiniować, które wartości wyników zostaną wyświetlone. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,

należy wskazać **Opcje wyświetlania** w menu **Wyniki**,

gdzie można wybrać odpowiednią pozycję. Pojawi się następujące okno dialogowe do wprowadzania kryteriów filtrowania.



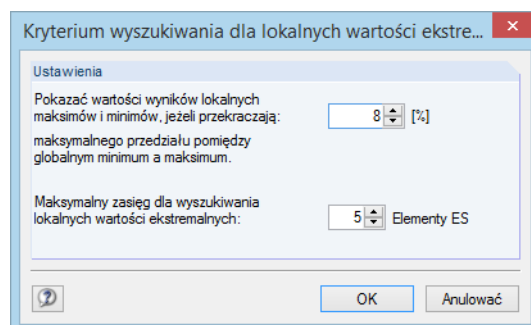
Rysunek 9.17: Okno dialogowe *Filtr wyświetlanych wartości*

Przy użyciu listy *Pokaż wartości według ich wielkości* można zdefiniować granice dla wartości wyników w kolumnach tabeli *Od* i *Do*. Wartości, które są poza tym zakresem nie będą przedstawiane w grafice.

### Kryteria wyszukiwania dla lokalnych wartości ekstremalnych

Kontrola przedstawiania graficznych wartości ekstremalnych dla powierzchni możliwa jest po wskazaniu **Opcje wyświetlania** w menu **Wyniki**, a następnie wybraniu opcji **Kryteria wyszukiwania dla lokalnych wartości ekstremalnych**

lub użyciu menu kontekstowego nawigatora *Wyniki* i kliknięcie wpisu *Ze wszystkich lokalnych wartości ekstremalnych*.



Rysunek 9.18: Okno dialogowe *Kryteria wyszukiwania dla lokalnych wartości ekstremalnych*

W pierwszym polu należy określić, w jakim procencie wartość wynikowa jest uznawana za lokalne maksimum. Różnica z globalnego maksimum i globalnego minimum wszystkich aktywnych powierzchni jest mnożona przez określoną wartość. Im niższy jest ten próg, tym więcej lokalnych wartości ekstremalnych zostanie wyświetlonych.

W drugim polu wprowadzania można określić, ile elementów skończonych będzie generowane wokół punktu, który zostanie użyty podczas analizy wartości ekstremalnych. Im wyższa będzie ta liczba, tym więcej lokalnych wartości ekstremalnych zostanie wyświetlonych.

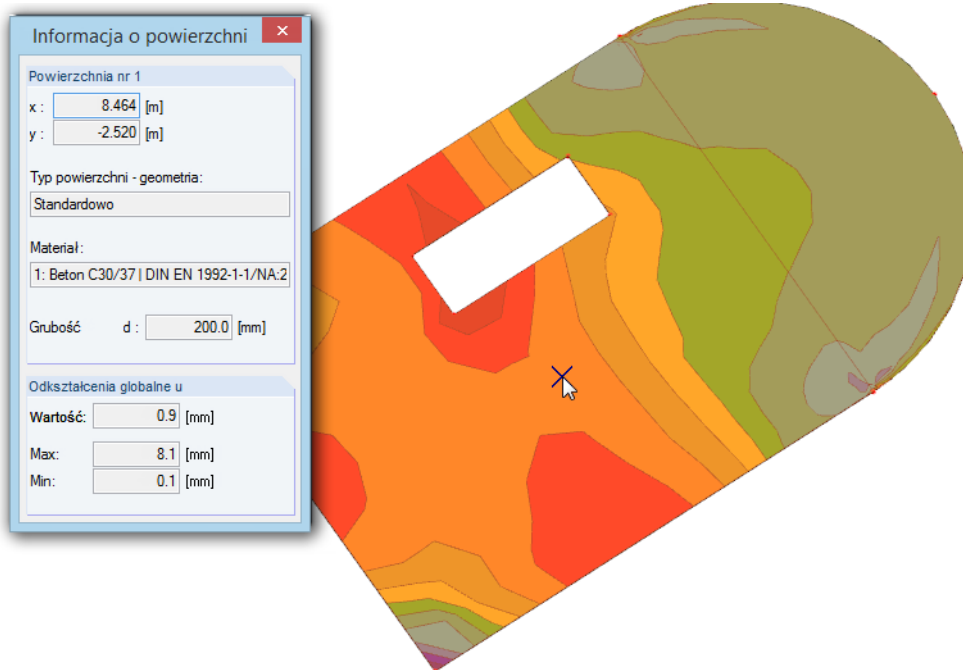
### 9.4.4 Informacje o obiekcie



Dla wyników prętów i powierzchni można wykorzystać specjalną funkcję przedstawiania wyników. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,

należy wybrać opcję **Informacje o obiekcie** w menu **Narzędzia**

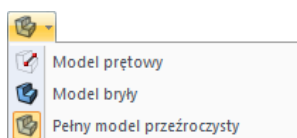
lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 9.19: Okno dialogowe *Informacja o powierzchni*

Pojawi się okno *Informacja*. Po najechaniu kursorem na powierzchnię, pręt lub bryłę, okno to podaje informacje na temat danych tych obiektów (materiał, grubość, przekrój itp.), jak i wartości odształceń, siły wewnętrzne i naprężenia w bieżącym położeniu kursora.

Do oceny wyników powierzchni zaleca się aktywować typ reprezentacji *Pełny model przezroczysty*.



## 9.5 Wykresy wyników

Wykres wyników pozwala zobaczyć szczegółowy rozkład wyników dla następujących obiektów:

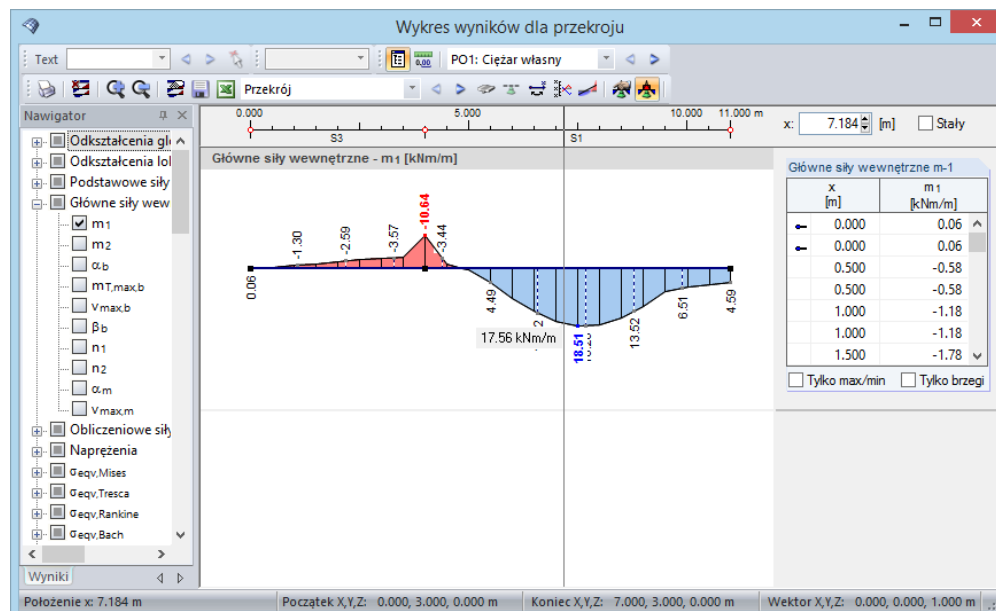
- Przekrój
- Pręt
- Zbiór prętów
- Linia
- Podpora liniowa

Na początku należy wybrać obiekt(y) w oknie roboczym (wielokrotny wybór poprzez przytrzymanie wciśniętego klawisza [Ctrl]). Aby otworzyć odpowiednie okno,

należy z menu **Wyniki** wybrać opcję **Wykresy wyników na wybranych przekrojach/prętach/zbiorach prętów/liniach/podporach liniowych**

lub skorzystać z menu kontekstowego odpowiedniego obiektu. W przypadku prętów i zbiorów prętów dodatkowo dostępny jest przycisk paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony.

Otworzy się nowe okno pokazujące wykresy wyników wybranego obiektu.



Rysunek 9.20: Okno dialogowe *Wykres wyników w przekroju*

Nawigator *Wyniki*, znajdujący się z lewej strony, zarządza deformacjami, siłami wewnętrznymi, naprężeniami, odkształceniami lub siłami podporowymi znajdującymi się na wykresie wyników. Przy użyciu listy na pasku narzędzi można wybrać konkretny przypadek obciążenia, kombinację obciążeń lub kombinację wyników.

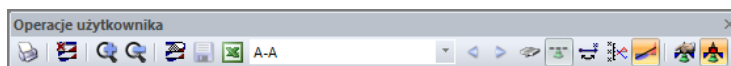
W lewym górnym rogu okna dla wykresów wyników dla prętów wymienione są numery wybranych prętów. Możliwe jest również ręczne wprowadzenie numerów prętów w polu wprowadzania *Pręty nr.* W ten sposób można rozszerzyć, ograniczyć lub całkowicie przeorganizować wybór.

Po najechaniu myszą na linię lub pręt wybrany na wykresie wyników, pojawią się "ruchome" wartości wyników dla bieżącego położenia  $x$ . Położenie  $x$  jest związane z początkiem linii lub pręta i jest wskazywane w prawym górnym rogu okna. Możliwe jest również ręczne wprowadzenie żądanego położenia  $x$  w polu wprowadzania. Pole *Stale* umieszcza wskaźnik we wskazanym położeniu.



W sekcji znajdującej się w prawej części okna, wartości wyników wyświetlane są numerycznie i stanowią wyniki na węzłach krawędziowych, jak również w położeniu wartości ekstremalnych i w punktach podziału. Ta ostatnia możliwość odpowiada węzłom siatki ES lub podziałom pręta zgodnie z wymaganiami określonymi w zakładce *Globalne parametry obliczeń* okna dialogowego *Parametry obliczeń* (zobacz Rysunek 7.22 na stronie 292). W przypadku linii oddzielającej dwie powierzchnie, okno to zawiera wyniki powierzchni po obu stronach.

Przyciski w pasku narzędzi *Operacje użytkownika*, w szczególności opcje wygładzania dla sił podporowych, linii lub przekrojów, pomagają ocenić wyniki wykorzystywane w budownictwie.



Rysunek 9.21: Pływający pasek narzędzi *Operacje użytkownika*

Przyciski te mają następujące znaczenie:















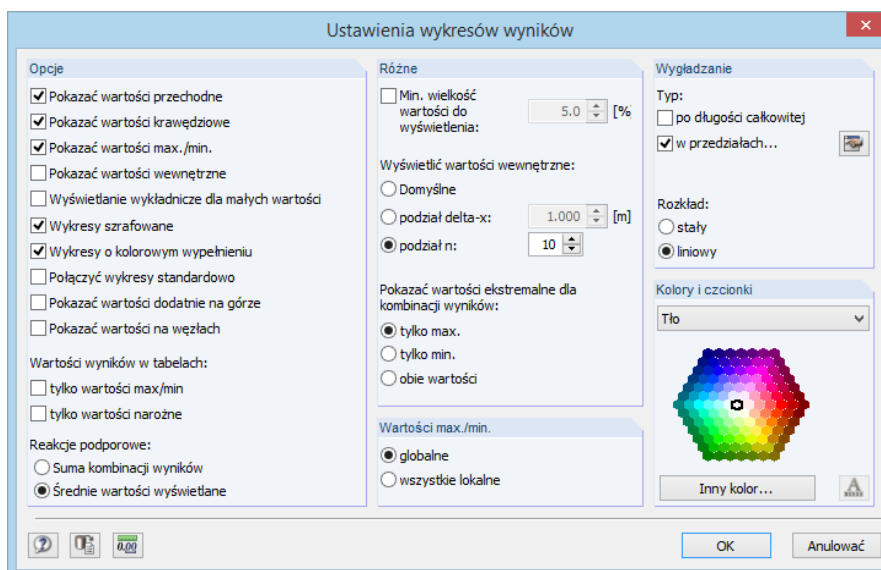
Przycisk	Funkcja
	Drukowanie wykresów wyników
	Usuwa wszystkie wyświetlane wykresy wyników
	Maksymalizuje wykresy wyników
	Minimalizuje wykresy wyników
	Dostęp do parametrów kontrolnych pokazanych na Rysunek 9.22
	Zapisuje wygładzone wykresy wyników
	Otwiera okno dialogowe <i>Eksportuj tabelę</i> (zobacz Rysunek 11.126 na stronie 523)
	Pokazuje wyniki prętów z lub bez elementów żebrowych
	Włącza i wyłącza wykres wyników powyżej obszaru słupa
	Odwraca kierunek x pręta
	Włącza i wyłącza rzędne z wartościami maksymalnymi
	Włącza i wyłącza wyświetlanie wartości średnich
	Otwiera okno dialogowe do definiowania zakresów wygładzania (zobacz Rysunek 9.36 na stronie 392)
	Włącza i wyłącza wyświetlanie zakresów wygładzania

Tabela 9.1: Przyciski paska narzędzi *Działania użytkownika*



Przy użyciu przycisku [Ustawienia wykresów wyników] otwiera się okno dialogowe oferujące różne możliwości dostosowywania okna *Wykres wyników*.

Rysunek 9.22: Okno dialogowe *Ustawienia wykresów wyników*

## 9.6 Przekroje

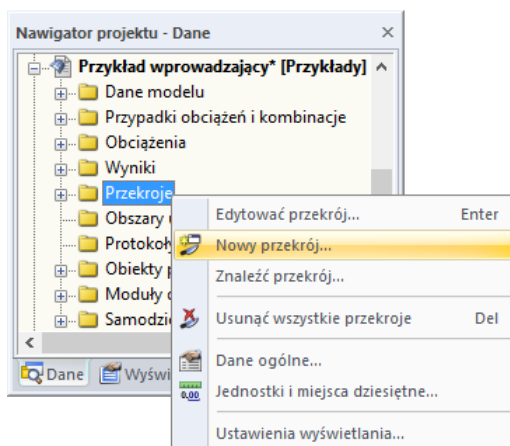
W programie RFEM można tworzyć przekroje zdefiniowane przez użytkownika, określając płaszczyznę przekroju przez model. Przy pomocy przekrojów można szczegółowo oceniać wyniki, które są dostępne na liniach płaszczyzn przecinających powierzchnie i bryły. Przekroje są zarządzane jako niezależne obiekty w zakładkach Navigatora projektu.



Aby wygenerować nowy przekrój,

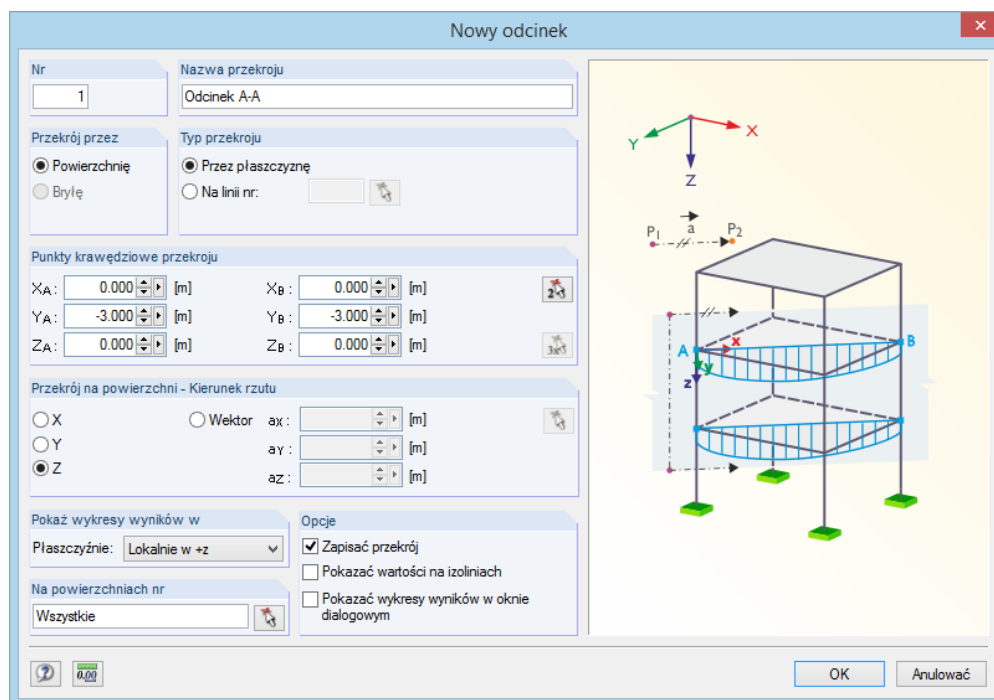
należy wybrać opcję **Przekrój** w menu **Wstawić**

lub wykorzystać odpowiednie menu kontekstowe w nawigatorze *Dane*.

Rysunek 9.23: Nawigator *Dane*: menu kontekstowe *Przekrojów*

Otworzy się okno dialogowe, w którym można określić parametry przekroju.

### 9.6.1 Przekrój przez powierzchnię



Rysunek 9.24: Okno dialogowe *Nowy odcinek* dla powierzchni

Oprócz *Nr* przekroju, należy wpisać *Nazwę przekroju*, która zapewni jednoznaczność oznaczenia podczas oceny wyników. Wszystkie przekroje są przechowywane w menu *Przekroje* w nawigatorze *Dane*, gdzie mogą być później dostosowane do potrzeb bieżącego projektu. Wprowadzanie numeru i nazwy jest konieczne, jeśli pole wyboru *Zapisać przekrój* jest odznaczone w sekcji okna dialogowego *Opcje*.

Podczas tworzenia *Przekroju przez powierzchnię* można zobaczyć parametry specyficzne dla powierzchni, wyświetlane w sekcji okna dialogowego *Typ przekroju* oraz *Kierunek rzutu*, jak również w powiązanej grafice po prawej stronie.



*Typ przekroju* może być utworzony jako *Płaszczyzna* przecinająca konstrukcję. Alternatywnie można dokonać przecięcia przekroju wzdłuż dowolnej *linii* w modelu. Numer linii można wpisać ręcznie lub określić za pomocą funkcji [^] w oknie roboczym.



*Punkty krawędziowe przekroju* muszą być określone przez globalne współrzędne XYZ obu punktów A i B. Można także wybrać je graficznie przy użyciu funkcji [^]. Aby wybrać wolne punkty (co oznacza brak węzłów) w płaszczyźnie roboczej, należy dostosować bieżącą płaszczyznę roboczą, tam gdzie jest to konieczne.

"Wrysowane" są dwie linie proste w kierunku rzutu od punktu A i B. Jeśli linie te przecinają powierzchnię zawartą na liście *Na powierzchniach nr*, na linii łączącej oba punkty przecięcia zostanie wyświetlony wykres wyników. W przypadku, gdy kilka powierzchni jest przecinanych przez płaszczyznę rzutu, dla każdej z tych powierzchni zostaną wyświetlone wykresy wyników.



Oprócz globalnych *Kierunków rzutu* w X, Y i Z, można zdefiniować wektor. Funkcja [^] pozwala wybrać dwa punkty w oknie roboczym, potrzebne do zdefiniowania wektora.

Sekcja okna dialogowego *Pokaż wykres wyników w płaszczyźnie* definiuje płaszczyznę powierzchni, w której będzie przedstawiony przekrój. Ustawienie to wpływa tylko na okno robocze (zobacz Rysunek 9.27 na stronie 386), ale nie na okno dialogowe *Wykres wyników* (Rysunek 9.25).

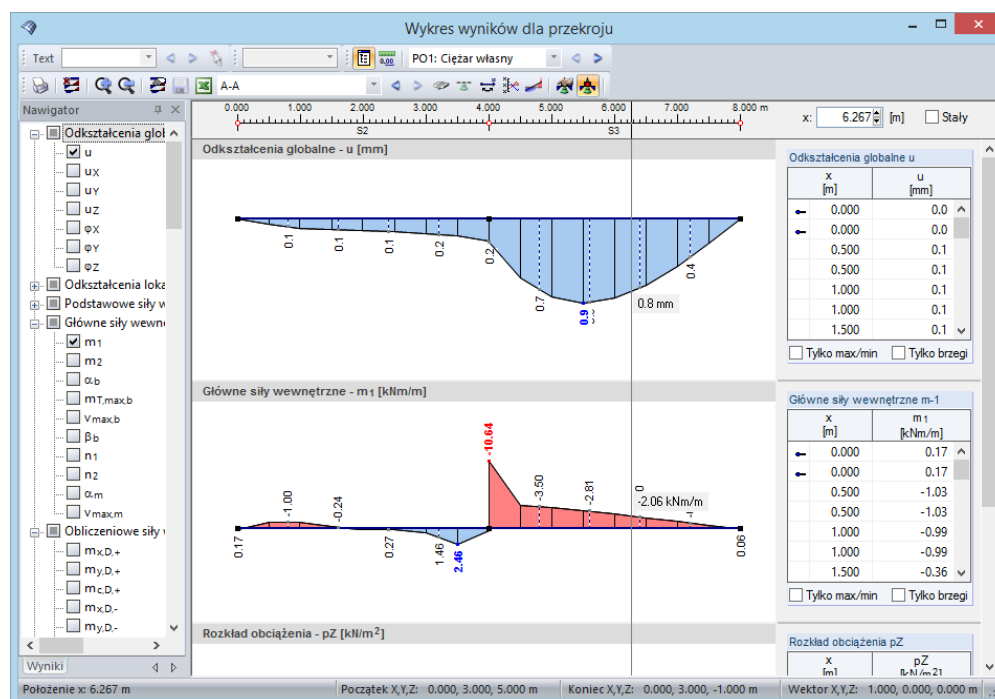




Sekcja okna dialogowego *Na powierzchniach nr* zawiera numery powierzchni, na których są wyświetlane linie tnące. Opcja ta jest przydatna, gdy płaszczyzna przekroju przecina kilka powierzchni. Odpowiednie powierzchnie można wybrać również graficznie za pomocą funkcji [^].

Przy użyciu trzech pól wyboru w sekcji okna dialogowego *Opcje* można zdecydować, czy wykresy wyników będą wyświetlane jako okno dialogowe (zobacz Rysunek 9.25), po kliknięciu przycisku [OK] oraz czy *przekrój* zostanie zapisany. Po zaznaczeniu pola wyboru *Pokaż wartości na izoliniach*, izoliniom w oknie roboczym zostaną automatycznie przydzielone wartości.

Po zakończeniu wprowadzania w oknie roboczym, należy kliknąć przycisk [OK]. Zazwyczaj pojawia się wtedy okno dialogowe *Wykres wyników* (zobacz na poniższym rysunku).



Rysunek 9.25: Okno dialogowe *Wykres wyników dla przekroju*

Podczas przesuwania myszy nad wykresem wzdłuż przekroju, można zobaczyć "ruchome" wartości wyników dla bieżącego położenia  $x$ . Położenie  $x$  jest związane z początkiem przekroju i wskazywane w prawym górnym rogu okna. Możliwe jest również wprowadzenie wartości  $x$  ręcznie w polu wprowadzania. Pole *Stały* przypina wskaźnik we wskazywanym miejscu.

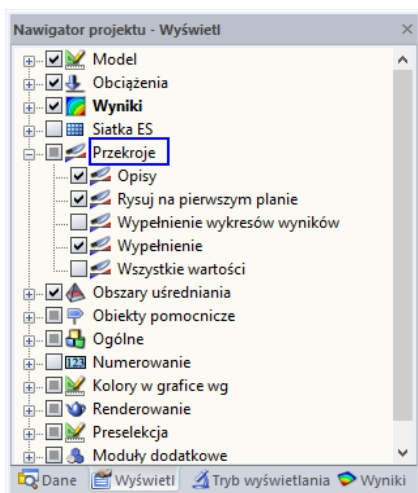
Przy użyciu listy z paska narzędzi można przełączać się pomiędzy poszczególnymi przekrojami.

Przyciski w oknie dialogowym *Wykres wyników* są opisane w rozdziale 9.5 na stronie 382.

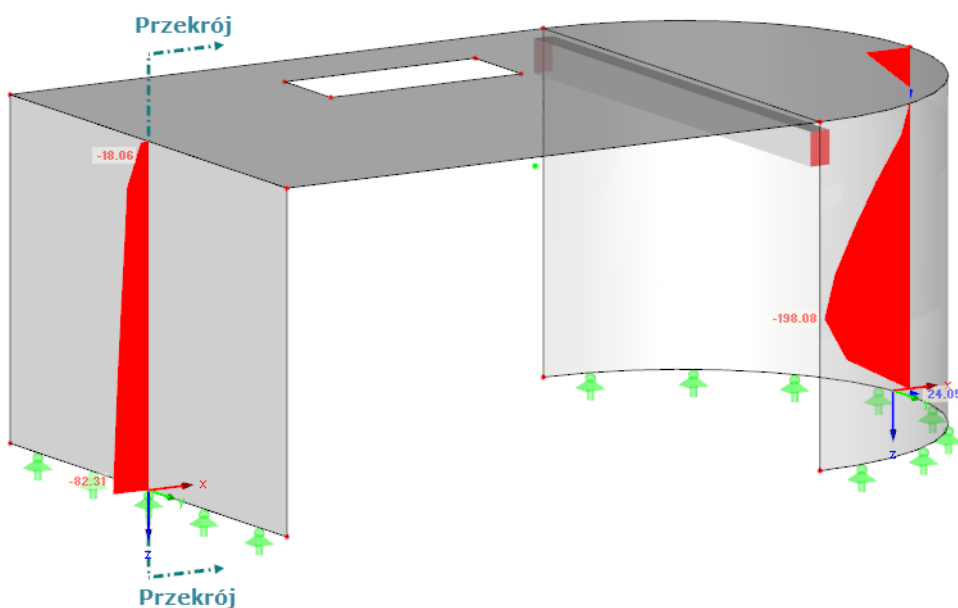


Przy użyciu przycisku pokazanego po lewym marginesie tej strony można włączać i wyłączać przekroje w oknie roboczym. W tym samym celu można również użyć nawigatora *Wyniki*, który dodatkowo pozwala wybrać konkretne przekroje spośród tych, które zostały zapisane.

Nawigator *Wyświetl* oferuje globalne opcje ustawień dla wyświetlania przekrojów.

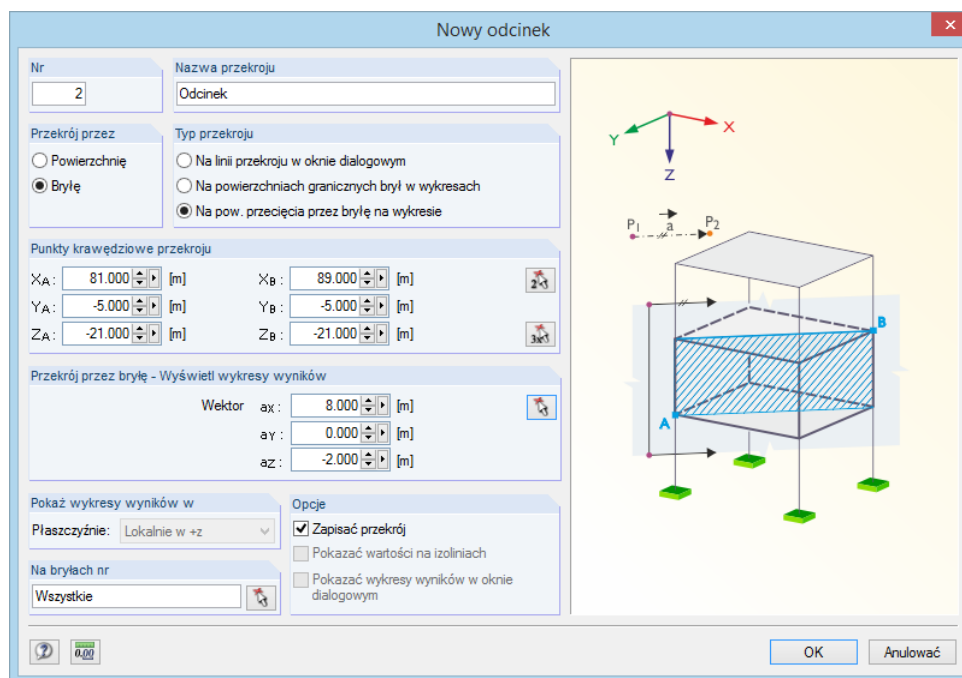
Rysunek 9.26: Nawigator *Wyświetl* do wyświetlania przekrojów

Poniższy rysunek przedstawia przekrój przez płaszczyznę oraz przez powierzchnię zakrzywioną, z których obie są przecinane przez płaszczyznę przekroju. Podczas tego wyświetlania graficznego musi być zaznaczona opcja *Przekroju Wypełnienie wykresów wyników* w nawigаторze *Wyświetl*.



Rysunek 9.27: Wyświetlanie przekroju z siłami osiowymi n-2 na modelu programu RFEM

## 9.6.2 Przekrój przez bryłę



Rysunek 9.28: Okno dialogowe *Nowy przekrój* dla bryły

Podobnie jak w przypadku przekrojów przez powierzchnie, należy wprowadzić tutaj *Nr* i *Nazwę przekroju*, jeżeli *przekrój* ma zostać *Zapisany* (zobacz w sekcji okna dialogowego *Opcje*).

Podczas tworzenia *Przekroju przez bryłę* można zobaczyć parametry specyficzne dla bryły, wyświetlane w sekcji okna dialogowego *Typ przekroju* oraz *Wyświetl wykresy wyników*, jak również w powiązanej grafice po prawej stronie.

Kiedy przekrój przecina bryłę, możliwe jest wygenerowanie *linii przekroju* przebiegającej przez ten obiekt. Wyniki w tym przypadku będą wyświetlane jak dla powierzchni w oknie *Wykres wyników* (zobacz Rysunek 9.25 na stronie 385). Alternatywnie, wyniki można przedstawić w oknie roboczym na *powierzchniach granicznych* bryły przeciętej przez płaszczyznę. Opcja *Na powierzchniach przecięcia przez bryłę na wykresie* przedstawia wyniki bezpośrednio w płaszczyźnie przekroju.



*Punkty krawędziowe przekroju* muszą być wprowadzone w sposób opisany dla powierzchni, ale można wybrać je również w sposób graficzny.

"Wrysowywane" są dwie linie proste w kierunku *Wektora* od punktu A do B. Jeśli linie te przecinają powierzchnię zawartą na liście *Na bryłach nr*, na linii łączącej oba punkty przecięcia zostanie wyświetlony wykres wyników. Wykres ten może być wyświetlony odpowiednio jako płaszczyzna przecięcia pomiędzy tymi liniami prostymi. W przypadku, gdy kilka brył jest przecinanych przez płaszczyznę rzutu, dla każdej z tych brył zostaną wyświetlone wykresy wyników.



*Wektor* określa kierunek rzutu przekroju. Dodatkowo można również wykorzystać funkcję [↖] do zdefiniowania wektora poprzez graficzny wybór dwóch punktów w oknie roboczym.

## 9.7 Wygładzanie wyników

Analiza ES określa wyniki dla każdego węzła siatki ES. Zazwyczaj, podczas wyświetlania graficznego wybierany jest ciągły rozkład sił wewnętrznych lub odkształceń. W tym celu należy wygładzić wyniki, na przykład przez interpolację.

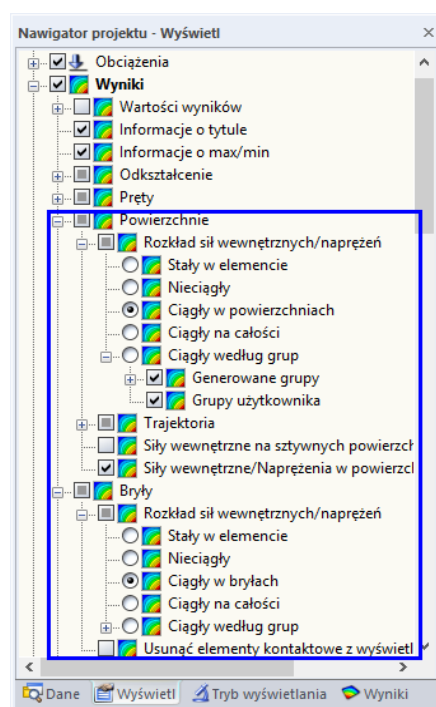
Do wygładzania powierzchni i brył dostępne są następujące opcje:

- Stały w elemencie
- Nieciągły
- Ciągły w powierzchniach/bryłach
- Ciągły na całości
- Ciągły wg grup

Dodatkowo można określić zakresy uśredniania wartości dla wykresów wyników (zobacz Rysunek 9.36 na stronie 392).

### 9.7.1 Okno robocze

Nawigator *Wyświetl* pozwala kontrolować wygładzanie wyników, wpływające na okno robocze.

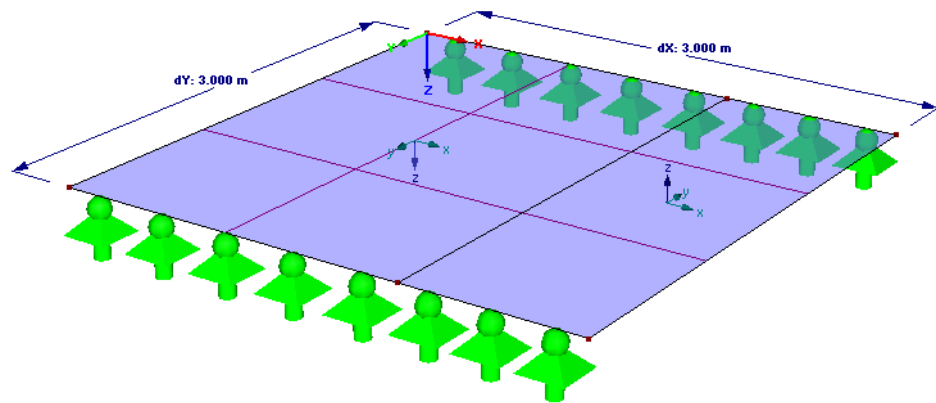


Rysunek 9.29: Nawigator *Wyświetl*: Wyniki → Powierzchnie lub Bryły → Rozkład sił wewnętrznych/naprężeń

### Przykład

Przykład pokazuje wpływ użycia różnych opcji wygładzania.

Stalowa płyta o wymiarach 3 m · 3 m i grubości wynoszącej 3 cm jest wsparta na dwóch liniach przy użyciu podpór przegubowych ustawionych naprzeciwko siebie. Płyta nie jest modelowana przez jedną powierzchnię, ale przez dwie powierzchnie o takich samych parametrach leżące obok siebie. Lokalne osie z obu powierzchni są zorientowane w przeciwnych kierunkach.

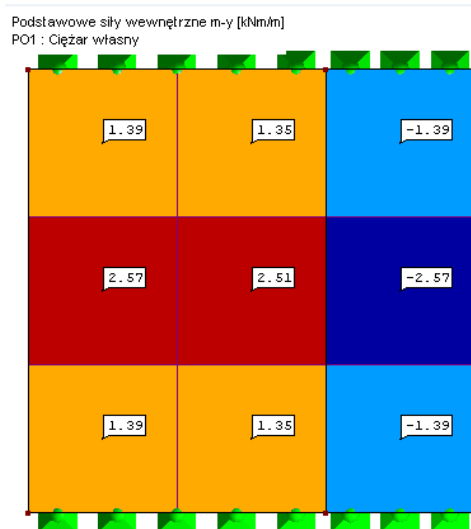


Rysunek 9.30: Stalowa płyta – modelowana przez dwie powierzchnie

Długość ES wynosi 1 m. Oczywiście jest, że wielkość elementu nie da odpowiednich wyników. Jest ona używana tylko do pokazania reprezentacji wyników w różnych trybach wygładzania.

Stalowa powierzchnia jest obciążona jedynie swoim ciężarem własnym.

### Rozkład sił wewnętrznych *Stal* w elemencie

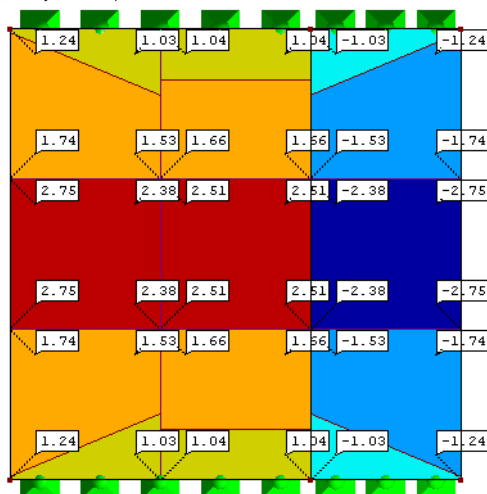


Rysunek 9.31: Rozkład sił wewnętrznych *Stal* w elemencie (nawigator Wyświetl), wartości *W* punktach siatki ES (nawigator Wyniki)

Wartości w węzłach ES są uśredniane, a wynik jest wyświetlany w środku elementów. Rozkład w każdym elemencie skończonym jest stały. Ten typ wyświetlania wyników zalecany jest dla plastycznych modeli materiałowych (zobacz rozdział 4.3 na stronie 65).

### Rozkład sił wewnętrznych *Nieciągły*

Podstawowe siły wewnętrzne m-y [kNm/m]  
PO1 : Ciężar własny



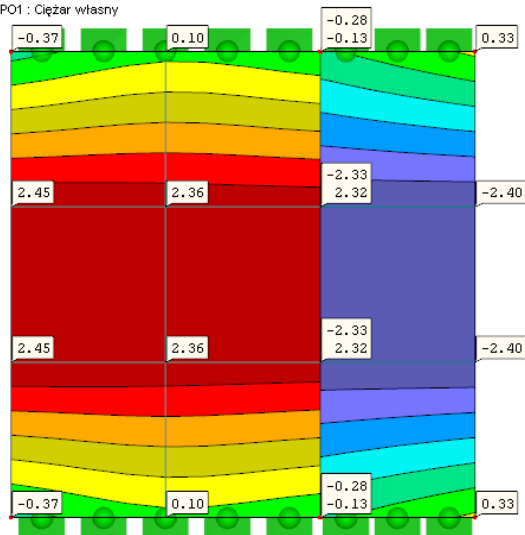
Rysunek 9.32: Rozkład sił wewnętrznych *Nieciągły*, wartości *W* punktach siatki ES

Ten sposób wyświetlania pokazuje wartości węzłów ES wynikające z przemieszczeń i obrotów każdego pojedynczego elementu. Z tego powodu dla każdego węzła ES wyświetlanych jest kilka wartości. Linia przerywana na wartości węzła wskazuje element, do którego należy ta wartość.

Podczas wyświetlania graficznego, płaszczyzna jest określana przez wartości naroży każdego elementu. Ponieważ wyniki sąsiadnych elementów nie są brane pod uwagę, wyświetlany rozkład nie jest ciągły.

### Rozkład sił wewnętrznych *Ciągły w powierzchniach/bryłach*

Podstawowe siły wewnętrzne m-y [kNm/m]  
PO1 : Ciężar własny



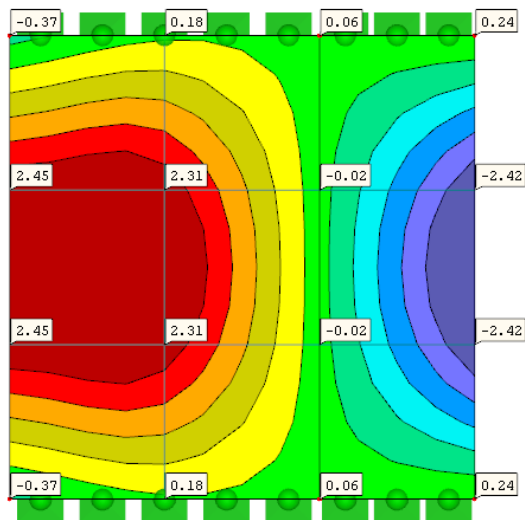
Rysunek 9.33: Rozkład sił wewnętrznych *Ciągły w powierzchniach*, wartości *W* punktach siatki ES

Wartości w węzłach ES są uśredniane. Uśrednianie zatrzymuje się na granicy powierzchni, co może prowadzić do nieciągłości pomiędzy sąsiednimi powierzchniami. Jednakże, jest to całkowicie poprawne w naszym przykładzie. Na linii granicznej są wyświetlane dwie wartości węzłów ES.

Ta opcja wygładzania jest ustawiona domyślnie, ponieważ w większości przypadków zapewnia najlepsze wyniki.

### Rozkład sił wewnętrznych *Ciągły na całości*

Podstawowe siły wewnętrzne m-y [kNm/m]  
 PO1 : Ciężar własny



Rysunek 9.34: Rozkład sił wewnętrznych *Ciągły na całości*, wartości *W* punktach siatki *ES*

Wartości średnie są określane przy uwzględnieniu wartości *ES* poza granicami powierzchni. Prowadzi to do ciągłego rozkładu pomiędzy przylegającymi powierzchniami, co nie jest poprawne w naszym przykładzie.



Aby poprawnie zastosować to wyświetlanie wyników, muszą być spełnione następujące warunki:

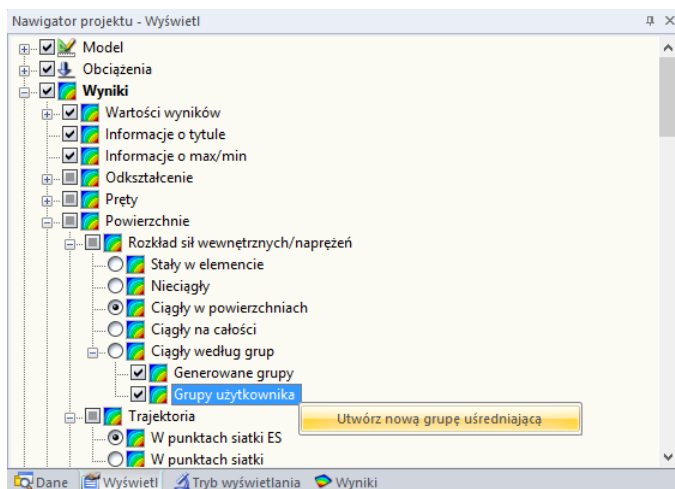
- Orientacja lokalnych układów osi powierzchni musi być zgodna.
- Uwzględniane są tylko dwie powierzchnie.
- Powierzchnie leżą w jednej płaszczyźnie.
- Na linii granicznej nie zostało określone żadne zwolnienie liniowe.

Jeżeli chociaż jeden z tych warunków nie zostanie spełniony, zostanie wyświetlony nieprawidłowy rozkład wyników.

### Rozkład sił wewnętrznych *Ciągły według grup*

Dodatkowo możliwe jest wygładzanie wyników według grup. RFEM zapewnia *Generowanie grup* o podobnych właściwościach materiałowych.

Ponadto możliwe jest tworzenie definiowanych przez użytkownika grup powierzchni lub brył poprzez użycie menu kontekstowego nawigatora (prawy przycisk myszy na *Grupy użytkownika*).



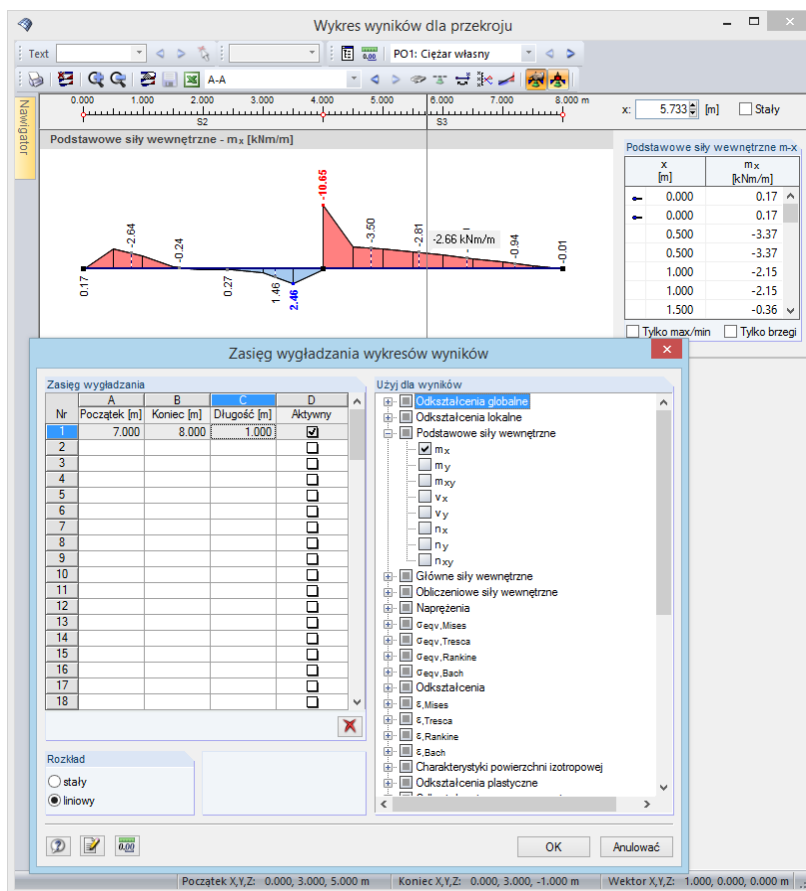
Rysunek 9.35: Utworzyć nową grupę uśredniającą poprzez menu kontekstowe navigatora

Następnie otwiera się okno dialogowe, w którym można zdefiniować obiekty, które będą analizowane jako grupa.

### 9.7.2 Wykresy wyników



W oknie dialogowym *Wykres wyników* (zobacz rozdział 9.5 na stronie 381) można utworzyć zakresy wygładzania wartości, aby przygotować wyniki dla celów budownictwa. Aby użyć tej funkcji, należy kliknąć przycisk na pasku narzędzi wykresu pokazany na lewym marginesie tej strony. Otworzy się następujące okno dialogowe:



Rysunek 9.36: Okno dialogowe *Zasięg wygładzania wykresów wyników*



W kolumnach tabeli po lewej stronie, określa się *Zasięg wygładzania*. Należy zauważyć, że wpisy dla *Początku*, *Końca* oraz *Długości* są interaktywne. Każdy zakres można oddzielnie ustawić jako *Aktywne*. W sekcji okna dialogowego *Użyć dla wyników*, znajdującej się po prawej stronie, można zdecydować, dla których deformacji, sił wewnętrznych, naprężeń lub odkształceń zostanie zastosowane wygładzanie.

Wygładzanie może być zdefiniowane jako rozkład *Stały* (jak zostało to pokazane na powyższym rysunku) lub *Liniowy* dla wszystkich zakresów uśredniania wartości.

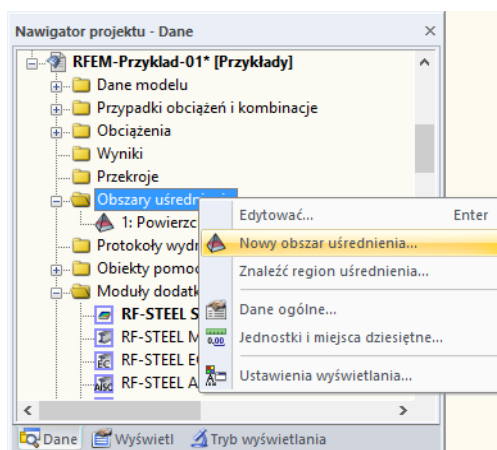
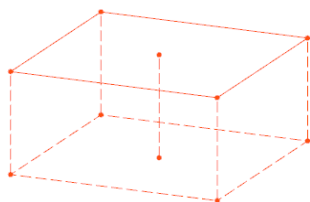
### 9.7.3 Obszary uśredniania

W modelu możliwe jest zdefiniowanie strefy, gdzie wyniki graficzne nie będą wyświetlane z rzeczywistym rozkładem, ale jako wartość średnia. Obszary uśredniania stanowią inną możliwość oceny sił wewnętrznych oraz naprężeń powierzchni. Strefy są zarządzane jako niezależne obiekty w zakładkach Nawigatora projektu.

Aby utworzyć obszar pośredni,

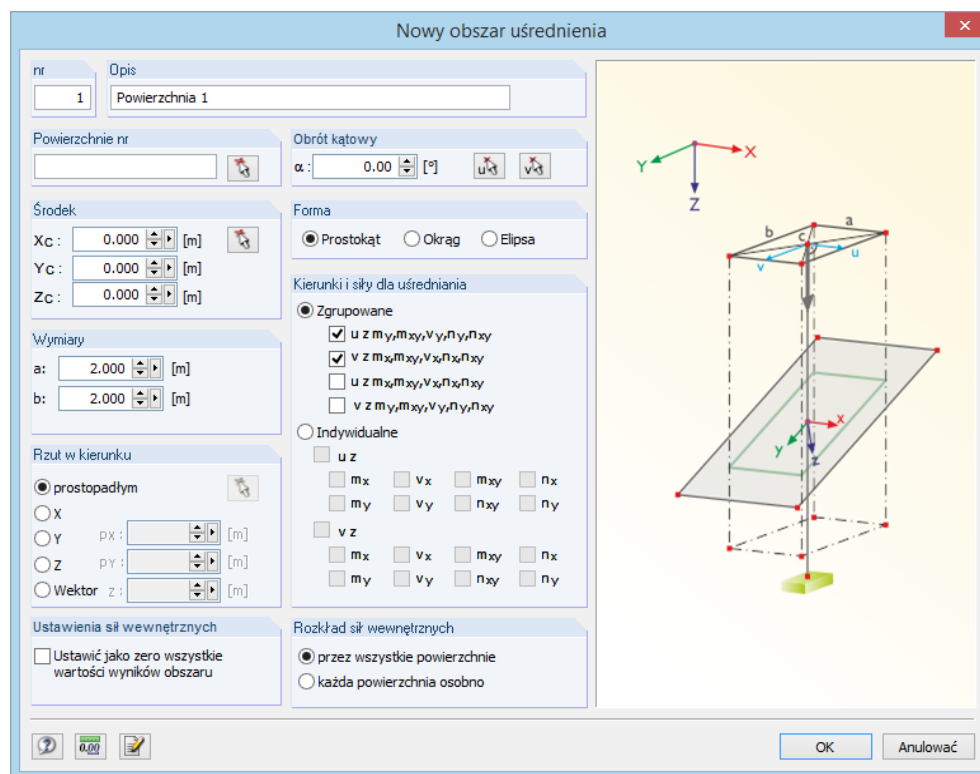
należy wybrać opcję **Nowy obszar uśredniania** w menu **Wyniki**

lub wykorzystać odpowiednie menu kontekstowe w nawigatorze *Dane*.



Rysunek 9.37: Nawigator *Dane*: menu kontekstowe *Obszary uśredniania*

Otworzy się okno dialogowe, w którym można określić parametry strefy.



Rysunek 9.38: Okno dialogowe *Nowy region dla wyników uśrednionych*

Oprócz *Nr*, należy wprowadzić *Opis regionu*, ułatwiający wybór podczas oceny wyników. Regiony są przechowywane pod wpisem *Obszary uśrednienia* w nawigаторze *Dane*, gdzie mogą być później dostosowywane.



Sekcja okna dialogowego *Na powierzchniach nr* wyświetla numery powierzchni, których wyniki zostaną uśrednione. Opcja ta jest przydatna, jeśli rzut strefy przecina kilka powierzchni. Odpowiednie powierzchnie można wybrać również graficznie przy użyciu funkcji [↵].

*Formę* regionu można określić jako prostokąt, okrąg lub elipsę. Odpowiednie parametry są pokazane graficznie w prawej części okna dialogowego.

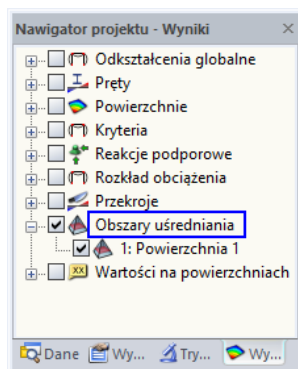
W sekcji okna dialogowego *Środek* określa się centralny punkt strefy. Współrzędne te można wprowadzić ręcznie lub wybrać graficznie w oknie roboczym przy użyciu funkcji [↵]. *Wymiary* opisują kształt regionu poprzez parametry, które są zależne od *Formy*.

W sekcji okna dialogowego *Kierunki i siły dla uśrednienia* w można zdecydować, czy wyniki uśrednione będą się odnosić do obu osi powierzchni lub czy uśrednianie będzie odnosić się tylko do jednej z osi lokalnych.

Sekcja okna dialogowego *Rzut w kierunku* opisuje odniesienie definiowanej strefy do powierzchni. Ogólnie, rzut jest ustawiany prostopadłe do wybranych powierzchni, ale dozwolone są również globalne kierunki rzutu w X, Y i Z, jak również wprowadzanie dowolnych kierunków wektorów. Przy użyciu funkcji [↵] można wybrać dwa punkty w oknie roboczym, w celu zdefiniowania wektora.

Oprócz tego opisywane okno dialogowe zapewnia możliwość wybrania opcji *Ustawić jako zero wszystkie wartości wyników obszaru*. W ten sposób można wyłączyć wartości wyników w wybranym obszarze modelu.

W nawigаторze *Wyniki* można indywidualnie lub globalnie wyświetlać i ukrywać strefy uśredniania.



Kontrola stref w nawigаторze *Wyniki*

## 9.8 Wyświetlanie wielu okien

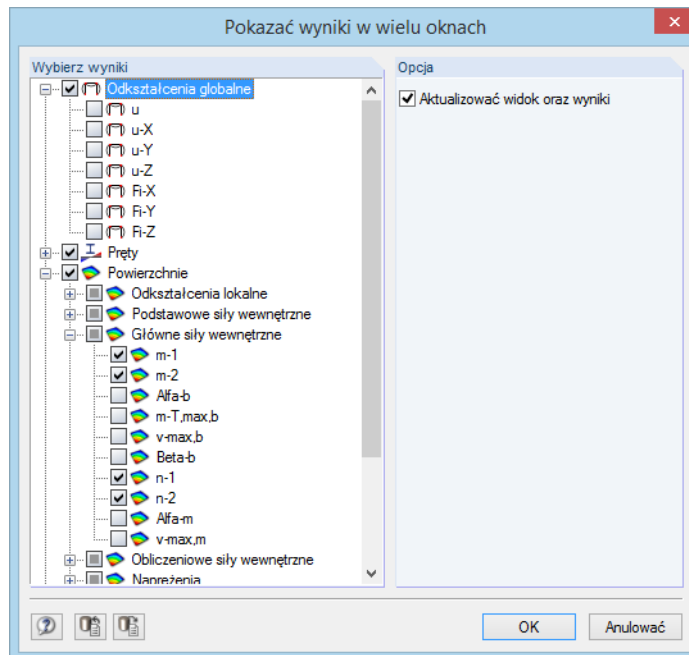
Na ekranie można wyświetlać razem kilka okien z różnymi odkształceniami lub siłami wewnętrznymi. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,



należy wybrać opcję **Ułożyć okna wyników** w menu **Wyniki**

lub skorzystać z paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony.

Otworzy się okno dialogowe, które pokazuje drzewo nawigatora, gdzie można zaznaczyć odpowiednie typy wyników.



Rysunek 9.39: Okno dialogowe *Pokaż wyniki w wielu oknach*

Widok wielu okien może być również stosowany podczas wydruku (zobacz rozdział 10.2.1 na stronie 432).

## 9.9 Filtr wyników

W programie dostępne są różne funkcje filtrowania, które są szczególnie przydatne podczas oceny i dokumentowania wyników w przypadku złożonych układów konstrukcyjnych.

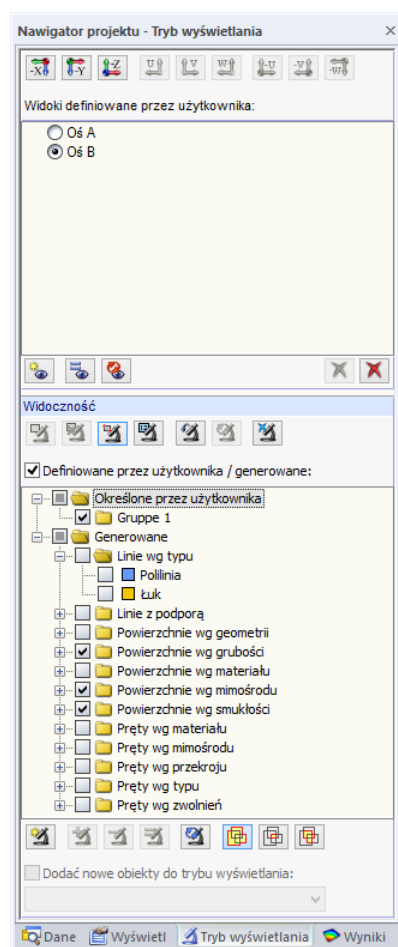
### 9.9.1 Widoki

Zdefiniowane przez użytkownika widoki (kąty widzenia, ustawienia zoom, itp.) ułatwiają ocenę wyników. Za pomocą "widoczności" można podzielić model na zdefiniowane przez użytkownika i generowane widoki szczegółowe, spełniające określone kryteria. Dzięki temu możliwe jest, na przykład, aktywowanie wyświetlania tylko powierzchni płaszczyzny lub prętów o szczególnym typie przekroju. Oczywiście z możliwości tych można korzystać zarówno podczas oceny jak i wprowadzenia modelu lub obciążeń.

Dostęp do poszczególnych funkcji można uzyskać w osobnym **nawigatorze** (zob. rozdział 9.9.1.1) oraz przy użyciu **przycisków listy** lub **funkcji menu** (zob. rozdział 9.9.1.2).

#### 9.9.1.1 Nawigator widoki

Zakładka *Tryb wyświetlania* w *Nawigatorze projektu* pozwala tworzyć zdefiniowane przez użytkownika widoki modelu, które można wykorzystać do wprowadzania danych oraz oceny wyników. Zakładka ta zarządza także widocznościami, które są definiowane przez użytkownika i utworzone automatycznie.



Rysunek 9.40: Zakładka *Tryb wyświetlania* Nawigatora projektu

### Widoki definiowane przez użytkownika

W przeciwieństwie do *Widoczności*, które skupiają się na obiektach (zobacz poniżej), *Widoki definiowane przez użytkownika* pozwalają zapisywać i importować szczególne kąty widzenia, widoki przybliżone oraz ustawienia w nawigatorze *Wyświetl*.

Aktualnie ustawiony widok zostanie zapisany jako ustawienie wyświetlania - bez względu na to, jakie specyfikacje filtra są efektywne na liście *Widoczność*. Program RFEM zawsze wykorzystuje aktualne ustawienia widoczności do przedstawienia obiektu w *Widoku definiowanym przez użytkownika*. Widok zdefiniowany przez użytkownika zarządza jedynie kątem widzenia, współczynnikiem powiększenia oraz specyfikacjami określonymi w nawigatorze *Wyświetl*.

Przy użyciu przycisków [Widok] można szybko ustawić następujące standardowe kąty widzenia:










	Widok w odwróconym kierunku X
	Widok w odwróconym kierunku Y
	Widok w odwróconym kierunku Z
 	Widok w kierunku lub na oś U płaszczyzny roboczej (zobacz rozdział 11.3.1 na stronie 461)
 	Widok w kierunku lub na oś V płaszczyzny roboczej
 	Widok w kierunku lub na oś W płaszczyzny roboczej

Tabela 9.2: Przyciski [Widok]

Przyciski poniżej listy *Widoki* posiadają następujące funkcje:






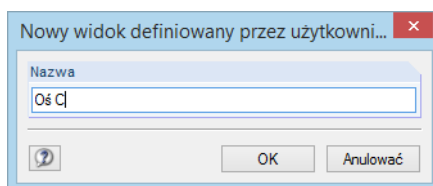
	Tworzy nowy <i>Widok definiowany przez użytkownika</i> z bieżącego widoku (Rysunek 9.41)
	Redefiniuje aktywny <i>Widok definiowany przez użytkownika</i> na podstawie aktualnego widoku
	Przywraca aktywny <i>Widok definiowany przez użytkownika</i> po modyfikacjach
	Usuwa pozycję wybraną na liście <i>Widoki definiowane przez użytkownika</i>
	Usuwa wszystkie <i>Widoki definiowane przez użytkownika</i>

Tabela 9.3: Przyciski w sekcji okna dialogowego *Widoki definiowane przez użytkownika*

### Tworzenie widoków definiowanych przez użytkownika

Aktualnie ustawiony widok może być zapisany przy użyciu przycisku [Nowy], pokazanego na lewym marginesie tej strony. Pojawi się okno dialogowe, w którym należy wpisać *Nazwę* nowego ustawienia wyświetlania.



Rysunek 9.41: Okno dialogowe *Nowy widok definiowany przez użytkownika*

## Widoczności

Przy użyciu tak zwanych "widoczności" możliwe jest wyświetlenie widoków szczegółowych modelu lub grupy obiektów.

### Przyciski dla widoczności

Przyciski powyżej listy *Widoczności* (zobacz Rysunek 9.40 na stronie 396) pozwalają wybrać obiekty dla wyświetlenia przy uwzględnieniu wybranych kryteriów. Posiadają one następujące funkcje:








	Wyświetla obiekty wybrane w oknie roboczym jako widok szczegółowy
	Ukrywa obiekty wybrane w oknie roboczym
	Tworzy widoczność poprzez narysowanie okna (zobacz na stronie 400)
	Definiuje nową widoczność przy użyciu numerów obiektów (zobacz na stronie 400)
	Przywraca poprzednią widoczność
	Odwraca aktualny widok (nowa widoczność: obiekty ukryte)
	Zamyka tryb widoczności. Wszystkie obiekty są ponownie wyświetlane.

Tabela 9.4: Przyciski powyżej listy *Widoczności*

Lista *Widoczności* zawiera zdefiniowane przez użytkownika oraz wygenerowane widoczności.

### Widoczności definiowane przez użytkownika

Widoczności można tworzyć przy użyciu graficznego lub numerycznego wyboru obiektów (zobacz rozdział 11.2 na stronie 457).

Przy użyciu przycisku [Utworzyć nowy tryb wyświetlenia zdefiniowany przez użytkownika] (poniżej listy widoczności) można zapisać bieżący widok szczegółowy. Otworzy się okno dialogowe *Nowy tryb wyświetlania definiowany przez użytkownika*, w którym można zdefiniować nazwę oraz *Grupę* (zobacz Rysunek 9.45 na stronie 401).

Przyciski poniżej listy *Widoczności* posiadają następujące funkcje:









	Otwiera okno dialogowe <i>Nowy tryb wyświetlania definiowany przez użytkownika</i> (zobacz Rysunek 9.45 na stronie 401).
	Dodaje obiekty wybrane w oknie roboczym do grupy zaznaczonej na liście powyżej (zobacz na stronie 401)
	Usuwa obiekty wybrane w oknie roboczym z grupy zaznaczonej na liście powyżej (zobacz na stronie 401)
	Ponownie przypisuje wybrane obiekty do grupy zaznaczonej powyżej
	Odwraca aktualny widok (nowa widoczność: obiekty ukryte)
	Pokazuje wszystkie obiekty aktywowane na liście <i>Widoczności</i>
	Pokazuje tylko obiekty dostępne w każdym aktywnym wpisie <i>Widoczności</i>
	Pokazuje tylko obiekty dostępne w każdej aktywnej <i>Grupie</i>

Tabela 9.5: Przyciski poniżej listy *Widoczności*



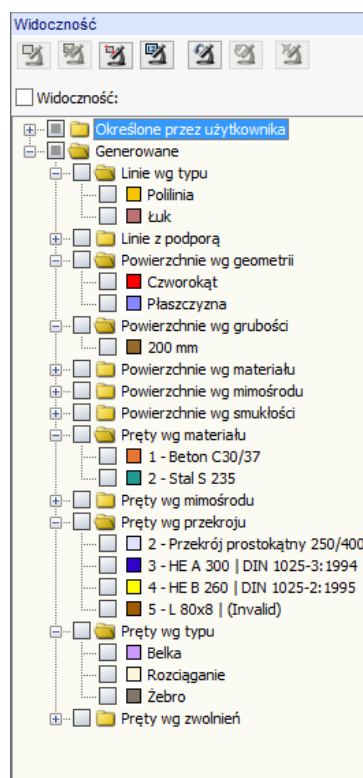
Przy użyciu pola wyboru *Dodać nowe obiekty do trybu wyświetlenia* można zdecydować, jak będą traktowane nowe węzły, linie, pręty itp., podczas pracy z widocznością zdefiniowaną przez użytkownika. Jeżeli opcja jest zaznaczona, na liście poniżej można określić odpowiednią grupę.



Kolorowy symbol jest automatycznie przydzielany do każdej widoczności zdefiniowanej przez użytkownika. Kolory mogą być również stosowane w nawigatorze *Widok* do graficznego przedstawienia obiektów (zobacz rozdział 11.1.9 na stronie 455). W ten sposób można szybko wykryć w modelu dostosowane widoczności. Aby ustawić wyświetlanie dla grup, należy użyć nawigatora *Tryb wyświetlania*.

### Wygenerowane widoczności

Program RFEM automatycznie generuje widoczności dla powierzchni, linii, prętów itd. zgodnie z określonymi kryteriami.



Rysunek 9.42: Wygenerowane widoczności w nawigatorze *Widoki*

Generowane typy widoczności pozwalają na szybki przegląd modelu, ponieważ umożliwiają utworzenie listy dla specjalnego filtrowania używanych obiektów. W ten sposób w programie RFEM można łatwo sprawdzić zarówno dane początkowe jak i wyniki.



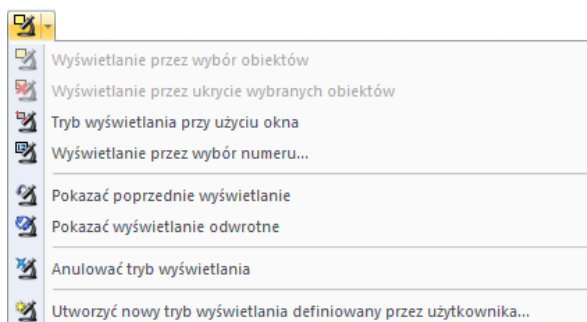
Oprócz wielokrotnego wyboru wygenerowanych widoków (domyślnie), lista pozwala również na utworzenie przecinającego się zbioru. Przy użyciu przycisków nawigatora, pokazanych na lewym marginesie tej strony można ustawić przecięcie. Znajdują się one poniżej listy. Funkcje te są opisane w Tabeli 9.5 powyżej.

Przy użyciu pola *Widoczność* na górze listy można zdecydować, czy funkcja filtrowania będzie efektywna w oknie roboczym. Po usunięciu znacznika wyboru, wszystkie obiekty zostaną ponownie wyświetlone.



### 9.9.1.2 Przyciski i menu widoczności

Aby uzyskać dostęp do różnych funkcji widoczności, należy wskazać opcję **Tryb wyświetlania** w **Wyświetlanie** w menu **Widok** lub użyć odpowiedniego przycisku listy z menu rozwijanego w pasku narzędzi.



Rysunek 9.43: Przyciski listy dla *Widoczności*

### Tryb wyświetlania przy użyciu okna



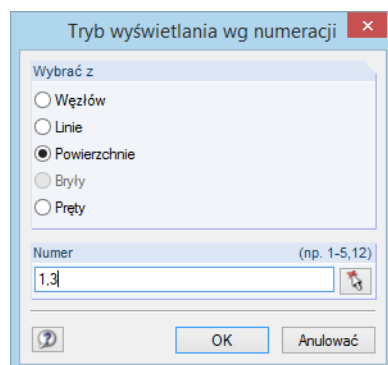
Widoki szczegółowe mogą być tworzone w formie graficznej poprzez narysowanie okna przy użyciu myszy.

Po utworzeniu okna z lewej do prawej strony, widok będzie obejmował tylko obiekty, które w całości znajdują się w tym oknie. Po utworzeniu okna od prawej do lewej strony, widok szczegółowy będzie dodatkowo zawierał obiekty przecięte przez to okno.

### Wyświetlenie przez wybór numeru



W oknie dialogowym wprowadza się numery *Węzłów*, *Linii*, *Prętów*, *Powierzchni* lub *Brył*, które są istotne dla widoku szczegółowego.



Rysunek 9.44: Okno dialogowe *Tryb wyświetlania według numeracji*

### Anuluj tryb wyświetlania



Przy użyciu tej funkcji można przywrócić wyświetlanie wszystkich obiektów.

### Utworzyć nowy tryb wyświetlania definiowany przez użytkownika

Przed użyciem tej funkcji, w oknie roboczym należy wybrać obiekty, które mają zostać zapisane jako *Widoczność* (zobacz rozdział 11.2.1 na stronie 457 oraz rozdział 11.2.2 na stronie 460). Pomocne jest wskazanie opcji **Wybrać** w menu **Edytować**, a następnie wybranie wpisu **Specjalnie**.

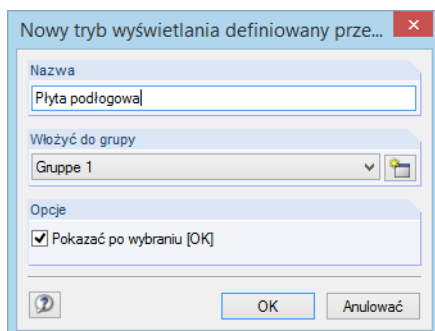


W skład *Widoczności* wejdą tylko obiekty, które zostały zaznaczone w oknie roboczym. Z tego powodu, w przypadku korzystania z funkcji [Wyświetlenie przez ukrycie wybranych obiektów], należy ponownie wybrać wyświetlane obiekty poprzez narysowanie wzdłuż nich okna.





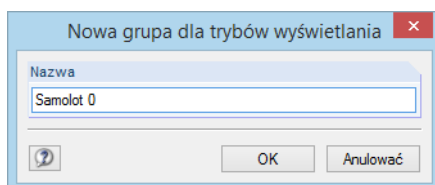
Po kliknięciu przycisku [Nowy], pokazanego na lewym marginesie tej strony, pojawi się następujące okno dialogowe.



Rysunek 9.45: Okno dialogowe *Nowy tryb wyświetlania definiowany przez użytkownika*



Następnie należy zdefiniować *Nazwę* oraz *Grupę*. Aby użyć więcej grup widoczności, należy kliknąć przycisk [Nowa], aby utworzyć kolejną grupę.



Rysunek 9.46: Okno dialogowe *Nowa grupa dla trybów wyświetlania*

Kliknięcie przycisku [OK] zapisuje grupę obiektów, jako nową widoczność.

Zdefiniowane przez użytkownika widoczności są zarządzane w nawigatorze *Widoki*, gdzie mogą być indywidualnie włączane lub wyłączane (zobacz Rysunek 9.40 na stronie 396).

### Zamień obiekty na tryb wyświetlenia



Obiekty mogą być dodawane do istniejących widoczności. W tym celu należy zamknąć tryb widoczności, klikając przycisk pokazany na lewym marginesie tej strony. W tym samym celu można również w menu *Widok* wybrać *Wyświetlanie*, a następnie polecenie *Anulować tryb wyświetlania*. Należy teraz wybrać obiekty, które mają zostać dodane.



W nawigatorze *Tryb wyświetlania* należy kliknąć odpowiedni wpis na liście *Określone przez użytkownika*. Program RFEM wyłączy przycisk [+], pozwalając na zintegrowanie wybranych obiektów w widoczności zdefiniowanej przez użytkownika.



W ten sam sposób można wykorzystać przycisk [-], aby usunąć wybrane obiekty z widoczności zdefiniowanej przez użytkownika.

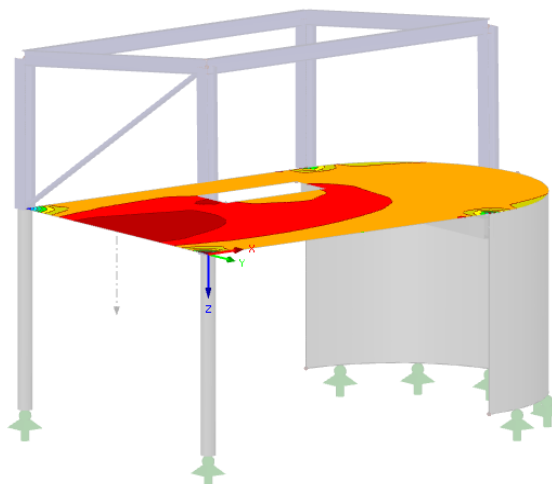
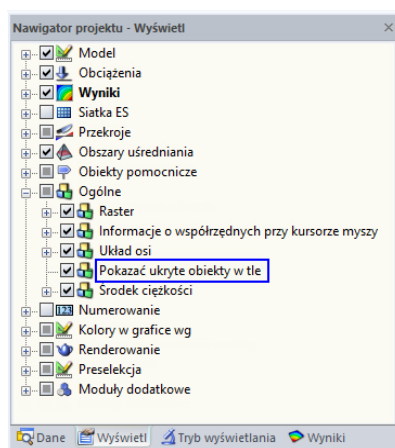


Kliknięcie przycisku [=] powoduje zastąpienie obiektów dostępnych w zaznaczonej widoczności nawigatora *Tryb wyświetlania* przez obiekty wybrane w oknie roboczym. Dzięki temu można dokonać zmiany definicji istniejącej widoczności i jednocześnie zachować jej nazwę.

### Przejrzystość dla obiektów ukrytych

Przy użyciu widoczności, obiekty ukryte można wyświetlić w tle jako przezroczyste. Stopień widoczności ustawiany jest indywidualnie w zakładce *Grafika* okna dialogowego *Opcje programu* (zobacz Rysunek 9.52 na stronie 406).

Wyświetlanie obiektów tła można włączać i wyłączać w nawigatorze *Wyświetl*.

Rysunek 9.47: Nawigator Wyświetl: Opcja *Ogólne* → Pokaż ukryte obiekty w tle

## 9.9.2 Płaszczyzna przekroju

W programie RFEM można zdefiniować płaszczyzny przecinające model. Strefa z przodu (lub z tyłu) płaszczyzny będzie ukryta podczas wyświetlania. W ten sposób można, na przykład, oglądać wyniki w przekroju lub na bryle.

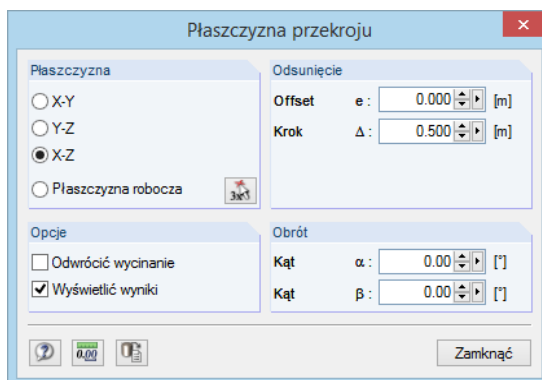
Program RFEM wstawia płaszczyznę przekroju przez środek geometrycznych wymiarów całkowitych. Tak więc płaszczyzna przekroju jest związana z geometrią modelu. W oknie roboczym, płaszczyzna przekroju otoczona jest ramką.

Nie jest możliwe zapisanie płaszczyzny przekroju.

Aby uzyskać dostęp do tej funkcji,

należy wybrać opcję **Płaszczyzna przekroju** z menu **Wstawić**.

Pojawi się następujące okno dialogowe:

Rysunek 9.48: Okno dialogowe *Płaszczyzna przekroju*

Płaszczyznę można ułożyć równoległe do jednej z płaszczyzn łączonych przez osie globalnego układu współrzędnych XYZ. Dodatkowo można umieścić płaszczyznę w bieżącej płaszczyźnie roboczej. Można również wybrać trzy punkty w oknie roboczym, klikając przycisk [3x3], widoczny na lewym marginesie tej strony.

Wartość wprowadzona w polu *Odsunięcie* powoduje równoległe przesunięcie płaszczyzny w kierunku dodatniej lub ujemnej osi, która jest prostopadła do płaszczyzny. Oba kierunki są wskazywane przez szare strzałki w oknie roboczym. Odsunięcie można wprowadzić bezpośrednio lub ustawić poprzez pomiar z modelu lub obliczenie w kalkulatorze. Pole

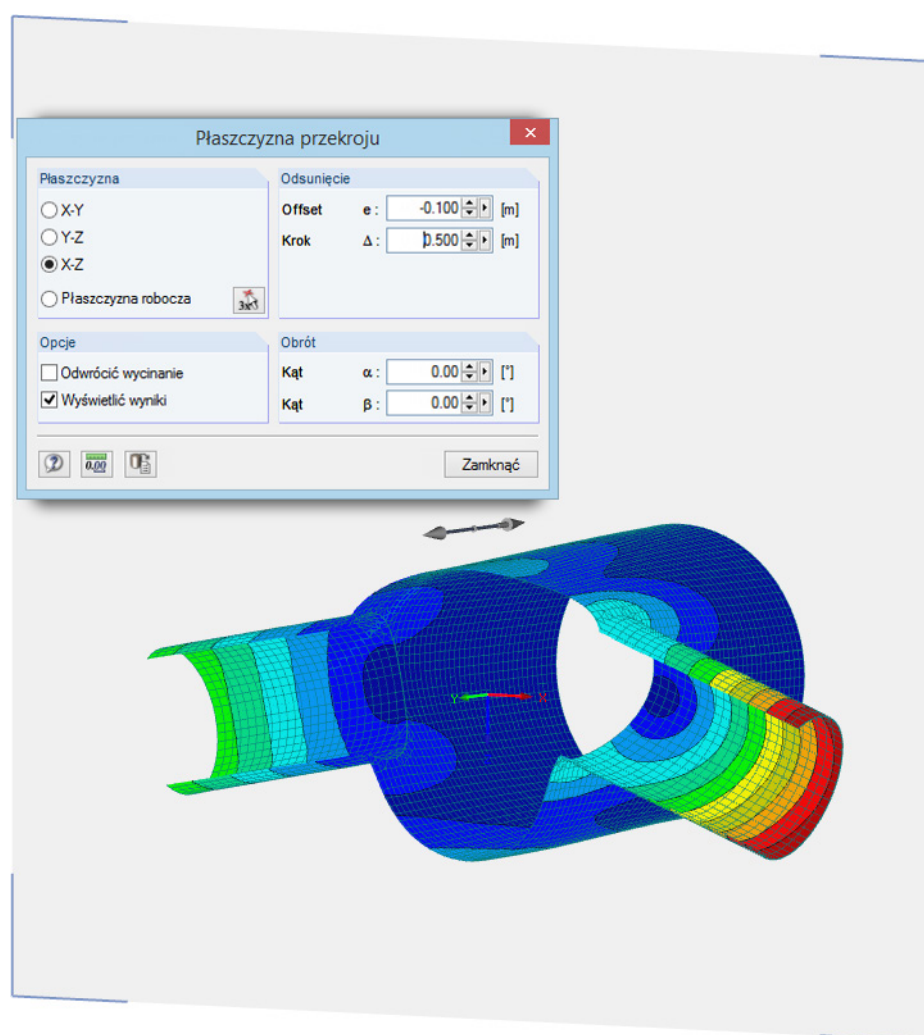
wprowadzania *Krok* kontroluje przedział odsunięcia, o który przesuwana jest płaszczyzna za każdym razem, gdy kliknięty jest przycisk pola obrót.

W sekcji okna dialogowego *Opcje* można zmienić aktywną stronę płaszczyzny przekroju. Oprócz tego można włączać i wyłączać wykresy wyników dostępne na granicach odcinania.

Ponadto możliwe jest obrócenie płaszczyzny przekroju przy użyciu *Obrótu* o kąt  $\alpha$  (względem osi płaszczyzny nazwanej jako ostatnia) oraz kąt  $\beta$  (względem osi nazwanej jako pierwsza). Grafika zmienia się podczas wprowadzania danych.

Jeżeli otwarte jest okno dialogowe *Płaszczyzna przekroju*, można korzystać ze wszystkich funkcji edycji i wyświetlania w oknie roboczym, ale opcja wydruku nie jest dostępna. Przycisk [Zamknij] służy do wyłączenia tej funkcji.

Poniższy przykład pokazuje płaszczyznę przekroju przebiegającą przez węzeł stanowiący połączenie rur.



Rysunek 9.49: Płaszczyzna przekroju przecinająca połączenie rur

### 9.9.3 Funkcje filtrowania

Opcje grupowania, opisane w rozdziale 9.9.1 *Widoki* odnoszą się do obiektów modelu. Dodatkowo, jako kryteria filtrowania, można użyć sił wewnętrznych, odkształceń i naprężeń.

#### Filtrowanie wyników

Wyniki są filtrowane za pomocą panelu sterowania. Jeśli panel nie jest wyświetlany, należy wybrać opcję **Panel sterowania (skala kolorów, współczynniki, filtr)** w menu **Widok**

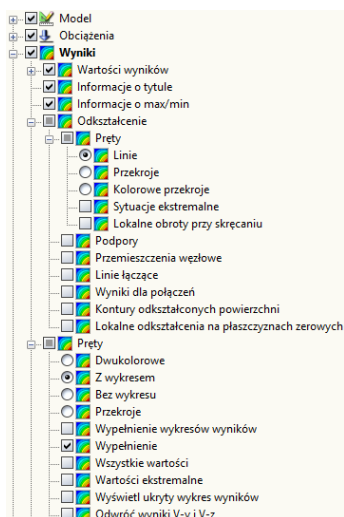
lub skorzystać z paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony.

Panel sterowania został opisany w rozdziale 3.4.6 na stronie 31.

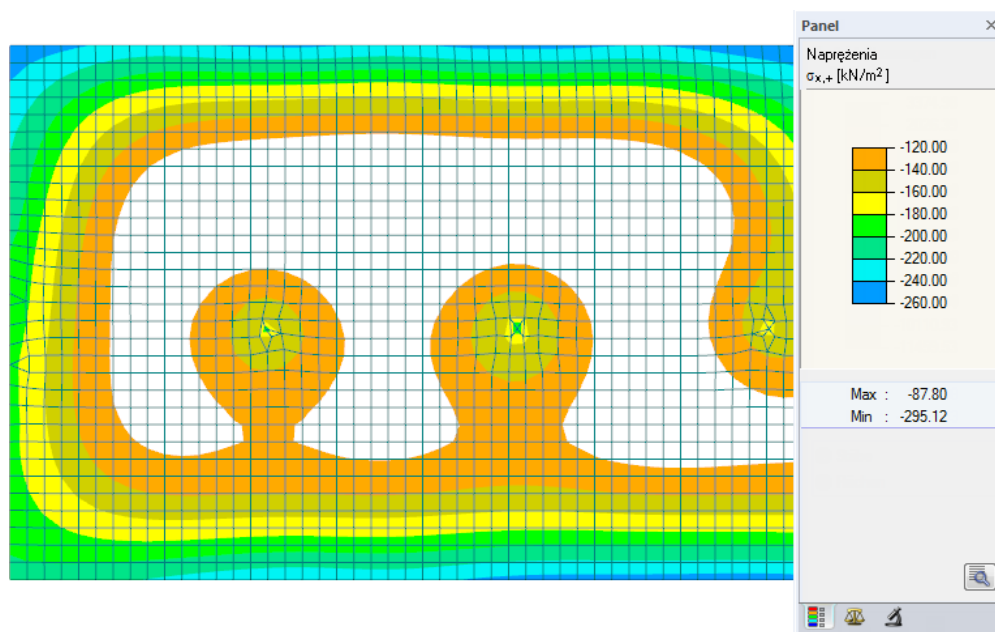
Ustawienia filtra dla wyników są określane w zakładce *Skala kolorów*, która jest wyświetlana dla wyników izopasm i izolinii powierzchni oraz brył (zobacz Rysunek 3.17 na stronie 31). Ponieważ zakładka ta nie jest dostępna dla wyświetlania w dwóch kolorach dla sił wewnętrznych prętów, trzeba przejść do opcji wyświetlania *Z/Bez wykresu* lub *Przekroje* w nawigatorze *Wyświetl* (zobacz rysunek po lewej stronie).

W panelu można ustawić specjalne wyświetlanie, na przykład momenty prętowe wyświetlane tylko wtedy, gdy przekroczą określoną wartość lub podstawowe siły wewnętrzne powierzchni przy użyciu wysokiej gradacji pokazywane w zakresie  $\pm 30$  kNm (zobacz Rysunek 3.19 na stronie 33).

Poniższy przykład przedstawia płytę stropową. Program RFEM wyświetla naprężenia kontaktowe na modelu tylko w zakresie od  $-120$  kN/m<sup>2</sup> do  $-260$  kN/m<sup>2</sup>.



Ustawienia w nawigatorze *Wyświetl* dla wielokolorowych wyników pręta



Rysunek 9.50: Filtrowanie naprężeń kontaktowych przy użyciu dostosowanej skali kolorów

Ponieważ model zapewnia także wielokolorowe wyniki prętów, pole wyboru *Powierzchnie* jest ustawione jako aktywne w panelu kontrolnym. Ponadto skala kolorów jest modyfikowana w taki sposób, że zakres barw obejmuje dokładnie  $-20$  kN/m<sup>2</sup>. Nie są pokazywane wyniki dla elementów powierzchniowych z podłożami sprężystymi, których naprężenia kontaktowe znajdują się poza zdefiniowanym zakresem wartości.

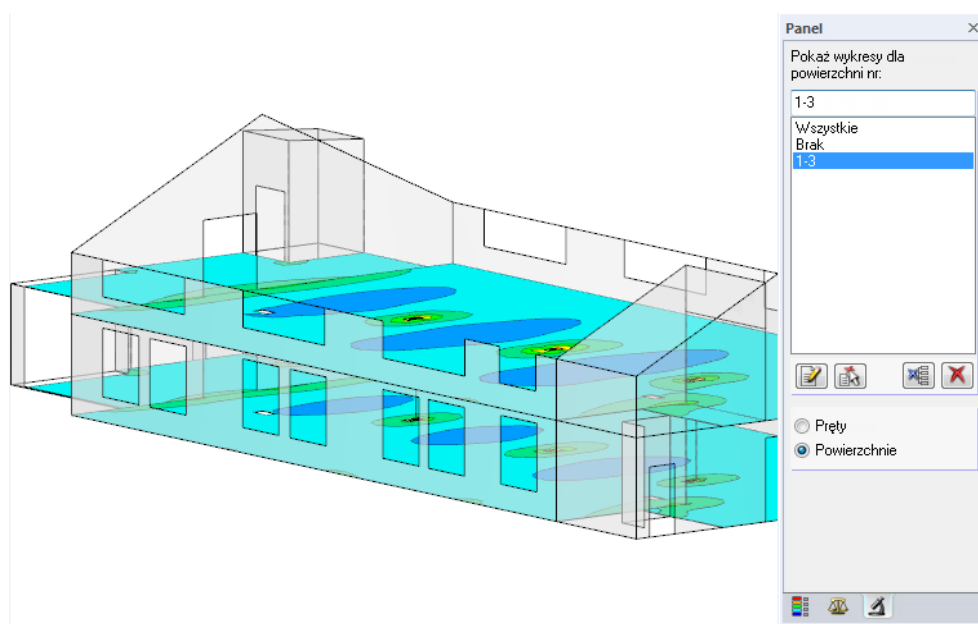
### Filtrowanie obiektów



W zakładce *Filtr* panelu sterowania można wpisać numery wybranych prętów, powierzchni lub brył, aby wyświetlić ich wykresy wyników po odfiltrowaniu. Funkcję tę opisano w rozdziale 3.4.6 na stronie 34.

W przeciwieństwie do funkcji widoczności, model jest wyświetlany graficznie w całości.

Poniższy rysunek pokazuje momenty zginające dostępne w powierzchniach stropów budynku. Ściany również są pokazywane w modelu, ale są wyświetlane bez sił wewnętrznych.



Rysunek 9.51: Filtrowanie powierzchni: momenty zginające stropów



Ustawienia filtrowania w panelu ma wpływ na obiekty w tabelach wyników. Przykładowo, po ograniczeniu w panelu wyświetlania wyników do dwóch prętów, tabela 4.6 *Pręty – Siły wewnętrzne* pokazywać będzie tylko wyniki dla tych dwóch prętów.

## 9.10 Animacja odkształceń



Odształcenia obiektów są zazwyczaj wyświetlane w swojej fazie ostatecznej.

Oprócz tego sposobu wyświetlania możliwe jest również pokazanie przebiegu całego procesu odkształcania. Aby uruchomić animację,

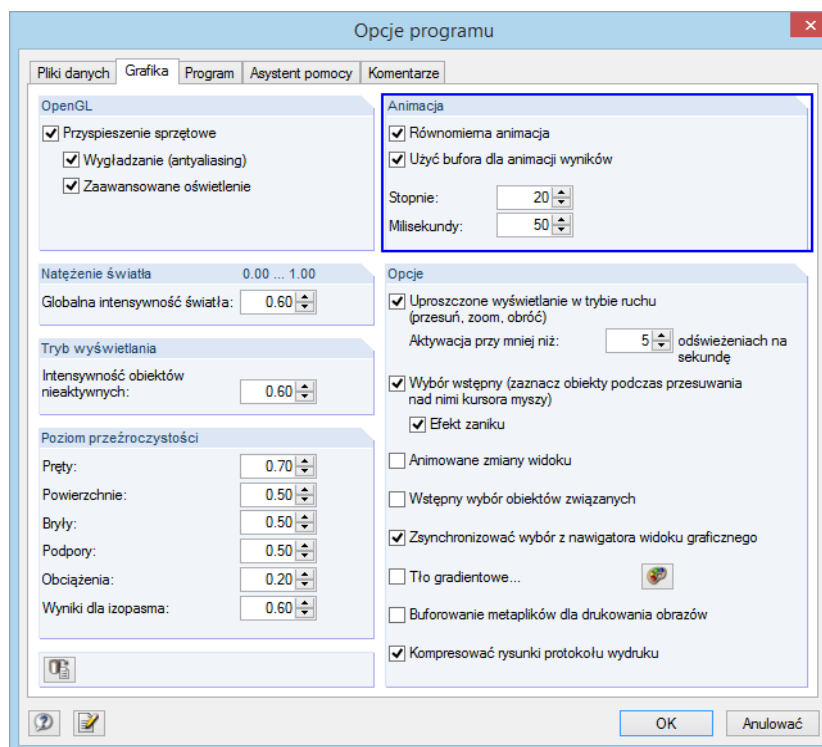


należy wybrać opcję **Animacja** w menu **Wyniki**

lub skorzystać z paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony. Aby zamknąć animowany widok, należy kliknąć ten przycisk ponownie. W tym samym celu można również użyć przycisku [Esc].



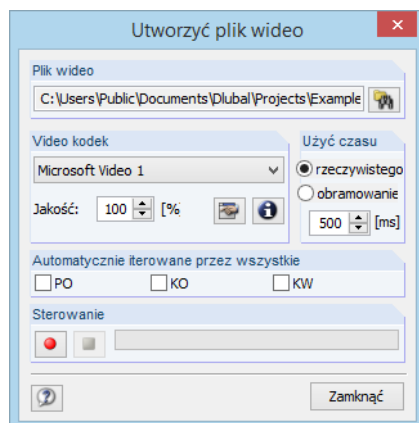
Aby określić szczegółowe ustawienia dla procesu animacji, należy wykorzystać okno dialogowe *Opcje programu*. W tym celu należy wybrać **Opcje programu** w menu **Opcje**, a następnie otworzyć zakładkę *Grafika*.

Rysunek 9.52: Okno dialogowe *Opcje programu*, zakładka *Grafika*

Animację odkształcenia można zapisać jako plik wideo. Po odpowiednim ustawieniu animowanej grafiki na ekranie, należy wybrać opcję

**Utworzyć plik wideo** w menu **Narzędzia**.

Zanim pojawi się odpowiednie okno dialogowe, w którym można określić różne ustawienia dla tworzenia pliku wideo, czasami pojawia się komunikat na temat ustawień OpenGL.

Rysunek 9.53: Okno dialogowe *Utworzyć plik wideo*

Kliknięcie przycisku [Przeglądać] pozwala zdefiniować nazwę pliku wideo w oddzielnym oknie dialogowym.



Czerwony przycisk [Nagrywać] rozpoczyna nagrywanie, a niebieski przycisk [Zatrzymaj], zatrzymuje je.

# 10. Wydruk

## 10.1 Protokół wydruku

Zazwyczaj dane początkowe i wyniki z programu RFEM nie są wysyłane bezpośrednio do drukarki. Zamiast tego generowany jest najpierw tak zwany protokół wydruku, do którego można dodawać rysunki, objaśnienia, skany i inne elementy. W protokole wydruku można zdefiniować dane, które ostatecznie znajdują się na wydruku.

Możliwe jest utworzenie kilku protokołów wydruku dla jednego modelu. W przypadku, gdy konstrukcja jest dosyć złożona, zaleca się podzielić dane na kilka mniejszych protokołów, zamiast tworzyć jeden obszerny protokół. Jeden protokół można utworzyć na przykład dla danych wejściowych, drugi dla reakcji podporowych, a jeszcze inny dla wyników powierzchni. W ten sposób można zredukować czas generowania protokołu.

Możliwe jest także utworzenie kilku różnych protokołów wydruku w modelu programu RFEM. W zależności od wymaganych danych, różni inżynierowie mogą otrzymać różne protokoły wydruku.

Protokół wydruku może zostać wywołany, jeżeli w systemie Windows została zainstalowana drukarka domyślna, ponieważ podgląd wydruku protokołu używa sterownika drukarki.

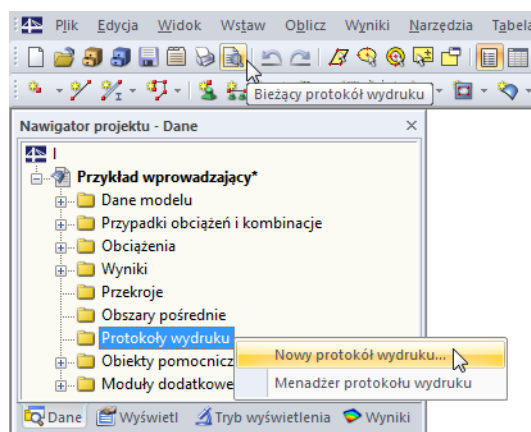
### 10.1.1 Otwieranie lub tworzenie protokołu wydruku



Aby utworzyć nowy protokół wydruku,

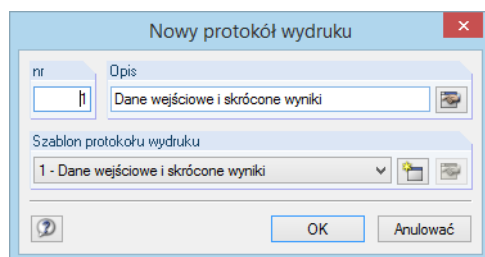
należy wybrać opcję **Otworzyć protokół wydruku** w menu **Plik**

lub skorzystać z paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony. Oprócz tego można także skorzystać z menu kontekstowego odpowiedniego wpisu w nawigatorze *Dane*.



Rysunek 10.1: Przycisk i menu kontekstowe *Protokoły wydruku*

Pojawi się następujące okno dialogowe:



Rysunek 10.2: Okno dialogowe *Nowy protokół wydruku*

Nr protokołu jest ustawiany automatycznie, ale zawsze można go zmienić. W polu wprowadzania *Opis* można wpisać nazwę protokołu, ułatwiającą późniejszy wybórżądanego wpisu z listy. Opis ten nie pojawi się na wydruku.

Ponadto można wybrać określony szablon protokołu z listy w sekcji okna dialogowego *Szablon protokołu wydruku* (zobacz rozdział Szablon protokołu wydruku na stronie 422).

Przyciski w tym oknie dialogowym posiadają następujące funkcje:



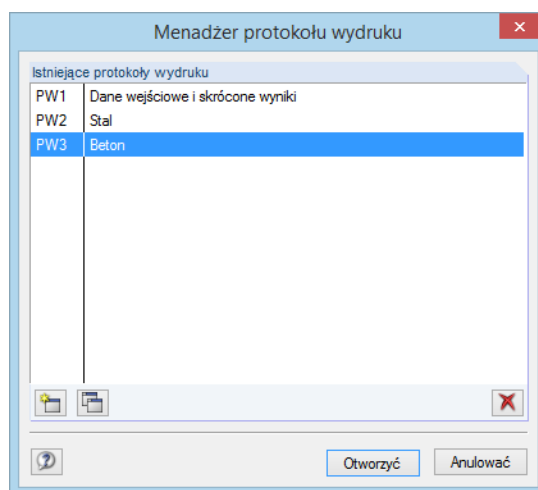
	Umożliwia utworzenie nowego szablonu protokołu.
	Umożliwia edycję wyboru w protokole (→ rozdział 10.1.7 na stronie 422).

Tabela 10.1: Przyciski w oknie dialogowym *Nowy protokół wydruku*

Jeżeli protokół wydruku jest już dostępny i wybrano opcję **Otworzyć protokół wydruku** w menu **Plik**, pojawia się *Menedżer protokołu wydruku*.



Rysunek 10.3: Okno dialogowe *Menedżer protokołu wydruku*

Odpowiedni protokół można wybrać z listy.

Przyciski w tym oknie dialogowym posiadają następujące funkcje:



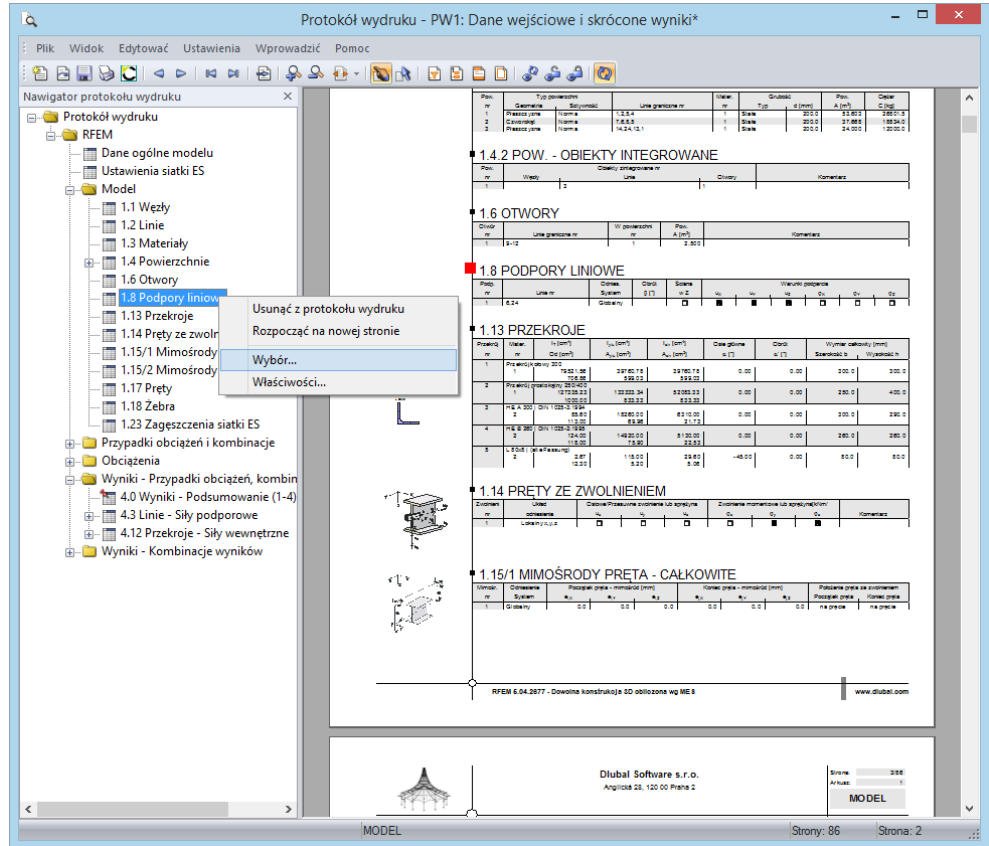
	Tworzy nowy protokół wydruku
	Usuwa zaznaczony protokół wydruku

Tabela 10.2: Przyciski w oknie dialogowym *Menedżer protokołu wydruku*



## 10.1.2 Praca w protokole wydruku



Rysunek 10.4: Protokół wydruku z menu kontekstowym

Gdy protokół wydruku jest otwarty, po lewo widać jego navigator. Po prawej stronie przedstawiony jest widok strony z podglądem wydruku.

Poszczególne rozdziały protokołu mogą być przesuwane w dowolne miejsce w navigatorze za pomocą funkcji przeciągnij-i-upuść.

### Menu kontekstowe

Menu kontekstowe oferuje więcej opcji dostosowywania protokołu wydruku. Tak samo, jak w przypadku innych aplikacji systemu Windows, wielokrotny wybór jest możliwy przy użyciu przycisków [Ctrl] oraz [Shift].

### Usunąć z protokołu wydruku

Wybrany rozdział zostanie usunięty. Aby wstawić go ponownie, należy użyć funkcji wyboru. W tym celu trzeba kliknąć opcję *Wybór* w menu *Edytować*, aby otworzyć okno dialogowe, w którym można wybrać dane do wyświetlenia w protokole wydruku.

### Rozpocząć na nowej stronie

Wybrany rozdział rozpoczyna się na nowej stronie i jest oznaczony czerwoną pinezką w navigatorze (tak jak rozdział *Wyniki - Podsumowanie* pokazany na rysunku powyżej).

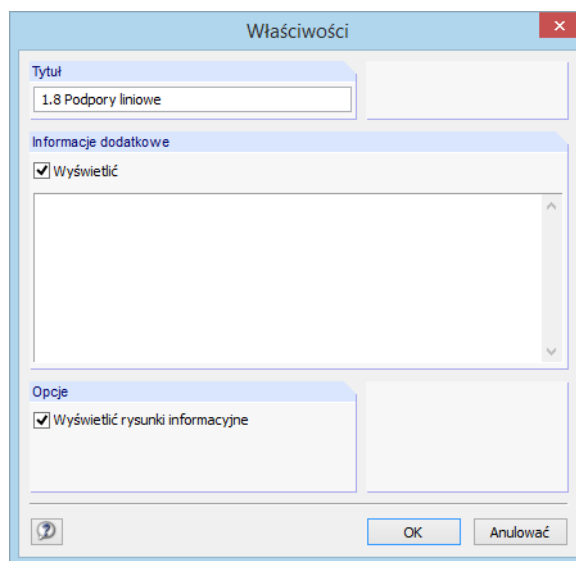
### Wybór

Umożliwia dostęp do globalnego wyboru, który jest opisany na dalszych stronach. Wybrany rozdział jest ustawiany automatycznie.

### Właściwości

Umożliwia modyfikowanie właściwości niektórych ogólnych właściwości wybranego rozdziału.





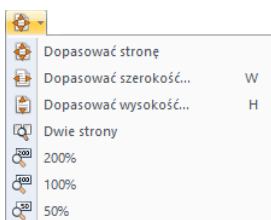
Rysunek 10.5: Okno dialogowe *Właściwości*

W protokole wydruku można zmieniać *Tytułu* rozdziału oraz wprowadzać *Informacje dodatkowe*, które pojawią się na jego lewym marginesie. Wyświetlanie dodatkowego tekstu może być włączane i wyłączane, na przykład w przypadku *rysunków informacyjnych* rozdziału (na przykład rysunki przekrojów lub obciążenia).

### Nawigacja w protokole wydruku

Aby sprawdzić konkretną sekcję w protokole wydruku, należy kliknąć odpowiedni wpis rozdziału w nawigatorze.

Menu **Widok** zawiera dodatkowe funkcje nawigacji. Aby uzyskać dostęp do odpowiednich funkcji, można również wykorzystać przyciski w pasku narzędzi protokołu.













	Przejdź do poprzedniej strony w podglądzie strony
	Przejdź do następnej strony
	Przejdź do pierwszej strony w podglądzie strony
	Przejdź do ostatniej strony
	Określ numer żądanej strony w oknie dialogowym
	Powiększ
	Pomniejsz
	Przycisk listy dla funkcji powiększania, służący do dostosowywania rozmiaru wyświetlanego obszaru
	Tryb uchwycenia: pozwala na używanie myszy do nawigacji w protokole.
	Tryb wyboru: pozwala na wybieranie i edycję rozdziałów przez kliknięcie myszą.

Tabela 10.3: Przyciski do nawigacji w pasku narzędzi protokołu wydruku

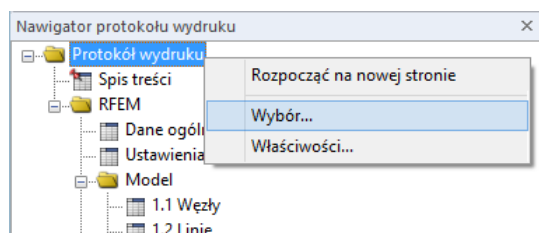
### 10.1.3 Definiowanie zawartości protokołu wydruku

W globalnym wyborze można wybrać rozdziały, które mają pojawić się w protokole wydruku. Aby utworzyć odpowiednie okno dialogowe,



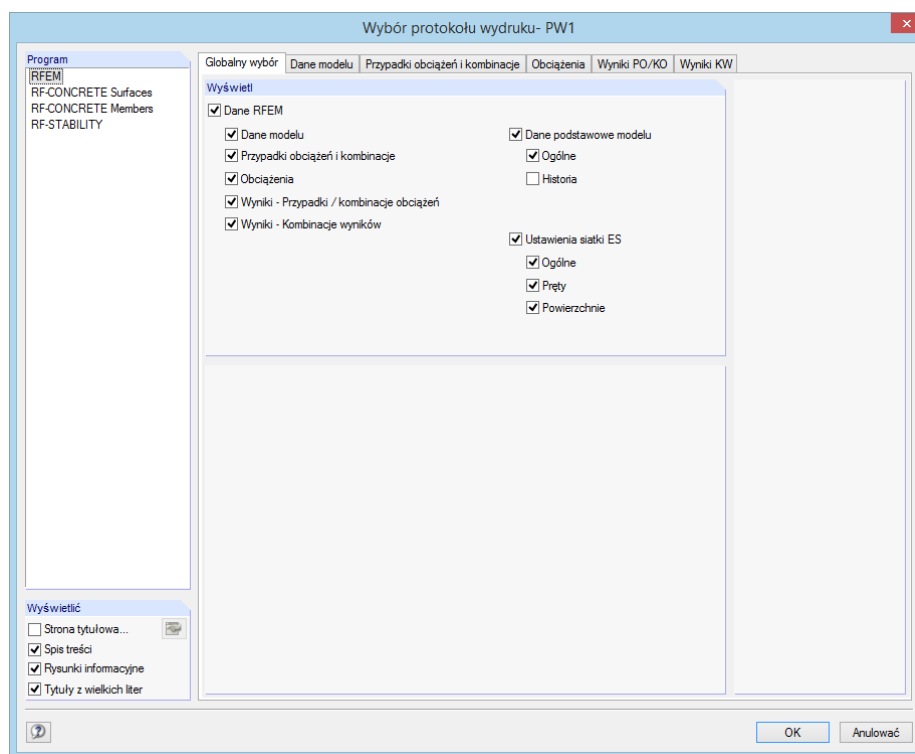
należy wybrać opcję **Wybór** w menu **Edytować**

lub skorzystać z przycisku z paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony. W tym samym celu można także skorzystać z menu kontekstowego pozycji nawigatora *Protokół wydruku*.



Rysunek 10.6: Otwieranie globalnego wyboru przy użyciu menu kontekstowego *Protokół wydruku*

Pojawi się następujące okno dialogowe:



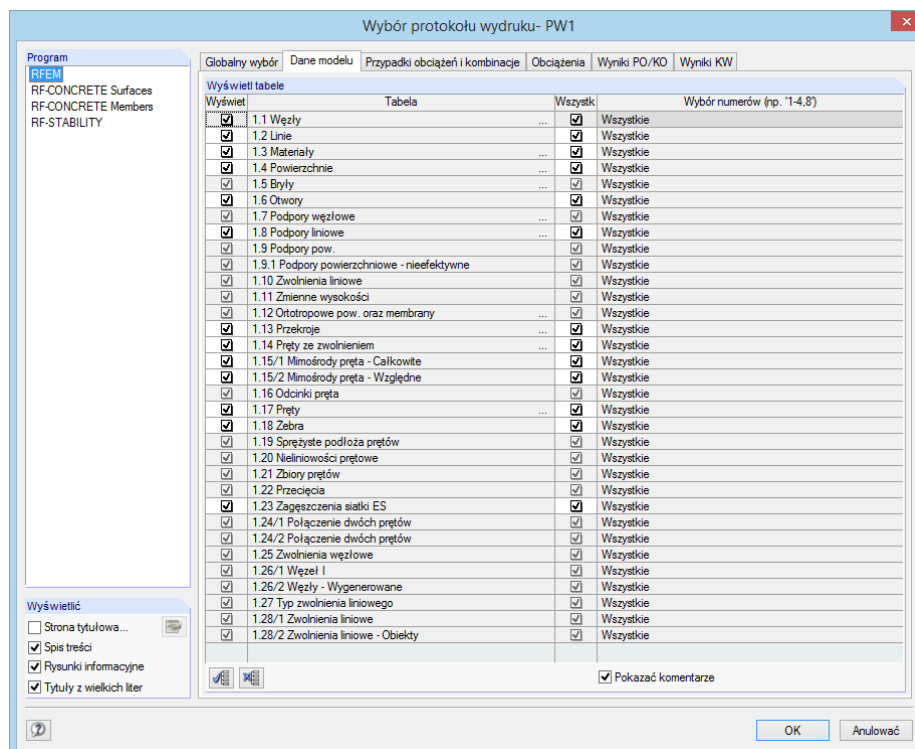
Rysunek 10.7: Okno dialogowe *Wybór protokołu wydruku*, zakładka *Globalny wybór*

Lista w sekcji okna dialogowego *Program / Moduły* zawiera wszystkie dodatkowe moduły, w których dostępne są dane początkowe. Gdy dany program zostanie zaznaczony na liście, w zakładkach po prawej stronie można wybrać rozdziały, które zostaną wydrukowane.

Zakładka *Globalny wybór* zarządza głównymi rozdziałami protokołu. W przypadku odznaczenia pola wyboru, znika odpowiednia zakładka zawierająca szczegóły.

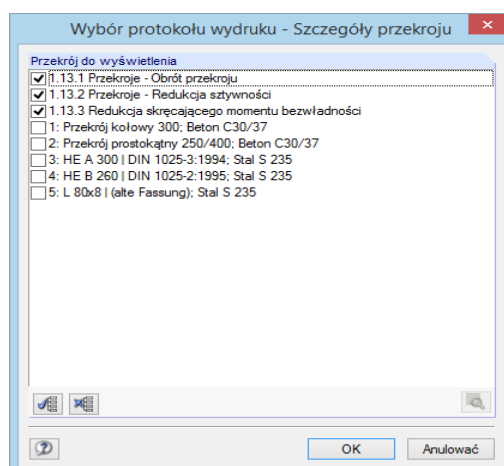
Przy użyciu trzech pól wyboru w sekcji okna dialogowego *Wyświetl* (na dole po lewej) można zdecydować, czy będą wyświetlane: *Strona tytułowa*, *Spis treści* lub *Rysunki informacyjne*.

## 10.1.3.1 Wybieranie danych modelu

Rysunek 10.8: Okno dialogowe *Wybór protokołu wydruku*, zakładka *Dane modelu*

Przy użyciu pól wyboru w kolumnie *Wyświetl* można zdecydować, które rozdziały pojawiają się w protokole wydruku.

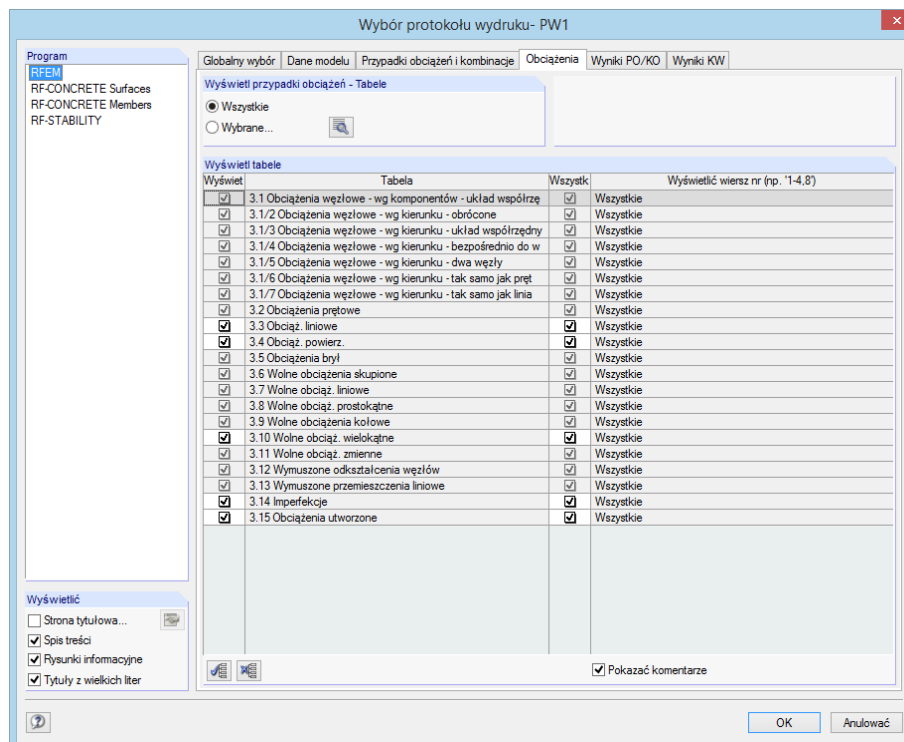
Niektóre tabele posiadają podrozdziały. Po kliknięciu, na przykład, w polu tabeli 1.13 *Przekroje*, uaktywni się przycisk [...] i możliwe będzie otworzenie kolejnego okna dialogowego, w którym można wybrać przekroje, dla których również zostaną pokazane szczegóły. Aby zdefiniować rodzaje i ilość szczegółów, należy użyć przycisku [Szczegóły], pokazanego na lewym marginesie tej strony.

Rysunek 10.9: Okno dialogowe *Wybór protokołu wydruku - Szczegóły przekroju*

Protokół wydruku sporządzany jest na podstawie tabel dla danych początkowych opisanych w rozdziale 4. Przy użyciu pól wyboru w trzeciej kolumnie *Wszystkie* można zdecydować, czy wszystkie wiersze wybranej tabeli wejdą w skład wydruku. Po odnaczeniu pola wyboru, można określić numery wybranych obiektów (wiersze tabeli) w kolumnie *Wybór numerów*.

Ponownie zaleca się użyć przycisku [...], znajdującego się na końcu pola wprowadzania, ponieważ w ten sposób w oknie roboczym można graficznie wybrać węzły, linie, powierzchnie, pręty, zbiory prętów, otwory oraz bryły. Dla pozostałych obiektów pojawia się lista wierszy tabeli.

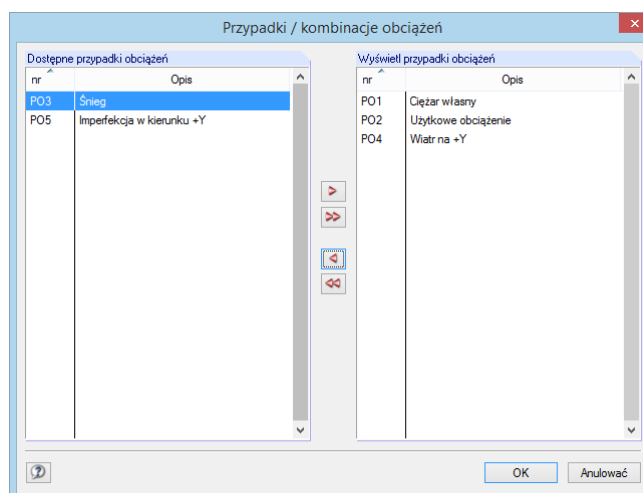
### 10.1.3.2 Wybór danych obciążenia



Rysunek 10.10: Okno dialogowe *Wybór protokołu wydruku*, zakładka *Obciążenia*

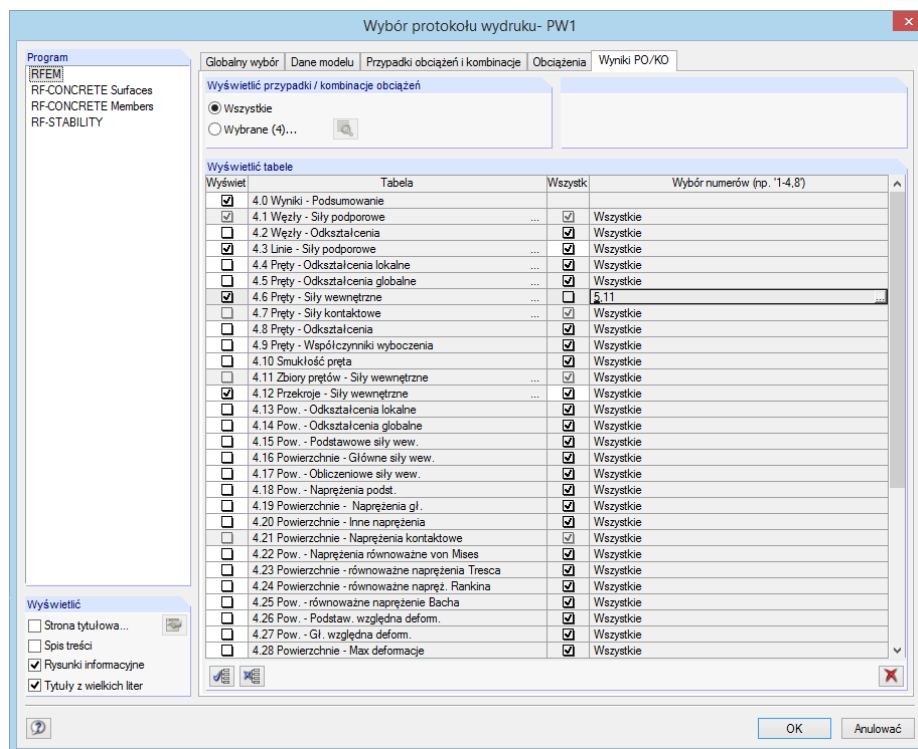
Tabele są wybierane w sposób opisany w poprzednim rozdziale 10.1.3.1.

Oprócz tego w zakładce tej dostępne są dodatkowe opcje wyboru. W sekcji okna dialogowego *Wyświetl przypadki obciążeń* można zdecydować, czy na wydruku pojawią się dane początkowe *Wszystkich* lub tylko poszczególnych przypadków obciążeń. Po zaznaczeniu pola wyboru *Wybrane*, można wykorzystać uaktywniony przycisk [Wybrać przypadki obciążeń do wyświetlenia], aby otworzyć nowe okno dialogowe, w którym definiuje się przypadki obciążeń.



Rysunek 10.11: Wybór przypadków obciążeń

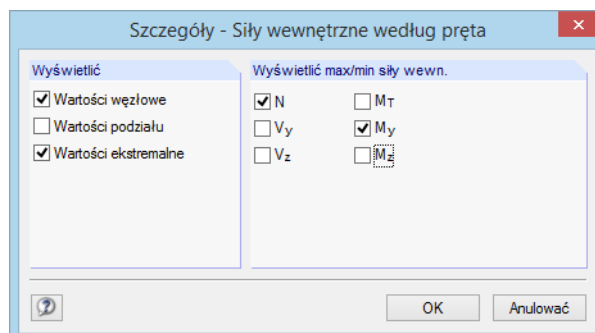
## 10.1.3.3 Wybór wyników

Rysunek 10.12: Okno dialogowe *Wybór protokołu wydruku*, zakładka *Wyniki PO/KO*

Wyboru wyników, które są zazwyczaj obszerne, dokonuje się w dwóch zakładkach okna dialogowego. Zakładka *Wyniki PO / KO* zarządza wyborem dla przypadków obciążeń i kombinacji obciążeń, natomiast zakładka *Wyniki KW* kontroluje wydruk dla wyników kombinacji wyników.

Wyniki mogą być przygotowywane tak, jak dane obciążenia (zobacz poprzedni rozdział 10.1.3.2). Przy użyciu pola wyboru *Wybrane* można ograniczyć dane wydruku do wyników poszczególnych przypadków lub kombinacji obciążeń. W sekcji okna dialogowego *Wyświetl tabele* można wybrać tabele i wiersze tabeli, jak zostało to opisane w rozdziale 10.1.3.1. Kolumna *Wybór numerów* pozwala określić poszczególne obiekty lub wybrać obiekty graficznie za pomocą przycisku [...], który znajduje się na końcu wiersza tabeli.

W kolumnie *Tabela* znajduje się kilka wierszy mających trzy kropki na swoim końcu. Kropki te oznaczają przycisk [...], który można aktywować klikając w wiersz tabeli. Przy użyciu tego przycisku można uzyskać dostęp do dodatkowych kryteriów wyboru, na przykład dla sił wewnętrznych prętów.

Rysunek 10.13: Okno dialogowe *Szczegóły - Siły wewnętrzne według prętów*

Protokół wydruku zawiera wyniki dla każdego pręta w następujących miejscach:

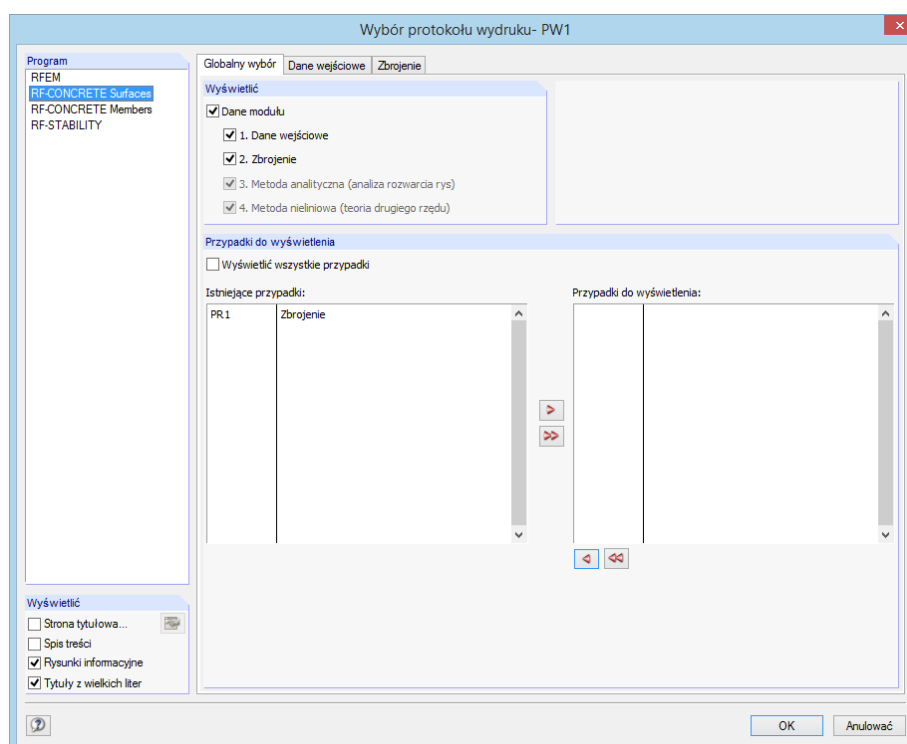
- Węzeł początkowy i końcowy
- Punkty podziału według określonego podziału pręta (zobacz rozdział 4.16 na stronie 148)
- Wartości ekstremalne (*Max/Min*) wyników (zobacz rozdział 8.6 na stronie 318)

Wybór jest związany z ustawieniami *Filtru tabeli* (zobacz Rysunek 11.122 na stronie 521).

Zakres wydruku można znacznie ograniczyć, zmniejszając ilość danych do niezbędnych wyników dla dokumentacji.

### 10.1.3.4 Wybieranie danych modułów dodatkowych

Dane wszystkich modułów, które mają zostać wydrukowane, są zarządzane w protokole wydruku programu RFEM. Można połączyć je razem z danymi programu RFEM w jednym protokole lub zorganizować w oddzielnych protokołach wydruku. W przypadku złożonych układów konstrukcyjnych z dużą liczbą przypadków obliczeniowych, zaleca się podzielić dane na kilka protokołów wydruku, co umożliwi przejrzystą organizację danych.



Rysunek 10.14: Okno dialogowe *Wybór protokołu wydruku*, zakładka *Globalny wybór* modułu dodatkowego **RF-CONCRETE Members**

Oprócz programu RFEM, lista w sekcji okna dialogowego *Program / Moduły* zawiera wszystkie moduły dodatkowe, w których zostały dokonane wpisy. Po wybraniu modułu na liście, w zakładkach po prawej stronie można wybrać rozdziały do wydrukowania.

Zakładka okna dialogowego *Globalny wybór* zarządza głównymi rozdziałami danych modułu dodatkowego. Po wyczyszczeniu pola wyboru, zniknie również odpowiednia zakładka.

W sekcji okna dialogowego *Wyświetl przypadki obciążenia* jest domyślnie zaznaczona opcja *Pokaż wszystkie przypadki*. Jeżeli w protokole wydruku mają zostać uwzględnione tylko konkretne przypadki obliczeniowe, należy wyczyścić to pole wyboru. Następnie można przenieść dowolne nieistotne przypadki z listy *Przypadki do wyświetlenia* na listę *Istniejące przypadki*.



Wybór w zakładkach zawierających szczegółowe dane wejściowe i wyniki jest podobny do wyboru opisanego w rozdziale 10.1.3.1 *Wybieranie danych modelu* oraz w rozdziale 10.1.3.3 *Wybór wyników*.

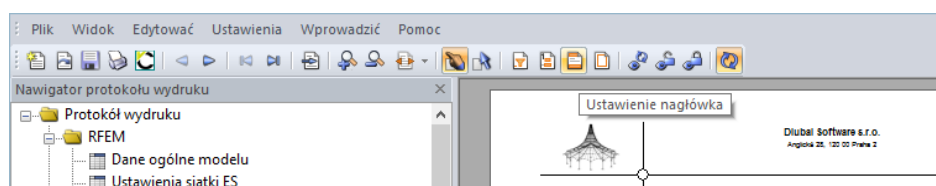
### 10.1.4 Dostosowywanie nagłówka protokołu wydruku



Nagłówek wydruku tworzony jest podczas instalacji programu na podstawie danych użytkownika. Aby zmienić te specyfikacje,

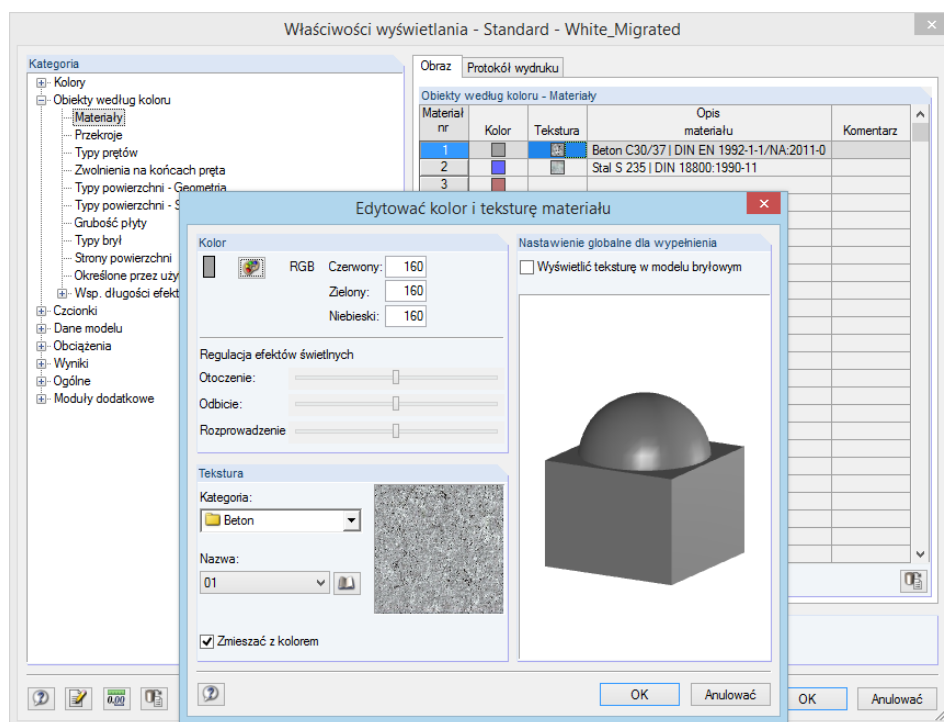
należy wybrać opcję **Nagłówek** w menu **Ustawienia** w protokole wydruku

lub wykorzystać przycisk paska narzędzi w protokole wydruku, pokazany na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 10.15: Przycisk *Ustawienie nagłówka*

Pojawi się następujące okno dialogowe:



Rysunek 10.16: Okno dialogowe *Nagłówek protokołu wydruku*

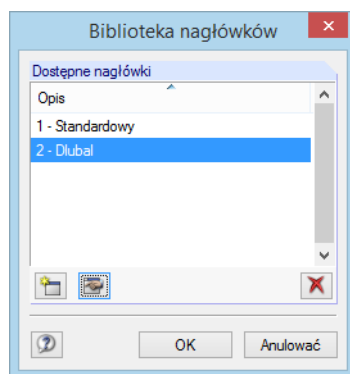
#### Nagłówek domyślny

W przypadku, gdy jest dostępnych kilku nagłówków, można wybrać odpowiednie ustawienie domyślne z listy.



Ponadto można użyć przycisku [Biblioteka nagłówków], aby uzyskać dostęp do różnych nagłówków protokołu. Dodatkowo w bibliotece można tworzyć, modyfikować i usuwać nagłówki.



Rysunek 10.17: Okno dialogowe *Biblioteka nagłówków*

Przyciski w *Bibliotece nagłówków* posiadają następujące funkcje:




	Tworzony jest nowy nagłówek. Specyfikacje wpisuje się w innym oknie dialogowym, którego układ jest podobny do okna dialogowego <i>Nagłówek</i> (zobacz Rysunek 10.16).
	Pozwala edytować właściwości wybranego nagłówka protokołu wydruku.
	Nagłówek zaznaczony na liście zostanie usunięty.

Tabela 10.4: Przyciski okna dialogowego *Biblioteka nagłówków*

Nagłówki są zwykle przechowywane w pliku **DlubalProtocolConfig.cfg**, który można znaleźć w ogólnym folderze danych głównych C:\ProgramData\Dlubal\Stammdat. Plik ten nie zostanie nadpisany podczas instalacji aktualizacji. Zalecamy jednak wykonać jego kopię zapasową.

### Pokazać

Ustawienia w tej części okna określają elementy nagłówka lub układ stron, które będą wyświetlane.

Możliwe jest włączenie lub wyłączenie *Stopki*, *Daty* oraz *Nagłówka*. To samo dotyczy *Czarnych kótek* w punktach przecięcia linii granicznej z nagłówkiem i linią stopki.

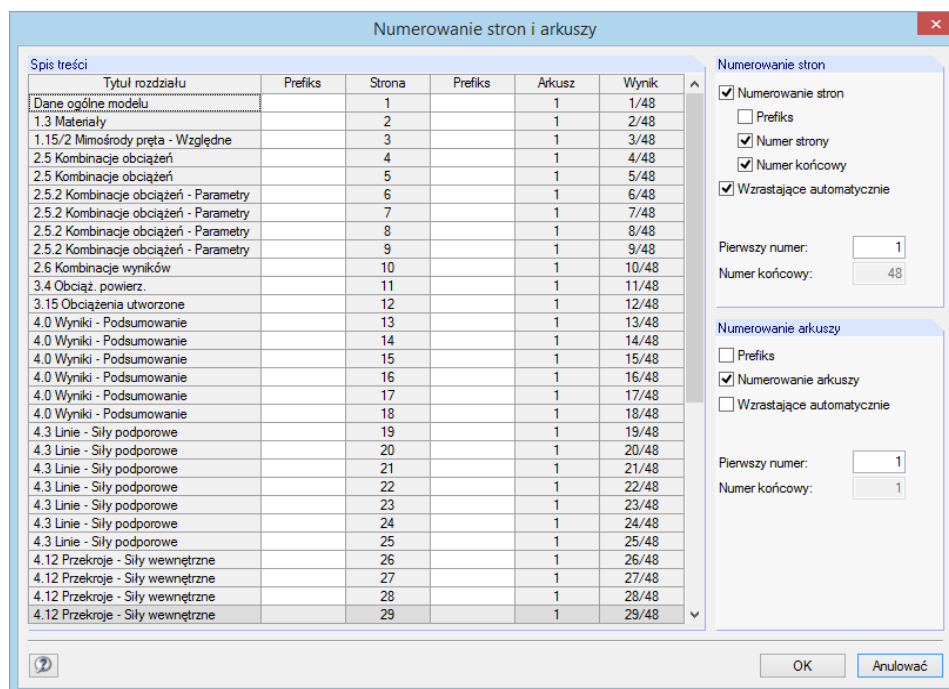
### Data

Program RFEM zapewnia automatyczne ustawienia domyślne i możliwość wprowadzania specyfikacji *Określonych przez użytkownika* do wyświetlania daty w nagłówku protokołu wydruku.

### Numerowanie stron i arkuszy

Różnica w numeracji nie wystąpi, jeżeli *Strona* i *Arkusze* mają takie same numery początkowe oraz zaznaczone zostały pola wyboru znajdujące się przy nich w sekcji *Pokaż*. W przypadku przydzielenia kilka stron na jeden arkusz, można wprowadzić szczegółowe specyfikacje dla numerowania za pomocą przycisku [Ustawienia numerowania], pokazanego na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 10.18: Okno dialogowe *Numerowanie stron i arkuszy*

Przy użyciu tego okna dialogowego można zdecydować, czy przed *Numeracją stron* będzie stosowany *Prefiks*. Prefiks może być skrótem, który jest zdefiniowany dla numeracji danego rozdziału i oznacza na przykład, że zawiera on dane modelu (na przykład przez oznaczenie numeracji prefiksem "MO"). Ponadto można zdecydować, czy włączony będzie *Numer końcowy*, na przykład "Strona: MO3/25".

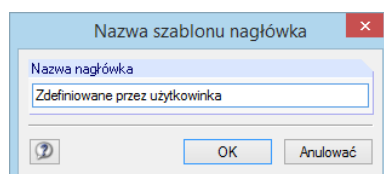
Przy użyciu dwóch pól wyboru *Wzrastające automatycznie* można zdefiniować numerację ciągłą. Ponadto można określić *Pierwszy numer* dla numeracji stron i arkuszy. Kolumna tabeli *Wynik* pokazuje wyniki wszystkich specyfikacji w sposób dynamiczny.

## Nagłówek

Ta sekcja okna dialogowego *Nagłówek protokołu wydruku* zawiera informacje na temat danych klienta, które można dostosowywać. Oddzielne pole wprowadzania jest dostępne dla każdego z trzech wierszy nagłówka protokołu. Przy użyciu przycisku [A], pokazanego na lewym marginesie tej strony można zmienić czcionki oraz rozmiary czcionek. *Położenie* wierszy, oznaczające ich wyrównanie, może być definiowane oddzielnie.

Lewa część nagłówka jest zarezerwowane na logo firmy. Obrazek ten musi być dostępny jako mapa bitowa (grafiki można zapisywać w formacie \*.bmp na przykład w aplikacji MS Paint).

Aby zapisać zmodyfikowane ustawienia, należy kliknąć przycisk [Ustaw nagłówek jako domyślny] na dole okna dialogowego. Otworzy się okno dialogowe *Nazwa szablonu nagłówka*, w którym należy wprowadzić opis. Po tym kroku nowy nagłówek protokołu pojawi się, jako *Nagłówek domyślny* na górze wydruku.

Rysunek 10.19: Okno dialogowe *Nazwa szablonu nagłówka*

### Zmienić nazwę projektu/Zmienić nazwę modelu/Opis

W tych sekcjach okna dialogowego ustawiona jest nazwa projektu oraz nazwa modelu, zawierające opisy zdefiniowane przez użytkownika. Aby zmodyfikować te ustawienia wstępne, należy zaznaczyć pola wyboru obok odpowiedniej nazwy. W ten sposób w polach wejściowych można wprowadzić nowe wpisy, które zostaną później uwzględnione podczas wydruku.

#### 10.1.5 Wstawianie grafiki z programu RFEM

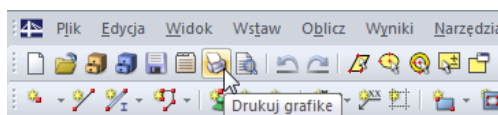


Każdy obraz wyświetlany w oknie roboczym można włączyć do protokołu wydruku. Ponadto możliwe jest włączenie w skład protokołu wykresów wyników przekrojów, prętów i podpór liniowych, jak również danych przekroju. Dokonuje się tego za pomocą przycisku [Drukować] w odpowiednich oknach dialogowych.

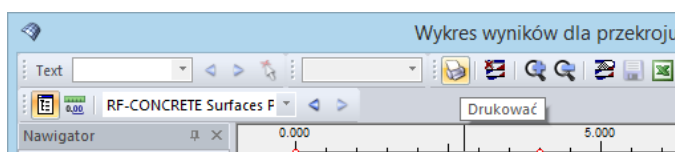
Aby wydrukować aktualnie wyświetlany rysunek

należy wybrać opcję **Drukować** w menu **Plik**

lub skorzystać z paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony.

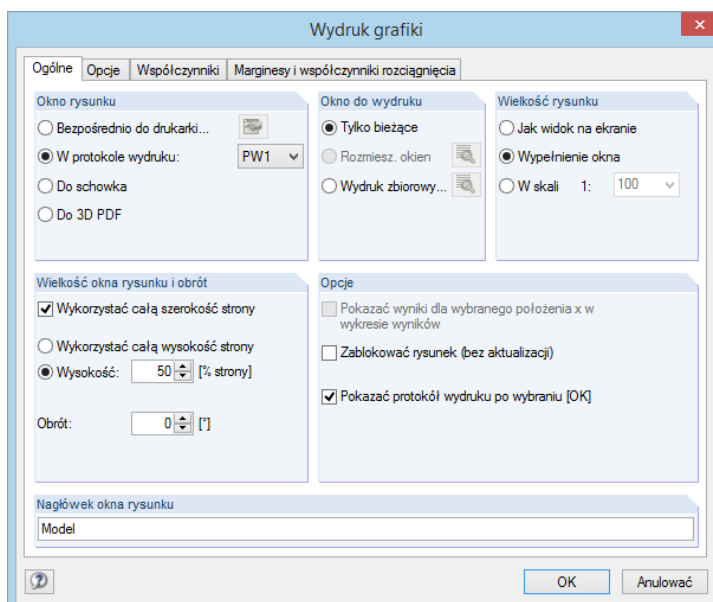


Rysunek 10.20: Przycisk *Drukować grafike* w pasku narzędzi w oknie roboczym



Rysunek 10.21: Przycisk *Drukować* w pasku narzędzi w oknie *Wykres wyników*

Pojawi się następujące okno dialogowe:



Rysunek 10.22: Okno dialogowe *Wydruk graficzny*, zakładka *Ogólne*

## Okno rysunku

W sekcji okna dialogowego *Okno rysunku*, należy wybrać opcję *W protokole wydruku*. W przypadku, gdy dostępnych jest kilka protokołów wydruku, na liście po prawej stronie można wybrać numer protokołu docelowego.

## Opcje

### Zamknąć rysunek (bez aktualizacji)

Standardem w programie RFEM jest generowanie dynamicznych grafik. Po modyfikacji modelu lub wyników, grafiki w protokole wydruku zostaną automatycznie zaktualizowane. Jeżeli w protokole wystąpią problemy z wydajnością z powodu rysunków, dostosowywanie dynamiczne można zatrzymać, zaznaczając pole wyboru *Zamknąć rysunek (bez aktualizacji)* w sekcji okna dialogowego *Opcje*.

W trakcie dalszej pracy można ponownie odblokować grafikę w protokole wydruku. W tym celu należy kliknąć element graficzny prawym przyciskiem myszy w nawigatorze protokołu, aby otworzyć jego menu kontekstowe (zobacz Rysunek 10.4 na stronie 409). Następnie należy wybrać opcję *Właściwości*, aby otworzyć ponownie okno dialogowe *Wydruk graficzny*. W tym samym celu można również zaznaczyć grafikę w nawigatorze protokołu i wybrać opcję *Właściwości rozdziału* w menu *Edytować*.

Przyciski blokowania w pasku narzędzi protokołu zapewniają więcej funkcji dla klasyfikowania grafiki jako statycznej lub dynamicznej (zobacz Rysunek 10.4 na stronie 409). Przyciski te posiadają następujące funkcje:




	Wszystkie grafiki zostaną zaktualizowane.
	Wszystkie grafiki zostaną odblokowane i mogą być aktualizowane dynamicznie.
	Wszystkie grafiki zostaną zablokowane i definitywnie umieszczone w protokole wydruku.

Tabela 10.5: Przyciski dla grafiki w protokole wydruku

### Pokazać protokół wydruku po wybraniu [OK]

Przy użyciu ustawienia domyślnego *Otworzyć protokół wydruku*, po kliknięciu przycisku [OK], program RFEM otwiera protokół wydruku i pokazuje zintegrowaną grafikę. Może to przeszkadzać podczas dodawania do protokołu wydruku kolejno kilku elementów graficznych. Opcja *Pokazać protokół wydruku po wybraniu [OK]* pozwala drukować grafikę bez potrzeby czekania na utworzenie protokołu wydruku.



Pozostałe funkcje i zakładki w oknie dialogowym *Wydruk graficzny* zostały opisane w rozdziale 10.2 na stronie 431.

## 10.1.6 Wstawianie grafiki i tekstu

W protokole wydruku programu RFEM można zintegrować także zewnętrzne grafiki i teksty.

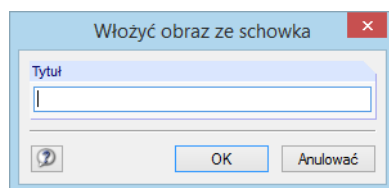
### Grafika

Aby dodać grafikę, która nie pochodzi z programu RFEM, należy najpierw otworzyć ten plik graficzny w edytorze graficznym (na przykład w MS Paint), a następnie należy skopiować go do schowka systemowego przy użyciu przycisków klawiatury [Ctrl]+[C].

Aby wstawić grafikę ze schowka do protokołu wydruku,

należy wybrać opcję **Obrazek ze schowka** w menu **Wprowadzić**.

Przed wstawieniem grafiki, należy wprowadzić nazwę dla nowego rozdziału dla grafiki.

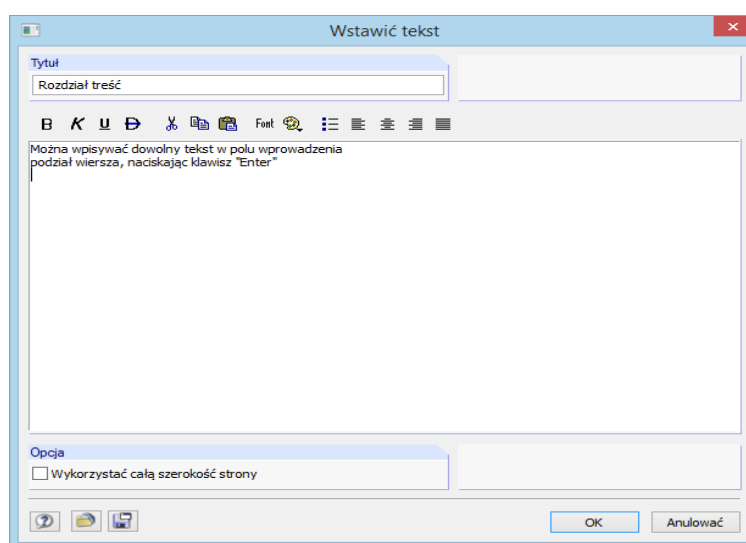
Rysunek 10.23: Okno dialogowe *Włóż obraz ze schowka*

Grafika pojawi się jako osobny rozdział w protokole wydruku.

## Teksty

Do protokołu wydruku można dodać krótkie uwagi zdefiniowane przez użytkownika. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,

należy wybrać opcję **Blok tekstowy** w menu **Wprowadzić**.

Rysunek 10.24: Okno dialogowe *Wstaw tekst*

W oknie dialogowym należy wprowadzić *Tytuł* oraz *Tekst*. Po kliknięciu przycisku [OK], rozdział zostanie wstawiony na końcu protokołu wydruku. Następnie można użyć funkcji przeciągnij-i-upuść, aby przenieść ten rozdział na odpowiednie miejsce w protokole.



Tekst można później modyfikować w trybie wyboru poprzez dwukrotne kliknięcie (zobacz Tabela 10.3 na stronie 410). Alternatywnie, w tym samym celu można kliknąć prawym przyciskiem myszy nagłówek w nawigatorze protokołu, a następnie wybrać opcję *Właściwości* w menu kontekstowym.

## Tekst i pliki RTF

W protokole wydruku można zintegrować pliki tekstowe dostępne w formacie ASCII, jak również pliki w formacie RTF, włączając w to grafiki osadzone w protokole wydruku. Dzięki temu można zapisać pliki z powtarzającymi się tekstami i wykorzystać je później w protokole.

Ponadto funkcja ta pozwala na integrację danych analitycznych z innych programów projektowych w protokole wydruku, pod warunkiem, że wyniki te są dostępne w formacie ASCII lub RTF.

Aby wstawić tekst i pliki RTF,

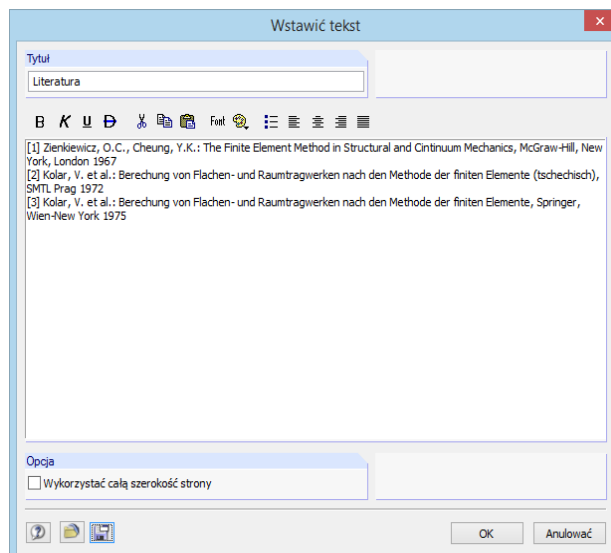
należy wybrać opcję **Plik tekstowy** w menu **Wprowadzić**.

Na początku otworzy się okno dialogowe *Otworzyć systemu Windows*, w którym można wybrać plik. Po kliknięciu przycisku [Otworzyć], rozdział zostanie dodany na końcu protokołu

wydruku. Następnie można użyć funkcji przeciągnij-i-upuść, aby przenieść go na odpowiednie miejsce w protokole wydruku.



Tekst można później modyfikować w trybie wyboru przez dwukrotne kliknięcie (zobacz Tabela 10.3 na stronie 410). Pojawi się okno dialogowe *Import tekstu*, w którym można dokonywać zmian.



Rysunek 10.25: Okno dialogowe *Wstawić tekst*

### 10.1.7 Szablon protokołu wydruku

Wybór opisany w rozdziale 10.1.3 jest czasochłonny. Program RFEM ułatwia pracę, pozwalając zapisać ten wybór wraz z grafikami jako szablon, który można wykorzystać także w innych modelach. Tworzenie protokołów wydruku przy użyciu szablonów jest bardziej efektywne.

Istniejący protokół wydruku może być również zapisany jako szablon.

#### Tworzenie nowego szablonu

Aby zdefiniować nowy szablon,

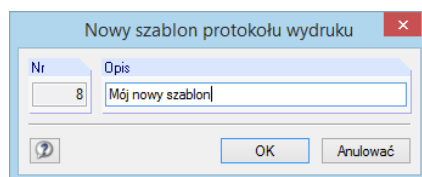
należy wybrać opcję **Szablon protokołu wydruku** w menu **Ustawienia** protokołu wydruku, a następnie kliknąć przycisk **Nowy** lub

wybrać opcję **Szablon protokołu wydruku** w menu **Ustawienia** protokołu wydruku, a następnie kliknąć przycisk **Nowy z bieżącego protokołu wydruku**.

#### Nowy

Otworzy się okno dialogowe dla wyboru, opisane w rozdziale 10.1.3 na stronie 411.

Przy użyciu zakładek wybiera się rozdziały, które mają zostać wydrukowane. Po zakończeniu wyboru, należy kliknąć przycisk [OK], a następnie wprowadzić *Opis* nowego szablonu protokołu.



Rysunek 10.26: Okno dialogowe *Nowy szablon protokołu wydruku*

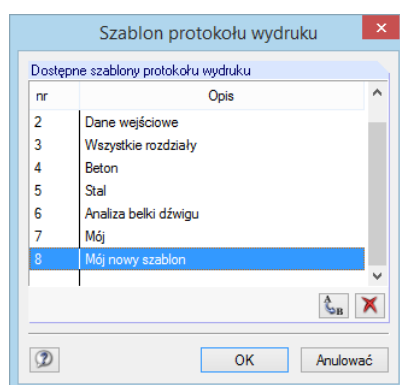
### Nowy z bieżącego protokołu wydruku

W przypadku nowego szablonu używany jest wybór w aktualnie przedstawionym protokole wydruku. W oknie dialogowym należy wprowadzić *Opis* nowego szablonu protokołu (zobacz Rysunek 10.26).

### Zastosować szablon

W przypadku, gdy protokół wydruku jest już otwarty, można zastosować wybraną zawartość szablonu w bieżącym protokole. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe, należy wybrać opcję **Szablon protokołu wydruku** w menu **Ustawienia**, a następnie kliknąć przycisk **Wybrać**.

Otworzy się okno dialogowe, w którym można wybrać szablon z listy *Dostępnych szablonów protokołu wydruku*.

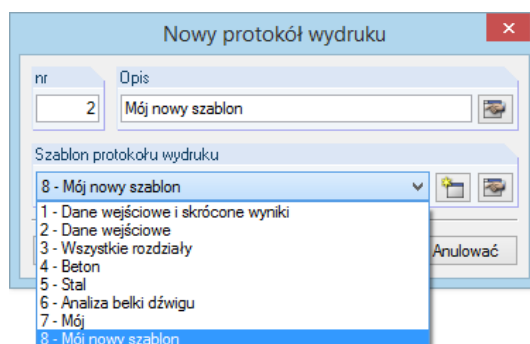


Rysunek 10.27: Okno dialogowe *Szablon protokołu wydruku*

Szczegóły dotyczące przycisków w tym oknie dialogowym znajdują się w Tabeli 10.6.

Po potwierdzeniu okna dialogowego oraz następującego po nim zapytania kontrolnego, aktualny wybór zostanie nadpisany przez szablon.

Podczas tworzenia nowego protokołu wydruku można teraz wybrać szablon z listy *Szablonów protokołu wydruku*, aby zastosować specyficzne ustawienia do nowego protokołu.



Rysunek 10.28: Okno dialogowe *Nowy protokół wydruku* z listą szablonów

### Zarządzanie szablonami

Wszystkie szablony są zarządzane w oknie dialogowym *Szablon protokołu wydruku*. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,

należy wybrać opcję **Szablon protokołu wydruku** w menu **Ustawienia**, a następnie kliknąć przycisk **Wybrać**.

Otworzy się okno dialogowe: Rysunek 10.27. Funkcje przycisków są aktywne tylko dla szablonów zdefiniowanych przez użytkownika.



	Pozwala na zmianę nazwy wybranego szablonu.
	Wybrany szablon zostanie usunięty.

Tabela 10.6: Przyciski w oknie dialogowym *Szablon protokołu wydruku*

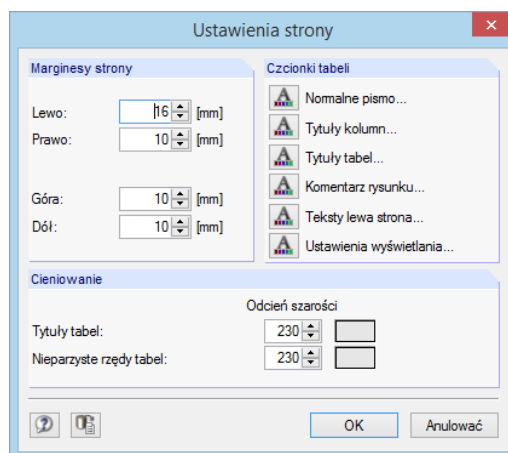
Szablony protokołu wydruku są zapisywane w pliku **RfemProtocolConfig.cfg**, który można znaleźć w katalogu danych głównych dla programu RFEM 5 C:\ProgramData\Dlubal\RFEM 5.xx\Dane ogólne. Ten plik nie zostanie nadpisany podczas instalacji aktualizacji. Zalecamy jednak wykonać jego kopię zapasową.

### 10.1.8 Dostosowywanie układu

Układ protokołu wydruku można dostosować w zakresie jego czcionki, kolorów czcionek, ustawienia marginesów oraz wyglądu tabel.



Aby otworzyć okno dialogowe, w którym można edytować układ strony, należy wybrać opcję **Strona** w menu **Ustawienia** lub skorzystać z paska narzędzi w protokole wydruku, pokazanego na lewym marginesie tej strony.

Rysunek 10.29: Okno dialogowe *Ustawienia strony*

Domyślne czcionki dla treści i nagłówków są stosunkowo niewielkie. Należy jednak być ostrożnym ze zmianą ustawień domyślnych czcionki **Arial**, gdyż większe czcionki nie zawsze mieszczą się w kolumnach.



Ustawienia układu stosowane są również dla protokołu wydruku modułów dodatkowych programu RFEM.

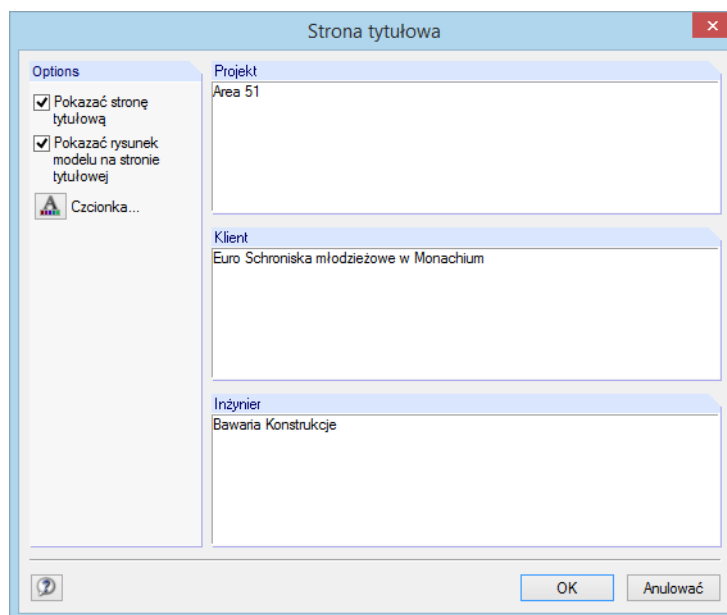
### 10.1.9 Tworzenie strony tytułowej

Protokół wydruku może posiadać stronę tytułową. Aby otworzyć okno dialogowe, w którym można wprowadzić dane dla strony tytułowej,

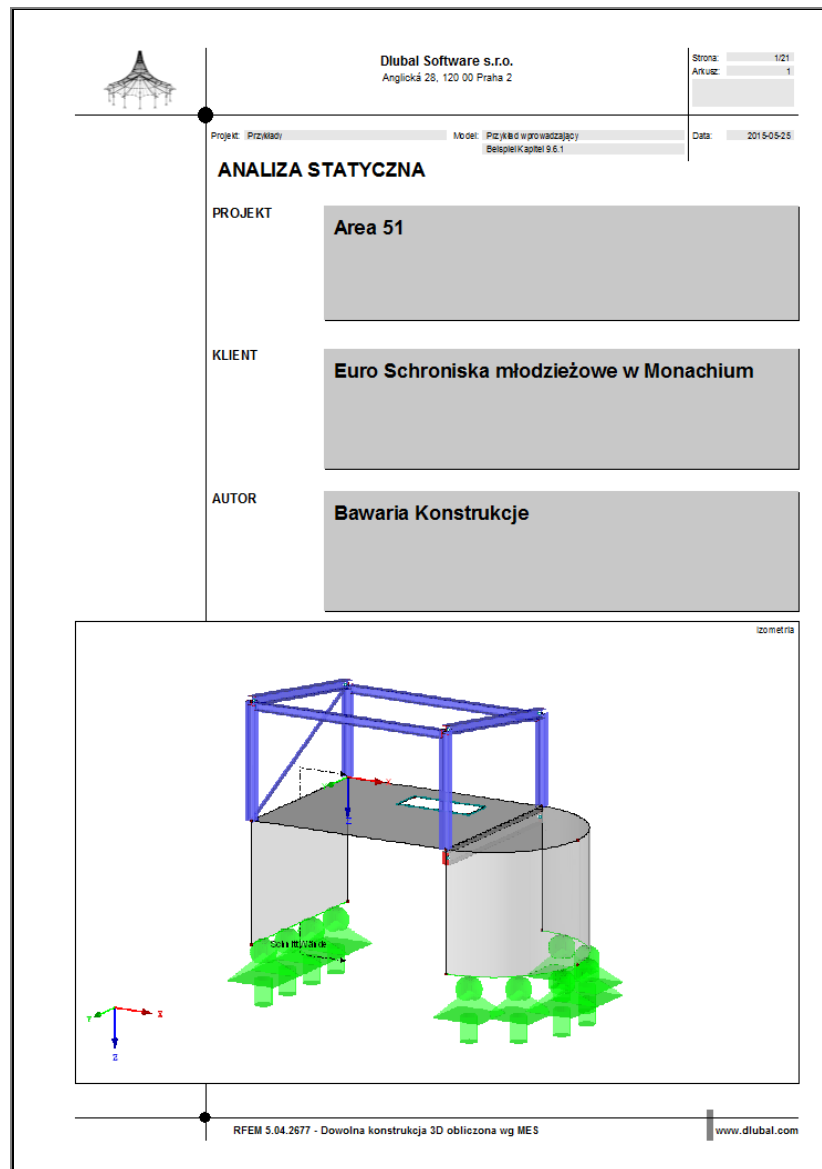


należy wybrać opcję **Okładka** w menu **Ustawienia** w protokole wydruku lub skorzystać z paska narzędzi w protokole wydruku, pokazanego na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 10.30: Okno dialogowe *Strona tytułowa*

Po zakończeniu edycji, należy kliknąć przycisk [OK], aby utworzyć stronę tytułową protokołu.



Rysunek 10.31: Strona tytułowa w protokole wydruku



Zawartość strony tytułowej może zostać ponownie zmodyfikowana poprzez dwukrotne kliknięcie w trybie wyboru (zobacz Tabela 10.3 na stronie 410). Alternatywnie, można również kliknąć prawym przyciskiem myszy stronę tytułową w nawigаторze protokołu i z menu kontekstowego wybrać opcję *Właściwości*.

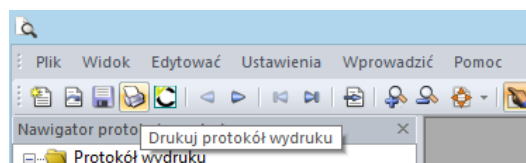
### 10.1.10 Drukowanie protokołu wydruku



W celu rozpoczęcia procesu drukowania,

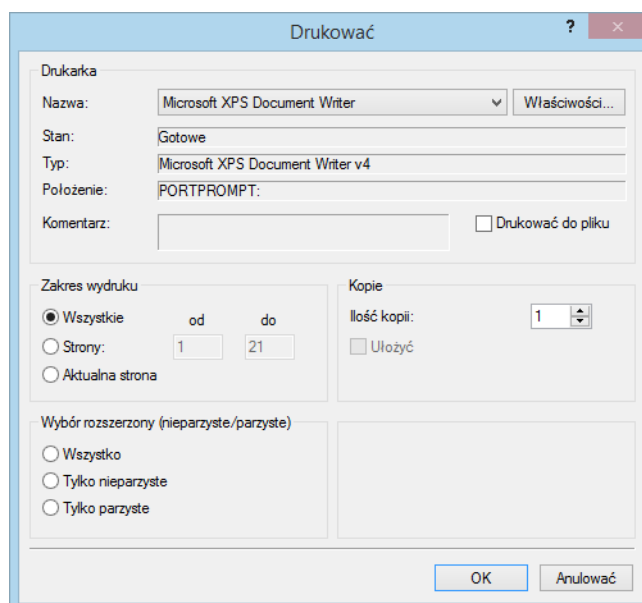
należy wybrać polecenie **Drukować** z menu **Plik**

lub skorzystać z paska narzędzi w protokole wydruku, pokazanego na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 10.32: Przycisk *Drukować protokół wydruku*

Otworzy się okno dialogowe drukarki ustawionej jako domyślna w systemie Windows. Należy w nim wybrać drukarkę oraz określić strony, które mają zostać wydrukowane.



Rysunek 10.33: Okno dialogowe *Drukować*

W przypadku wybrania drukarki innej niż domyślna, podział strony, a w związku z tym również numeracja stron na rzeczywistym wydruku, mogą różnić się od podglądu wydruku w programie RFEM.

Po wybraniu opcji *Drukować do pliku*, można utworzyć plik do wydruku w formacie PRN, który może być przesłany do drukarki za pomocą polecenia **kopiować**.

### 10.1.11 Eksport protokołu wydruku

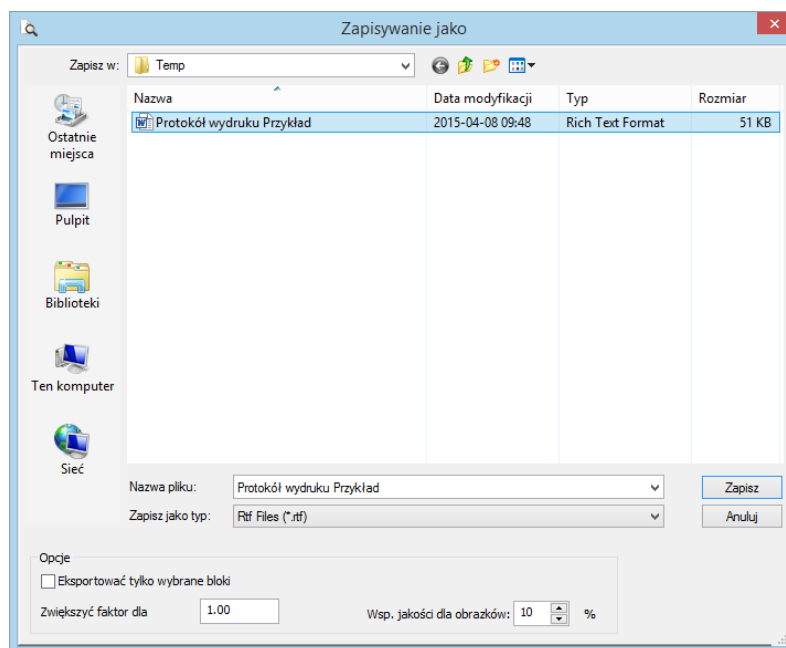
Protokół wydruku można eksportować do różnych formatów plików. Możliwy jest również bezpośredni eksport do *VCmaster*.

#### Eksport do pliku RTF

Wszystkie popularne edytory tekstu obsługują format pliku RTF. Aby wyeksportować protokół wydruku wraz z grafikami, jako dokument RTF,

należy wybrać opcję **Eksportować do RTF** w menu **Plik**.

Otworzy się okno dialogowe systemu Windows *Zapisać jako*.

Rysunek 10.34: Okno dialogowe *Zapisać jako*

Wprowadza się tutaj miejsce zapisania pliku oraz jego nazwę. W przypadku zaznaczenia pola wyboru *Eksportuj tylko wybrane bloki*, zamiast całego raportu, zostaną wyeksportowane tylko rozdziały poprzednio wybrane w nawigаторze.

### Eksport do pliku PDF

Urządzenie drukujące PDF zintegrowane w programie RFEM pozwala na zapisanie danych protokołu wydruku w pliku PDF. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,

należy wybrać polecenie **Eksportować do PDF** w menu **Plik**.

Otworzy się okno dialogowe systemu Windows *Zapisać jako* (zobacz Rysunek 10.34), w którym wprowadza się miejsce zapisania pliku oraz jego nazwę. W sekcji okna dialogowego *Opis*, znajdującej się poniżej, wprowadza się uwagi dla pliku PDF.



Ponadto plik PDF jest tworzony z zakładkami ułatwiającymi nawigację w dokumencie cyfrowym.

### Eksport do VCmaster

*VCmaster* firmy VEIT CHRISTOPH jest edytorem tekstu posiadającym specyficzne dodatki do obliczeń strukturalnych.



Aby rozpocząć bezpośredni eksport do *VCmaster*,

należy wybrać opcję **Eksportować do VCmaster** w menu **Plik** lub

wykorzystać przycisk [Eksport do VC-Master] z paska narzędzi w protokole wydruku, pokazany na lewym marginesie tej strony.

Pojawi się okno dialogowe pokazane na Rysunek 10.34, w którym należy zaznaczyć pole wyboru dla *Bezpośredniego eksportu do programu VC-Master*.

Nie jest konieczne wprowadzenie nazwy pliku, ale *VC-Master* powinien działać w tle. Aby uruchomić moduł importu programu *VC-Master*, należy kliknąć przycisk [OK].

### 10.1.12 Ustawienia języka

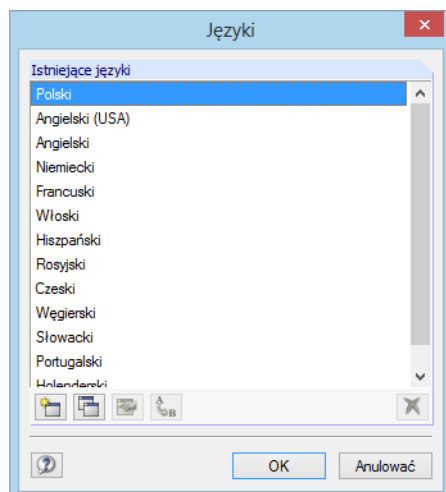
Język w protokole wydruku można ustawić niezależnie od języka używanego w graficznym interfejsie użytkownika programu RFEM. W ten sposób można utworzyć na przykład niemiecki lub włoski protokół wydruku podczas pracy w polskiej wersji programu.

#### Zmiana języka protokołu wydruku

Aby zmienić język używany w protokole wydruku,

należy wybrać polecenie **Język** w menu **Ustawienia** protokołu wydruku.

Otworzy się okno dialogowe, w którym można wybrać język protokołu z listy.



Rysunek 10.35: Okno dialogowe *Języki*

#### Dodawanie języka do listy

Wyrażenia używane w protokole wydruku są przechowywane w ciągach. Dzięki temu dodawanie nowych języków jest stosunkowo proste.

Aby otworzyć okno dialogowe *Języki*,

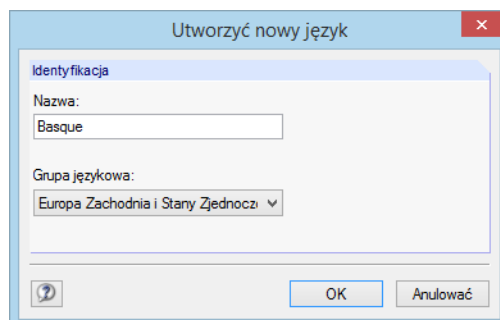
należy wybrać opcje **Język** w menu **Ustawienia** protokołu wydruku.

W dolnej części okna dialogowego (Rysunek 10.35) można zobaczyć niektóre przyciski służące do zarządzania językami.



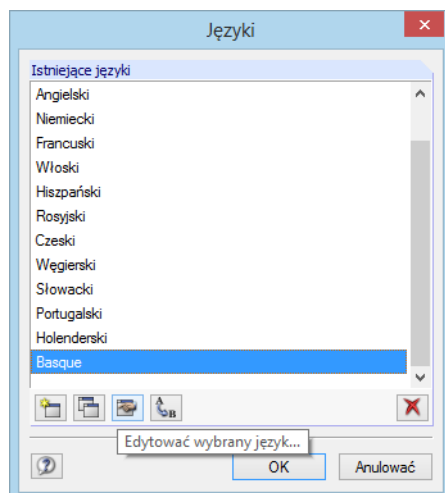
#### Utworzyć nowy język

Kliknięcie przycisku, pokazanego na lewym marginesie tej strony, pozwala otworzyć poniższe okno dialogowe. Należy w nim określić *Nazwę* nowego języka oraz wybrać *Grupę językową* z listy, w celu poprawnej interpretacji zestawu znaków.



Rysunek 10.36: Okno dialogowe *Utworzyć nowy język*

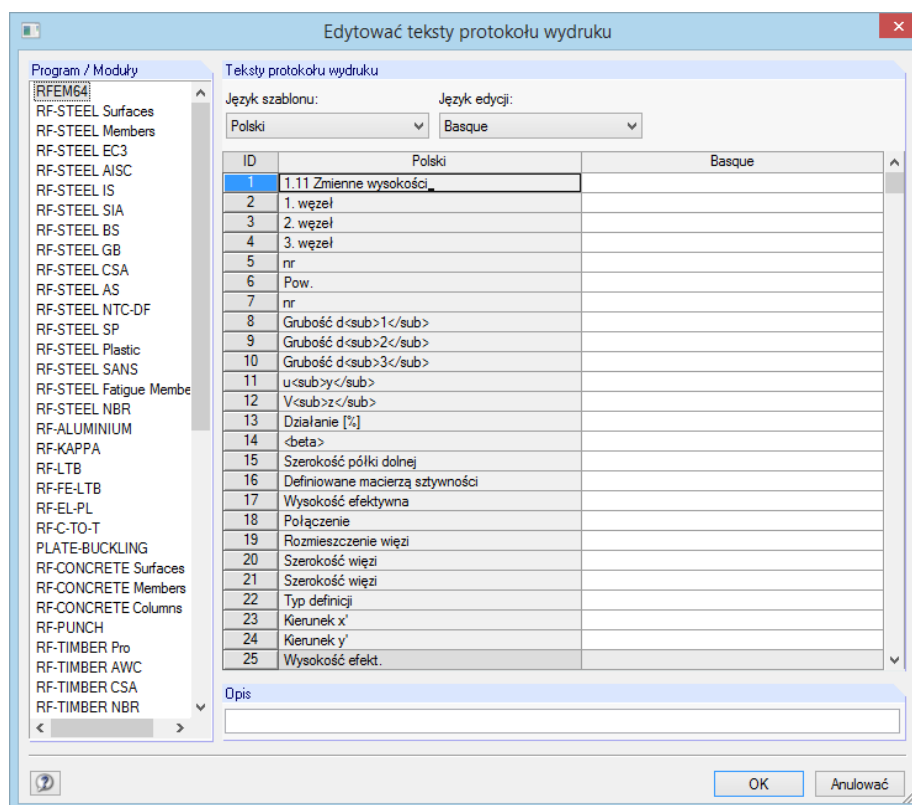
Następnie należy kliknąć przycisk [OK], aby zatwierdzić okno dialogowe. Nowy język będzie teraz dostępny na liście *Istniejące języki*.



Rysunek 10.37: Okno dialogowe *Języki*, przycisk *Edytować wybrany język*



Przy użyciu przycisku [Edytować] wprowadza się ciągi znaków dla nowego języka.

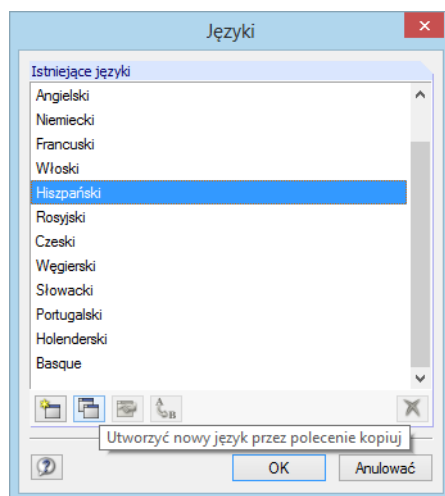


Rysunek 10.38: Okno dialogowe *Edytować teksty protokołu wydruku*

Tylko języki zdefiniowane przez użytkownika mogą być edytowane.



### Kopiować język



Rysunek 10.39: Okno dialogowe *Języki*, przycisk *Utworzyć nowy język przez polecenie kopiować*

Funkcja ta jest podobna do tworzenia nowego języka. Różnica polega na tym, że nie tworzy się "pustej" kolumny języka (zobacz Rysunek 10.38, kolumna *Baskijski*), ponieważ reguły w wybranym języku są już wstępnie ustawione.

### Zmienić nazwę lub usunąć język



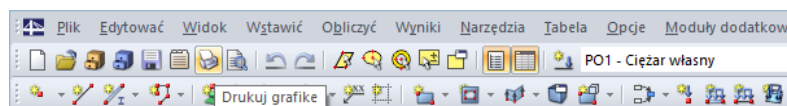
Przy użyciu pozostałych przycisków w oknie dialogowym *Języki* można zmienić nazwę lub usunąć język. Obie te funkcje nie są dostępne dla istniejących w programie języków domyślnych, ale jedynie dla języków zdefiniowanych przez użytkownika.

## 10.2 Bezpośredni wydruk grafiki

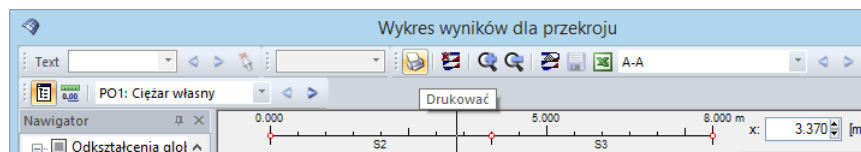
Dowolna grafika okna roboczego może zostać bezpośrednio wydrukowana bez wcześniejszego umieszczenia jej w protokole wydruku (zobacz rozdział 10.1.5 na stronie 419). Wykresy wyników przekrojów, prętów, zbiorów prętów, linii i podpór liniowych, jak również szczegóły przekrojów można również przesłać bezpośrednio do drukarki za pomocą przycisku [Drukować], znajdującego się w odpowiednich oknach.



Aby bezpośrednio wydrukować aktualnie wyświetlaną grafikę, należy wybrać polecenie **Drukować** w menu **Plik** lub skorzystać z paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony.



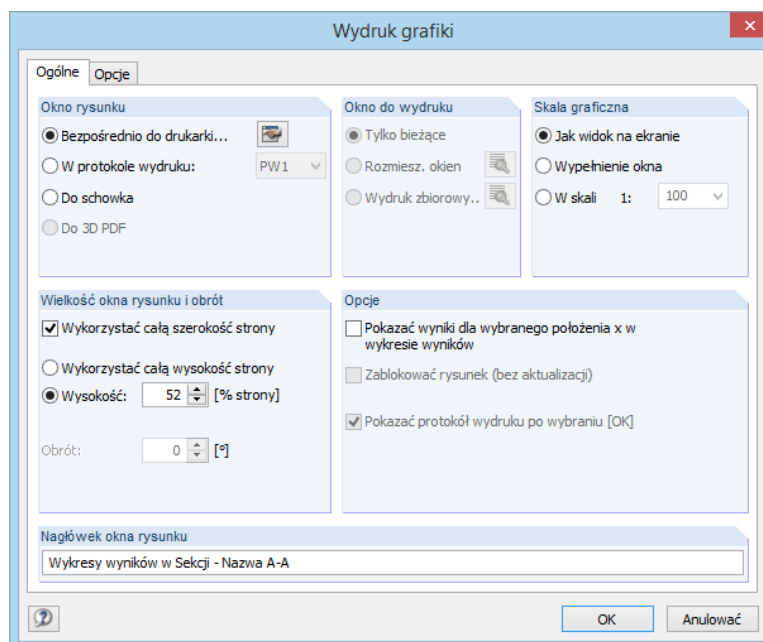
Rysunek 10.40: Przycisk *Drukować grafikę* w pasku narzędzi okna głównego



Rysunek 10.41: Przycisk *Drukować* w pasku narzędzi okna *Wykres wyników*

Otworzy się okno dialogowe z kilkoma zakładkami, które są opisane w następujących rozdziałach.

## 10.2.1 Ogólne



Rysunek 10.42: Okno dialogowe *Wydruk graficzny*, zakładka *Ogólne*

### Okno rysunku

Istnieją trzy opcje wyświetlania grafiki. Obraz można wysłać:

- bezpośrednio do drukarki
- do protokołu wydruku (zobacz rozdział 10.1.5 na stronie 419)
- do schowka

*Schowek* pozwala na udostępnienie grafiki dla innych programów, w których może być ona zazwyczaj importowana, poprzez wybranie polecenia **Wstawić** z menu **Edytować**.

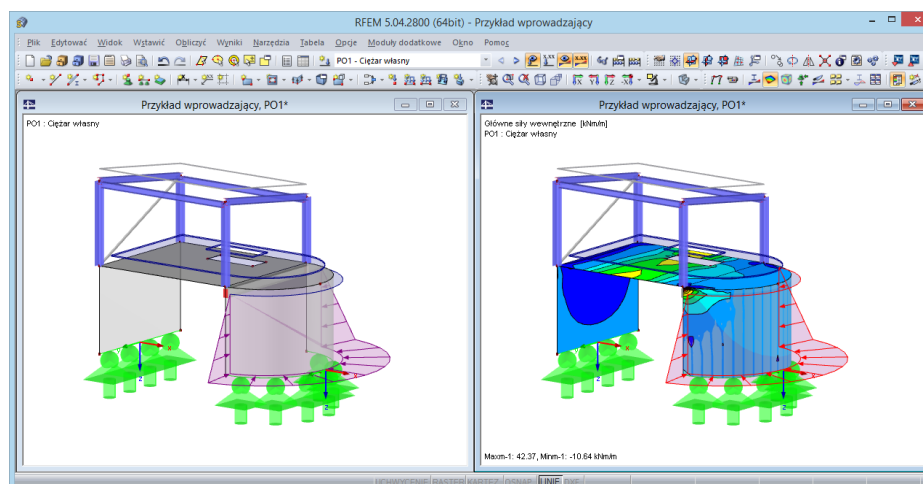
Opcja *Bezpośrednio do drukarki* pozwala na bezpośredni wydruk. Nagłówek protokołu wydruku można bezpośrednio dostosować za pomocą przycisku [Edytować nagłówek wydruku], który otwiera okno *Nagłówek protokołu wydruku* (zobacz rozdział 10.1.4 na stronie 416).

### Okno do wydruku

Sekcja okna dialogowego *Okno do wydruku* służy do określania ustawień wydruku widoku wielu okien. Wybranie opcji *Tylko bieżące* pozwala wydrukować grafikę okna, które jest aktywne w danym momencie (na przykład okno po prawej stronie na Rysunek 10.43).

Należy zwrócić uwagę, że podczas drukowania kilku okien z grafiką (zobacz rozdział 9.8 na stronie 395), można drukować tylko grafikę jednego i tego samego modelu. Wydruk z kilku modeli nie jest możliwy.

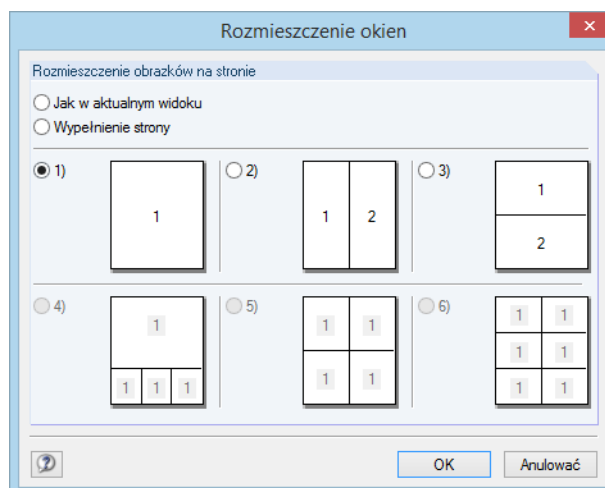




Rysunek 10.43: Wyświetlanie dwóch okien tego samego modelu



Wybierając opcję *Więcej*, uaktywnia się przycisk [Edytować ułożenie okien], który otwiera okno dialogowe z opcjami kontrolnymi dla układu wydruku grafiki.

Rysunek 10.44: Okno dialogowe *Ułożenie okien*

Wybranie polecenia *Jak widok na ekranie* pozwala rozmieścić okna na arkuszu wydruku zgodnie z proporcjami wyświetlanymi na ekranie. Ogólny obraz na stronie zwykle ma większą szerokość niż wysokość - jak jest to wyświetlane na ekranie. Z tego powodu należy wybrać opcję *Wykorzystaj całą szerokość strony*, aby wykorzystać cały rozmiar arkusza do wyświetlania okien.

*Wydruk zbiorowy* jest opcją pozwalającą jednocześnie przenieść wszystkie grafiki domyślne do protokołu wydruku. Gdy opcja ta zostanie zaznaczona, będą dostępne trzy dodatkowe zakładki, w których można określić parametry (zobacz rozdział 10.2.4 na stronie 438).

### Wielkość rysunku

Sekcja w prawym górnym rogu okna dialogowego *Wydruk graficzny* (Rysunek 10.42) zarządza skalą wydruku grafiki na arkuszu.

Jeżeli ma zostać użyty ten sam rozmiar grafiki jak na monitorze, należy wybrać opcję *Jak widok na ekranie*. Z opcji tej można skorzystać, aby wydrukować powiększone obszary lub widokach specjalnych.

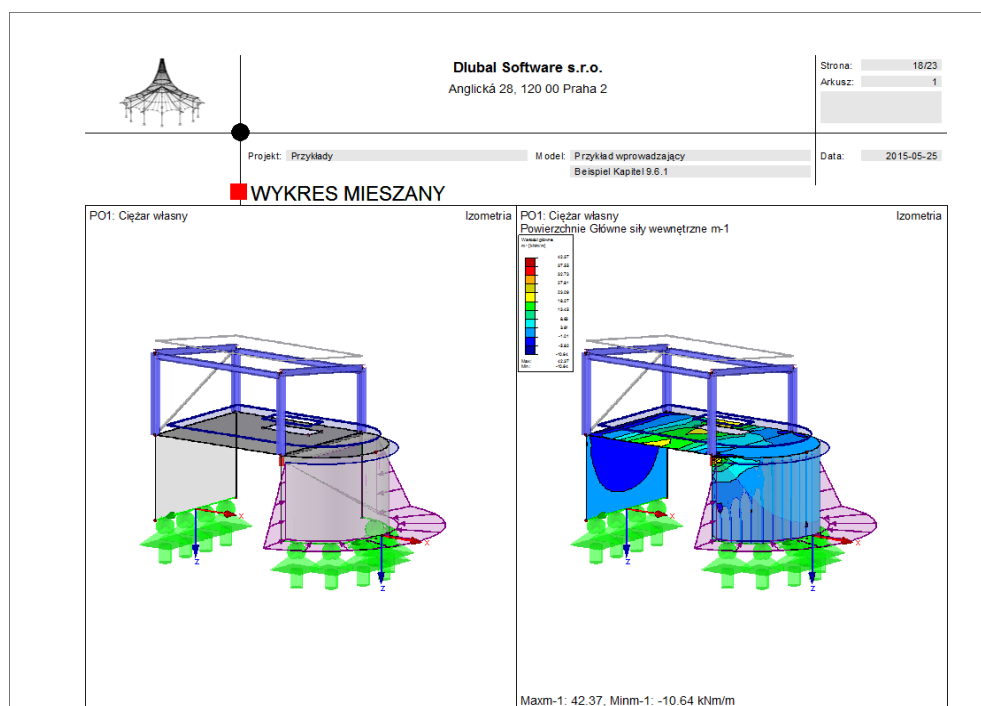
Opcja *Wypełnienie okna* drukuje grafikę na całym arkuszu. Do przedstawienia całego modelu w określonym rozmiarze używany jest aktualnie ustawiony kąt widzenia (zobacz w następnej sekcji okna dialogowego).

Przy użyciu opcji *W skali*, grafiki zostaną wydrukowane w skali, która zostanie wybrana z listy lub wpisana ręcznie w polu wprowadzania. Tutaj również jest używany aktualnie ustawiony kąt widzenia. Widok perspektywiczny nie nadaje się do wydruku w skali.

### Wielkość okna rysunku i obrót

Ustawienia w tej sekcji okna dialogowego określają rozmiar grafiki na arkuszu.

Jeśli zaznaczone jest pole wyboru *Wykorzystaj całą szerokość strony*, grafika zostanie dodatkowo wstawiona na lewym marginesie poza pionową linią rozdzielającą, jak pokazano na poniższym rysunku.



Rysunek 10.45: Wydruk graficzny w poziomej orientacji strony, jako wynik wybrania opcji *Wszystkie* oraz *Wykorzystaj całą szerokość strony*

Jeśli pełny rozmiar strony nie ma być wykorzystany dla grafiki, można zdefiniować *Wysokość powierzchni rysunku* w procentach.

Kąt obrotu w polu wprowadzania *Obrót* obraca grafikę w protokole wydruku.

### Opcje

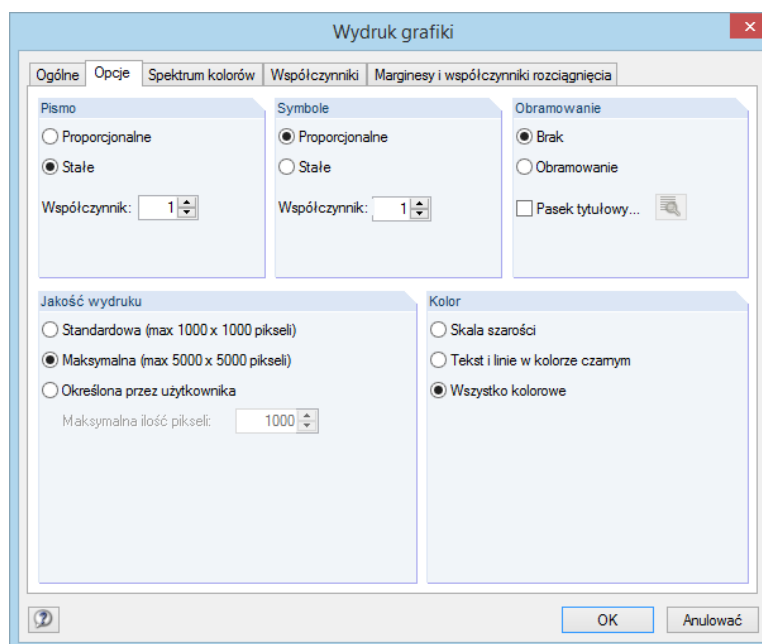
Ta sekcja okna dialogowego jest nieistotna dla bezpośredniego wydruku grafiki okna roboczego.

Podczas drukowania wykresów wyników, można użyć pola wyboru *Pokazać wyniki dla wybranego położenia x w wykresie wyników*, aby zdecydować, czy zostaną wydrukowane wartości znajdujące się w pozycji linii pionowej (zobacz Rysunek 9.20 na stronie 381).

### Nagłówek okna rysunku

Po otwarciu okna dialogowego *Wydruk graficzny*, w grafice będzie automatycznie ustawiony tytuł, który można zmienić w polu wprowadzania.

## 10.2.2 Opcje



Rysunek 10.46: Okno dialogowe *Wydruk graficzny*, zakładka *Opcje*

### Pismo / Symbole

W większości przypadków zmiana ustawień domyślnych w tych dwóch sekcjach okna dialogowego nie jest konieczna. W przypadku drukowania na ploterach wykorzystujących duże formaty, należy jednak dostosować współczynniki (zobacz rozdział 10.2.5 na stronie 440).

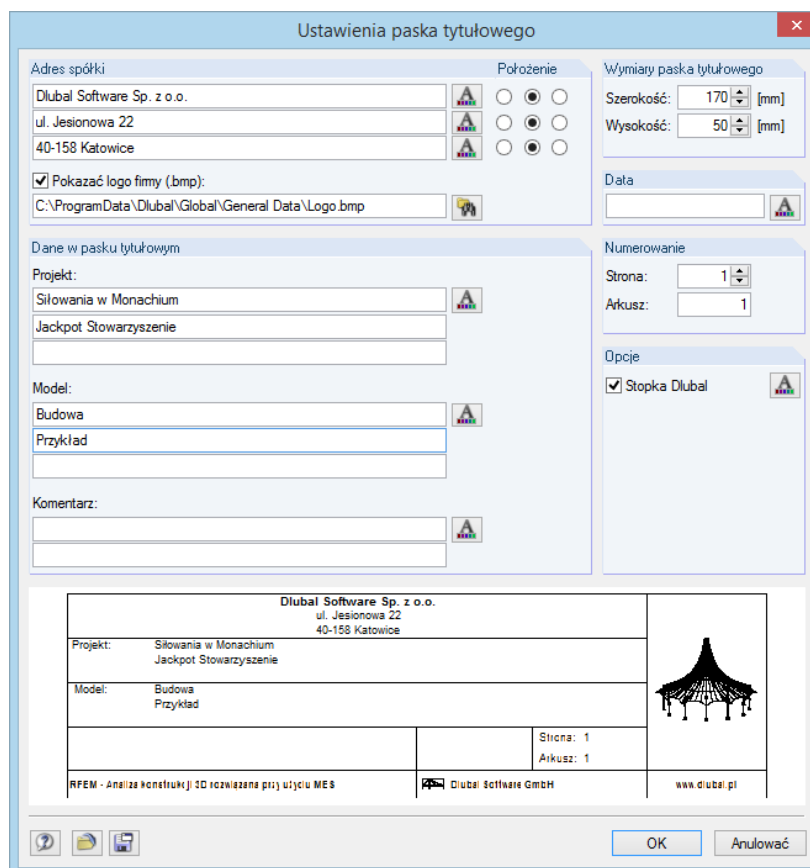
Rozmiar czcionki i symboli graficznych (węzły, podpory, linie itp.) zależy od sterownika drukarki. Jeżeli wynik drukowania nie jest zadowalający, współczynniki skalowania można zdefiniować oddzielnie dla *Skryptu* oraz dla *Symboli*.

### Obramowanie

Grafika może być drukowana z obramowaniem lub bez niego.



Dodatkowo istnieje możliwość dodania pola tytułowego do wydruku. W tym celu należy kliknąć przycisk [Edytować ustawienia paska tytułowego], pokazany na lewym marginesie tej strony, aby otworzyć kolejne okno dialogowe, w którym można określić układ i zawartość paska tytułowego. W dolnej części okna dialogowego pokazany jest podgląd wydruku.


Rysunek 10.47: Okno dialogowe *Ustawienia paska tytułowego*

## Jakość wydruku

W większości przypadków zmiana ustawień domyślnych w tej sekcji okna dialogowego nie jest konieczna (Rysunek 10.46). W przypadku wybrania opcji *Standardowa*, grafika zostanie wydrukowana jako mapa bitowa o wymiarach maksymalnych 1 000 x 1 000 pikseli. *Maksymalny* rozmiar do 5 000 x 5 000 pikseli, wraz z 32-bitową głębią kolorów, prowadzi do powstania pliku danych o wielkości około 100 MB. Ponieważ może to powodować problemy w przypadku niektórych sterowników drukarek, należy zachować ostrożność wybierając tak wysoką rozdzielczość.

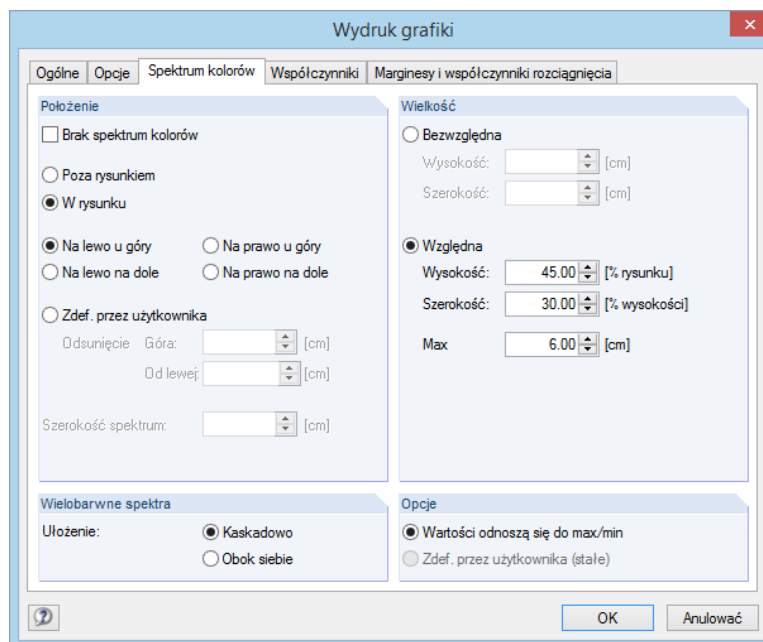
## Kolor

W przypadku bezpośredniego drukowania do drukarki monochromatycznej, można drukować *Teksty i linie w kolorze czarnym* zamiast w skali szarości, aby zwiększyć czytelności. Należy zauważyć, że ustawienie to nie dotyczy niektórych elementów, takich jak izopasma i symbole dodatkowe i dlatego są one drukowane w kolorze.



Konwersja z kolorowych wykresów wyników na skalę szarości odbywa się zawsze przy użyciu sterownika drukarki. W programie RFEM nie istnieją odpowiednie opcje ustawień.

### 10.2.3 Spektrum kolorów



Rysunek 10.48: Okno dialogowe *Wydruk graficzny*, zakładka *Spektrum kolorów*

Zakładka ta jest dostępna tylko wtedy, gdy wyniki są wyświetlane w wyświetlaniu wielobarwnym (zobacz rozdział 9.3 na stronie 370).

#### Położenie

Podczas wydruku jest zwykle używane spektrum kolorów z panelu sterowania. Aby temu zapobiec, należy zaznaczyć pole wyboru *Brak spektrum kolorów*.

Kiedy panel leży *W rysunku*, spektrum barw przykrywa część rysunku. Pozycję panelu można dostosować, poprzez zdefiniowanie go albo w czterech narożach lub w położeniu *Określonym przez użytkownika*.

Opcja *Poza rysunkiem* odcina pasek okna graficznego i używa go tylko dla spektrum barw. *Szerokość spektrum* można określić w dolnej części okna dialogowego.

#### Wielkość

Wielkość spektrum barw może być zdefiniowana w wartościach bezwzględnych albo w stosunku do wymiarów rysunku.

#### Więcej spektr kolorów

Jeżeli wyniki pręta i powierzchni są wyświetlane razem w oknie roboczym, w panelu sterowania możliwe jest zdefiniowanie spektrum barw, które odnosi się do ekranu (zobacz Rysunek 9.50 na stronie 404). Niemniej w tym przypadku na arkuszu wyświetlane są dwa spektra. Ich rozmieszczenie może być określone w tej sekcji okna dialogowego.

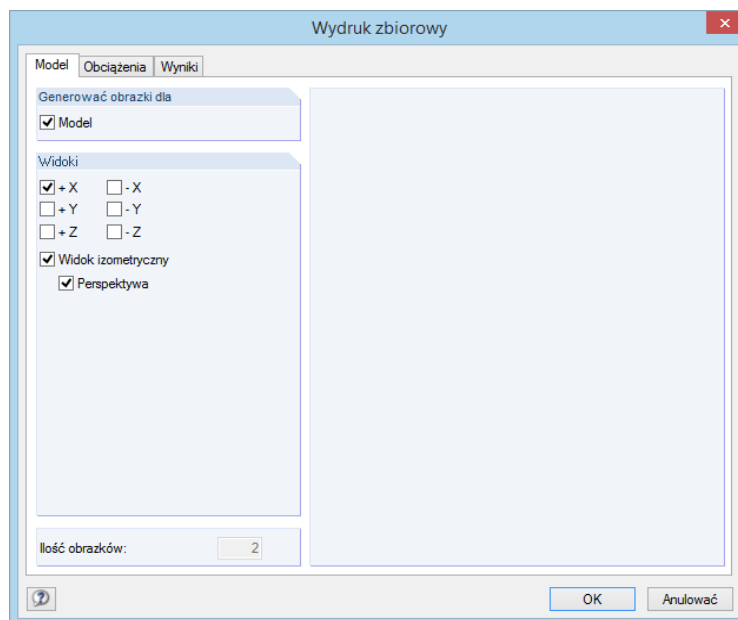
#### Opcje

Przypisanie wartości barw w oknie roboczym może być zdefiniowane przez użytkownika (zobacz rozdział 3.4.6 na stronie 32).

Domyślne spektrum barw podczas wydruku może odnosić się do wartości ekstremalnych (*max/min*) lub zostać zdefiniowane przez użytkownika.

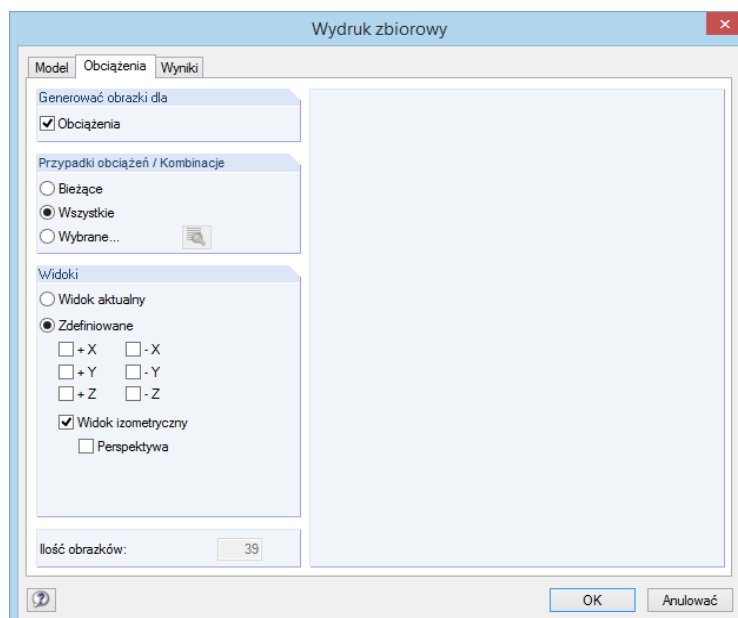
### 10.2.4 Wydruk zbiorowy

Okno dialogowe z trzema zakładkami *Wydruk zbiorowy* można wyświetlić tylko wtedy, gdy w zakładce *Ogólne* została wybrana opcja **Wydruk zbiorowy** (zobacz Rysunek 10.42). Przy użyciu tych ustawień drukowania można zdecydować, które domyślne grafiki modelu, obciążenia i wyniki będą automatycznie włączane do protokołu wydruku.



Rysunek 10.49: Okno dialogowe *Wydruk zbiorowy*, zakładka *Model*

Oprócz aktualnego wyświetlania, można wybrać także siedem standardowych widoków. Dodatkowo można aktywować *Perspektywę 3D* do przedstawienia modelu.



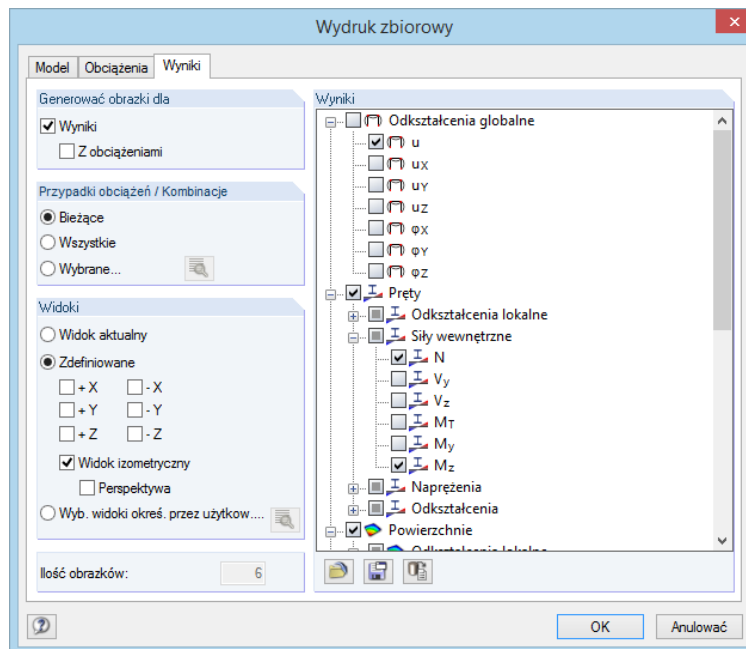
Rysunek 10.50: Okno dialogowe *Wydruk zbiorowy*, zakładka *Obciążenia*

W sekcji okna dialogowego *Obciążenia* można zdecydować, czy zostanie utworzona grafika obciążenia. Następnie w sekcji okna dialogowego *Przypadki obciążeń / Kombinacje* należy określić odpowiednie przypadki obciążeń. Przy użyciu przycisku [Wybrać], pokazanego na



w lewym marginesie tej strony, można zdefiniować *Wybrane* przypadki obciążeń w oknie dialogowym *Przypadki / kombinacje obciążeń* (zobacz Rysunek 10.52 na stronie 439).

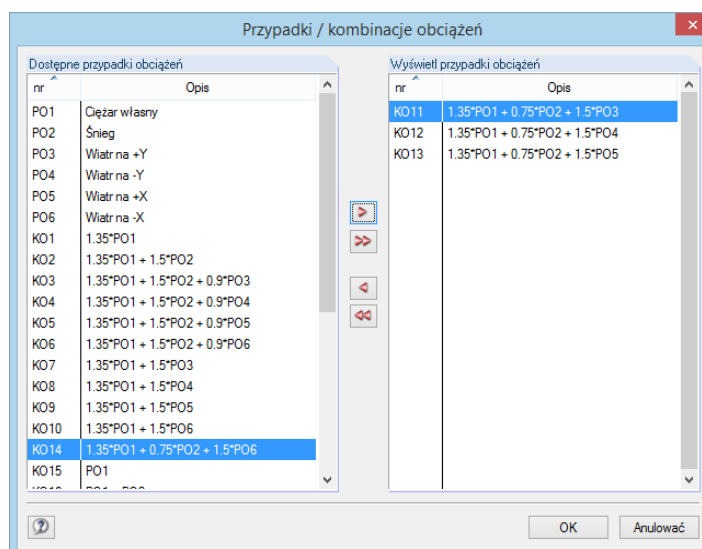
Jako ostatni krok, w sekcji okna dialogowego *Widoki*, należy zdecydować, które kąty widzenia będą użyte dla grafik domyślnych.



Rysunek 10.51: Okno dialogowe *Wydruk zbiorowy*, zakładka *Wyniki*

W sekcji okna dialogowego *Wyniki* można wybrać odpowiednie deformacje, siły wewnętrzne lub reakcje podporowe w strukturze drzewa poprzez zaznaczenie pól wyboru.

W sekcjach okna dialogowego *Obciążenie i Przypadki obciążeń / Kombinacje* można zdecydować, czy grafika będzie utworzona z przedstawieniem obciążeń lub bez, a także które przypadki obciążeń zostaną uwzględnione podczas wydruku. Kliknięcie przycisku [Wybrać], pokazanego na lewym marginesie tej strony, pozwala na zdefiniowanie *Wybranych* przypadków obciążeń w oddzielnym oknie dialogowym.



Rysunek 10.52: Okno dialogowe *Przypadki / kombinacje obciążeń*

Widok grafiki jest definiowany w sekcji okna dialogowego *Widoki*.



Zaleca się sprawdzenie określonej *Ilość obrazków*, w szczególności dla wyników, ponieważ niewielkie błędy podczas wyboru mogą prowadzić do mnogości automatycznych grafik, co spowalnia tworzenie raportu wydruku.

## 10.2.5 Uwagi dla plotowania

Aby osiągnąć najlepsze wyniki podczas plotowania, należy zwrócić uwagę na następujące uwagi.

### Ustawienia w systemie operacyjnym

Program RFEM wykorzystuje ustawienia drukowania systemu Windows. W przeciwieństwie do niektórych programów CAD, program RFEM nie używa żadnych specjalnych sterowników do obsługi plotera. Z tego powodu ploter musi być zainstalowany, jako normalna drukarka obsługiwana przez system Windows.

Wewnętrzne kontrole wykazały, że sterowniki dostarczane przez system Windows są niestabilne i wadliwe. Z tego powodu zaleca się stosowanie oryginalnych sterowników lub aktualnych sterowników udostępnionych na stronie internetowej producenta plotera.

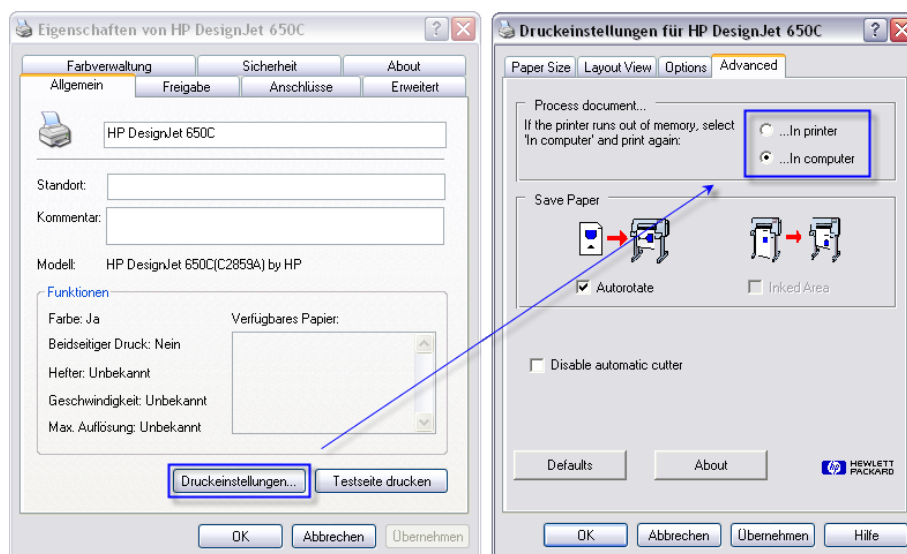
Podczas plotowania przetwarzane są duże ilości danych. Konieczne jest więc zapewnienie, że dostępna jest wystarczająca ilość miejsca na partycji systemowej komputera.



Nie należy ustawiać plotera jako drukarki domyślnej w systemie. Zamiast tego, zaleca się wybrać ploter bezpośrednio w procesie drukowania. Protokół wydruku wykorzystuje standardowy sterownik drukarki dla podglądu wydruku. Podczas testów sterownika plotera występowały problemy z protokołem wydruku.

Wiele sterowników plotera oferuje możliwość przygotowania grafiki w ploterze lub w komputerze. Przygotowanie grafiki w ploterze jest zwykle szybsze, ponieważ posiada on specjalny procesor. Poza tym, proces ten nie będzie miał wpływu na pracę na komputerze. Problem jest jednak w tym, że ploter często posiada jedynie niewielką ilość pamięci RAM. Jeśli pamięć ta przestanie już być wystarczająca do przechowywania grafiki, pozostała jego części zostanie stracona. Podczas drukowania grafiki programu RFEM, straty te widać w postaci utraty opisów lub wypełnień, brakujących linii itp. W tym przypadku ploter zazwyczaj pokazuje odpowiedni komunikat.

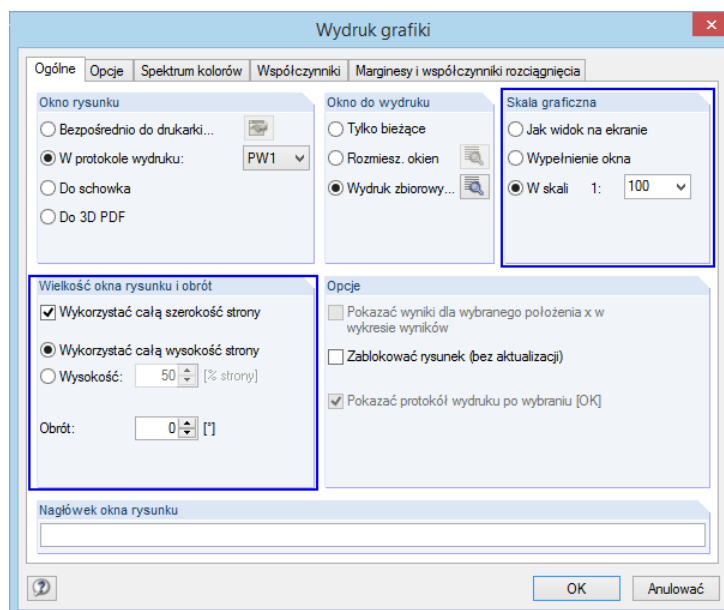
W przypadku wątpliwości, zalecamy przygotować dane na komputerze. Należy przy tym pamiętać, że ustawieniem domyślnym jest przygotowywanie wydruku na ploterze. W tym przypadku należy odpowiednio ustawić właściwości drukarki.



Rysunek 10.53: Okno dialogowe *Ustawienia wydruku* dla HP DesignJet pod niemieckim systemem Windows XP



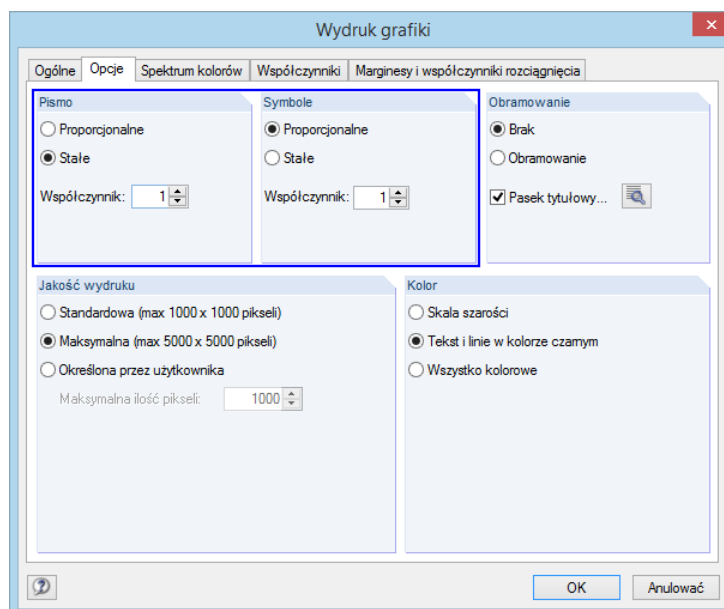
## Ustawienia w programie RFEM



Rysunek 10.54: Okno dialogowe *Wydruk graficzny*, zakładka *Ogólne*

Zaleca się wybrać rozmiar grafiki *W skali* w zakładce *Ogólne* okna dialogowego *Wydruk graficzny*, ponieważ wydruk na płaszczyźnie A0 jest prawie zawsze zgodny ze skalą. Następnie należy wybrać skalę z listy lub wpisać ją bezpośrednio w polu wprowadzania.

Ponadto, zaleca się wykorzystać cały obszar arkusza podczas wydruku na ploterze. W tym celu należy zaznaczyć pole wyboru **Wykorzystać całą szerokość strony** w sekcji okna dialogowego *Wielkość okna rysunku i obrót* w oknie dialogowym *Wydruk graficzny*.



Rysunek 10.55: Okno dialogowe *Wydruk graficzny*, zakładka *Opcje*

W zakładce *Opcje* można określić ustawienia wpływające na jakość wydruku. Szczególnie pomocne są w tym wydruki testowe z plotera, pozwalające znaleźć optymalne ustawienia. Niestety nie da się podać globalnych zaleceń, ponieważ efekty ustawień zależą od sterownika drukarki. Orientacyjne wartości pokazane na powyższym rysunku odnoszą się do plotera HP DesignJet 650C, posiadającego sterownik w wersji 4.62, działającego pod Windows XP.

Jeżeli podczas procesu plotowania wystąpi awaria, zalecamy zainstalować aktualny sterownik drukarki w sposób opisany powyżej i wybierać go do przygotowywania grafiki *W komputerze* (zobacz okno dialogowe dla ustawień drukowania). Jeśli awarie nadal będą występować podczas plotowania, należy stopniowo zmniejszać rozdzielczość w sekcji okna dialogowego *Jakość wydruku* w zakładce *Opcje* okna dialogowego *Wydruk graficzny*.

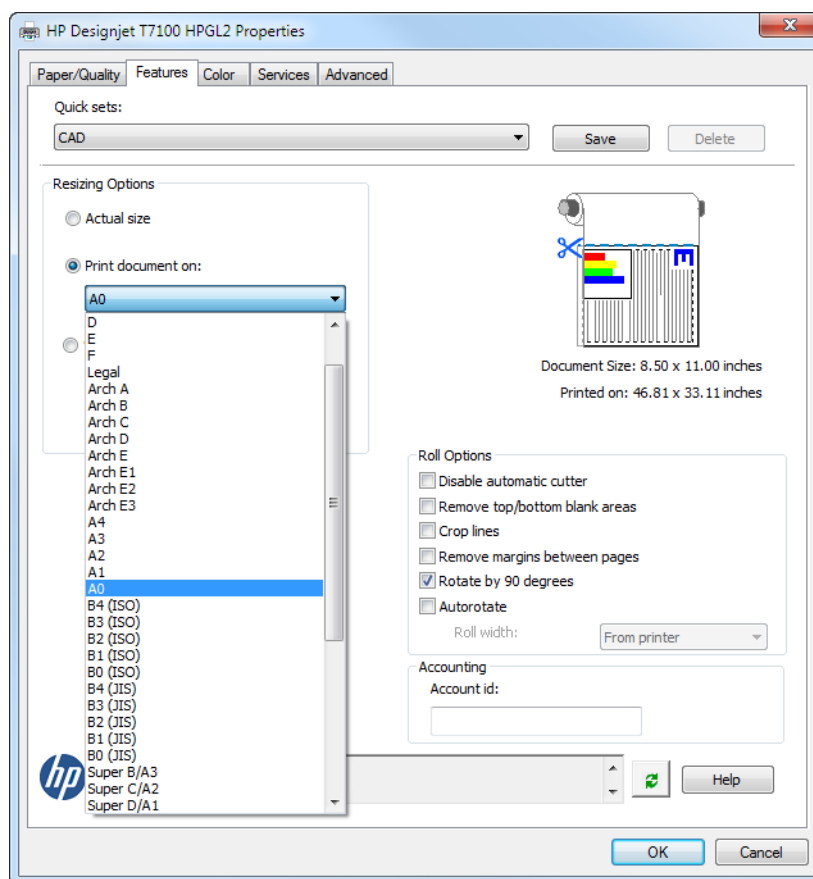
Sekcja okna dialogowego *Symbole* w zakładce *Opcje* okna dialogowego *Wydruk graficzny* kontroluje skalowanie rozmiaru czcionki dla numeracji, wymiarów i wartości wyników. Dobre wyniki uzyskano dla współczynnika 2 i ustawienia *Stałe* dla plotowania w A0 na HP DesignJet 650C.

Sekcja okna dialogowego *Symbole* wpływa nie tylko na wielkość symboli pomocniczych, węzłów i innych elementów, ale także na szerokości linii. Jeśli linie są zbyt równe, należy zmniejszyć współczynnik. Dobre wyniki zostały osiągnięte podczas plotowania A0 na HP DesignJet 650C przy zastosowaniu współczynnika 0,2 i ustawienia *Proporcjonalne*.

Współczynniki ustawione dla symboli i czcionek wpływają globalnie na wszystkie czcionki i symbole. Aby wpłynąć na wygląd poszczególnych obiektów, należy użyć ustawień w oknie dialogowym *Właściwości wyświetlania* (zobacz Rysunek 11.3 na stronie 444). Zaleca się zapisać zmiany dla plotera jako nową konfigurację wyświetlania dla protokołu wydruku. Więcej informacji znajduje się w rozdziale 11.1.2 na stronie 444.

Po kliknięciu przycisku [OK], pojawi się okno dialogowe systemu operacyjnego *Drukować*. Z listy drukarek wybiera się ploter. Następnie należy kliknąć przycisk [Właściwości], aby otworzyć kolejne okno dialogowe, w którym można ustawić rozmiar i układ strony.

Właściwości...



Rysunek 10.56: Właściwości plotera podczas ustawiania formatu strony (niemiecki system Windows XP)

# 11. Narzędzia

W tym rozdziale znajduje się opis funkcji do wprowadzania graficznego i tabelarycznego, takich jak narzędzia CAD do projektowania lub tworzenia modeli i obiektów obciążenia, opcje edycji, operacje w arkuszu kalkulacyjnym oraz wprowadzanie parametryczne.

## 11.1 Funkcje ogólne

W tym rozdziale opisano funkcje programu, które mają zastosowanie ogólne lub występują w wielu oknach dialogowych programu RFEM.

### 11.1.1 Ustawienia języka

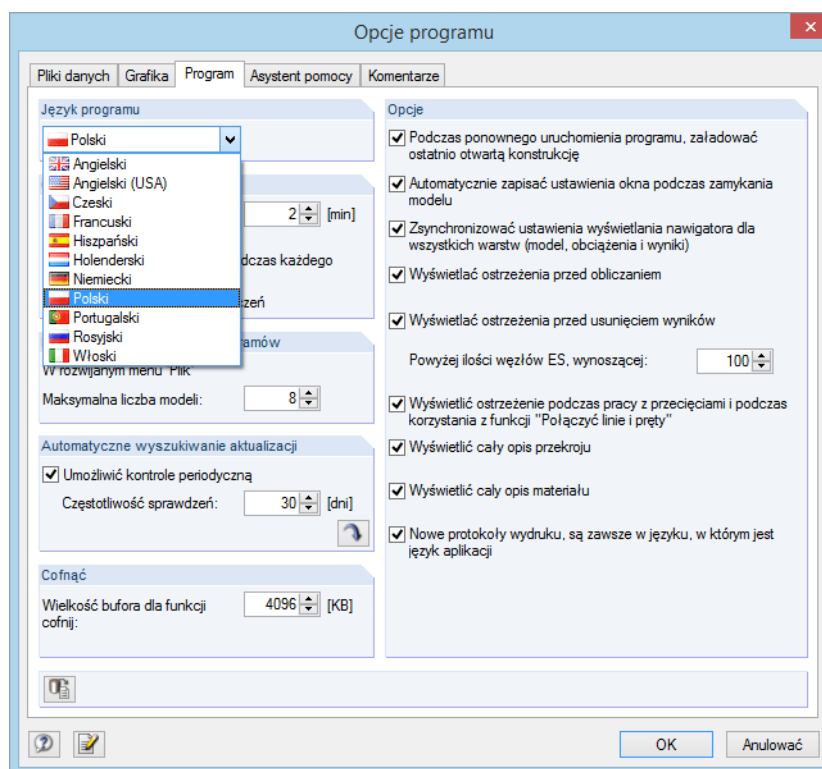
Język wybrany podczas instalacji ustawiany jest automatycznie w programie. Materiały i tabele przekrojów w bibliotekach również są zgodne z ustawieniami kraju.

Aby zmienić graficzny interfejs użytkownika programu RFEM,

należy wybrać polecenie **Opcje programu** w menu **Opcje**

lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi, pokazany na lewym marginesie tej strony.

W zakładce okna dialogowego *Program* można wybrać z listy inny *Język programu*.



Rysunek 11.1: Zmiana *Języka programu* w oknie dialogowym *Opcje programu*

Zmienione ustawienia języka będą widoczne dopiero po ponownym uruchomieniu programu.

Podczas zmiany języka należy pamiętać, że:

- Niektóre znaki są poprawnie wyświetlane jedynie, jeżeli w systemie operacyjnym dostępne są odpowiednie czcionki.
- Nowy język wpływa na układ tabel przekrojów w bibliotekach.



## 11.1.2 Właściwości wyświetlania

Właściwości wyświetlania określają sposób, w jaki obiekt graficzny przedstawiany jest na ekranie oraz na wydruku. Nawigator *Wyświetl* jest miejscem, w którym decyduje się, czy obiekt w ogóle zostanie lub nie zostanie wyświetlony (zobacz rozdział 3.4.3 na stronie 26).

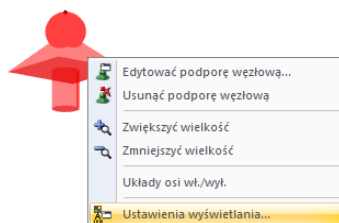
### Dostosowywanie wyświetlania

Aby otworzyć okno dialogowe do ustawiania wyświetlania graficznego,

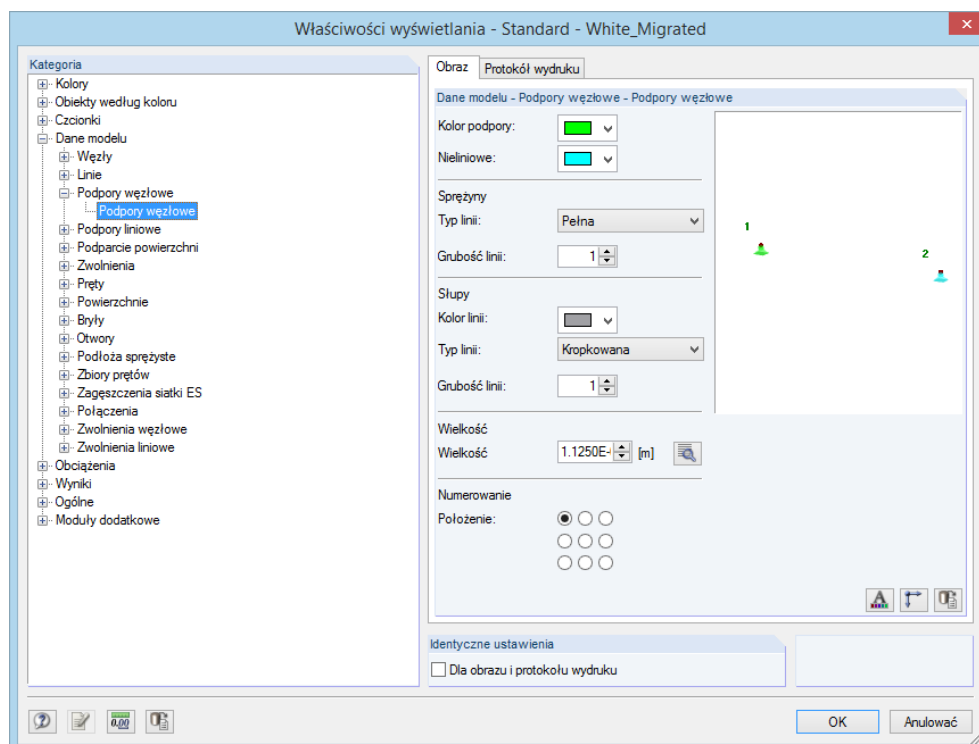
należy wskazać **Właściwości wyświetlania** w menu **Opcje**, a następnie wybrać polecenie **Edytować**

lub skorzystać z Menedżera ustawień (zobacz rozdział 3.4.10 na stronie 39).

Dostęp do właściwości wyświetlania każdego obiektu graficznego (model, symbol obciążenia lub wyniku) można uzyskać również w sposób bezpośredni. W tym celu, prawym przyciskiem myszy należy kliknąć żądany obiekt, aby otworzyć jego menu kontekstowe, a następnie wybrać element menu *Właściwości wyświetlania*, w którym można natychmiast dostosować właściwości wyświetlania obiektu (Rysunek 11.3).



Rysunek 11.2: Menu kontekstowe podpory węzłowej



Rysunek 11.3: Okno dialogowe *Właściwości wyświetlania* (dla kategorii *Podpora węzłowa*)

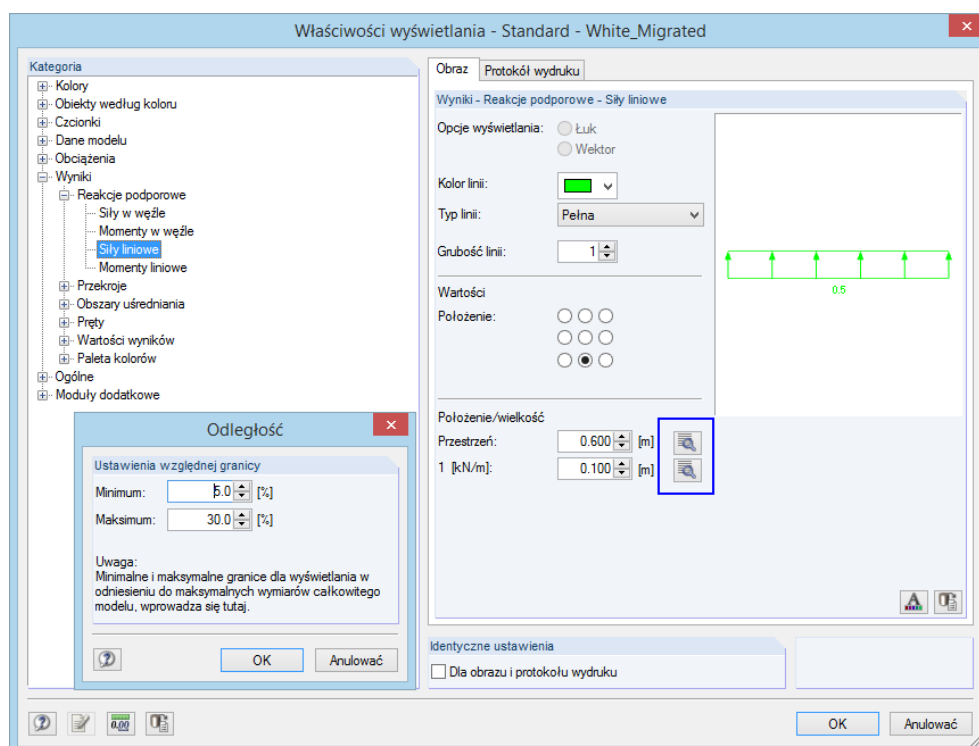


Ustawienia wyświetlania dla *Obrazu* oraz dla *Protokołu wydruku* znajdują się w dwóch różnych zakładkach okna dialogowego. W ten sposób możliwe jest wprowadzenie osobnych zmian dla grafiki wyświetlanej na ekranie (na przykład wielkości symboli pomocniczych z czarnym tłem) oraz dla wydruku.

Aby określić *Identyczne ustawienia* należy użyć pola wyboru *Dla ekranu i protokołu wydruku* znajdującego się pod zakładkami, pozwalającego zsynchronizować właściwości wyświetlania dla ekranu i protokołu wydruku. Zaznaczenie tego pola wyboru spowoduje, że wszystkie ustawienia zdefiniowane *później*, będą również zastosowane w drugiej zakładce (*Obraz* lub *Protokół wydruku*) bieżącej kategorii. Ustawienia zdefiniowane wcześniej nie mogą być przeniesione za pomocą opisanej funkcji.

Nawigator *Kategoria* pokazuje obiekty graficzne wymienione w drzewie katalogów. Aby zmienić właściwości wyświetlania obiektu, należy wybrać odpowiedni wpis. Następnie trzeba dostosować parametry wyświetlania specyficzne dla obiektu w sekcji okna dialogowego znajdującej się po prawej stronie. Należą do nich: kolor wyświetlania linii, wielkość w oknie roboczym, rodzaj i położenie numeracji, czcionki, wielkość wektora obciążenia itp.

Dla niektórych parametrów program RFEM oferuje dodatkowy przycisk [Szczegóły].



Rysunek 11.4: Okno dialogowe *Wielkość* dla *Sił liniowych*

Przyciski te służą do otwierania nowych okien dialogowych, w których można skalować na przykład odległość lub wielkość obiektu w stosunku do wymiarów całej konstrukcji.

Przyciski znajdujące się poniżej parametrów posiadają następujące funkcje:






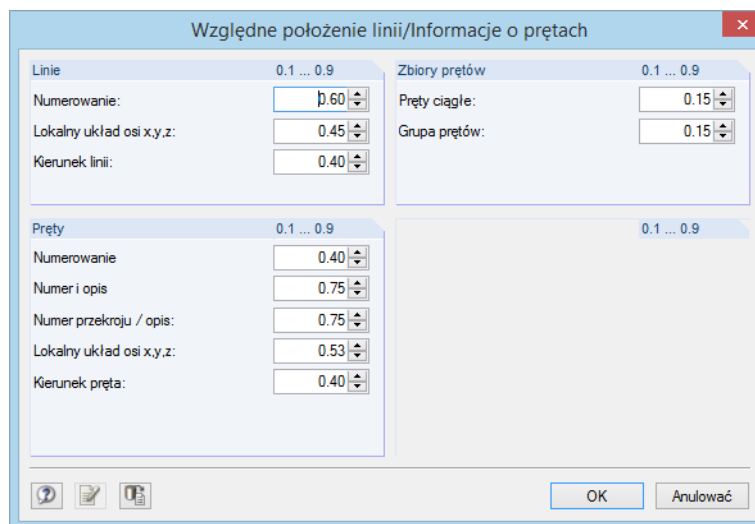
	Otwiera okno dialogowe <i>Czcionka</i> , służące do zmiany rodzaju, wielkości i koloru czcionki
	Przechodzi do parametrów wyświetlania osi aktualnego obiektu
	Powraca do danych podstawowych obiektu
	Otwiera okno dialogowe dla <i>Względnego położenia</i> (Rysunek 11.5), służące do organizowania opisów
	Przywraca ustawienia domyślne

Tabela 11.1: Przyciski w oknie dialogowym *Właściwości wyświetlania*



W przypadku obiektów, które są istotne dla linii i prętów, możliwe jest ułożenie opisów lub symboli według ustawień zdefiniowanych przez użytkownika. Otworzy się okno dialogowe, w którym można zdefiniować pozycję informacji za pomocą względnej odległości od linii lub od początku pręta.



Rysunek 11.5: Okno dialogowe *Względne położenie linii/Informacje o prętach*

### Zapisywanie ustawień wyświetlania

Okno dialogowe *Właściwości wyświetlania* pozwala na dostosowanie ustawień wyświetlania do danych wymagań. Dzięki temu można na przykład utworzyć osobne ustawienia dla ekranu z kolorowym tłem oraz dla plotera.

Należy pamiętać jednak, że zmiany te nie mogą być zapisane w oknie dialogowym *Właściwości wyświetlania*. *Menedżer ustawień*, opisany w rozdziale 3.4.10 na stronie 39 jest odpowiedzialny za zarządzanie ustawieniami wyświetlania.

Aby utworzyć nowy profil wyświetlania, poprzez wprowadzenie własnych zmian, należy wykonać następujące czynności:



- Potwierdzić zmiany w oknie dialogowym *Właściwości wyświetlania* poprzez kliknięcie przycisku [OK].
- Otworzyć *Menedżer ustawień* (zobacz rozdział 3.4.10 na stronie 39).
- Utworzyć [Nowe] ustawienia.
- Wprowadzić opis w oknie dialogowym *Nowe ustawienia*, a następnie potwierdzić wprowadzone dane poprzez kliknięcie przycisku [OK].

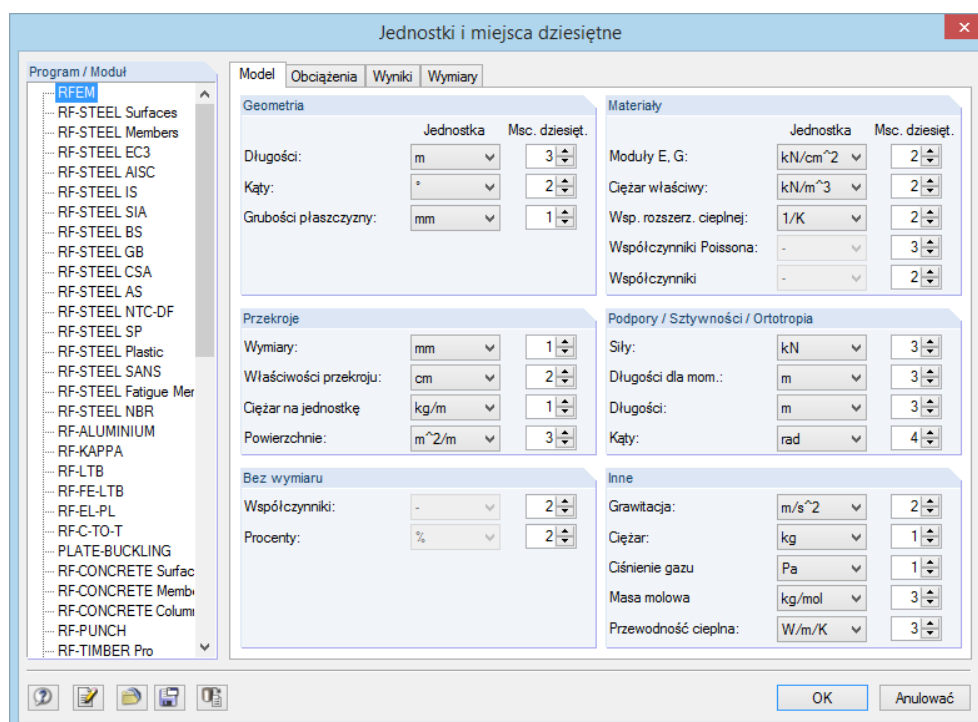
### 11.1.3 Jednostki i miejsca dziesiętne

Jednostki i miejsca dziesiętne dla programu RFEM i wszystkich modułów dodatkowych są zarządzane w jednym oknie dialogowym. Ustawienia mogą być zmieniane w razie potrzeby w trakcie modelowania lub oceny. Wszystkie wartości numeryczne zostaną przekształcone lub dostosowane.

#### Zmiana jednostek i miejsc dziesiętnych

Wiele okien dialogowych posiada przycisk pokazany na lewym marginesie tej strony, za pomocą którego można uzyskać dostęp do okna dialogowego służącego do zmiany jednostek i miejsc dziesiętnych (zobacz Rysunek 11.4 dla okna dialogowego *Właściwości wyświetlania*).

Aby otworzyć okno dialogowe *Jednostki i miejsca dziesiętne*, można również wybrać opcję **Jednostki i miejsca dziesiętne** w menu **Edytować**.



Rysunek 11.6: Okno dialogowe *Jednostki i miejsca dziesiętne*

Na początku należy wybrać moduł w sekcji okna *Program / Moduł*, dla którego zostaną dostosowane jednostki lub miejsca dziesiętne. W zależności od wyboru, zmieni się prawa część okna dialogowego.

Program RFEM oferuje cztery zakładki, w których można określić ustawienia osobno dla danych *Modelu*, *Obciążenia* oraz *Wyników*. *Wyników* oraz *Wymiarów*. Dla niektórych modułów dodatkowych prawa część okna dialogowego jest także podzielona na kilka zakładek. Jednostki i miejsca dziesiętne są sumowane w grupach.

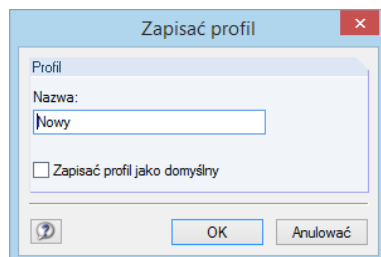
Jeżeli powyższe okno dialogowe zostało otwarte w innym oknie dialogowym (na przykład w oknie *Nowy pręt*), odpowiednie jednostki i miejsca dziesiętne są oznaczone czerwonym trójkątem po prawej stronie, jak pokazano to na powyższym rysunku.

#### Zapisywanie i import jednostek w formie profilu użytkownika

Ustawienia zdefiniowane w oknie dialogowym *Jednostki i miejsca dziesiętne* można zapisać i ponownie wykorzystać w innych modelach. Dzięki temu możliwe jest tworzenie profili jednostek na przykład dla konstrukcji utworzonych ze stali i żelbetu.



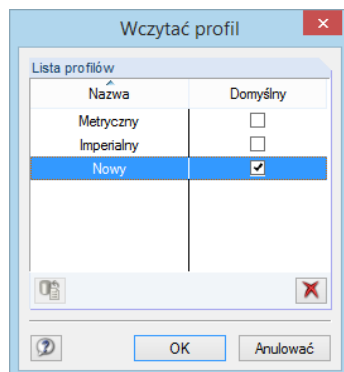
Przycisk pokazany na lewym marginesie tej strony otwiera okno dialogowe, w którym można określić *Nazwę* nowego profilu jednostek użytkownika.



Rysunek 11.7: Okno dialogowe *Zapisać profil*

Aby użyć tego profilu jako domyślnego ustawienia dla nowych modeli, należy zaznaczyć pole wyboru *Zapisać profil jako domyślny*.

Profil użytkownika może być zaimportowany przy użyciu przycisku pokazanego na lewym marginesie tej strony. Otworzy się okno dialogowe, gdzie do wyboru będzie dostępnych kilka profili. Metryczny i imperialny (anglo-amerykański) profil jednostek stanowi ustawienie domyślne.



Rysunek 11.8: Okno dialogowe *Wczytaj profil*

### 11.1.4 Komentarze

Ten rozdział opisuje pola komentarzy w oknach dialogowych i tabelach (zobacz na przykład Rysunek 4.12 na stronie 46). Uwagi, które można wstawiać graficznie, są opisane w rozdziale 11.3.6 na stronie 476.

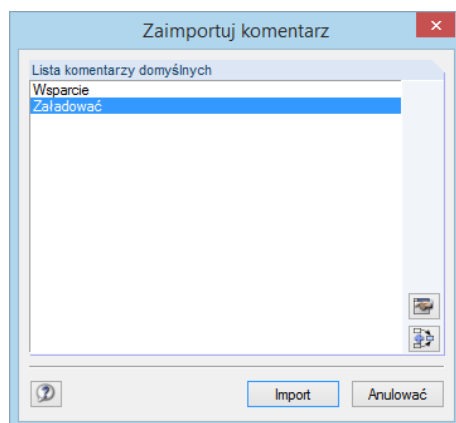
#### Używanie komentarzy



W polach komentarzy można wprowadzać dowolny rodzaj tekstu. Przy użyciu przycisku [Zaimportować komentarz], pokazanego na lewym marginesie tej strony, można skorzystać z gotowych tekstów, które są przechowywane niezależnie od modelu.

Pojawi się okno dialogowe pokazujące listę zapisanych tekstów.



Rysunek 11.9: Okno dialogowe *Zaimportować komentarz*

 Import

*Lista komentarzy domyślnych* zawiera wszystkie komentarze, które są odpowiednie dla danej kategorii. Kliknięcie przycisku [Import] pozwala wstawić wybrany komentarz w polu komentarza w oknie dialogowym. Jeśli pole komentarz zawiera już tekst, zostanie on nadpisany. Następnie można dokonać edycji tego komentarza w jego polu.

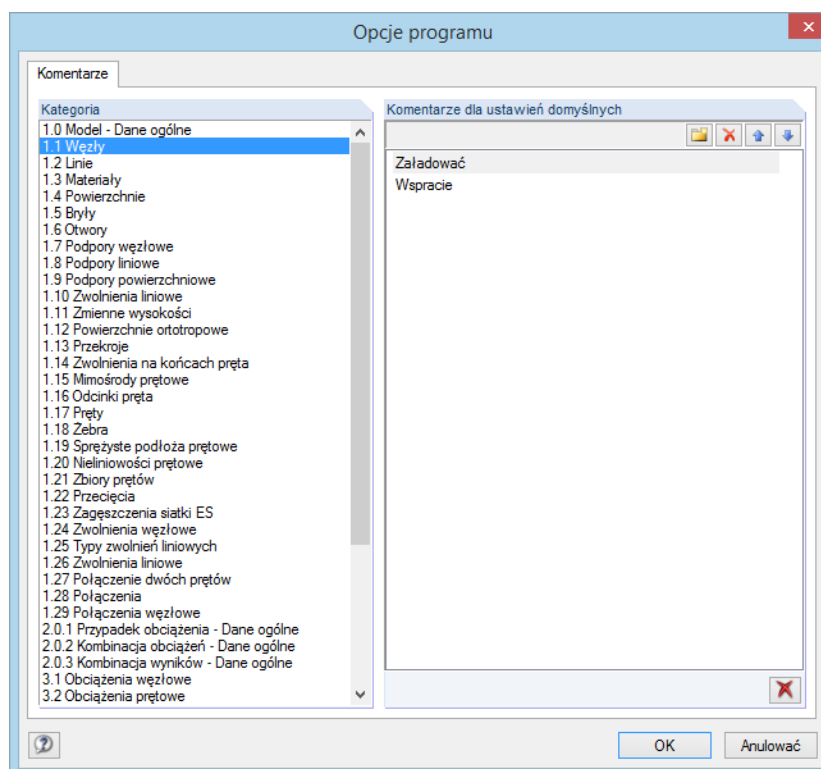
Przy użyciu przycisku pokazanego na lewym marginesie tej strony można dodać wybrany komentarz do tekstu, który znajduje się już w polu komentarza.

### Tworzenie i zarządzanie komentarzami

W oknie dialogowym *Zaimportować komentarz* (Rysunek 11.9) można tworzyć nowe teksty za pomocą przycisku pokazanego na lewym marginesie tej strony. Alternatywnie można również wykorzystać zakładkę *Uwagi* w oknie dialogowym *Opcje programu*, która zarządza wszystkimi komentarzami. Aby otworzyć to okno dialogowe,

należy wybrać polecenie **Opcje programu** w menu **Opcje**

lub użyć przycisku z paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony.

Rysunek 11.10: Okno dialogowe *Opcje programu*, zakładka *Uwagi*

W sekcji *Kategoria* znajdującej się w lewej części okna dialogowego można określić grupę (czyli tabelę lub okno dialogowe dla danych początkowych), do którego zostanie przypisany tekst komentarza.

Sekcja *Uwagi dla ustawień domyślnych*, znajdująca się w prawej części okna dialogowego, oferuje cztery przyciski, które posiadają następujące funkcje:





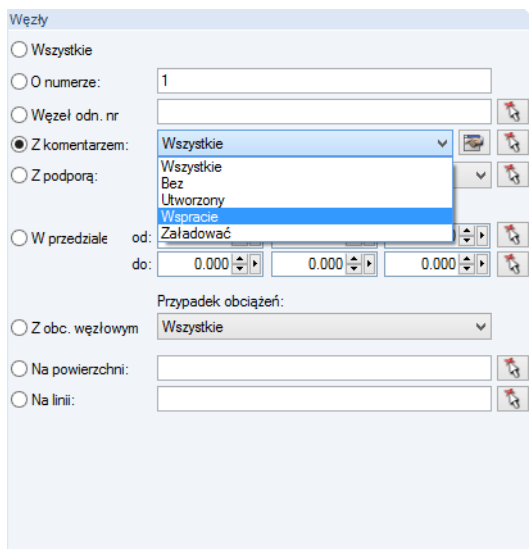
Przycisk	Opis
	Tworzy nowy komentarz w oznaczonej <i>Kategorii</i> . Tekst wprowadza się w polu listy.
	Usuwa komentarz, który jest zaznaczony na liście.
	Przesuwa wybrany komentarzy w górę.
	Przesuwa wybrany komentarzy w dół.

Tabela 11.2: Przyciski w oknie dialogowym *Opcje programu*, zakładka *Uwagi*



Jeżeli używany jest specjalny wybór (zobacz rozdział 11.2.2 na stronie 460), dane można filtrować według komentarzy zdefiniowanych przez użytkownika.



Rysunek 11.11: Okno dialogowe *Specjalny wybór* dla węzłów filtrowanych według komentarzy (sekcja okna dialogowego)

### 11.1.5 Funkcje mierzenia

W celu sprawdzenia danych, można zmierzyć odległości i kąty. Aby uzyskać dostęp do odpowiedniej funkcji,

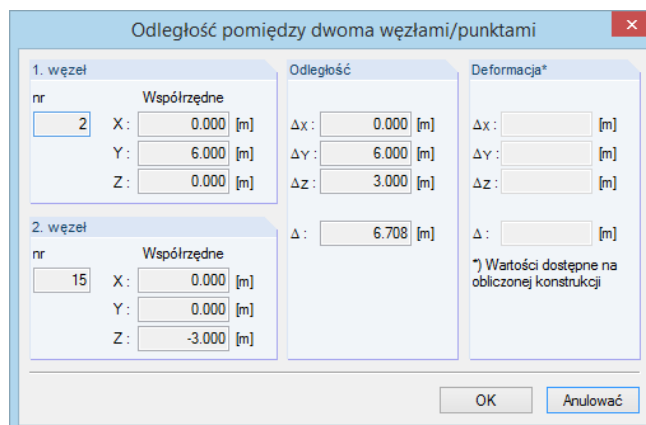
należy wskazać opcję **Zmierzyć** w menu **Narzędzia**.

Do wyboru dostępne są następujące funkcje mierzenia:

- Odległość pomiędzy 2 węzłami
- Kąt pomiędzy 3 węzłami
- Kąt pomiędzy 2 prętami
- Kąt pomiędzy 2 powierzchniami
- Kąt pomiędzy prętem a powierzchnią
- Kąt pomiędzy 2 liniami
- Kąt pomiędzy prętem a linią

- Kąt pomiędzy linią a powierzchnią

Aby zmierzyć obiekty, należy je wybrać kolejno w oknie roboczym. *Odległość* i *Deformacja* węzłów zostaną pokazane w oknie dialogowym.



1. węzeł		Współrzędne		Odległość		Deformacja*	
nr	2	X:	0.000 [m]	$\Delta x$ :	0.000 [m]	$\Delta x$ :	[m]
		Y:	6.000 [m]	$\Delta y$ :	6.000 [m]	$\Delta y$ :	[m]
		Z:	0.000 [m]	$\Delta z$ :	3.000 [m]	$\Delta z$ :	[m]
2. węzeł		Współrzędne		$\Delta$ :		$\Delta$ :	
nr	15	X:	0.000 [m]	6.708 [m]		[m]	
		Y:	0.000 [m]				
		Z:	-3.000 [m]				

\*) Wartości dostępne na obliczonej konstrukcji

Rysunek 11.12: Okno dialogowe *Odległość pomiędzy dwoma węzłami/punktami*

## 11.1.6 Funkcje wyszukiwania

### Wybór w tabeli

Aby odnaleźć obiekt na rysunku, można wykorzystać tabele. W tym celu należy kliknąć w wierszu tabeli, a odpowiedni obiekt zostanie podświetlony w oknie roboczym. Funkcja ta jest przydatna w przypadku mniejszych konstrukcji, aby szybko i łatwo wykrywać obiekty na rysunku.



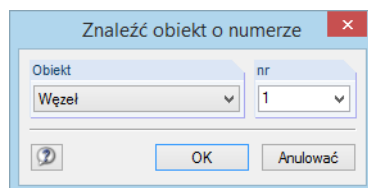
Graficzny wybór w tabeli działa tylko wtedy, gdy aktywna jest synchronizacja wyboru (zobacz rozdział 11.5.4 na stronie).

### Wyszukiwanie według numeru obiektu

W programie RFEM można wyszukiwać konkretne obiekty, co jest szczególnie polecane w przypadku dużych i złożonych konstrukcji. Aby uzyskać dostęp do funkcji wyszukiwania,

należy wybrać polecenie **Znaleźć przy użyciu numeru** w menu **Edytować**.

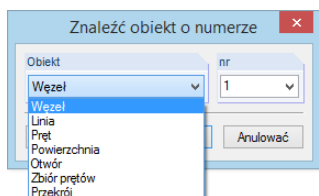
Pojawi się następujące okno dialogowe:



Rysunek 11.13: Okno dialogowe *Znaleźć obiekt o numerze*

W sekcji okna dialogowego *Obiekt* należy wykorzystać listę, aby określić kategorię obiektu dla wyszukiwania: węzeł, linia, powierzchnia, bryła, pręt lub element skończony. Następnie należy wpisać *Nr* obiektu bezpośrednio w polu po prawej stronie lub wybrać żądany numer z listy.

Aby potwierdzić okno dialogowe, należy kliknąć przycisk [OK]. W oknie roboczym pojawi się duża strzałka wskazująca szukany obiekt. Strzałka nadal będzie wyświetlana, nawet po dostosowaniu obszaru wokół obiektu przez powiększenie lub obrócenie modelu. Strzałka zniknie po kliknięciu w obszarze roboczym.



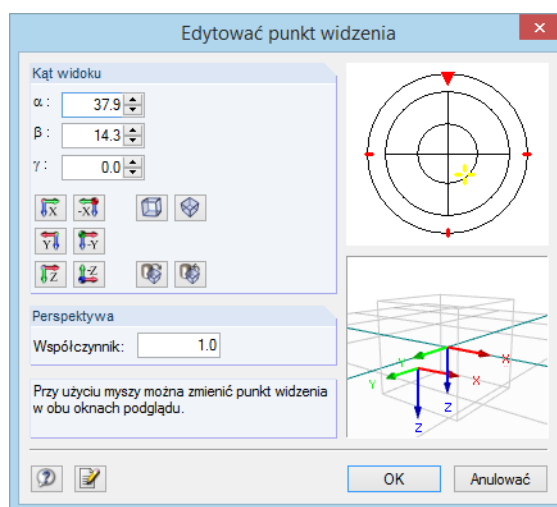
### 11.1.7 Punkt widzenia i kąt widoku



Program RFEM oferuje standardowe kierunki widoku [w kierunku X/Y/Z] oraz [w odwróconym kierunku X/Y/Z], a także [Widok izometryczny], które można wybierać za pomocą przycisków pokazanych na lewym marginesie tej strony. Dodatkowe przyciski dla zdefiniowanych przez użytkownika układów współrzędnych i kątów widoku znajdują się w przycisku listy na pasku narzędzi oraz w nawigatorze *Widoki* (zobacz rozdział 9.9.1.1 na stronie 397).

Jeśli te widoki wraz z opcją obrotu (przycisk paska narzędzi [Przesuń] z wciśniętym klawiszem [Ctrl]) nie pozwalają na wyświetlenieżądanego widoku, można wykorzystać rozszerzone opcje okna dialogowego *Edytować punkt widzenia*.

Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe, należy wybrać opcję **Punkt widzenia** w menu **Widok**.



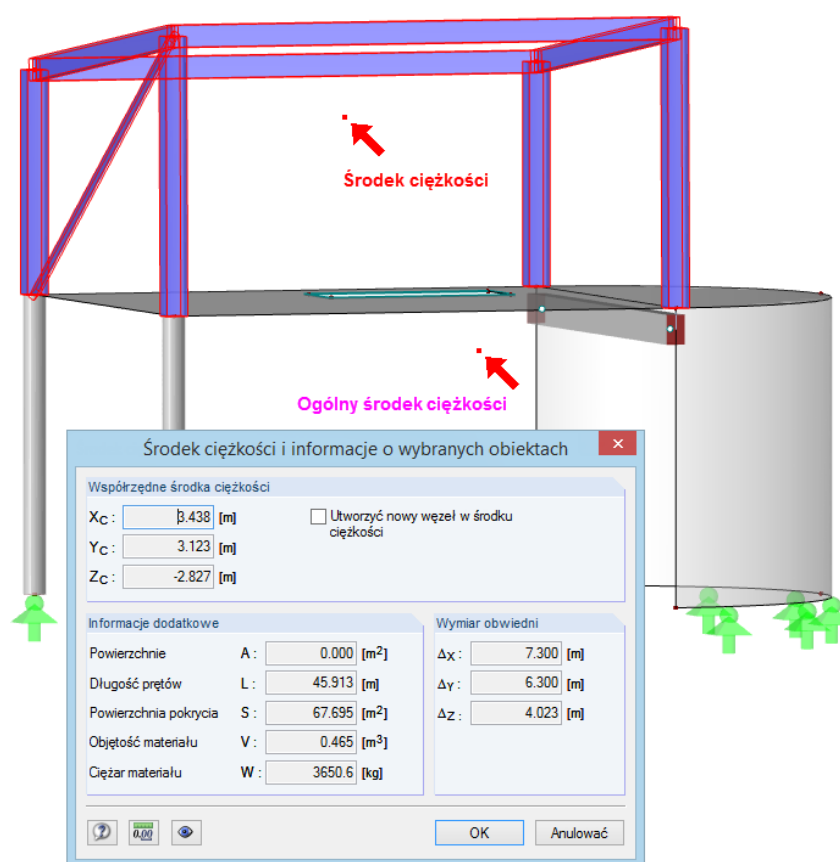
Rysunek 11.14: Okno dialogowe *Edytować punkt widzenia*

Kliknięcie w oknie podglądu z prawej strony i przesunięcie myszy pozwala ustawić punkt widzenia i kąt widoku. Dodatkowo można ustawić współczynnik dla *Perspektywy*.

### 11.1.8 Określanie środka ciężkości

Środek ciężkości całego modelu jest wyświetlany automatycznie po pomyślnym wygenerowaniu siatki ES i zaznaczeniu odpowiedniej opcji w nawigatorze *Wyświetl* pod wpisem *Ogólne*. Kolor i rozmiar można dostosować w oknie dialogowym *Właściwości wyświetlania*. W tym celu należy kliknąć opcję *Kolory* → *Inne* → *Środek ciężkości* (zobacz rozdział 10.1.2 na stronie 444).

Ponadto można określać środki ciężkości poszczególnych obiektów. W tym celu należy wybrać odpowiednie pręty, powierzchnie i bryły, na przykład przy użyciu funkcji wielokrotnego wyboru lub poprzez otwarcie okna wyboru (zobacz rozdział 11.2 na stronie 457). Klikając jeden z obiektów prawym przyciskiem myszy, aktywuje się menu kontekstowe, jak pokazano to na lewym marginesie tej strony. Następnie można kliknąć element menu *Środek ciężkości i informacje*, aby otworzyć okno dialogowe zawierające informacje na temat wybranych obiektów.

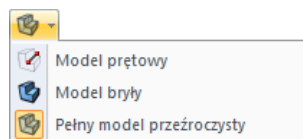


Rysunek 11.15: Okno dialogowe *Środek ciężkości i informacje o wybranych obiektach*

Okno dialogowe pokazuje *Współrzędne środka ciężkości* w odniesieniu do początku globalnego układu osi XYZ. W oknie roboczym, środek ciężkości jest wskazywany przez dużą strzałkę. Opcjonalnie można *Utworzyć nowy węzeł w środku ciężkości*.

Oprócz globalnego *Wymiaru obwiedni* wybranych obiektów, wyświetlane są następujące *Informacje dodatkowe*:

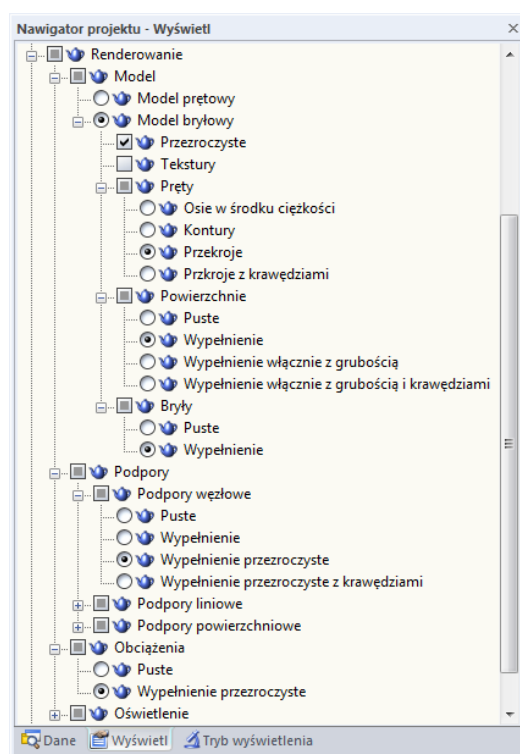
- Pole wszystkich powierzchni
- Długość prętów
- Pole powierzchni widocznych powierzchni wszystkich obiektów
- Objętość netto
- Ciężar całkowity



### 11.1.9 Renderowanie

Sposób wyświetlenia modelu w oknie roboczym może zostać ustawiony przez użytkownika. Za pomocą przycisku listy w pasku narzędzi, pokazanego na lewym marginesie tej strony, można szybko przełączać się pomiędzy typami wyświetlania: *Model prętowy*, *Model bryłowy* oraz *Pełny model przezroczysty*.

Szczegółowe ustawienia dla poszczególnych obiektów można określić w nawigаторze *Wyświetl* w opcji **Renderowanie**.



Rysunek 11.16: Nawigator *Wyświetl* z opcjami dla *Renderowania* modelu i obiektów obciążenia

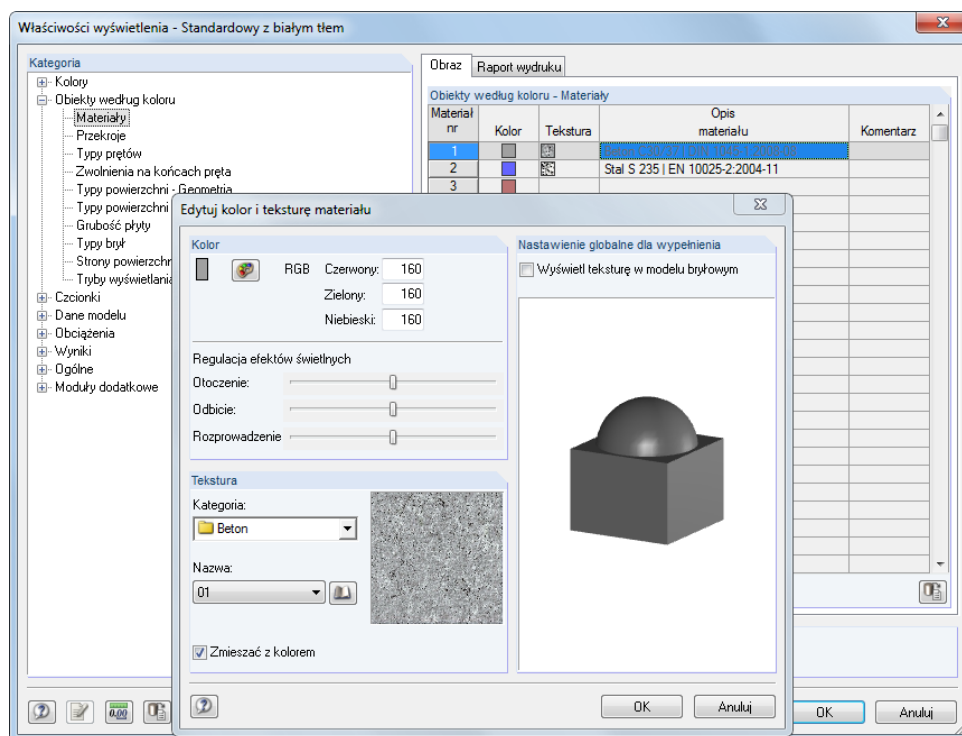
Reprezentacja w postaci *Modelu bryłowego* może być dostosowywana indywidualnie dla prętów, powierzchni i brył. Podobne opcje kontroli są dostępne dla wyświetlania podpór i obciążeń.

#### Tekstury

W przypadku aktywowania *Tekstur*, program RFEM wyświetla tekstury powierzchni w renderowanym modelu. Aby uzyskać dostęp do ustawień szczegółów dla tekstur,

należy wskazać polecenie **Właściwości wyświetlania** w menu **Opcje**, a następnie wybrać **Edytować**.

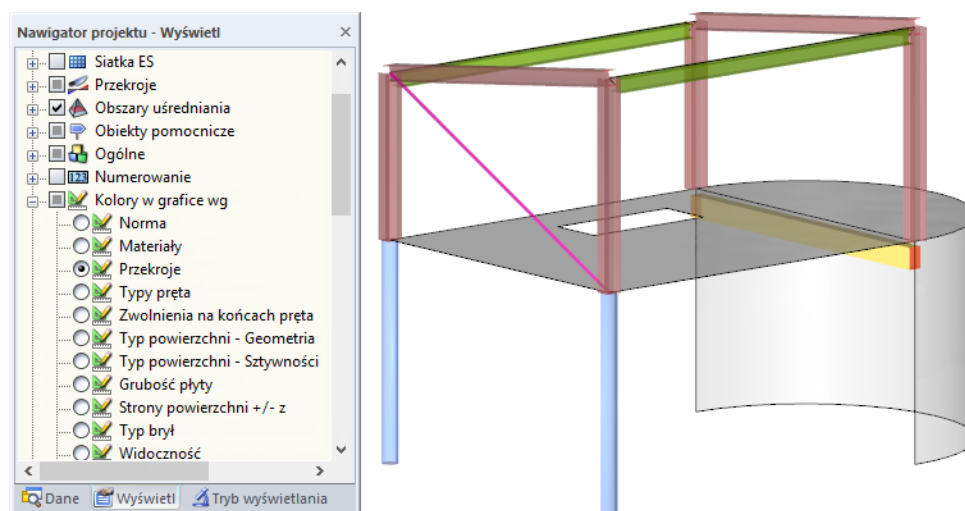
Otworzy się okno dialogowe *Właściwości wyświetlania*, w którym można wybrać *Materiały* w kategorii *Obiekty według koloru*. Materiały są wyszczególnione po prawej stronie wraz z przydzielonymi kolorami i teksturami. Dwukrotne kliknięcie w polu wiersza tabeli pozwala otworzyć okno dialogowe *Edytować kolor i teksturę materiału*.

Rysunek 11.17: Okno dialogowe *Edytować kolor i teksturę materiału*

Przy użyciu tego okna dialogowego można dostosować kolor i teksturę wybranego materiału. Program RFEM zapewnia paletę kolorów oraz obszerną bibliotekę tekstur (zobacz przyciski okna dialogowego).

### Kontrola kolorów

Element **Kolory wg** (zobacz Rysunek 11.16) w nawigatorze *Wyświetl* zawiera kilka pól wyboru. Aktywowane pole kontroluje przypisanie kolorów dla obiektów w renderowaniu. Program RFEM domyślnie używa kolorów materiałów zdefiniowanych dla poszczególnych materiałów konstrukcyjnych (zobacz rozdział 4.3 na stronie 64). Przy użyciu pozostałych opcji można również sprawdzić graficznie przekrój oraz typy prętów, powierzchni, brył itp. za pomocą przydzielonych kolorów.

Rysunek 11.18: Opcja *Kolory wg: Przekroje* do sprawdzania typów przekroju

Opcja *Strony powierzchni +/- z* służy do kontroli pozycji stron powierzchni, co jest ważne podczas określania fundamentów z uszkodzeniem lub dla układu zbrojenia. Górna część

powierzchni jest wyświetlana na czerwono, natomiast jej spód jest przedstawiany w kolorze niebieskim (standardowo).

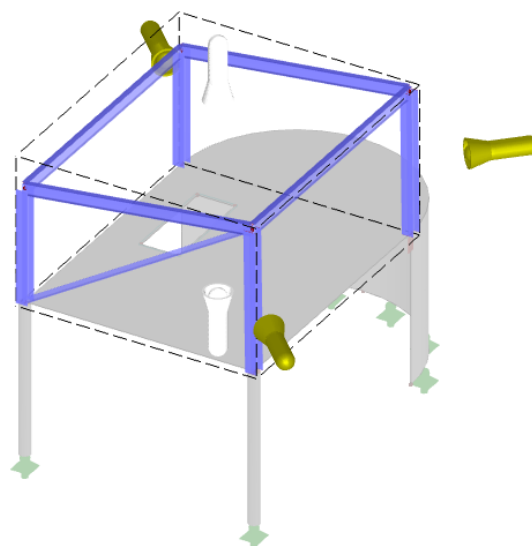
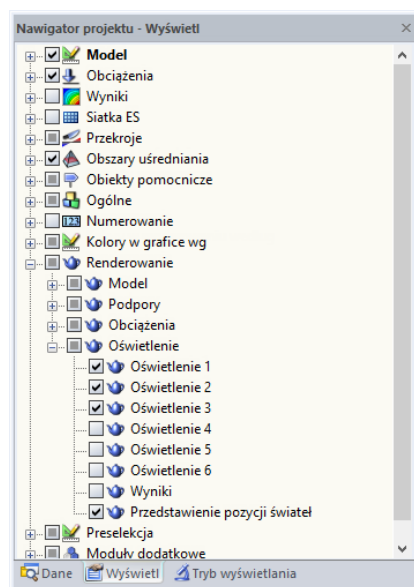
### 11.1.10 Oświetlenie

Oświetlenie i efekty świetlne renderowanego modelu mogą być dostosowywane indywidualnie. Aby ustawić oświetlenie w nawigatorze *Wyświetl*,

należy wybrać opcję **Oświetlenie** w elemencie **Renderowanie**.

Do wyboru dostępnych jest sześć źródeł światła. Oświetlenie od 1 do 4 oświetla model z boku, natomiast oświetlenie 5 i 6 od spodu do góry. Każde *Oświetlenie* można osobno włączać i wyłączać.

Zaznaczenie pola wyboru dla *Przedstawienia pozycji światła oświetlenia* pozwala na wyświetlenie źródeł światła w oknie roboczym. Aktywne oświetlenie przedstawione jest w kolorze złotym, a nieaktywne oświetlenie przedstawione jest w kolorze szarym.



Rysunek 11.19: Wyświetlanie położenia oświetlenia przy użyciu nawigatora *Wyświetl*

Efekty świetlne można zastosować również w przypadku *Wyników*. Pole wyboru jest domyślnie nieaktywne, ponieważ oświetlenie często ma niekorzystny wpływ na widoczność wyników powierzchni i brył.



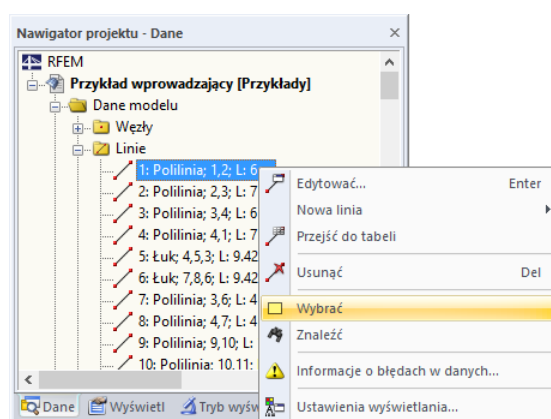
## 11.2 Wybór

Dzięki funkcji wyboru można zdefiniować obiekty do późniejszej edycji. Obiekty są reprezentowane przez węzły, linie, bryły, powierzchnie, pręty, podpory, zagęszczenia siatki ES itp. Możliwe jest także graficzne wybranie obciążeń i obiektów pomocniczych (linie wymiarowe, komentarze).



Aby wybrać (lub znaleźć) obiekt w oknie roboczym, można skorzystać z tabel. W tym celu należy kliknąć na wiersz tabeli, aby zobaczyć odpowiedni obiekt wyróżniony kolorystycznie w grafice. Ten typ wyboru działa tylko wtedy, gdy jest aktywna synchronizacja wyboru (zobacz rozdział 11.5.4 na stronie 519).

Wykorzystanie nawigatora *Dane* stanowi kolejną możliwość wyboru obiektów. W tym celu należy kliknąć wpis prawym przyciskiem myszy, a następnie kliknąć menu *Wybrać* w menu kontekstowym.



Rysunek 11.20: Menu kontekstowe w nawigatorze *Dane*

### 11.2.1 Graficzne wybieranie obiektów

#### Wybieranie przy użyciu myszy

Każdy obiekt może zostać wybrany w oknie roboczym poprzez kliknięcie myszą. Po wybraniu obiektu, będzie on wyróżniony graficznie przy użyciu innego koloru. Tylko ostatnio kliknięty obiekt pozostaje zaznaczony, pod warunkiem, że domyślne ustawienie *Nowy wybór* (zobacz poniżej) nie zostało zmienione.

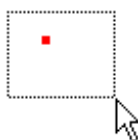


Aby wybrać więcej niż jeden obiekt przy użyciu kliknięcia, należy dodatkowo przytrzymać wciśnięty klawisz [Ctrl]. Innym sposobem jest przejście do ustawienia *Dodać do wybranych* z pomocą przycisku z paska narzędzi, pokazanego na lewym marginesie tej strony. W tym samym celu można również wskazać opcję *Wybrać* z menu *Edytować*. Po tym kroku można wybrać obiekty jeden po drugim, pomimo tego, że są one klikane pojedynczo.

Tak zwana **preselekcja** umożliwia odnalezienie odpowiednich obiektów przed kliknięciem. Jeżeli wybieranie obiektów okazuje się trudne w przypadku złożonych układów konstrukcyjnych, zbędne obiekty konstrukcyjne można wykluczyć przy użyciu graficznej preselekcji w kategorii *Preselekcja* nawigatora *Wyświetl*.

#### Wybieranie przy użyciu okna

Przy użyciu wyboru oknem można zaznaczyć kilka obiektów za jednym razem. Aby tego dokonać, należy przytrzymać lewy przycisk myszy i narysować okno wzdłuż odpowiednich obiektów. Jeśli okno to zostanie utworzone z lewej do prawej strony, wszystkie obiekty, które będą przez nie całkowicie objęte, zostaną wybrane. Jeżeli okno to zostanie utworzone z prawej do lewej strony, zostaną wybrane również te obiekty, które zostały tylko przecięte przez okno.





Linie lub węzły leżące w powierzchni mogą zostać zaznaczone bez niepożądanego przemieszczenia powierzchni. Aby tego dokonać, należy przytrzymać wciśnięty klawisz [Alt] podczas tworzenia okna wzdłuż wszystkich obiektów wewnątrz powierzchni.

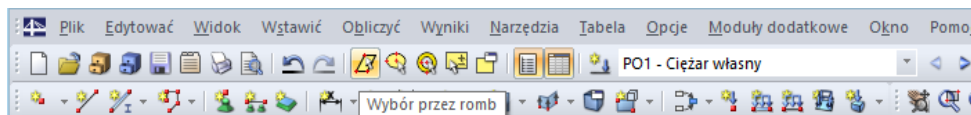
### Wybieranie przy użyciu równoległoboku



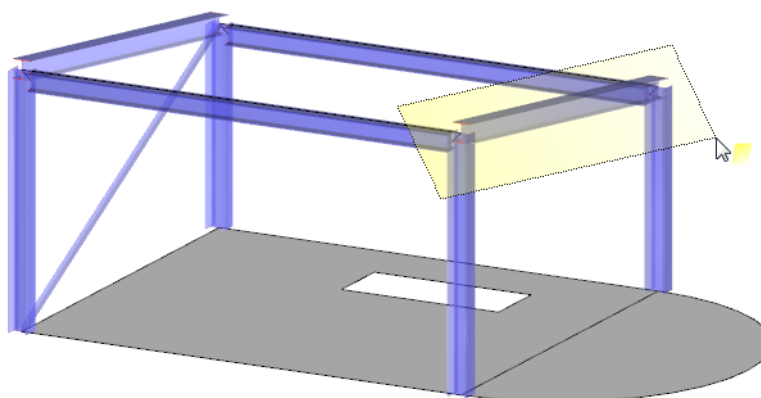
W widoku izometrycznym czasami trudno jest wybrać obiekt przy użyciu prostokątnego okna. W takim przypadku zaleca się użyć funkcji *Wybór przez romb przy użyciu równoległoboku*.

W tym celu należy wskazać opcję **Wybrać** w menu **Edytować**, a następnie kliknąć **Romboid**

lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 11.21: Przycisk *Wybór przez romb przy użyciu równoległoboku*



Rysunek 11.22: Zaznaczanie przy użyciu równoległoboku

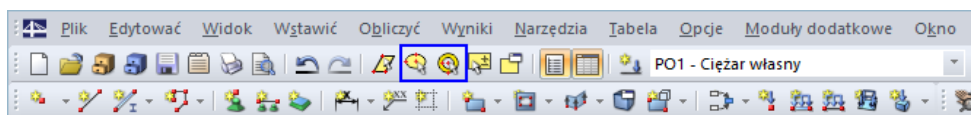
### Wybieranie przy użyciu elipsy/pierścienia kołowego



Możliwości zaznaczania obiektów przy użyciu elipsy lub pierścienia, które mogą być używane na przykład do okrągłych powierzchni, stanowią alternatywę dla wyboru przy użyciu równoległoboku. Aby uzyskać dostęp do odpowiednich funkcji,

należy wskazać opcję **Wybrać** w menu **Edytować**, a następnie kliknąć pozycję **Elipsa** lub **Pierścień kołowy**

lub skorzystać z odpowiednich przycisków w pasku narzędzi.



Rysunek 11.23: Przyciski *Wybór przez elipsę* lub *Wybór przez pierścień*

Wybór przy użyciu strefy eliptycznej lub pierścieniowej może być ustawiony przez kliknięcie myszą i zdefiniowanie punktu środkowego i obu promieni.

### Wybieranie przy użyciu linii przekroju

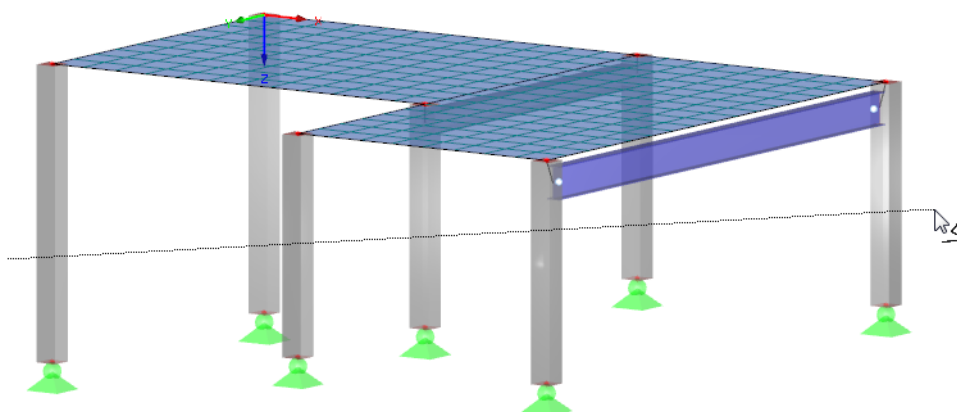


Obiekty można wybrać za pomocą linii przebiegającej w dowolnym miejscu w modelu. Funkcję tę uruchamia się,

wskazując opcję **Wybrać** w menu **Edytować**, a następnie klikając **Linia przekroju**.

Linia przecięcia może być zdefiniowana w oknie roboczym jako linia prosta lub jako wielokąt. Odpowiednie punkty do zdefiniowania linii wybiera się jeden po drugim poprzez kliknięcie myszą. Punkty te są niezależne od płaszczyzny roboczej. Wybór obejmuje wszystkie obiekty wyświetlane w bieżącym widoku, które są przecięte przez tę linię.

Po ustawieniu punktu końcowego linii przecięcia, należy kliknąć go ponownie (alternatywnie: kliknąć dwukrotnie ostatni punkt). Należy się przy tym upewnić, że punkt ten jest umieszczony w pustym obszarze okna roboczego.



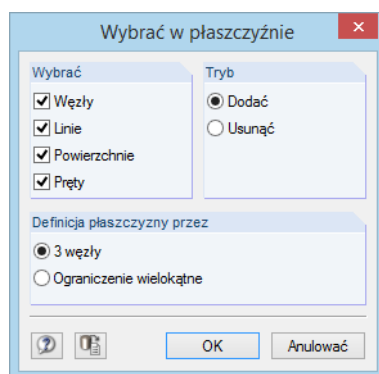
Rysunek 11.24: Wybieranie wszystkich słupów przy użyciu linii przecięcia

### Wybieranie przy użyciu płaszczyzny



Obiekty leżące w jednej płaszczyźnie (np. powierzchnie dachowe) można łatwo wybrać przy użyciu funkcji wyboru *W płaszczyźnie*. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe, należy wskazać polecenie *Wybrać* w menu *Edytować*, a następnie kliknąć opcję *W płaszczyźnie*.

Pojawi się okno dialogowe ze szczegółowymi ustawieniami dla wybierania obiektów i płaszczyzny.



Rysunek 11.25: Okno dialogowe *Wybrać w płaszczyźnie*

Po kliknięciu przycisku [OK] można graficznie zdefiniować płaszczyznę wyboru. W tym celu należy kliknąć opcję *3 Węzły* lub narysować *Ograniczenie wielokątne* dowolnie lub przy pomocy węzłów w płaszczyźnie roboczej.

### Wybieranie wolnych węzłów



Aby wybrać węzły, które nie są używane do definiowania linii lub powierzchni,

należy wskazać opcję **Wybrać** w menu **Edytować**, a następnie kliknąć **Węzły wolne**.

Wolne węzły najprościej usuwa się przy użyciu klawisza [Del].

## Wybieranie obiektów powiązanych



Po wybraniu na przykład powierzchni poprzez kliknięcie, węzły i linie należące do tej powierzchni nie wejdą w skład zaznaczenia. Aby wybrać składowe obiektów,

należy wskazać opcję **Wybrać** w menu **Edytować**, a następnie kliknąć **Obiekty powiązane**.

Przy użyciu tej funkcji można na przykład szybko włączyć w skład zaznaczenia podpory prętów lub powierzchni i zapisać je jako obiekty powiązane w widoczności zdefiniowanej przez użytkownika (zobacz rozdział 9.9.1.2 na stronie 401).

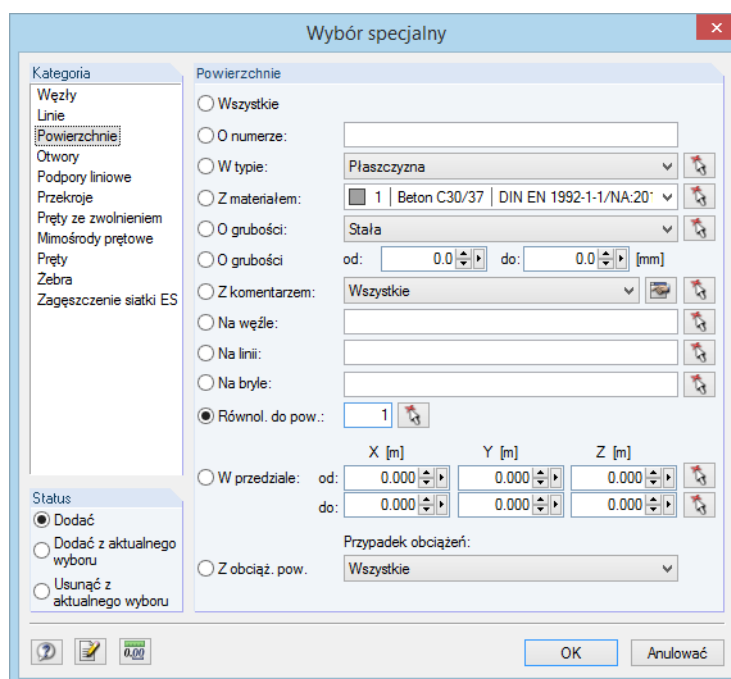
### 11.2.2 Wybieranie obiektów według kryteriów

Funkcja ta pozwala na wybór obiektów według określonych kryteriów. Ponadto, poszczególne obiekty mogą być dodawane lub usuwane z istniejącego zaznaczenia.



Aby otworzyć okno dialogowe służące do dokonywania specjalnego wyboru,

należy wskazać opcję **Wybrać** w menu **Edytować**, a następnie kliknąć przycisk **Specjalny** lub skorzystać z paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony.



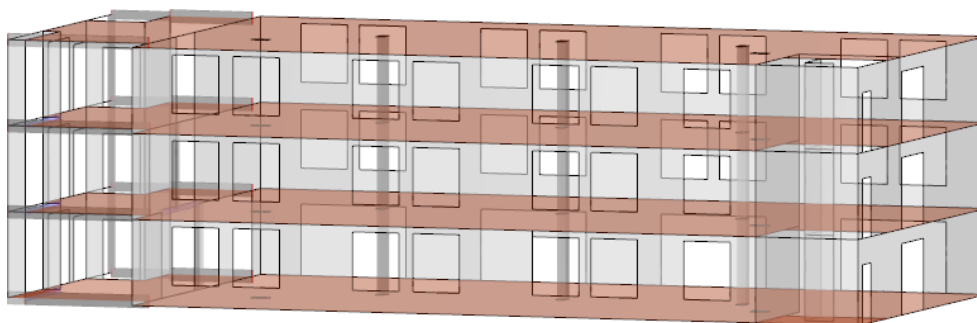
Rysunek 11.26: Okno dialogowe *Wybór specjalny*

Sekcja okna dialogowego *Kategoria*, znajdująca się po lewej stronie, zawiera listę obiektów zdefiniowanych w modelu. Ustawienia w prawej części okna dialogowego zależą od wybranego obiektu. Po określeniu kryterium wyboru, można wprowadzić szczegółowe ustawienia, gdzie są one wymagane.

#### Przykład



Przy użyciu ustawień pokazanych na Rysunek 11.26 zaznaczone są wszystkie powierzchnie, które są modelowane jako *Równoległe do powierzchni 1* (płyta stropowa). Powierzchnię szablonową można również wybrać graficznie przy użyciu przycisku [^].



Rysunek 11.27: Wybieranie powierzchni równoległych

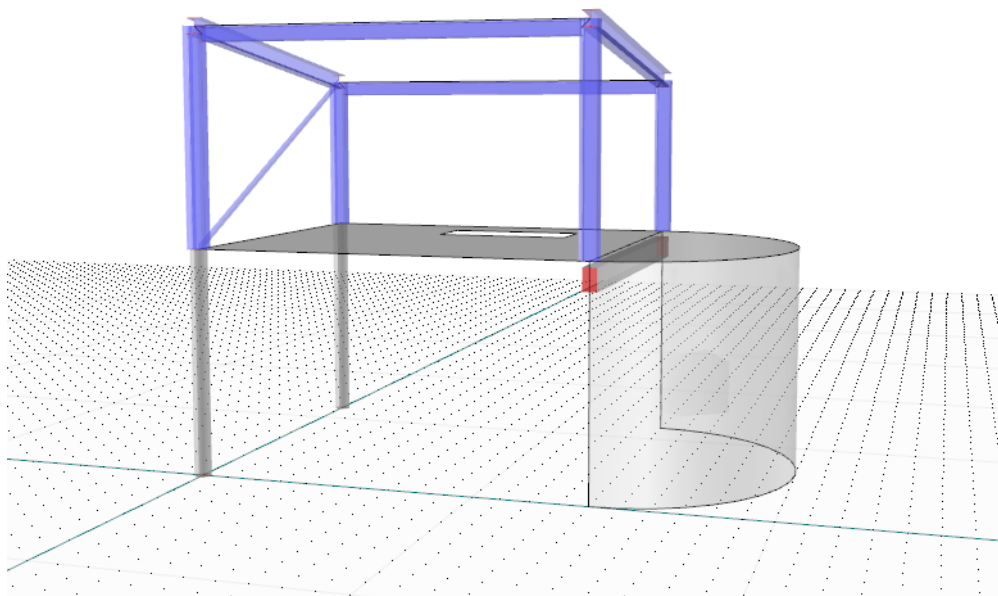
## 11.3 Okno robocze

Specjalne funkcje CAD, takie jak płaszczyzny robocze, opcje skoku do obiektu, linie pomocnicze oraz układy współrzędnych definiowane przez użytkownika pomagają podczas modelowania obiektów graficznych w oknie roboczym.

### 11.3.1 Płaszczyzny robocze

Pomimo tego, że konstrukcja jest zdefiniowana przestrzennie, na ekranie mogą być wyświetlane tylko dwa wymiary. Z tego powodu graficzne definiowanie obiektów stanowi problem, ponieważ po kliknięciu w oknie roboczym, trzeba ustalić, w jakiej płaszczyźnie tworzone są obiekty. Płaszczyzna robocza określa, które współrzędne są zawsze "stałe".

Oś współrzędnych aktualnie ustawionej płaszczyzny roboczej są reprezentowane przez dwie zielone linie prostopadłe. Punkt przecięcia tych linii nazywany jest „początkiem płaszczyzny roboczej”.



Rysunek 11.28: Płaszczyzna robocza przedstawiona w grafice

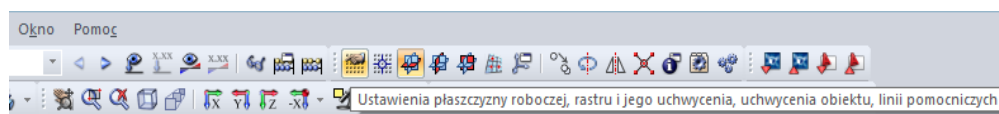
Zwykle płaszczyzna robocza przebiega równolegle do jednej z globalnych płaszczyzn XY, YZ lub XZ, które są rozciągnięte na dwóch osiach globalnego układu współrzędnych. Możliwe jest również bezpośrednie określenie płaszczyzny roboczej z dowolnym nachyleniem lub zdefiniowanie jej przy użyciu osi linii, pręta i powierzchni.



Aby otworzyć okno dialogowe *Płaszczyzna robocza i raster / uchwycenie* z parametrami płaszczyzny roboczej,

należy wybrać opcję **Płaszczyzna robocza, raster / uchwycenie, uchwycenie obiektu, linie pomocnicze** w menu **Narzędzia**

lub skorzystać z przycisku paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 11.29: Przycisk *Ustawienia płaszczyzny roboczej*

Pojawi się okno dialogowe pokazane na Rysunek 11.34 na stronie 464.

### Równoległe do globalnej płaszczyzny XY / YZ / XZ

Płaszczyzna robocza może być ułożona równoległe do jednej z następujących płaszczyzn globalnych.

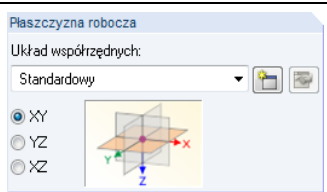
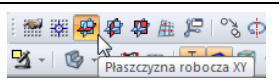
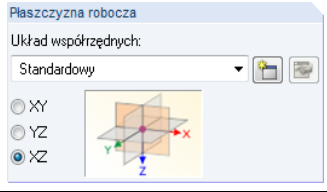
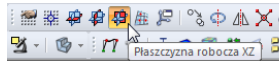
Płaszczyzna	Wybór w oknie dialogowym <i>Płaszczyzna robocza</i>	Wybór w pasku narzędzi
XY		
YZ		
XZ		

Tabela 11.3: Wybór w płaszczyźnie roboczej

Więcej opcji definiowania płaszczyzny roboczej otwiera się po kliknięciu opcji,

#### Wybrać płaszczyznę roboczą w menu **Narzędzia**

lub po kliknięciu odpowiednich przycisków paska narzędzi.

### Płaszczyzna przy wybraniu trzech punktów

W oknie roboczym można wybrać trzy punkty definiujące nową płaszczyznę roboczą w układzie osi *UVW*. Punkty te nie mogą być określone w linii prostej.

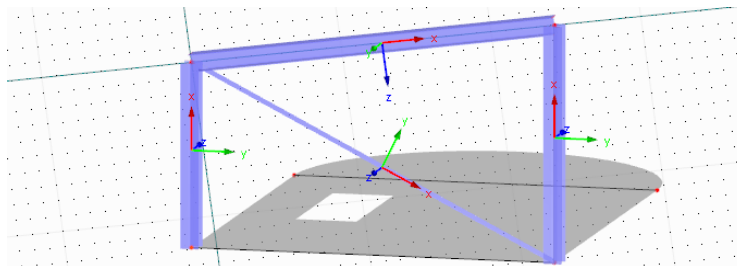
### Płaszczyzna z linią w X / Y / Z

Płaszczyzna robocza jest określana przez jedną z osi globalnych oraz linię, które można zdefiniować graficznie w oknie roboczym. Punkt zerowy nowej płaszczyzny roboczej jest umieszczony w węźle początkowym linii. Oś *U* jest ustawiona równoległe do wybranej osi globalnej. W ten sposób można szybko przesunąć płaszczyznę roboczą na przykład na powierzchnię dachu.



### Płaszczyzna z osią pręta xy / xz

Do zdefiniowania płaszczyzny są wykorzystywane płaszczyzny osi pręta xy ("osie słabe") lub xz ("osie silne") (zobacz rozdział 4.17 na stronie 159). Odpowiedni pręt musi być zdefiniowany graficznie w oknie roboczym. Punkt zerowy nowej płaszczyzny roboczej jest umieszczany w węźle początkowym pręta.



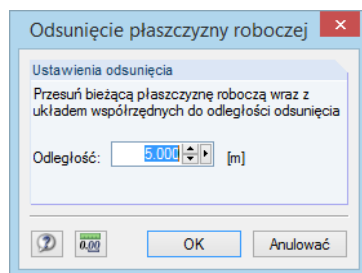
Rysunek 11.30: Płaszczyzna robocza w pochyleniu dachu osi pręta xz

### Płaszczyzna z osią powierzchni xy

Płaszczyzna robocza jest określona przez osie xy powierzchni, którą można zdefiniować graficznie w oknie roboczym (zobacz rozdział 4.4 na stronie 90). Osie nowej płaszczyzny roboczej nazywane są *UVW* (zobacz Rysunek 11.30).

### Odsunięcie płaszczyzny roboczej

Przy użyciu tej funkcji można przesunąć płaszczyznę roboczą prostopadłe do bieżącej płaszczyzny. Odległość przesunięcia określa się w oknie dialogowym *Odsunięcie płaszczyzny roboczej*.



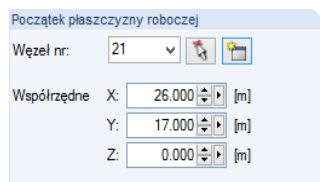
Rysunek 11.31: Okno dialogowe *Odsunięcie płaszczyzny roboczej*



Odsunięcie pozostaje aktywne, aż do wyłączenia tej funkcji w menu.

### Początek płaszczyzny roboczej

Okno dialogowe *Płaszczyzna robocza* (Rysunek 11.34) zawiera opcję dla punktu zerowego (początek) płaszczyzny roboczej. Przy użyciu funkcji [↖] można wybrać węzeł w oknie roboczym. Kliknięcie przycisku [Nowy] pozwala zdefiniować nowy węzeł. Współrzędne dowolnego punktu można również wprowadzić bezpośrednio.



Rysunek 11.32: Okno dialogowe *Płaszczyzna robocza*, sekcja okna dialogowego *Początek płaszczyzny roboczej*

Początek płaszczyzny roboczej może również zostać określony w sposób graficzny.

W tym celu należy wskazać opcję **Wybrać płaszczyznę roboczą** w menu **Narzędzia**, a następnie wybrać polecenie **Określić początek**



lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 11.33: Przycisk *Wstaw początek rastru/płaszczyzny roboczej*

### 11.3.2 Raster

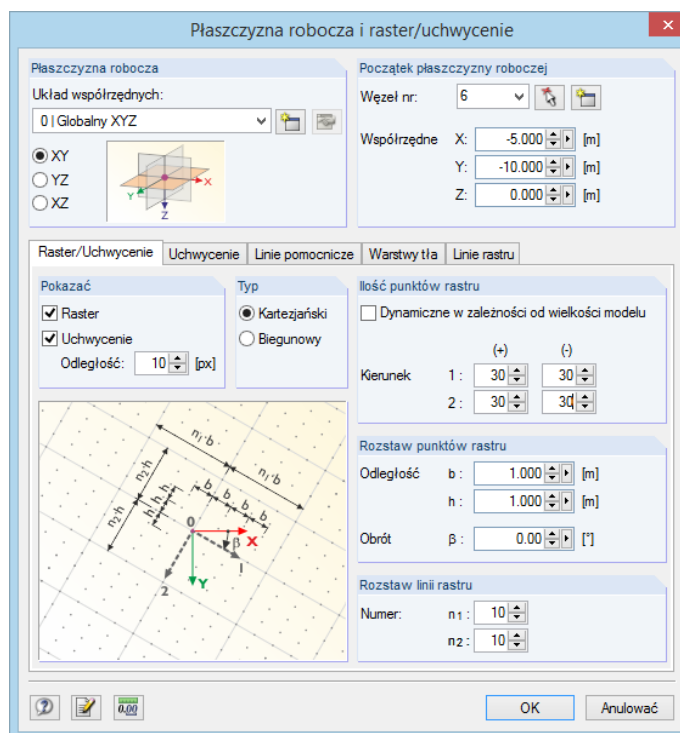
Punkty rastru ułatwiają graficzne wprowadzanie danych w płaszczyźnie roboczej. Podczas graficznego definiowania węzłów, wskaźnik przeskakuje do punktów rastru.



Właściwości punktów rastru ustawia się w oknie dialogowym *Płaszczyzna robocza i raster/uchwycenie*.

Aby otworzyć to okno dialogowe, należy wybrać opcję **Płaszczyzna robocza, raster / uchwycenie, uchwycenie obiektu, linie pomocnicze** w menu **Narzędzia**

lub skorzystać z przycisku paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony (zobacz Rysunek 11.29 na stronie 462).



Rysunek 11.34: Okno dialogowe *Płaszczyzna robocza i raster/uchwycenie*

Opcje ustawień dotyczących rastru są dostępne w zakładce *Raster/uchwycenie*.

#### Pokaż

Aby wyświetlić raster w oknie roboczym, należy zaznaczyć pole wyboru *Raster*. Funkcja skoku może być włączana i wyłączana niezależnie od rastru, przy użyciu pola wyboru *Uchwycenie*. Dzięki temu funkcja skoków do punktów rastru może być wciąż aktywna, nawet gdy raster nie jest widoczny.

UCHWYCENIE RASTER

Aby szybko włączyć lub wyłączyć obie funkcje, należy użyć przycisków [UCHWYCENIE] i [SIATKA] w pasku stanu.



## Typ

Punkty rastru mogą być rozmieszczone w kartezjańskim XE "Kartezjański lub w biegunowym układzie współrzędnych. W zależności od wyboru, zmienia się zawartość wyświetlanych elementów okien dialogowych.



Alternatywnie można wybrać układ współrzędnych za pomocą przycisków [KARTEZ], [BIEGUN] lub [ORTO] w pasku stanu.

## Ilość punktów rastru

Kiedy ustawiony jest raster kartezjański, liczbę jego punktów można określić oddzielnie w obu kierunkach osi.

Kiedy ustawiony jest raster biegunowy, należy podać liczbę koncentrycznych okręgów rastru.

W przypadku zaznaczenia opcji *Dynamicznie w zależności od wielkości modelu*, raster będzie dostosowany automatycznie do wymiarów modelu. Dzięki temu wokół konstrukcji zawsze będzie zapewniona wystarczająca ilość punktów rastru. Wymagane punkty rastru będą przeliczane po każdym wprowadzeniu, co może zmniejszyć prędkość tworzenia grafiki.

## Rozstaw punktów rastru

Podczas korzystania z rastru kartezjańskiego, odstępów jego punktów można zdefiniować osobno dla kierunku 1 i 2.

W przypadku rastru biegunowego należy określić rozstaw promieniowy  $r$  dla okręgów rastru. Kąt  $\alpha$  kontroluje odstępów punktów rastru na okręgach.

Opcjonalnie raster kartezjański i biegunowy może być obracany o kąt obrotu  $\beta$ .

W razie potrzeby można dostosować liczbę pikseli kontrolujących *Odległość skoku*.

### 11.3.3 Uchwycenie

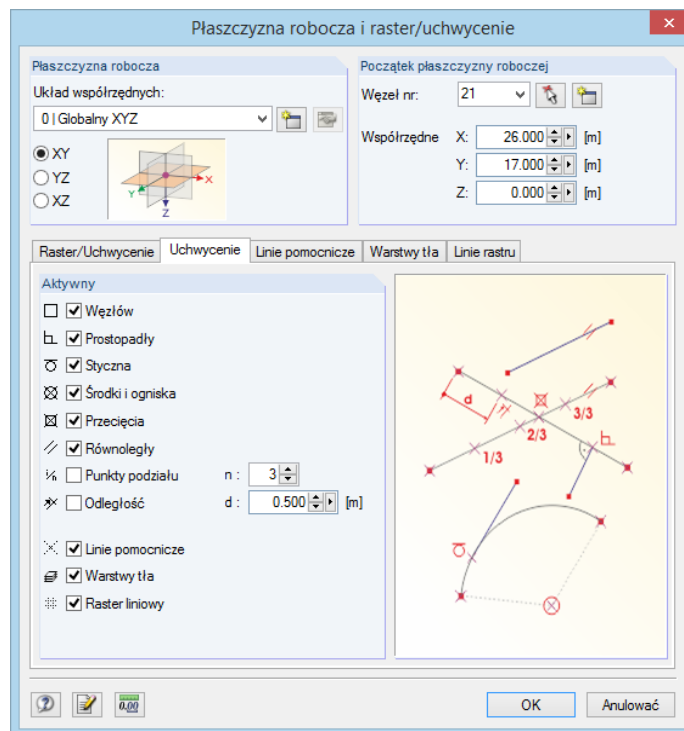
Uchwycenie obiektu ułatwia modelowanie w sposób zbliżony do modelowania CAD podczas definiowania linii. Oprócz węzłów, wzdłuż linii można dodatkowo aktywować kilka punktów uchwycenia.



Ustawienia dla uchwycenia są również określane w oknie dialogowym *Płaszczyzna robocza i raster/uchwycenie*. Aby otworzyć to okno dialogowe,

należy wybrać opcję **Płaszczyzna robocza, raster / uchwycenie, uchwycenie obiektu, linie pomocnicze** w menu **Narzędzia**

lub skorzystać z przycisku paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony (zobacz Rysunek 11.29 na stronie 462).

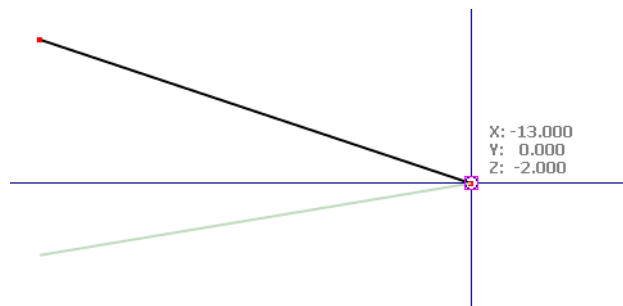
Rysunek 11.35: Okno dialogowe *Płaszczyzna robocza i raster/uchwycenie*

Zakładka okna dialogowego *Uchwycenie* zarządza różnymi funkcjami uchwycenia.

**OSNAP**

Aby uczynić funkcję uchwycenia w pełni efektywną, należy upewnić się, że został aktywowany przycisk [OSNAP] w pasku stanu.

## Wzłoz

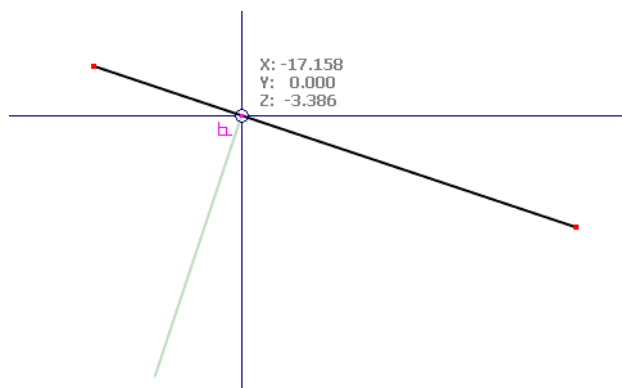


Rysunek 11.36: Skok do węzła



Podczas definiowania nowej linii, wykonywany jest skok do istniejących węzłów. Punkty uchwycenia są symbolizowane przez kwadraty.

## Prostopadły

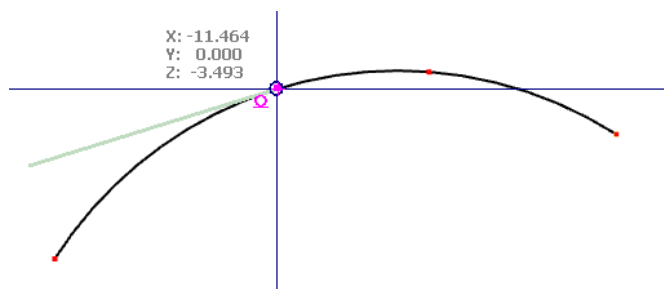


Rysunek 11.37: Łączenie linii w sposób prostopadły



Podczas rysowania linii kursor jest przyciągany podczas przesuwania go w pobliżu punktu prostopadłego. Punkt uchwycenia jest symbolizowany przez symbol prostopadłości.

## Styczna

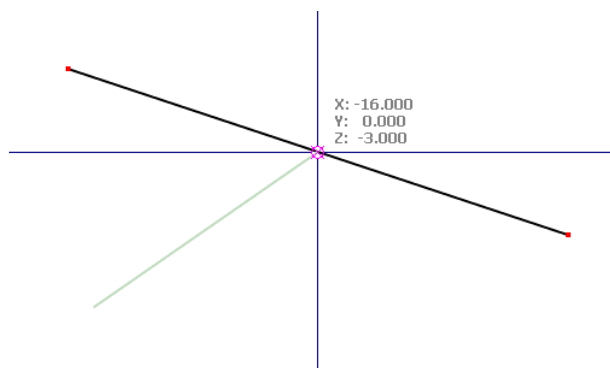


Rysunek 11.38: Łączenie stycznej z łukiem



Styczna jest tworzona na łuku kołowym. Podczas rysowania linii, kursor jest przyciągany podczas przesuwania go w pobliżu punktu stycznego. Punkt uchwycenia jest symbolizowany przez symbol styczności.

## Środki i ogniska

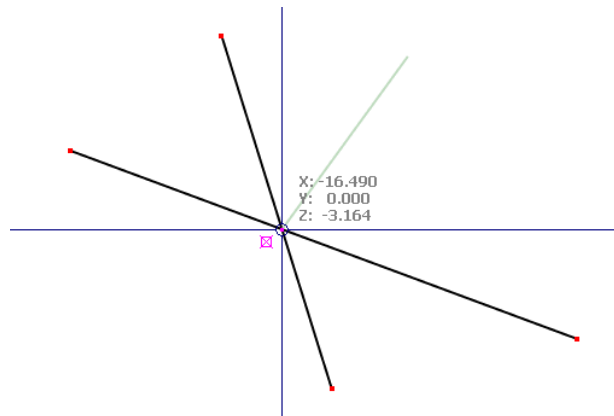


Rysunek 11.39: Łączenie linii w środku



Po najechaniu kursorem w pobliżu centrum (środka) linii, zostanie on przyciągnięty. W centrum punktu uchwycenia pojawi się symbol środka.

## Przecięcia

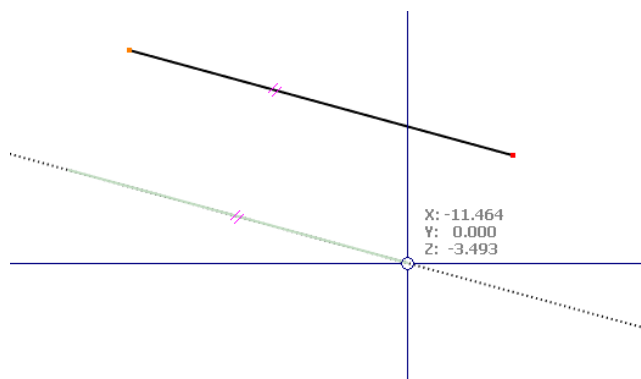


Rysunek 11.40: Linie skoku w punkcie przecięcia



Wskaźnik doskoczy do punktu przecięcia dwóch linii granicznych, które nie mają wspólnego węzła. Punkt uchwycenia jest symbolizowany przez symbol przecięcia pokazany na lewym marginesie tej strony.

## Równoległy

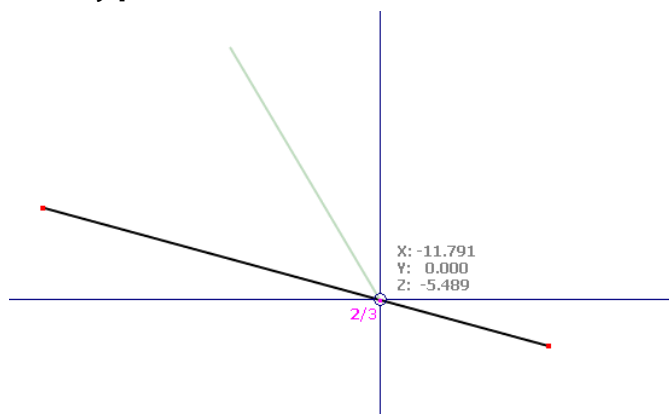


Rysunek 11.41: Skok do linii równoległej



Przy użyciu tej funkcji można ustawić linie równoległe. W tym celu należy zdefiniować węzeł początkowy nowej linii, a następnie przesunąć kursor nad linią szablonu. Po przesunięciu wskaźnika w pobliżu ewentualnego węzła końcowego nowej linii, przebiegającej równoległe do szablonu, na obu liniach pojawi się symbol równoległości, pokazany na lewym marginesie tej strony.

### Punkty podziału

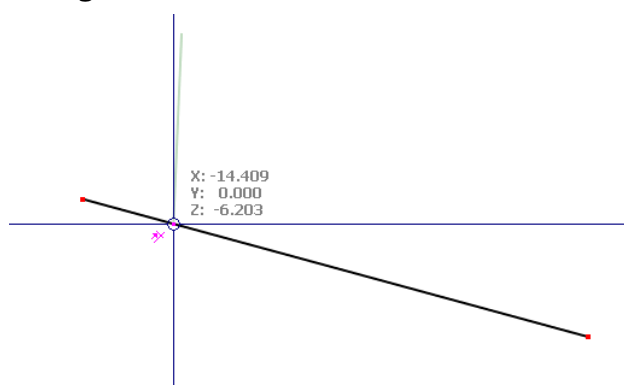


Rysunek 11.42: Skok do linii w punkcie podziału (przykład: punkt w 2/3)



W zakładce *Uchwycenie* okna dialogowego *Płaszczyzna robocza i raster/uchwycenie* można wprowadzić liczbę podziałów  $n$  linii. Podczas przesuwania kursora wzdłuż linii, będzie on przyciągany do punktów podziału. Podział ten jest wyświetlany przy wskaźniku jako ułamek.

### Odległość

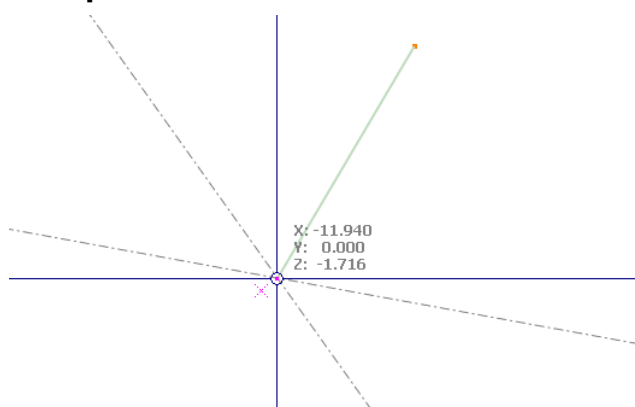


Rysunek 11.43: Łączenie linii w różnych odległościach



W zakładce *Uchwycenie* okna dialogowego *Płaszczyzna robocza i raster/uchwycenie* można wprowadzić odległość  $d$  dla linii dzielącej. Podczas przesuwania kursora wzdłuż linii, będzie on przyciągany w określonej odległości od początku i końca linii. Przy wskaźniku pojawi się symbol odległości.

### Linie pomocnicze

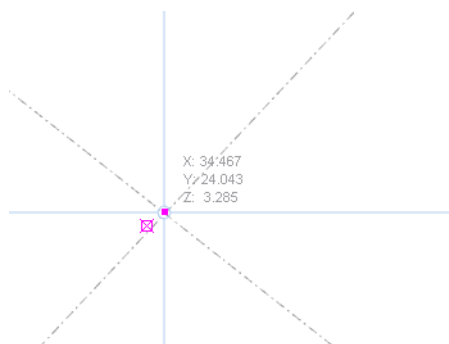


Rysunek 11.44: Uchwycenie do linii pomocniczych w punkcie przecięcia



Po najechaniu kursorem w pobliżu punktu przecięcia dwóch linii pomocniczych (zobacz rozdział 11.3.7 na stronie 477), zostanie on przyciągnięty. Punkt skoku jest oznaczony przez symbol przecięcia.

### Warstwy tła

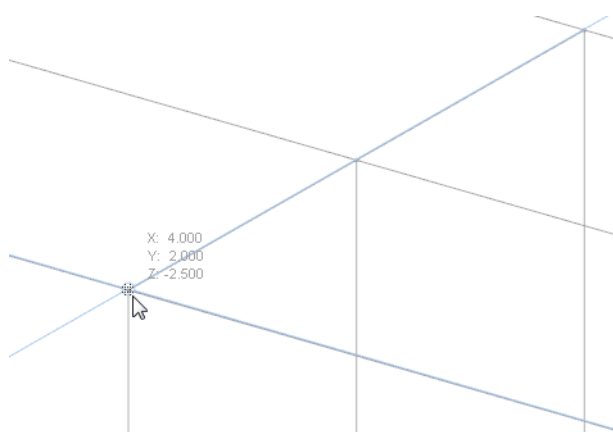


Rysunek 11.45: Skok do warstw tła w punkcie przecięcia



Przy użyciu tej funkcji można ustawić węzły w punktach przecięcia warstw tła (zobacz rozdział 11.3.7 na stronie 477). W punkcie przyciągania pojawi się symbol przecięcia.

### Raster linii



Rysunek 11.46: Skok do punktu rastru liniowego

Przy użyciu tej funkcji można wstawiać obiekty w punktach przecięcia rastru liniowego (zobacz rozdział 11.3.8 na stronie 482).

## 11.3.4 Układy współrzędnych

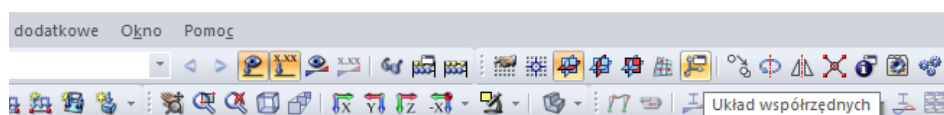
Zdefiniowane przez użytkownika układy współrzędnych ułatwiają wprowadzanie pochylonych elementów modelu. Nie mają one nic wspólnego z układami osi linii, powierzchni ani prętów. Alternatywnie można graficznie zdefiniować płaszczyzny robocze za pomocą punktów lub osi linii, prętów i powierzchni (zobacz rozdział 11.3.1 na stronie 461).



Aby otworzyć okno dialogowe *Układ współrzędnych*,

należy wybrać opcję **Układ współrzędnych** w menu **Narzędzia**

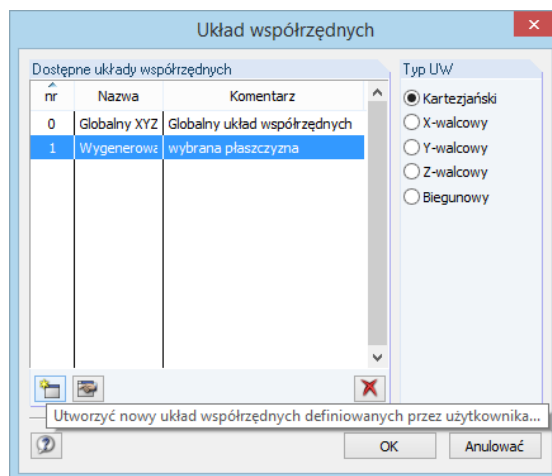
lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 11.47: Przycisk *Układ współrzędnych*



W tym samym celu można również wykorzystać okno dialogowe *Plaszczyzna robocza i raster /uchwycenie* (zobacz Rysunek 3.15 na stronie 30), gdzie znajduje się przycisk [Nowy], służący do tworzenia zdefiniowanego przez użytkownika układu współrzędnych.



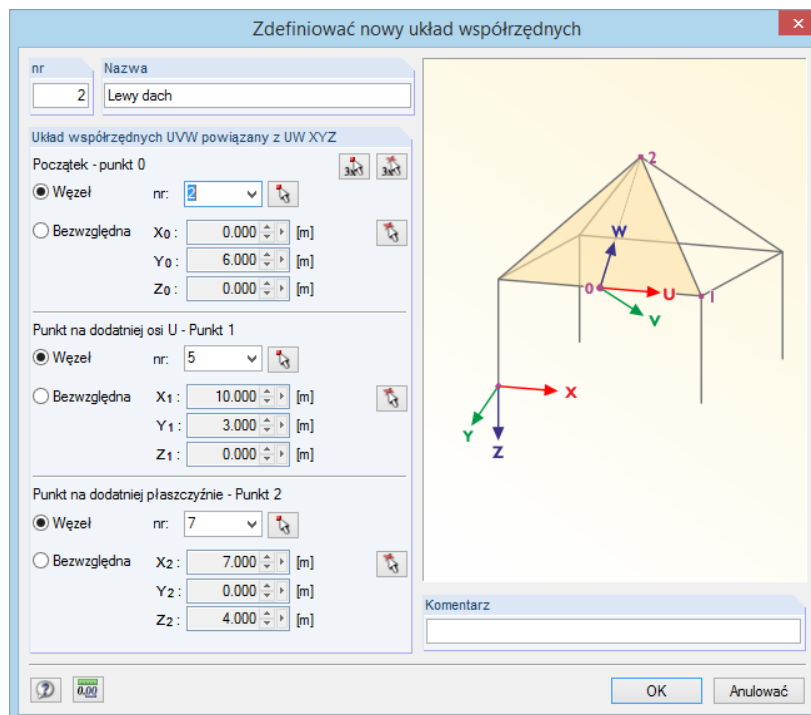
Rysunek 11.48: Okno dialogowe *Układ współrzędnych*

Ustawiany jest *Standardowy* układ współrzędnych, który odnosi się do globalnych osi X,Y,Z oraz początku.

### Tworzenie nowego układu współrzędnych



Kliknięcie przycisku [Nowy], pokazanego na Rysunek 11.48, pozwala otworzyć poniższe okno dialogowe. Przycisk ten znajduje się w oknie dialogowym *Plaszczyzna robocza i raster /uchwycenie* (zobacz Rysunek 3.15 na stronie 30).



Rysunek 11.49: Okno dialogowe *Zdefiniować nowy układ współrzędnych*

Po wprowadzeniu *Nazwy* dla nowego układu współrzędnych, należy zdefiniować układ osi przy użyciu trzech parametrów w sekcji okna dialogowego *Układ współrzędnych UVW powiązany z UW XYZ*:

- Początek (punkt zerowy nowego układu współrzędnych)
- Punkt na dodatniej osi U (pierwsza oś)
- Punkt na dodatniej płaszczyźnie UW (obrót płaszczyzny wokół osi U)



Należy teraz zdefiniować trzy punkty, które można wpisać bezpośrednio lub wybrać graficznie. Punkty te nie mogą być zdefiniowane w linii prostej.

Przy użyciu przycisków pokazanych na lewym marginesie tej strony można wybrać trzy punkty, jeden po drugim, w oknie roboczym (należy przestrzegać sekwencji podczas określania punktów od 0 do 2). Lewym przyciskiem myszy można wybrać tylko *Węzły*, a przy pomocy prawego przycisku myszy można wybrać dowolne *Punkty*. Różnica ta staje się szczególnie znacząca, gdy węzeł stanowiący punkt definicji układu współrzędnych zostanie zmieniony. W takim wypadku układ współrzędnych zostanie dostosowany automatycznie. W przypadku dowolnych punktów, układ współrzędnych jest stały.

Jeśli zdefiniowana przez użytkownika płaszczyzna robocza jest określona za pomocą trzech punktów (zobacz rozdział 11.3.1 na stronie 461), program RFEM automatycznie tworzy nowy układ współrzędnych o nazwie *Wygenerowany*.

### Edytowanie lub usuwanie układu współrzędnych

Tylko zdefiniowane przez użytkownika układy współrzędnych mogą być edytowane lub usuwane. W tym celu należy użyć następujących dwóch przycisków, dostępnych w oknie dialogowym *Układ współrzędnych*.



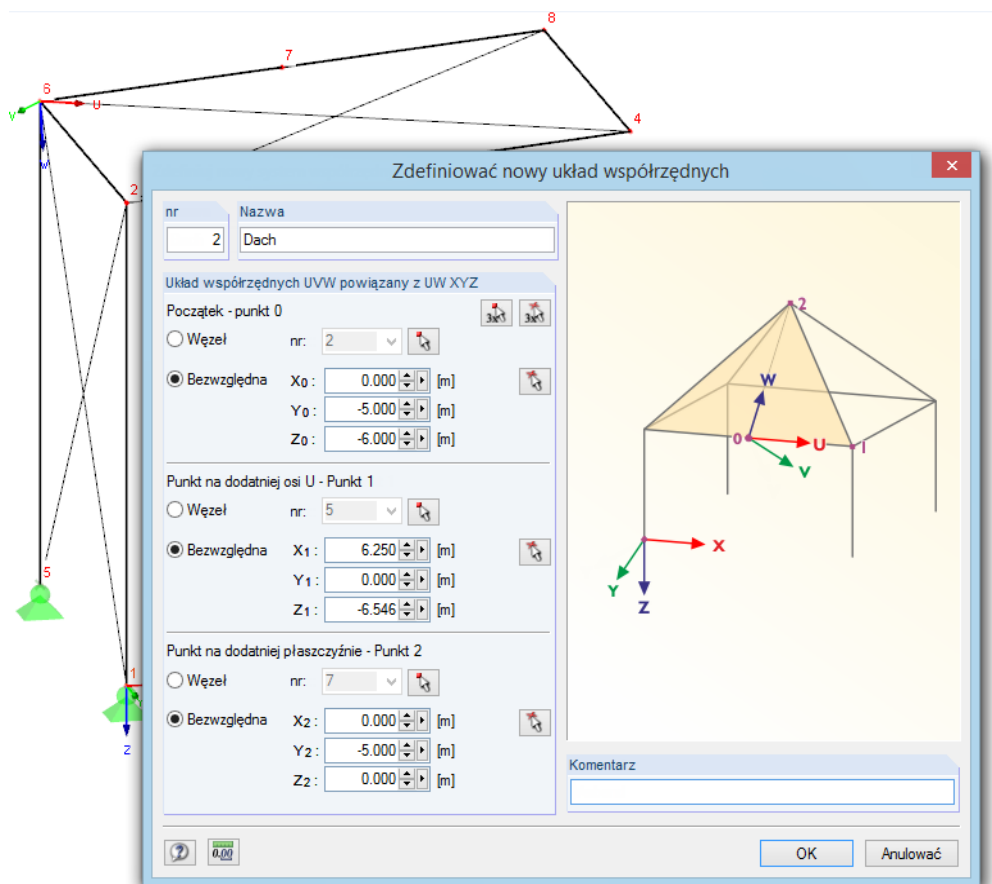
	Modyfikuje wybrany układ współrzędnych
	Usuwa wybrany układ współrzędnych

Tabela 11.4: Przyciski w oknie dialogowym *Układ współrzędnych*

### Przykład

W połączeniu ramy, nowy układ współrzędnych jest zdefiniowany dla przekątnej leżącej w płaszczyźnie dachu. *Początek* jest ustawiony w węźle narożnym **6**. Węzeł końcowy **4** przekątnego pręta jest wybrany jako punkt na dodatniej osi *U*. Punkt bazowy **5** słupa jest wybrany jako punkt na dodatniej płaszczyźnie *UW*.





Rysunek 11.50: Układ współrzędnych **UVW** zdefiniowany przez użytkownika w połączeniu ramy

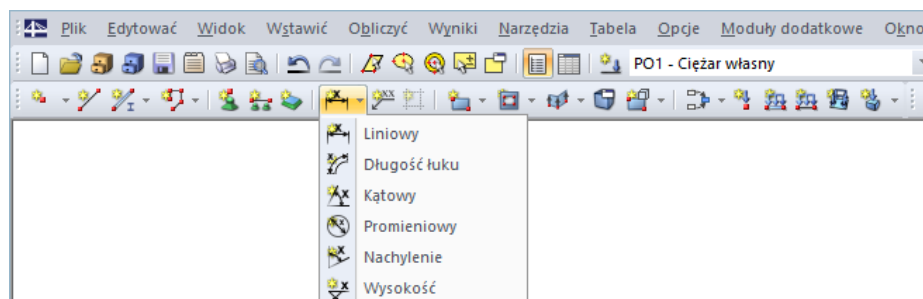
Raster odnosi się teraz do płaszczyzn roboczych UV, VW oraz UW, w którym można zdefiniować nowe obiekty (zobacz rozdział 11.3.1 na stronie 461).

### 11.3.5 Wymiary

Do modelu konstrukcyjnego możliwe jest dodanie linii wymiarowych zdefiniowanych przez użytkownika.



Aby zastosować funkcje wymiarowania, należy wskazać opcję **Wymiary** w menu **Wstawić** lub skorzystać z odpowiednich przycisków na pasku narzędzi.



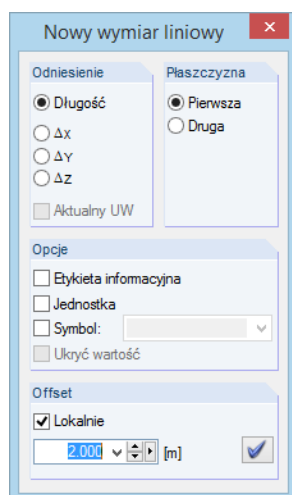
Rysunek 11.51: Przyciski *Nowy wymiar*

Mogą być wybrane następujące opcje wymiarowania.

Wymiar	Wymiarowane obiekty
Liniowy	Długości pomiędzy dwoma lub kilkoma węzłami
Długość łuku	Długość pomiędzy węzłami łuku
Kątowy	Kąt pomiędzy trzema węzłami lub dwiema liniami
Promieniowy	Średnica lub promień okręgu i łuku
Nachylenie	Kąt pochylenia pomiędzy linią a płaszczyzną
Wysokość	Poziom wysokości węzła

Tabela 11.5: Funkcje podawania wymiarów

Otwiera się okno dialogowe *Nowy wymiar*. Wygląd tego okna dialogowego zależy od dokonanego wyboru.

Rysunek 11.52: Okno dialogowe *Nowy wymiar liniowy*

Przy użyciu kursora wyświetlanego z symbolem zaznaczenia należy klikać obiekty stanowiące punkty referencyjne dla wymiarowania jeden po drugim. W sekcji okna dialogowego *Odniesienie*, można wybrać prawdziwą długość lub rzut w jednym z kierunków osi globalnych.

W sekcji znajdującej się po prawej stronie okna dialogowego można określić *Płaszczyznę*, w której będzie zastosowana linia wymiarowa. Ustawienie to odnosi się do osi globalnego układu współrzędnych XYZ lub odpowiednio do osi linii. Po przełączeniu płaszczyzny i przesunięcia wskaźnika w grafice, można zobaczyć efekt zaznaczenia obu pól wyboru.

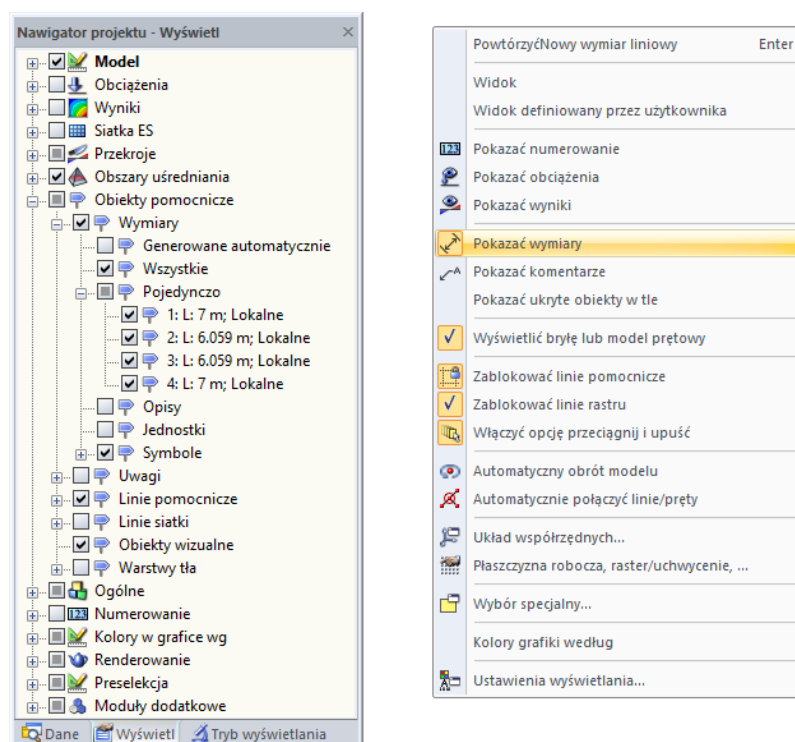
Przy użyciu czterech pól wyboru w sekcji okna dialogowego *Opcje* można określić informacje pojawiające się jako wartości. Po wybraniu *Symbolu*, można wprowadzić symbol wymiarowania. Możliwe jest również wybranie go z listy. Zaznaczenie pola wyboru *Ukryj wartość* pozwala wyłączyć mierzoną wartość, pozostawiając jedynie symbol.

*Offset* określa odległość linii wymiarowej od pierwszego wybranego węzła. Odległość ta może być zdefiniowana również graficznie za pomocą kursora myszy. Aby zdefiniować linię wymiarową, należy kliknąć w oknie roboczym lub użyć przycisku [Ustawić wymiar z offsetem], pokazanego na lewym marginesie tej strony.

Aby zdefiniować wymiar łańcuchowy z równym odsunięciem, należy kliknąć poszczególne węzły jeden po drugim, a następnie określić odsunięcie.



Aby dostosować wyświetlanie linii wymiarowych, należy wykorzystać nawigator *Wyświetl* lub ogólne menu kontekstowe (kliknięcie prawym przyciskiem myszy w obszarze okna roboczego, w którym nie ma obiektów).



Rysunek 11.53: Nawigator *Wyświetl* (*Obiekty pomocnicze* → *Wymiary*) oraz ogólne menu kontekstowe



Gdy zmieni się geometria modelu, wymiary zostaną dostosowane automatycznie.

Aby otworzyć okno dialogowe *Edytować wymiar*, należy dwukrotnie kliknąć odpowiedni wymiar. W ten sposób można później dostosować odsunięcie. Jednakże, aby odnieść linię wymiarową do innych węzłów lub linii, należy najpierw usunąć istniejący wymiar, a następnie zdefiniować go ponownie.

### 11.3.6 Komentarze

Istnieją dwa rodzaje komentarzy:

- Komentarze w oknach dialogowych i tabelach (zobacz rozdział 11.1.4 na stronie 448)
- Komentarze w oknie roboczym

Ten rozdział opisuje sposób, w jaki komentarze są wstawiane w formie graficznej.

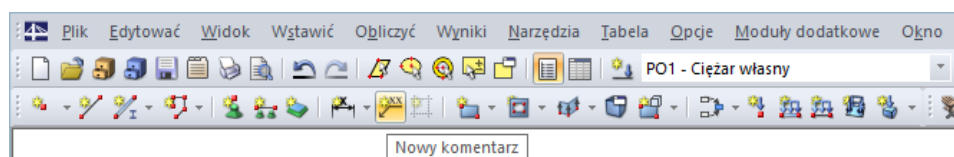
Wstawiane komentarze mogą odnosić się do węzłów oraz środków linii i prętów. Mogą one być umieszczone w dowolnym miejscu bieżącej płaszczyzny roboczej lub w płaszczyźnie globalnej.



Aby otworzyć okno dialogowe do definiowania komentarza w formie graficznej,

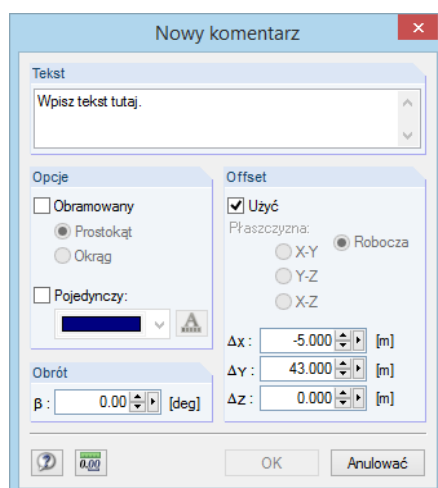
należy wybrać opcję **Komentarze** w menu **Wstawić**

lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 11.54: Przycisk *Nowy komentarz*

Otworzy się okno dialogowe *Nowy komentarz*.



Rysunek 11.55: Okno dialogowe *Nowy komentarz*

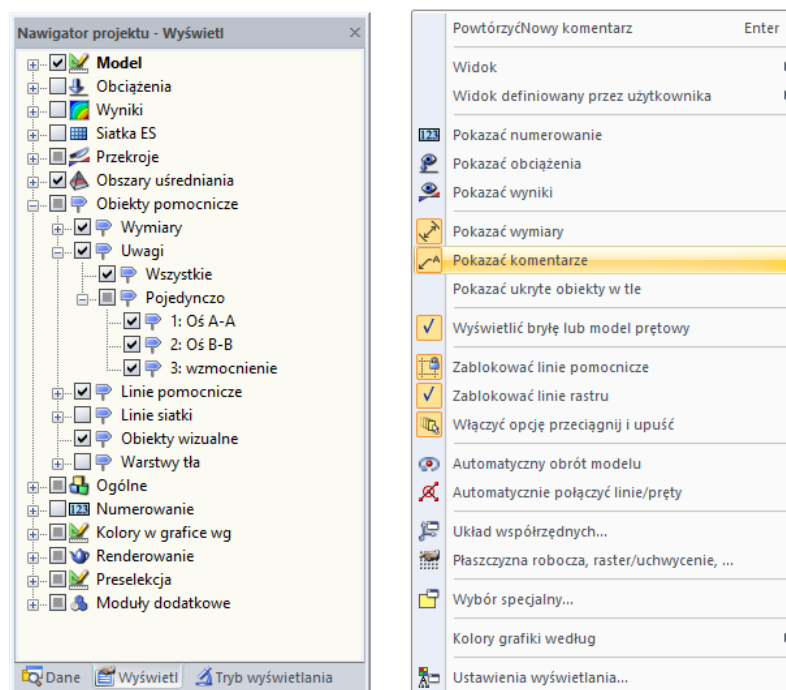


Tekst komentarza wpisuje się w sekcji okna dialogowego *Tekst*. Wygląd komentarza pod względem kolorów i [Czcionki] można ustawić w sekcji okna dialogowego *Opcje*. Opcjonalnie komentarz może być *Obramowany* prostokątem lub okręgiem.

*Obrót* komentarza pozwala użytkownikowi zdefiniować położenie tekstu komentarza.

Jeśli zaznaczono pole wyboru w sekcji okna dialogowego *Offset*, komentarz zostanie umieszczony w określonej odległości do obiektu. Odległość tą można zdefiniować także graficznie. W tym celu należy najpierw kliknąć obiekt po wprowadzeniu tekstu komentarza. Następnie, przy pomocy wskaźnika należy zlokalizować odpowiednie miejsce, w którym zostanie wpisany tekst komentarza po kolejnym kliknięciu myszy. Program RFEM wyświetla aktualną płaszczyznę roboczą, pozwalając na poprawne umieszczenie komentarza. W razie potrzeby można zmienić płaszczyznę roboczą przed umieszczeniem komentarza.

Aby dostosować wyświetlanie komentarzy, należy wykorzystać navigator *Wyświetl* lub ogólne menu kontekstowe (kliknięcie prawym przyciskiem myszy w obszarze okna roboczego, w którym nie ma żadnych obiektów - zobacz na poniższym rysunku).



Rysunek 11.56: Navigator *Wyświetl* (*Obiekty pomocnicze* → *Komentarze*) oraz ogólne menu kontekstowe



Po modyfikacji geometrii modelu, komentarze zostaną dostosowane automatycznie.



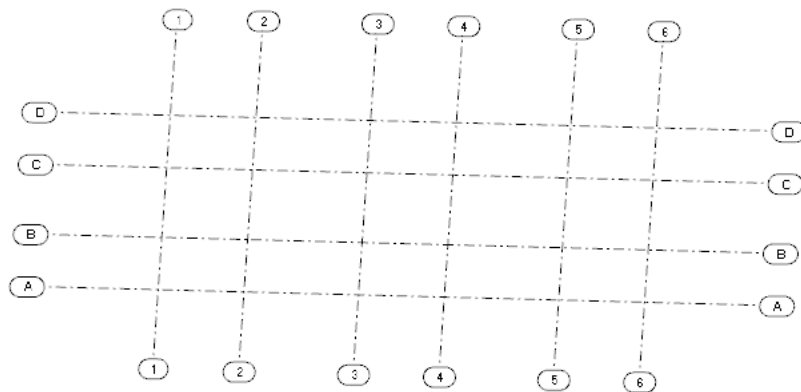
Teksty komentarzy wraz z odsunięciem mogą być później edytowane. W tym celu należy dwukrotnie kliknąć komentarz w oknie roboczym lub jego wpis w navigatorze *Dane*.

Położenie komentarza można również zmieniać za pomocą funkcji przeciągnij-i-upuść (aby skopiować należy przytrzymać wciśnięty klawisz [Ctrl]). Należy zwrócić uwagę na to, że kiedy strzałka komentarza graficznego zostanie "złapana" za koniec grota, przesunięty zostanie cały komentarz. W przypadku "złapania" go za tekst, czubek strzałki nadal będzie wskazywać obiekt, umożliwiając ustawienie tekstu komentarza w płaszczyźnie roboczej.

### 11.3.7 Linie pomocnicze

Linie pomocnicze stanowią siatkę osi poziomych i pionowych znajdującą się pod graficznym oknem roboczym. Punkty przecięcia linii pomocniczych stanowią także punkty skoku dla graficznego wprowadzania danych pod warunkiem, że funkcja skoku dla *Przecięć linii pomocniczych* jest aktywna w skoku do obiektu (zobacz rozdział 11.3.3 na stronie 465).

Linie pomocnicze nie muszą być równoległe do osi globalnego układu współrzędnych XYZ. Kąty mogą być określone dowolnie. Można także zdefiniować biegunowe ułożenie linii pomocniczych. Odstępstwa między liniami pomocniczymi mogą być dowolne.



Rysunek 11-57: Raster linii pomocniczych

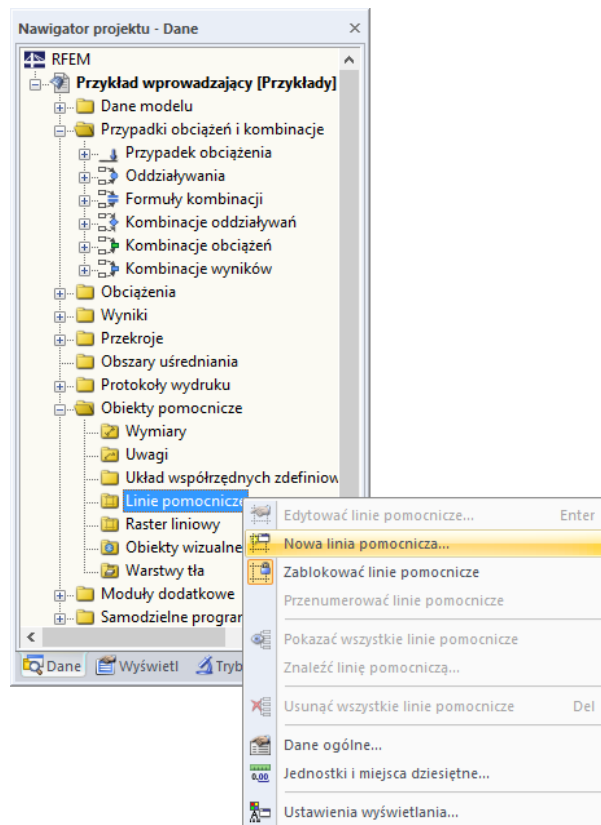
## Tworzenie linii pomocniczych

### Wprowadzanie w oknie dialogowym

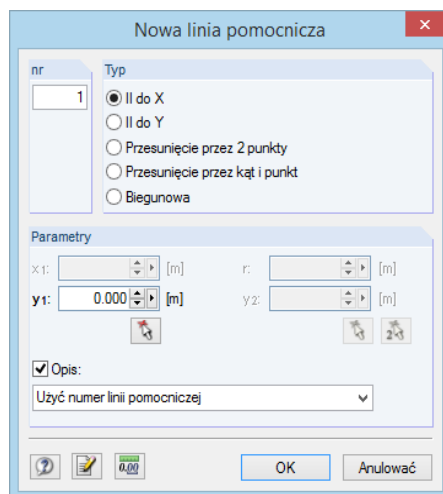
Aby otworzyć okno dialogowe do tworzenia nowej linii pomocniczej,

należy wskazać polecenie **Linie pomocnicze** w menu **Wstawić**, a następnie wybrać opcję **Okno dialogowe**

lub wykorzystać menu kontekstowe w nawigatorze *Dane*.

Rysunek 11.58: Menu kontekstowe *Linii pomocniczych* w nawigatorze *Dane*

Otworzy się następujące okno dialogowe:



Rysunek 11.59: Okno dialogowe *Nowa linia pomocnicza*

Nr linii pomocniczej jest przydzielany przez program, ale w razie potrzeby może zostać dostosowany.

Za pomocą opcji w sekcji okna dialogowego *Typ* można zdecydować, w jaki sposób zostaną utworzone linie pomocnicze (zobacz w tabeli poniżej).

Typ	Objaśnienie
II do X / Y / Z (równoległe do globalnej osi X, Y lub Z)	Linia pomocnicza jest tworzona równoległe do jednej z osi globalnych. W sekcji okna dialogowego <i>Parametry</i> określa się odległości $x_1$ / $y_1$ / $z_1$ odpowiednich osi globalnych.
Przesunięcie przez 2 punkty	W sekcji okna dialogowego <i>Parametry</i> wprowadza się współrzędne dwóch punktów w bieżącej płaszczyźnie roboczej w celu zdefiniowania linii pomocniczej.
Przesunięcie przez kąt i punkt	W sekcji okna dialogowego <i>Parametry</i> należy określić współrzędne punktu i kąt obrotu. Linia pomocnicza zostanie utworzona w bieżącej płaszczyźnie roboczej.
Biegunowa	W sekcji okna dialogowego <i>Parametry</i> należy określić punkt środkowy oraz promień kołowej linii pomocniczej.

Tabela 11.6: Typy linii pomocniczych



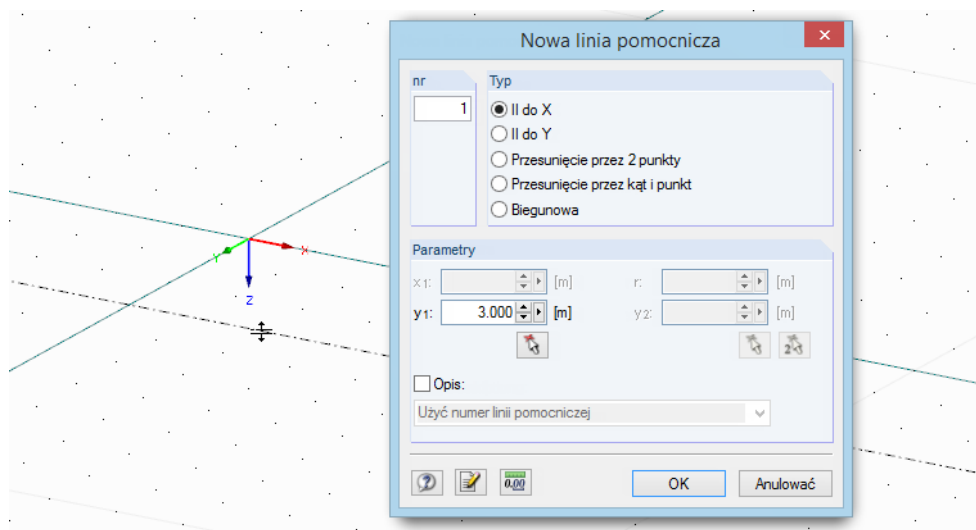
Poszczególne parametry wpisuje się w polach wprowadzania lub określa się graficznie w oknie roboczym za pomocą funkcji [↵].

W przypadku zaznaczenia pola wyboru *Opis*, w polu wejściowym można wprowadzić opis linii pomocniczych. Opis można również wybrać z listy.

### Wprowadzanie graficzne

Aby zdefiniować linię pomocniczą w formie graficznej,

- należy wskazać opcję **Linie pomocnicze** w menu **Wstawić**, a następnie wybrać polecenie **Graficznie**,
- wykorzystać przycisk [Nowa linia pomocnicza graficznie], pokazany na lewym marginesie tej strony lub
- kliknąć oś płaszczyzny roboczej, aby przesunąć ją w kierunku równoległym.



Rysunek 11.60: Tworzenie linii pomocniczej w sposób graficzny

Okno dialogowe *Nowa linia pomocnicza* zostało opisane powyżej.



## Edytowanie i usuwanie linii pomocniczych

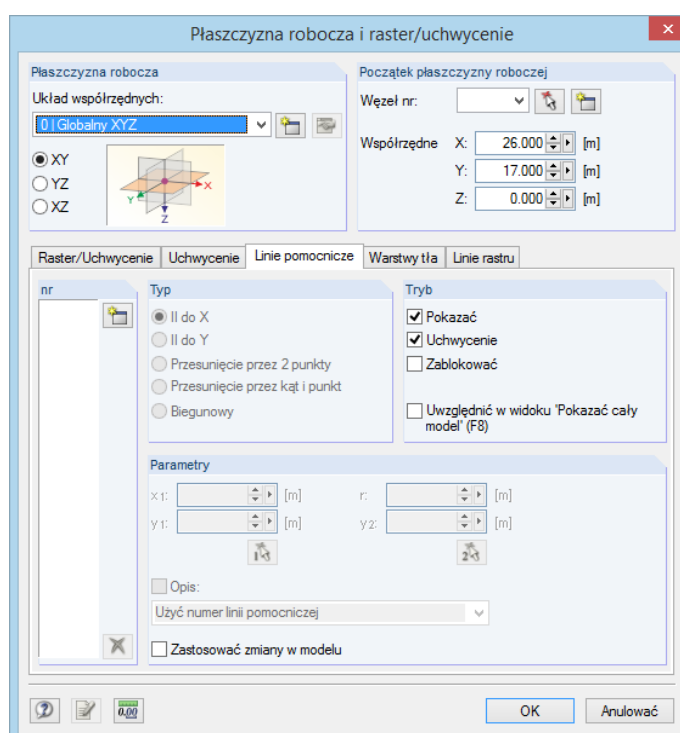
Aby otworzyć okno dialogowe do edycji linii pomocniczych, należy kliknąć dwukrotnie linię pomocniczą w grafice lub jej wpis w nawigаторze *Dane*.



 Zablokować linie pomocnicze

Kiedy linia pomocnicza nie może być wybrana w grafice, oznacza to, że jest ona zablokowana (zobacz poniżej). Linie pomocnicze mogą być szybko odblokowywane poprzez kliknięcie prawym przyciskiem myszy w pustym miejscu w oknie roboczym i wyłączenie opcji *Zablokować linie pomocnicze* z menu kontekstowego.

Inną możliwość edycji linii pomocniczych stanowi wybranie opcji *Płaszczyzna robocza, raster/uchwycenie, uchwycenie obiektu, linie pomocnicze* w menu *Narzędzia* lub użycie przycisku z paska narzędzi, pokazanego na lewym marginesie tej strony. Otworzy się okno dialogowe, w którym można skorzystać z karty *Linie pomocnicze*, służącej nie tylko do uruchamiania skoku, ale również do edycji, usuwania lub ukrywania i wyświetlania linii pomocniczych, jak również do tworzenia nowych linii pomocniczych.



Rysunek 11.61: Okno dialogowe *Płaszczyzna robocza i raster/uchwycenie*, zakładka okna dialogowego *Linie pomocnicze*

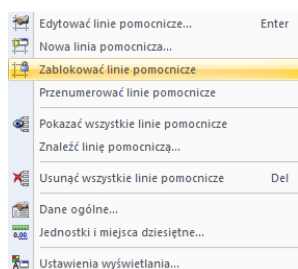
Linie pomocnicze mogą być usuwane zarówno w oknie roboczym jak i w nawigаторze *Dane*. W tym celu należy kliknąć linię pomocniczą prawym przyciskiem myszy, a następnie wybrać polecenie *Usunąć* z menu kontekstowego.

## Blokowanie linii pomocniczych

Jeżeli linie pomocnicze są zablokowane, nie można ich zaznaczać, edytować ani przesuwać. W ten sposób nie wpływają one na graficzne wprowadzanie obiektów. Niemniej jednak funkcja skoku do punktów podziału pozostaje aktywna.

Aby zablokować lub odblokować wszystkie linie pomocnicze, należy

- kliknąć linię pomocniczą prawym przyciskiem myszy i wybrać opcję *Zablokować linie pomocnicze* w menu kontekstowym,
- wskazać opcję **Linie pomocnicze** w menu **Edytować**, a następnie wybrać polecenie **Zablokować** lub



Menu kontekstowe linii pomocniczych

- kliknąć wpis nawigatora *Linie pomocnicze* prawym przyciskiem myszy i wybrać opcję *Zablokować* w menu kontekstowym.

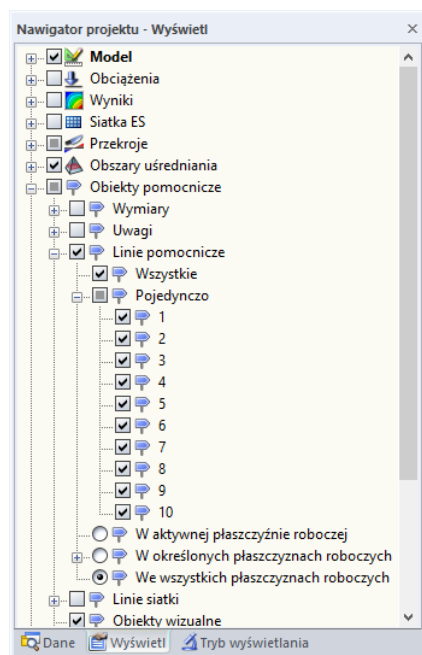
### Kopiowanie i przesuwanie linii pomocniczych

Linie pomocnicze są normalnymi obiektami graficznymi, dla których można wykorzystać wszystkie ogólne funkcje edytowania.

Aby przenieść lub skopiować linię pomocniczą, należy ją najpierw zaznaczyć. Następnie należy wykorzystać funkcję opisaną w rozdziale 11.4.1 na stronie 490.

### Wyświetlanie linii pomocniczych

Nawigator *Wyświetl* kontroluje szczegóły graficznego przedstawiania linii pomocniczych (zobacz na poniższym rysunku).



Rysunek 11.62: Ustawienia linii pomocniczych w nawigatorze *Wyświetl*

### 11.3.8 Raster liniowy

Zdefiniowane przez użytkownika rastry liniowe pomagają podczas modelowania konstrukcji utworzonych z powierzchni, rusztów dźwigarów lub siatek. Punkty przecięcia rastru stanowią punkty definicji dla powierzchni, linii i prętów.

W jednym modelu można użyć kilka rastrów liniowych.

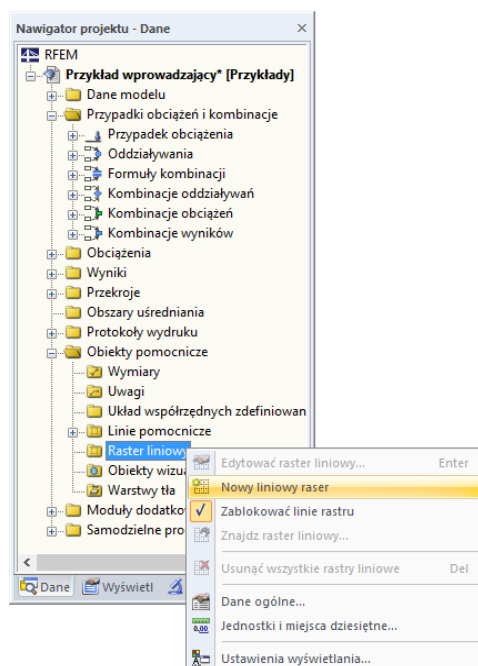
#### Tworzenie rastru liniowego

Aby otworzyć okno dialogowe do tworzenia nowego rastru liniowego,

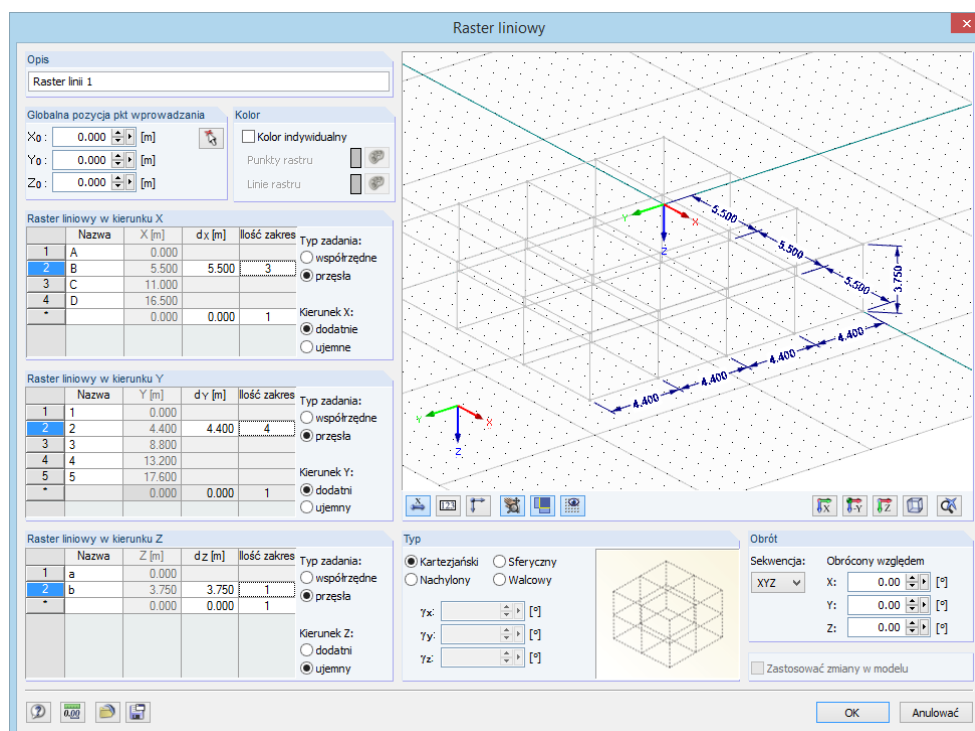
należy wybrać opcję **Raster liniowy** w menu **Wstawić**

lub skorzystać z menu kontekstowego w nawigatorze *Dane*.



Rysunek 11.63: Menu kontekstowe *Raster liniowy* w nawigatorze *Dane*

Pojawi się okno dialogowe *Raster linii*, w którym można zdefiniować nowy raster.

Rysunek 11.64: Okno dialogowe *Raster linii*

*Globalna pozycja punktów wprowadzania* określa początek rastrowy liniowy. Współrzędne można wprowadzić lub wybrać w oknie roboczym przy użyciu funkcji [^].

Sekcja okna dialogowego *Typ* oferuje następujące możliwości wyboru w celu określenia układu rastrowy przed wprowadzeniem dodatkowych danych:

- Kartezjański
- Sferyczny

- Nachylony (raster, który może być obracany dla każdej z osi o dowolny kąt obrotu  $\gamma$ )
- Walcowy

Rysunek w prawej dolnej części zmienia się zgodnie z wprowadzanym typem układu.

W sekcji okna dialogowego *Raster linii w kierunku X/Y/Z*, należy wprowadzić odległości  $d$  oraz *Ilość przęseł* w każdym kierunku. *Nazwa* jest ustawiana automatycznie, ale można ją zmienić. Dodatkowo można również wprowadzić *Współrzędne* odległości lub dostosować je w późniejszym czasie.

Opcje *Dodatnie* i *Ujemne* określają, w którym kierunku osi globalnych zostanie utworzony raster liniowy.

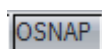
Sekcja okna dialogowego *Obrót* umożliwia obracanie rastru liniowego wokół osi. Na początku należy wybrać *Sekwencję* określającą kolejność lokalnych osi rastru X', Y' oraz Z'. Następnie należy wprowadzić kąt obrotu względem globalnej osi X, Y oraz Z w polach wprowadzania *Obrócony względem*. W tym samym celu można również użyć przycisków pól [▶], aby graficznie określić obrót podpory.



Sporą część okna dialogowego zajmuje okno graficzne, w którym wprowadzane dane są bezpośrednio przedstawiane graficznie. Przyciski poniżej okna są znane z programu RFEM. Kontrolują one wyświetlanie wymiarów, numerowania, osi oraz widoków. Możliwe jest również wykorzystanie opcji kontrolnych myszy dla grafiki w dużym oknie dialogowym (zobacz rozdział 3.4.9 na stronie 38).



Każdy raster liniowy może zostać zapisany jako szablon i użyty ponownie później. Oba przyciski widoczne na lewym marginesie tej strony służą do [Zapisywania] i [Wczytywania] danych rastru.



Po zamknięciu okna dialogowego możliwe będzie wstawianie obiektów w węzłach rastru. Należy się przy tym upewnić, że została uaktywniona funkcja skoku do obiektu (zobacz rozdział 11.3.3 na stronie 465).

### 11.3.9 Obiekty wizualne

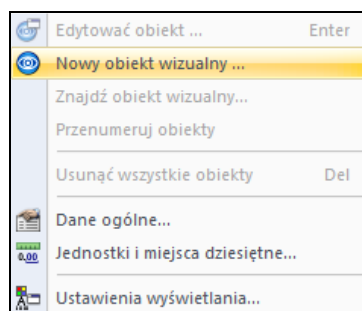
Obiekty wizualne są obiektami 3D wykorzystywanymi na przykład w projektowych programach architektonicznych do przedstawienia projektów modelowych zbliżonych do rzeczywistości (na przykład osoby, samochody, drzewa, tekstury, itp.). W modelu programu RFEM można również zintegrować obiekty 3D, aby pokazać proporcje modelu.

#### Wczytywanie obiektów wizualnych

Aby otworzyć okno dialogowe służące do importowania obiektów wizualnych,

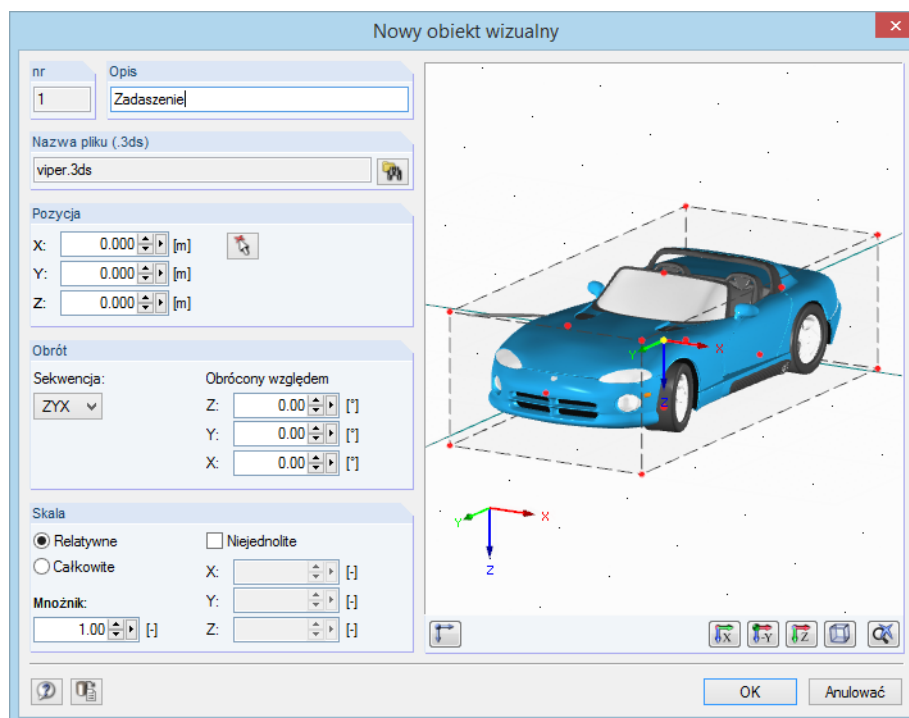
należy wybrać opcję **Obiekt wizualny** w menu **Wstawić**

lub skorzystać z menu kontekstowego w nawigatorze *Dane*.



Rysunek 11.65: Menu kontekstowe w nawigatorze *Dane*, *Obiekty pomocnicze* → *Obiekty wizualne*

Otworzy się okno dialogowe *Nowy obiekt wizualny*, w którym określa się *Opis* i *Nazwę pliku*.

Rysunek 11.66: Okno dialogowe *Nowy obiekt wizualny*

Obiekt wizualny musi być dostępny w formacie *.3ds*. Przy użyciu przycisku [Przeglądać] można wybrać ten plik w oknie dialogowym *Otworzyć* systemu Windows.



*Pozycję* obiektu w modelu określa się wprowadzając współrzędne. W tym samym celu można również użyć funkcji [↖], aby zdefiniować go graficznie w oknie roboczym. Punkt odniesienia obiektu 3D jest oznaczony kolorem wyboru w grafice po prawej stronie.

Dodatkowo możliwe jest zdefiniowanie *Obrotu* obiektu lub jego *Skali*.

Kliknięcie przycisku [OK] powoduje wstawienie obiektu w modelu.

Okno dialogowe edycji obiektu wizualnego można otworzyć, klikając dwukrotnie obiekt w grafice lub w nawigatorze *Dane*.

### 11.3.10 Warstwy tła

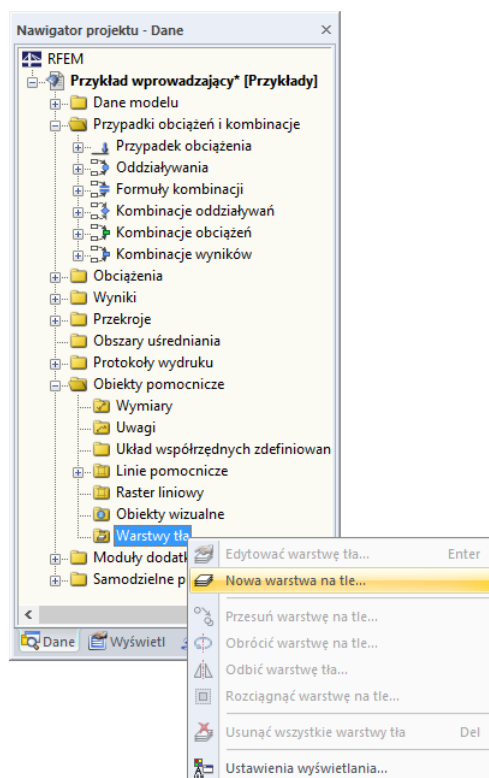
Plik DXF może być importowany jako warstwy tła i używany do graficznego wprowadzania obiektów. W przeciwieństwie do importu DXF (zobacz rozdział 12.5.2 na stronie 609), gdzie kompletny model przekształcany jest na węzły i linie podczas wczytywania, warstwy tła stanowią pewien rodzaj przezroczystych arkuszy dla danego modelowania.

W jednym modelu można zastosować kilka warstw tła.

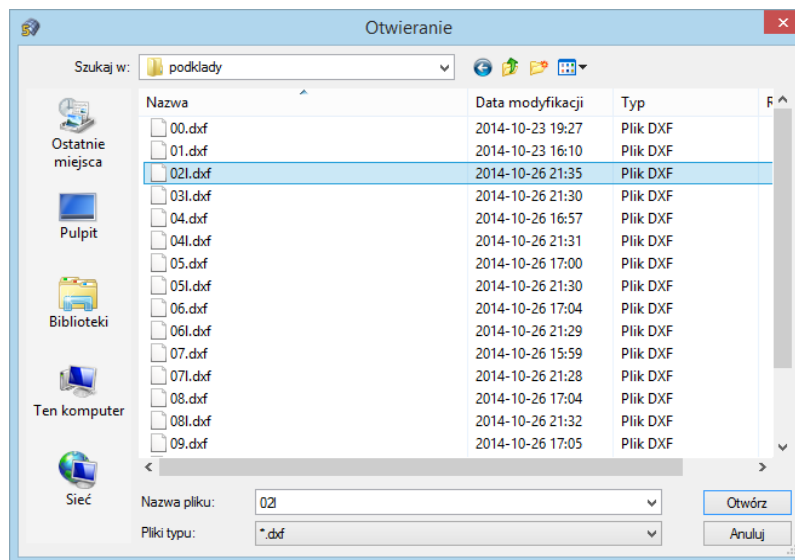
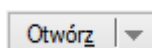
#### Tworzenie warstwy tła



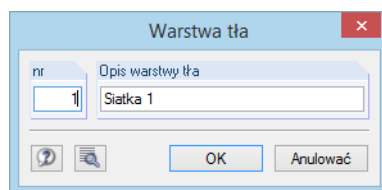
Aby otworzyć okno dialogowe do tworzenia nowej warstwy tła, należy wybrać opcję **Warstwa tła** w menu **Wstawić** lub skorzystać z menu kontekstowego w nawigatorze *Dane*.

Rysunek 11.67: Menu kontekstowe *Warstwy tła* w nawigatorze *Dane*

Pojawi się okno dialogowe *Otworzyć* systemu Windows, w którym należy wpisać lokalizację i nazwę pliku DXF.

Rysunek 11.68: Okno dialogowe *Otworzyć*

Po kliknięciu przycisku [Otworzyć], otworzy się okno dialogowe *Warstwa tła*.

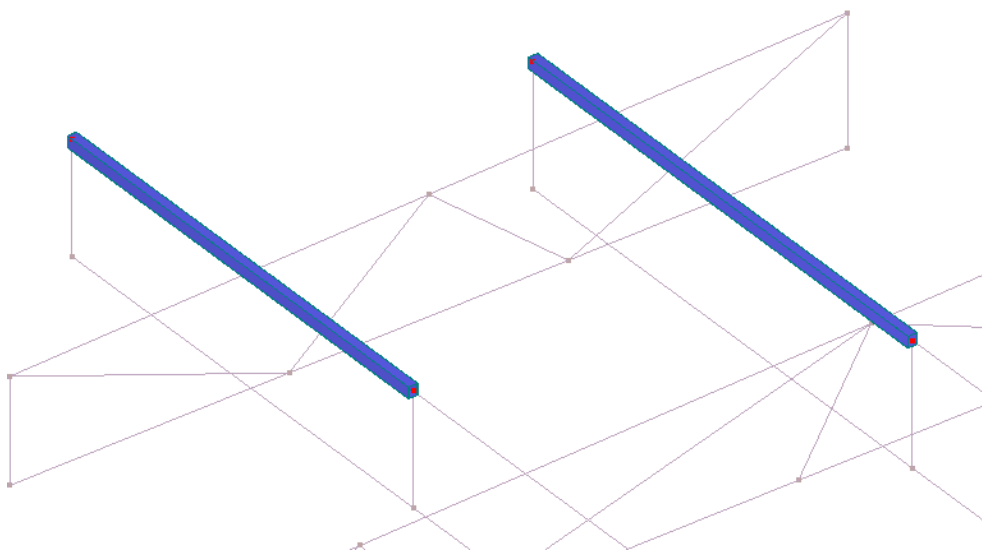
Rysunek 11.69: Okno dialogowe *Warstwa tła*

Nr warstwy jest określany przez program. W sekcji okna dialogowego *Opis warstw tła*, można wpisać dowolną nazwę ułatwiającą późniejszą pracę.



Przy użyciu przycisku [Edytować], pokazanego na lewym marginesie tej strony, można uzyskać dostęp do dodatkowych ustawień importu DXF. Szczegóły na temat tego okna dialogowego można znaleźć na Rysunek 12.49 na stronie 609.

Po kliknięciu przycisku [OK], program RFEM zaimportuje warstwę, która pojawia się w kolorze szarym w tle okna roboczego. W modelu liniowym można teraz określić węzły, linie i pręty.

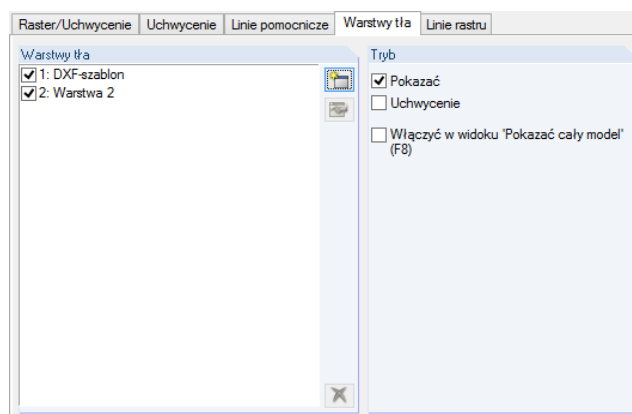


Rysunek 11.70: Definiowanie prętów przy użyciu warstwy tła



Należy się upewnić, że uaktywiony został skok do obiektu dla warstwy tła, aby można było umieścić obiekty na punktach dostępnych w warstwie. Aby uaktywnić skok do obiektu dla punktów DXF, należy użyć przycisku [DXF] w pasku stanu. Alternatywnie można wybrać opcję *Płaszczyzna robocza, raster/uchwycenie, uchwycenie obiektu, linie pomocnicze* w menu *Narzędzia* lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony.

Otworzy się okno dialogowe *Płaszczyzna robocza i raster/uchwycenie*. W zakładce *Warstwy tła* można nie tylko aktywować skok, ale także edytować, usuwać, ukrywać lub wyświetlać warstwy, jak również tworzyć nowe warstwy.



Rysunek 11.71: Okno dialogowe *Płaszczyzna robocza i raster/uchwycenie*, zakładka *Warstwy tła* (sekcja okna dialogowego)

### Edytowanie, usuwanie lub kopiowanie warstwy tła



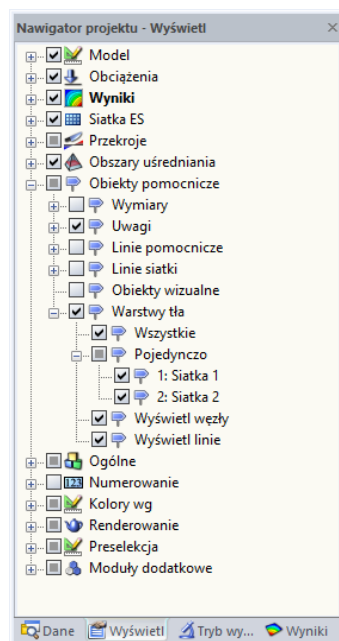
Aby otworzyć okno dialogowe dla edycji, należy kliknąć dwukrotnie warstwę tła lub odpowiedni wpis w nawigatorze *Dane* (zobacz Rysunek 11.67 na stronie 486). W tym samym celu można również użyć zakładki okna dialogowego *Warstwy tła*, dostępnej w oknie dialogowym dla ustawień płaszczyzny roboczej (zobacz Rysunek 11.71). Po wybraniu warstwy na liście, można ją [edytować].

Usuwanie warstwy tła jest również możliwe w nawigatorze *Dane*.

Aby przenieść, skopiować lub odbić lustrzanie warstwę tła, należy ją najpierw zaznaczyć. Następnie można zastosować funkcję opisaną w rozdziale 11.4.1 na stronie 490.

### Wyświetlanie warstw tła

Nawigator *Wyświetl* kontroluje szczegóły wyświetlania warstw tła.



Rysunek 11.72: Ustawienia warstw tła w nawigatorze *Wyświetl*

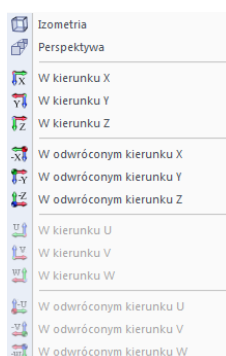


### 11.3.11 Marginesy i współczynniki rozciągnięcia

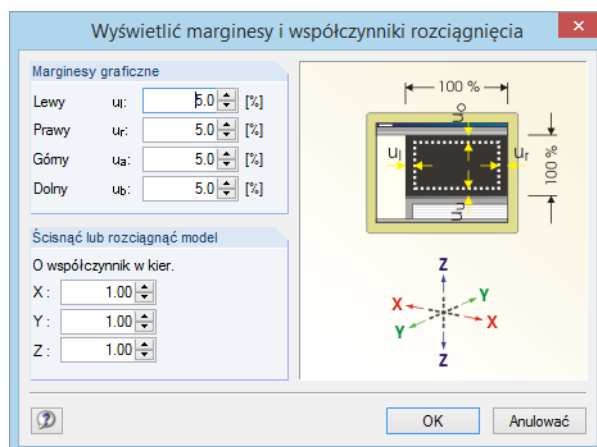
W większości przypadków nie jest konieczna zmiana całego układu ekranu ani skalowanie modelu w oknie roboczym. Jednakże, jeżeli zaistnieje potrzeba dostosowania globalnych parametrów wyświetlania,

należy wybrać opcję **Wyświetlić marginesy oraz współczynniki rozciągnięcia** w menu **Opcje**,

aby otworzyć okno dialogowe zarządzające ustawieniami domyślnymi.



Przyciski w menu *Widok*



Rysunek 11.73: Okno dialogowe *Wyświetlić marginesy i współczynniki rozciągnięcia*

Ustawienia w sekcji okna dialogowego *Marginesy graficzne* określają minimalne odległości, które są zachowywane na czterech brzegach okna roboczego podczas wyświetlania modelu. Wartości te są określane w procentach i odnoszą się do całkowitej wysokości lub szerokości okna roboczego. Mają one wpływ podczas używania przycisków z menu *Wybrać widok* w menu *Widok* (zobacz na rysunku przedstawionym po lewo) lub funkcji *Pokaż cały model* [F8] w przypadku reprezentacji graficznej wypełniającej całe okno.

Aby wyświetlić model w widoku zniekształconym, w sekcji okna dialogowego *Ścisnąć lub rozciągnąć model* można określić współczynniki różne od 1 dla kierunków globalnych. Ustawienia modyfikujące w tej sekcji okna dialogowego mogą być wymagane tylko w wyjątkowych przypadkach. Mają one wpływ jedynie na wyświetlanie modelu, ale nie na rzeczywistą geometrię. Aby przeskalować model, należy wykorzystać funkcję *Skalowania* dostępną w menu *Edytować* (zobacz rozdział 11.4.5 na stronie 497).

## 11.4 Funkcje edycji

Przy użyciu graficznych funkcji edycji można zmodyfikować obiekty wybrane wcześniej w grafice. Wybrane obiekty mogą być

- przeniesione
- skopiowane
- obrócone
- odbite lustrzanie
- rzutowane
- rozciągane
- wyciskane
- ścinane.

Zaznaczenie nie jest potrzebne do funkcji CAD opisanych w rozdziale 11.3. Poniższe funkcje pomagają modelować nowe obiekty.

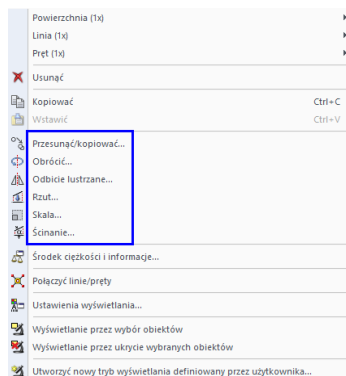
Ponadto rozdział ten opisuje, jak można dzielić linie, wstawiać komentarze lub zmieniać numerację.

### 11.4.1 Przenieść i kopiować

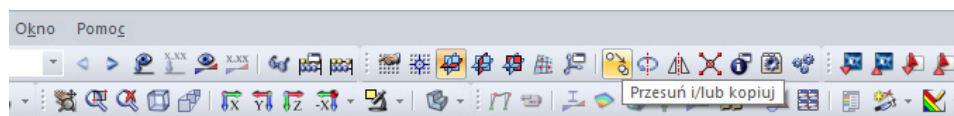
Aby przenieść lub skopiować wybrane obiekty,

należy wybrać opcję **Przesunąć/kopiować** w menu **Edytować**

lub skorzystać z menu kontekstowego odpowiedniego obiektu. W tym samym celu można również użyć przycisku z paska narzędzi, pokazanego na lewym marginesie tej strony.

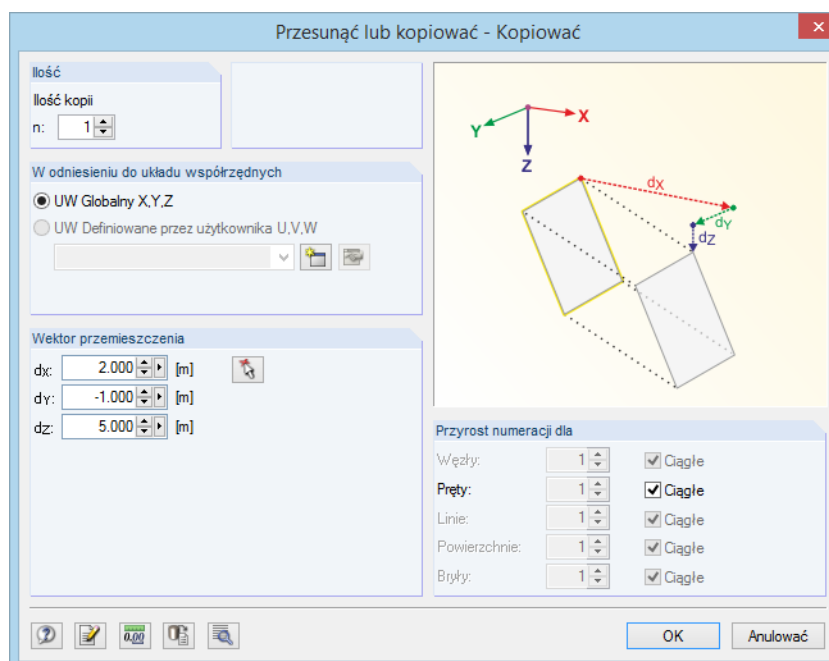


Menu kontekstowe wybranych obiektów



Rysunek 11.74: Przycisk *Przesunąć i/lub kopiować*

Pojawi się następujące okno dialogowe:



Rysunek 11.75: Okno dialogowe *Przesunąć lub kopiować – Kopiować*.

Gdy *Ilość kopii* jest ustawiona na **0**, wybrane obiekty zostaną przeniesione. W przeciwnym razie zostanie wygenerowana wprowadzona ilość kopii.



Przy użyciu opcji w sekcji okna dialogowego *W odniesieniu do układu współrzędnych* można zdecydować, czy obiekty są przenoszone lub kopiowane w globalnym układzie współrzędnych XYZ czy w zdefiniowanym przez użytkownika układzie współrzędnych UVW (zobacz 11.3.4 na stronie 470). Zdefiniowany przez użytkownika układ współrzędnych może być wybrany z listy lub utworzony za pomocą przycisku [Nowy].



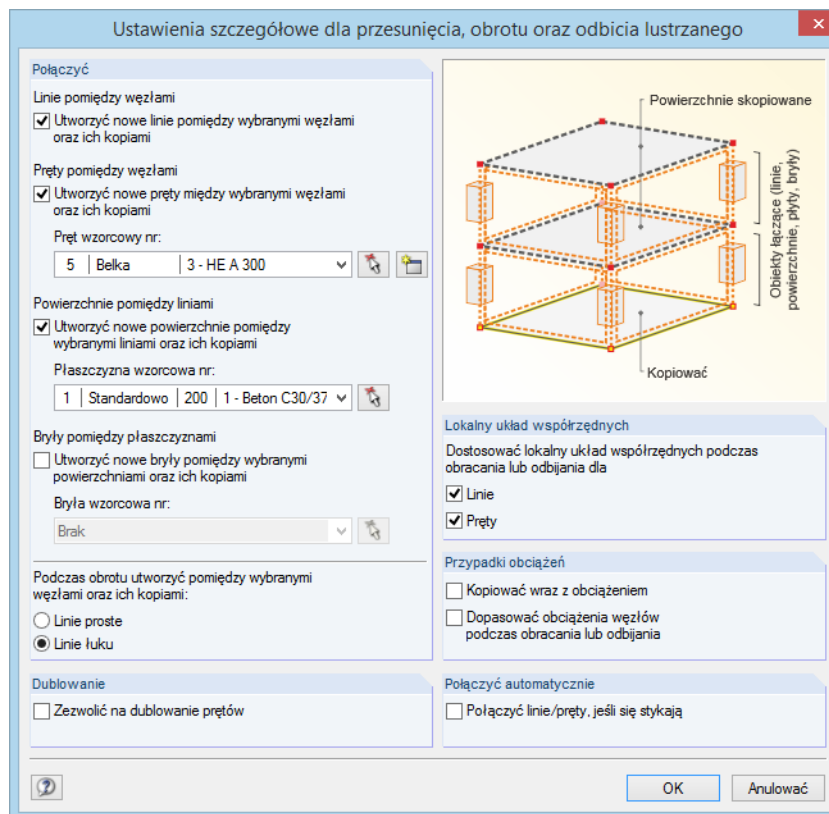
*Wektor przemieszczenia* jest określany przez odległości  $d_x$ ,  $d_y$  i  $d_z$ , lub  $d_u$ ,  $d_v$  i  $d_w$  dla zdefiniowanego przez użytkownika układu współrzędnych. Wektor ten może zostać również określony w oknie roboczym za pomocą funkcji [↵] lub poprzez kliknięcie dwóch punktów rastru lub węzłów.

Jeżeli tworzone są kopie, w sekcji okna dialogowego *Przyrost numeracji dla* można wpływać na numerację nowych węzłów, prętów, linii, powierzchni i brył.



Kliknięcie przycisku [Edytować], pokazanego na lewym marginesie tej strony, pozwala otworzyć kolejne okno dialogowe, które oferuje opcje przydatne do kopiowania. To samo okno dialogowe służy również do innych funkcji, takich jak odbijanie lustrzane, obracanie itp.

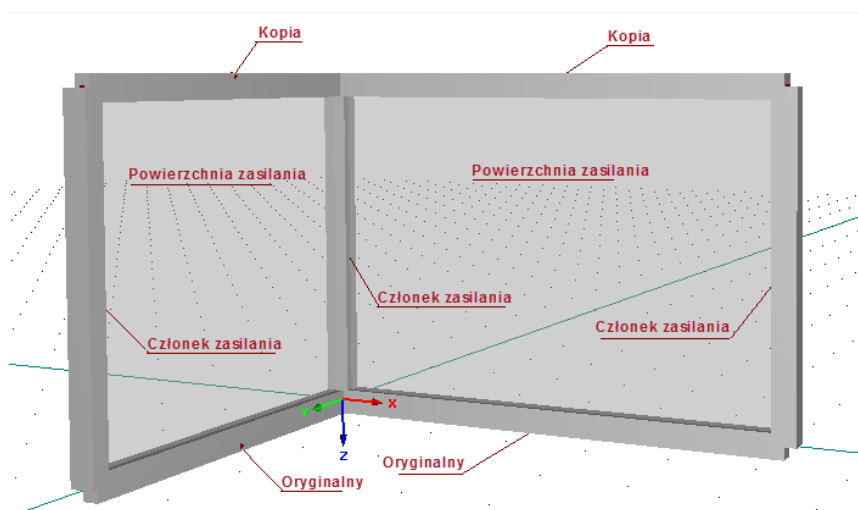
### Ustawienia szczegółowe



Rysunek 11.76: Okno dialogowe Ustawienia szczegółowe dla przesunięcia/obrotu oraz odbicia lustrzanego

### Połączyć

Pomiędzy wybranymi węzłami i ich kopiami można tworzyć *Nowe Linie* i *Pręty*. Ponadto, możliwe jest generowanie *Powierzchni* i *Brył* pomiędzy wybranymi liniami lub powierzchniami i ich kopiami.



Rysunek 11.77: Kopiowanie z łączeniem prętów i łączeniem powierzchni



Kiedy *Pręt domyślny*, *Powierzchnia domyślna* lub *Bryła domyślna* wybrany zostanie z listy lub w grafice przy użyciu funkcji [↖], jego właściwości są używane dla obiektów łączących.

### Dublowanie

Podczas kopiowania mogą być tworzone pręty podwójne. Przy użyciu pola wyboru można zdecydować, czy pozwala się na istnienie nakładających się prętów lub czy będą one łączone w jeden pręt.

### Lokalny układ współrzędnych

Lokalne układy współrzędnych linii i pręta można dostosować do nowej pozycji podczas obracania i odbijania lustrzanego.



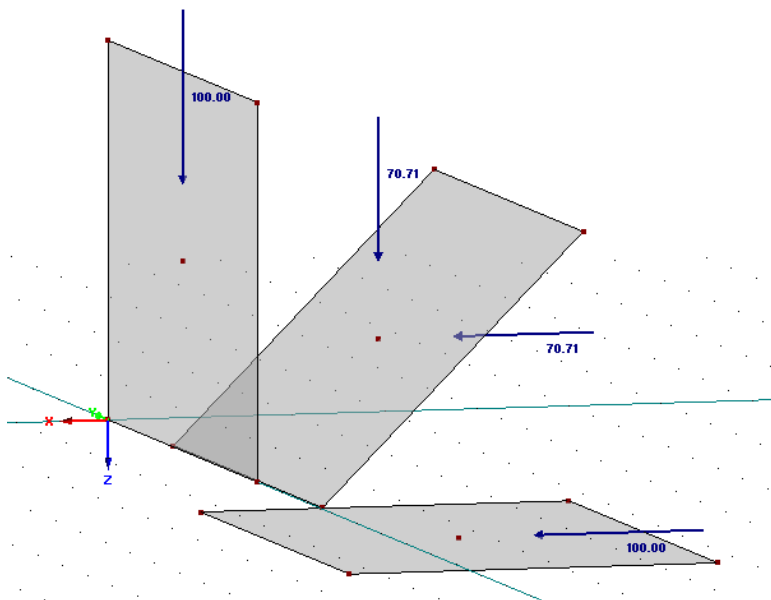
Automatyczne dostosowywanie osi lokalnych staje się ważne, podczas lustrzanego odbijania obiektów. Podczas obracania prętów pionowych, funkcja ta również okazuje się przydatna, ponieważ oś y jest zorientowana równoległe do globalnej osi Y (zobacz rozdział 4.17 na stronie 159).

Ponadto funkcja ta dostosowuje połączenie mimośrodowe określone w kierunku globalnych osi X, Y i Z.

### Przypadki obciążeń

Jeżeli zostało zaznaczone pole wyboru *Kopiować wraz z obciążeniem*, obciążenia działające na wybranych obiektach zostaną przeniesione do ich kopii. Należy zwrócić uwagę, że zostaną skopiowane obciążenia wszystkich przypadków obciążeń, a nie tylko obciążenia aktualnie wybranego przypadku obciążenia.

Obciążenia węzłowe mogą być definiowane tylko w kierunku globalnych osi X, Y i Z. Aby wpłynąć na kierunek obciążeń węzłowych w przypadku kopiowania powierzchni lub prętów, należy użyć pola wyboru *Dopasować obciążenia węzłów podczas obracania lub odbijania*. Po jego zaznaczeniu, program RFEM przenosi obciążenia, takie jak lokalne obciążenia skupione na nową pozycję. W tym przypadku należy się upewnić, że obciążenia węzłowe są również wybrane przed obracaniem lub odbijaniem lustrzanym. Jeżeli to pole wyboru nie zostanie zaznaczone, zachowany zostanie globalny kierunek obciążenia.



Rysunek 11.78: Dostosowane obciążenia węzłowe podczas obracania dwa razy o kąt 45°

## Połączyć automatycznie

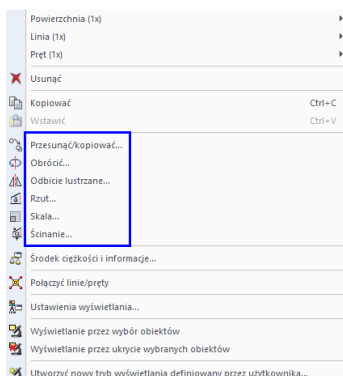
Przy użyciu tego pola wyboru można zdecydować, czy kopie linii i prętów zostaną przyłączone automatycznie do już istniejących linii i prętów. Gdy pole to jest zaznaczone, w punkcie przecięcia zostanie utworzony węzeł.

### 11.4.2 Obrót

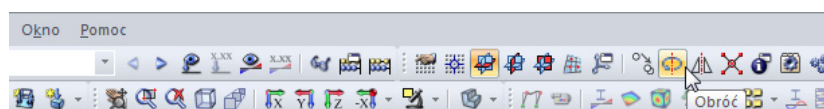
Aby obrócić wybrane obiekty wokół osi,

należy wybrać polecenie **Obrócić** w menu **Edytować**

lub wykorzystać menu kontekstowe odpowiedniego obiektu. W tym samym celu można wykorzystać również przycisk z paska narzędzi, pokazany na lewym marginesie tej strony.

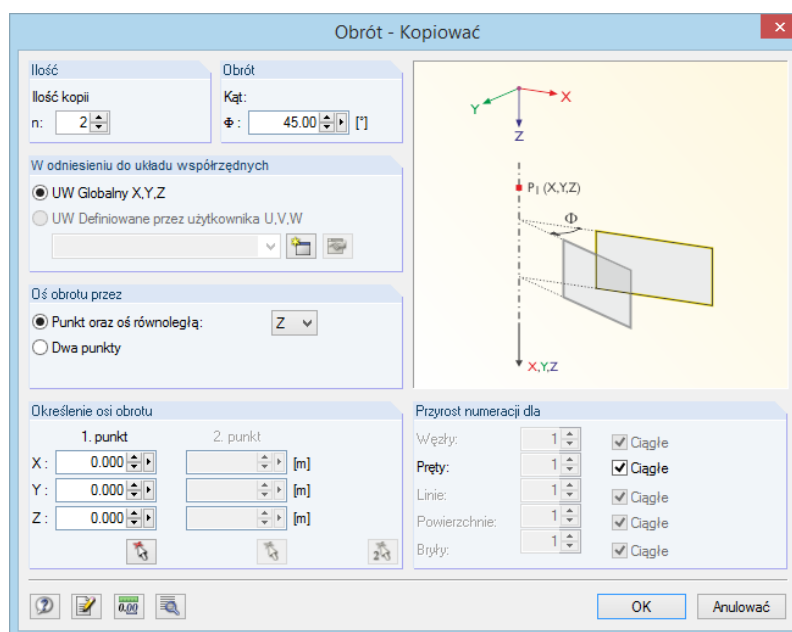


Menu kontekstowe wybranych obiektów



Rysunek 11.79: Przycisk Obróć

Pojawi się następujące okno dialogowe:



Rysunek 11.80: Okno dialogowe Obrót - Kopiować

Gdy *Ilość kopii* jest ustawiona na **0**, wybrane obiekty zostaną jedynie obrócone. W przypadku wpisania liczby utworzona zostanie wprowadzona ilość kopii.

W oknie dialogowym *Obrót* wprowadza się kąt obrotu. Kąt ten odnosi się do układu współrzędnych zorientowanego zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara.

*Oś obrotu* można określić na dwa sposoby:

- Oś obrotu przebiega równoległe do globalnego układu osi XYZ. W tym przypadku, należy aktywować pierwszą opcję i wybrać odpowiednią oś z listy po prawej stronie. Następnie, w sekcji okna dialogowego *Określenie osi obrotu*, należy określić punkt, przez który przebiega oś obrotu.
- Oś obrotu znajduje się w dowolnym miejscu na płaszczyźnie roboczej. W tym przypadku należy aktywować drugą opcję. Następnie, w oknie dialogowym *Określenie osi obrotu*, należy określić dwa punkty definiujące oś obrotu.



Jeżeli tworzone są kopie, na numerację nowych obiektów można wpłynąć w sekcji okna dialogowego *Przyrost numeracji dla*.



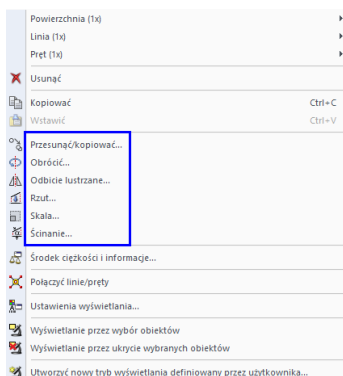
Przy użyciu przycisku [Edytować], pokazanego na lewym marginesie tej strony, otwiera się kolejne okno dialogowe posiadające przydatne opcje, które zostały opisane w rozdziale 11.4.1 na stronie 490. Przy użyciu wpisów w oknie dialogowym dla ustawień szczegółowych można określić, czy linie łączące tworzone podczas kopiowania są generowane jako linie proste czy jako łuki.

### 11.4.3 Odbijanie lustrzane

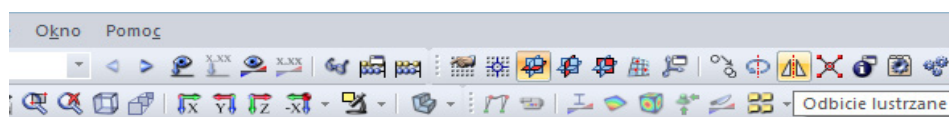
Aby odbić lustrzanie wybrane obiekty na płaszczyźnie,

należy wybrać opcję **Odbicie lustrzane** w menu **Edytować**

lub skorzystać z menu kontekstowego odpowiedniego obiektu. W tym samym celu można również użyć przycisku z paska narzędzi, pokazanego na lewym marginesie tej strony.

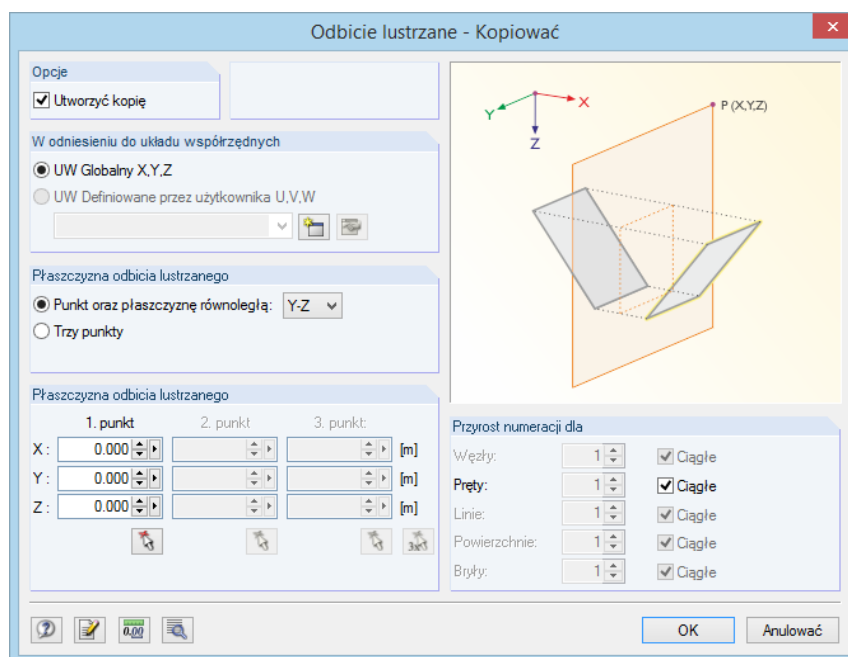


Menu kontekstowe wybranych obiektów



Rysunek 11.81: Przycisk *Odbicie lustrzane*

Pojawi się następujące okno dialogowe:



Rysunek 11.82: Okno dialogowe *Odbicie lustrzane - Kopiować*

Aby zachować oryginalny obiekt, należy zaznaczyć pole wyboru *Utworzyć kopię*.

*Płaszczyzna odbicia lustrzanego* może być zdefiniowana na dwa sposoby:

- Płaszczyzna odbicia lustrzanego przebiega równoległe do płaszczyzny, która rozciąga się między osiami globalnego układu współrzędnych XYZ. W tym przypadku należy aktywować pierwszą opcję i wybrać odpowiednią płaszczyznę z listy po prawej stronie. Następnie w sekcji okna dialogowego *Płaszczyzna odbicia lustrzanego*, należy wprowadzić punkt leżący w płaszczyźnie ustawionej powyżej.
- Płaszczyzna odbicia lustrzanego leży w dowolnym miejscu na płaszczyźnie roboczej. W tym przypadku, należy aktywować drugą opcję. Następnie w sekcji okna dialogowego *Płaszczyzna odbicia lustrzanego* należy wprowadzić trzy punkty definiujące płaszczyznę.



Jeżeli tworzone są kopie, na numerację nowych obiektów można wpłynąć w sekcji okna dialogowego *Przyrost numeracji dla*.



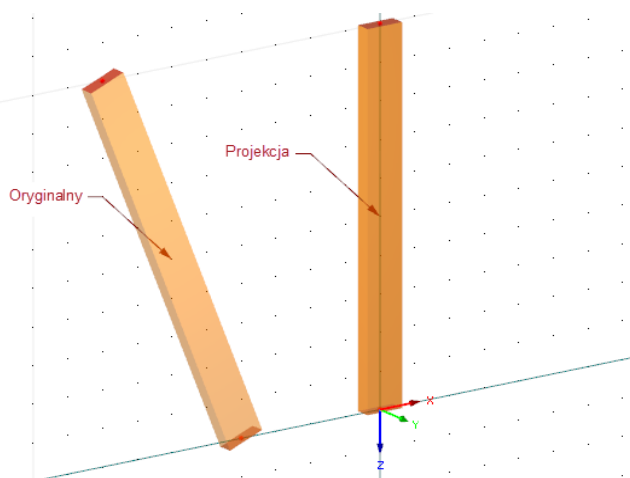
Przy użyciu przycisku [Edytować], pokazanego na lewym marginesie tej strony, otwiera się kolejne okno dialogowe posiadające użyteczne opcje, które zostały opisane w rozdziale 11.4.1 na stronie 490.

### 11.4.4 Rzut

Przy użyciu tej funkcji można rzutować wybrane obiekty na płaszczyznę. W ten sposób można dopasować na przykład kąt pochylenia poziomych belek lub prętów krokwi.

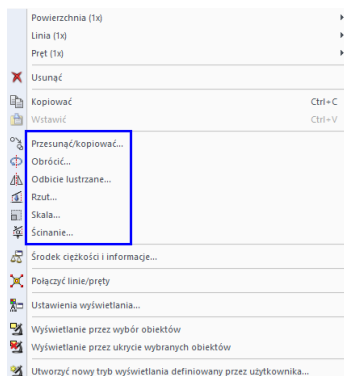
#### Przykład

Pręt rzutowany w kierunku X na płaszczyznę YZ.



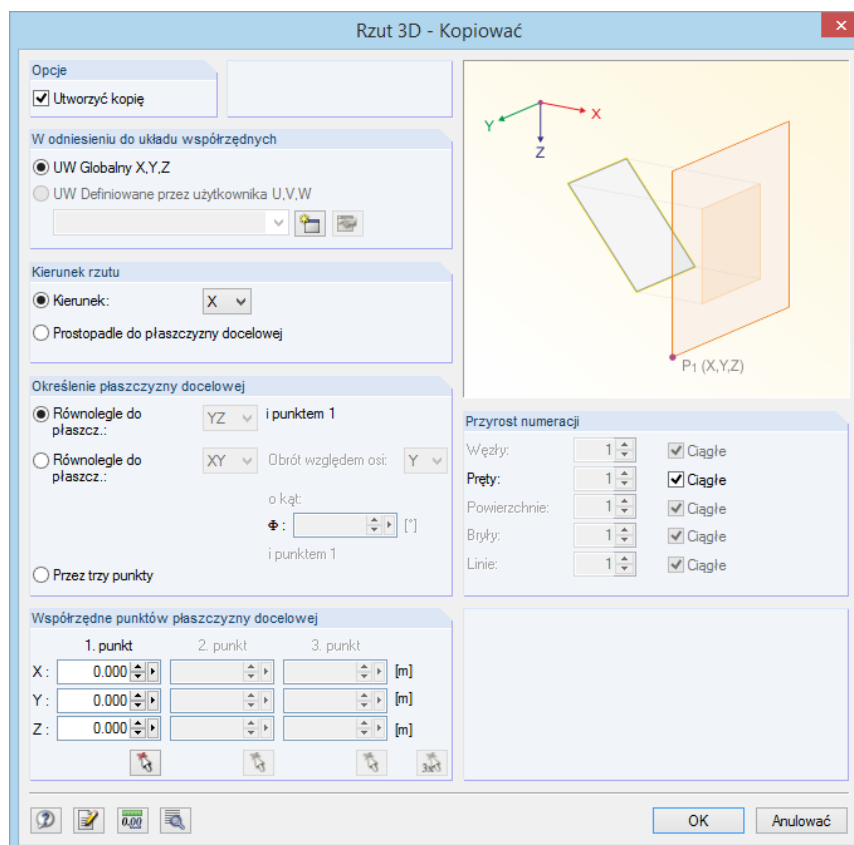
Rysunek 11.83: Oryginalny pręt i jego kopia rzutowana na płaszczyznę YZ

Aby otworzyć okno dialogowe do wprowadzania parametrów rzutu, należy wybrać polecenie **Rzut** z menu **Edytować** lub skorzystać z menu kontekstowego wybranych obiektów.



Menu kontekstowe wybranych obiektów



Rysunek 11.84: Okno dialogowe *Rzut 3D - Kopiować*

W celu zachowania oryginalnego obiektu, należy zaznaczyć pole wyboru *Utworzyć kopię*.

W sekcji okna dialogowego *Kierunek rzutu* można zdecydować, czy obiekty będą rzutowane w kierunku osi globalnej (X, Y lub Z) lub prostopadłe do płaszczyzny docelowej.

*Płaszczyzna docelowa* może być zdefiniowana na trzy następujące sposoby:



- *Płaszczyzna docelowa* przebiega równoległe do płaszczyzny, która znajduje się pomiędzy osiami globalnego układu współrzędnych XYZ. W tym przypadku należy aktywować pierwszą opcję i wybrać odpowiednią płaszczyznę z listy po prawej stronie. Następnie w sekcji okna dialogowego *Współrzędne punktów płaszczyzny docelowej* należy wprowadzić punkt leżący w płaszczyźnie ustawionej powyżej.
- *Płaszczyzna docelowa* przebiega równoległe do płaszczyzny, która znajduje się pomiędzy osiami globalnego układu współrzędnych XYZ, ale jest dodatkowo obrócona wokół jednej z osi. W tym przypadku należy aktywować pierwszą opcję i wybrać odpowiednią płaszczyznę z listy po prawej stronie oraz określić oś i kąt obrotu. Następnie w sekcji okna dialogowego *Współrzędne punktów płaszczyzny docelowej* należy wprowadzić punkt leżący w płaszczyźnie ustawionej powyżej.
- *Płaszczyzna docelowa* leży w dowolnym miejscu na płaszczyźnie roboczej. W tym przypadku należy aktywować trzecią opcję. Następnie w sekcji okna dialogowego *Współrzędne punktów płaszczyzny docelowej* należy określić płaszczyznę poprzez wprowadzenie trzech punktów.

Jeżeli tworzone są kopie, na numerację nowych obiektów można wpłynąć w sekcji okna dialogowego *Przyrost numeracji*.



Przy użyciu przycisku [Edytować], pokazanego na lewym marginesie tej strony, otwiera się kolejne okno dialogowe posiadające użyteczne opcje, które zostały opisane w rozdziale 11.4.1 na stronie 490.

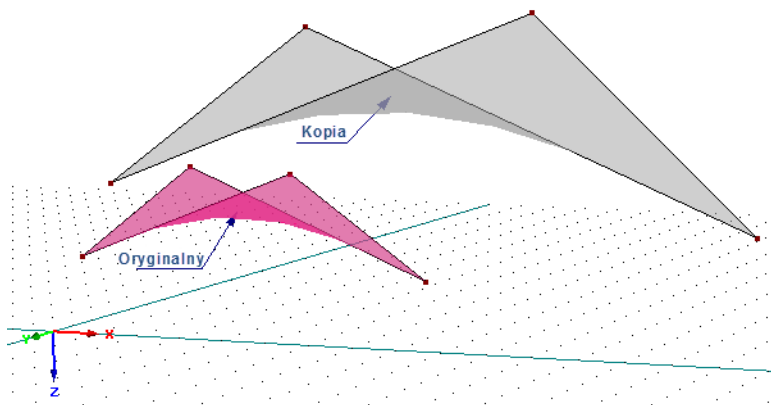


### 11.4.5 Skala

Przy użyciu tej funkcji można skalować wybrane obiekty względem punktu.

#### Przykład

Powierzchnia czworokątna jest równomiernie skalowana przez współczynnik wynoszący 2 od początku układu współrzędnych we wszystkich trzech kierunkach.

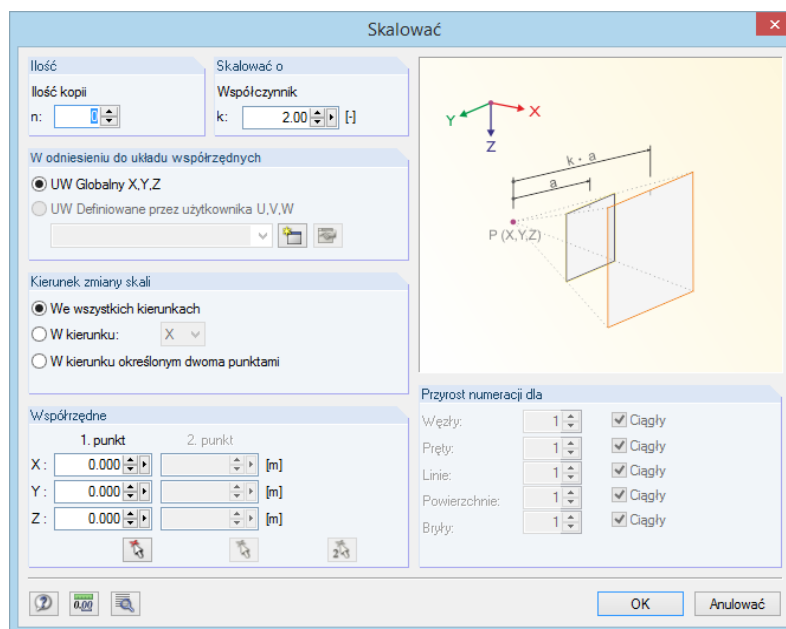


Rysunek 11.85: Oryginalna powierzchnia oraz jej kopia w skali



Aby otworzyć okno dialogowe do wprowadzania parametrów skalowania, należy wybrać opcję **Skala** w menu **Edytować**

lub skorzystać z menu kontekstowego wybranych obiektów (zobacz rysunek na lewym marginesie strony znajdujący się przy Rysunek 11.83).



Rysunek 11.86: Okno dialogowe *Skalować - Kopiować*

Gdy *Ilość* kopii jest ustawiona na 0, wybrane obiekty zostaną obrócone. W przeciwnym razie zostanie generowana wprowadzona ilość kopii.

Sekcja okna dialogowego *Skalować o* zarządza współczynnikiem skalowania  $k$  (zobacz w grafice w oknie dialogowym).

Do określenia *Kierunku zmiany skali* dostępne są trzy możliwości wyboru:



We wszystkich kierunkach X,Y,Z	<u>Wszystkie</u> współrzędne obiektu (X, Y i Z) zostaną przeskalowane w stosunku do punktu wyjściowego, zdefiniowanego w sekcji <i>Współrzędne</i> .
W kierunku: X / Y / Z	Użytkownik definiuje jedną z osi globalnych. <u>Tylko</u> współrzędne obiektu wybranej osi globalnej zostaną przeskalowane w stosunku do punktu wyjściowego, zdefiniowanego w sekcji okna dialogowego <i>Współrzędne</i> .
W kierunku określonym dwoma punktami	W sekcji okna dialogowego <i>Współrzędne</i> określa się wektor poprzez wprowadzenie dwóch punktów. Obiekty zostaną przeskalowane w kierunku wektora.

Tabela 11.7: Sekcja okna dialogowego *Kierunek zmiany skali*

Jeżeli tworzone są kopie, na numerację nowych obiektów można wpłynąć w sekcji okna dialogowego *Przyrost numeracji dla*.



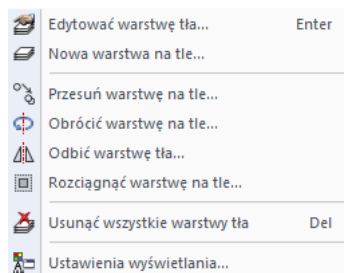
Przy użyciu przycisku [Edytować], pokazanego na lewym marginesie tej strony, otwiera się kolejne okno dialogowe posiadające użyteczne opcje, które zostały opisane w rozdziale 11.4.1 na stronie 490.

Program RFEM umożliwia również rozciąganie warstw tła. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,

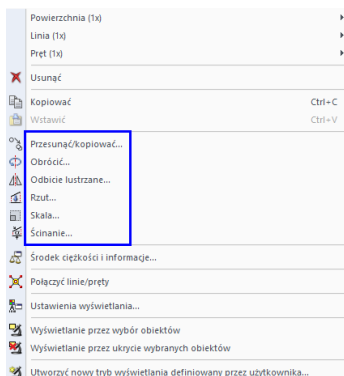
należy wskazać opcję **Warstwy tła** menu **Edytować**, a następnie wybrać polecenie **Rozciągnąć**

lub skorzystać z menu kontekstowego warstw tła w nawigatorze *Dane*.

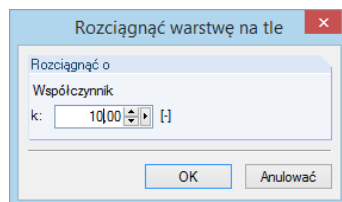
W oknie dialogowym *Wybrać warstwę tła* należy określić odpowiednią warstwę. Następnie można zdefiniować współczynnik rozciągnięcia w oknie dialogowym *Rozciąganie warstwy tła*.



Menu kontekstowe warstw tła



Menu kontekstowe wybranego obiektu

Rysunek 11.87: Okno dialogowe *Rozciąganie warstwy tła*

## 11.4.6 Ścinanie

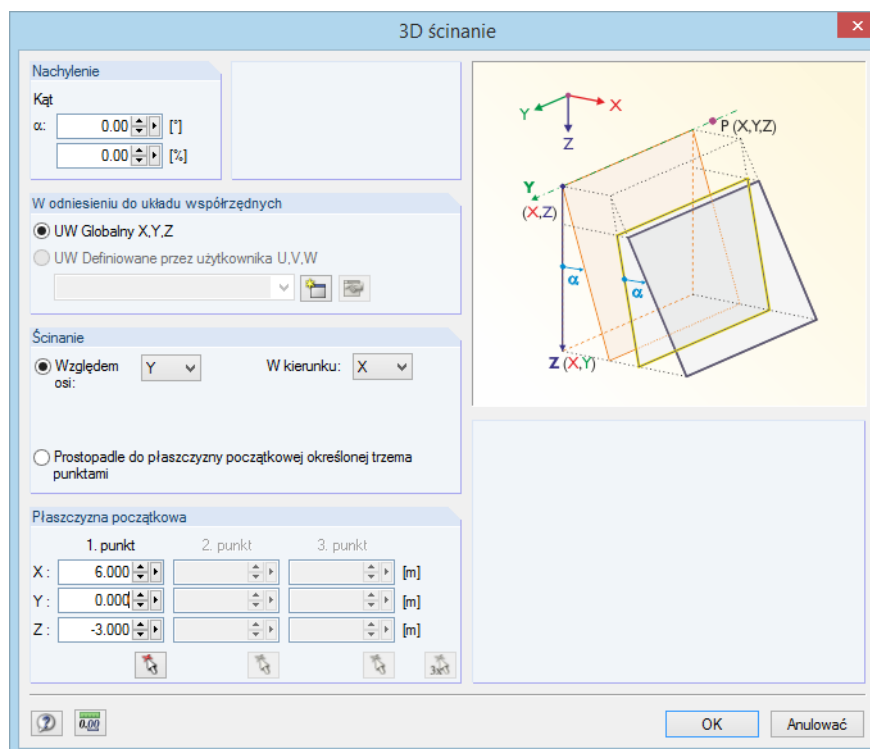
Polecenie to obraca obiekty wokół osi i dostosowuje współrzędne tylko jednego kierunku. Funkcję tę można wykorzystać na przykład do przesunięcia prętów poziomych w płaszczyźnie pochylenia dachu. Długości prętów zostaną dostosowane, ale poziome składowe współrzędnych nie zostaną zmienione.

Przed rozpoczęciem korzystania z funkcji, należy wybrać odpowiednie pręty oraz węzły.

Aby otworzyć okno dialogowe do wprowadzania parametrów ścinania,

należy wybrać opcję **Ścinanie** w menu **Edytować**

lub skorzystać z menu kontekstowego wybranych obiektów.



Rysunek 11.88: Okno dialogowe 3D Ścinanie

W sekcji okna dialogowego *Nachylenie* należy wprowadzić kąt obrotu w [°] lub [%].

Parametry dla *Ścinania* można określić na dwa sposoby:



- Oś obrotu przebiega równoległe do płaszczyzny, która znajduje się pomiędzy osiami globalnego układu współrzędnych XYZ. W tym przypadku należy aktywować opcję *Względem osi* i wybrać odpowiednią oś obrotu z listy po prawej stronie. Następnie z listy *W kierunku* należy wybrać globalną oś, która jest odpowiednia do dostosowywania współrzędnych węzła. Na końcu, w sekcji okna dialogowego *Płaszczyzna początkowa*, należy wprowadzić punkt obrotu.

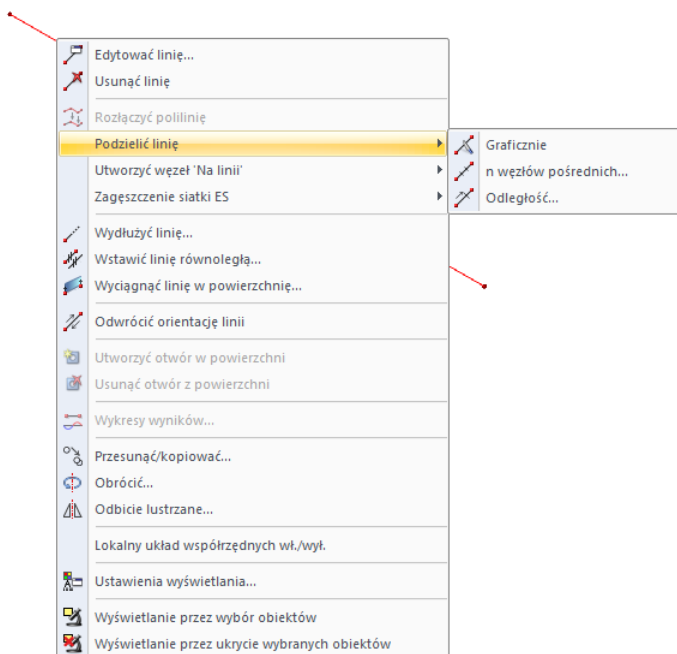


- Oś obrotu leży w dowolnym miejscu płaszczyzny roboczej. W tym przypadku należy aktywować pierwszą opcję. Następnie w sekcji okna dialogowego *Płaszczyzna początkowa*, należy zdefiniować oba punkty osi obrotu oraz jeszcze jeden punkt do określenia płaszczyzny. Punkty te można wybrać również graficznie przy użyciu przycisków [↵].



### 11.4.7 Dzielenie linii i prętów

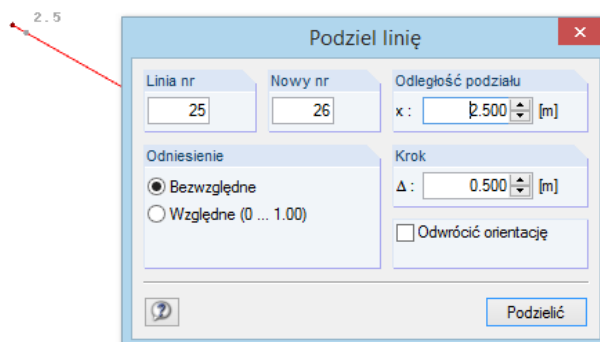
Linie i pręty można podzielić, klikając prawym przyciskiem myszy dany obiekt i wybierając opcję *Podzielić linię* lub *Podzielić pręt* w menu kontekstowym.



Rysunek 11.89: Menu kontekstowe *Podzielić linię*

Menu oferuje trzy opcje podziału.

#### Graficznie

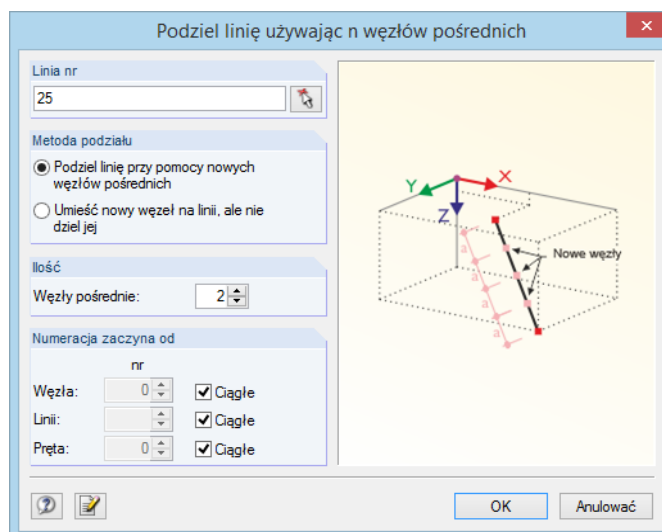


Rysunek 11.90: Okno dialogowe *Podzielić linię*

Otworzy się dialogowe okno *Podzielić linię*. Po najechaniu kursorem na linię, zostanie ona przyciągnięta w odległościach określonych w sekcji okna dialogowego *Krok*. Punkt podziału określa się poprzez kliknięcie. *Odniesienie* punktów podziału można ustawić w bezwzględnych wartościach odległości lub w stosunku do długości całkowitej.

*Odległość podziału* można również wprowadzić bezpośrednio. Przed wprowadzeniem odległości, należy określić linię, która ma zostać podzielona oraz liczbę nowych linii w polu wprowadzania *Linia nr* oraz *Nowy nr*. Jeżeli odległość podziału ma zostać odniesiona do końca linii, przy użyciu pola wyboru *Odwroć orientację* można zmienić orientację linii.

## n węzłów pośrednich



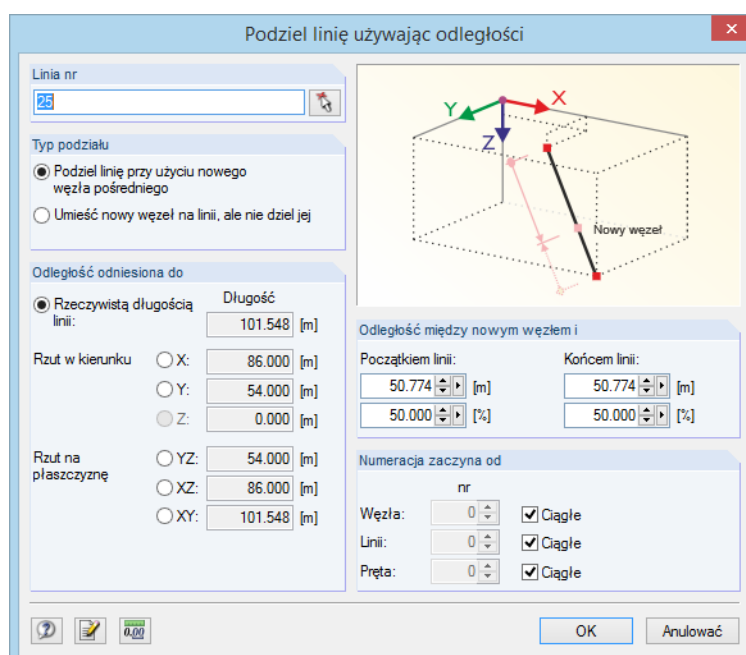
Rysunek 11.91: Okno dialogowe *Podzielić linię używając n węzłów pośrednich*

Przy użyciu tej funkcji można podzielić linię równo na kilka części. W sekcji okna dialogowego *Ilość* można określić ilość *Węzłów pośrednich* do podziału linii.

Linia może zostać podzielona na "rzeczywiste" linie przez *nowe węzły pośrednie* lub zachowana, gdy program RFEM utworzy *węzły na linii* w równych odstępach. Zazwyczaj wybierany jest podział rzeczywisty. Jednakże, aby zmienić przebieg linii B-Spline, podczas podziału linii, druga opcja jest lepszym wyborem.

W sekcji okna dialogowego *Numeracja zaczyna od* można wpłynąć na numerację nowych węzłów, linii i prętów.

## Odległość



Rysunek 11.92: Okno dialogowe *Podzielić linię używając odległości*

Funkcja ta służy do generowania węzła podziału w określonym miejscu na linii.

Linia może zostać podzielona na "rzeczywiste" linie przez *nowe węzły pośrednie* lub zachowana, gdy program RFEM utworzy *nowy węzeł na linii*.

Ustawienia w oknie dialogowym *Odległość odniesiona do* służą do kontroli odniesienia odległości podziału. Odległość ta może być odniesiona do rzeczywistej długości linii (w normalnych przypadkach) lub do jej rzutu.

*Odległość między nowym węzłem i węzłem początkowym lub końcowym* linii musi być określona jako wartość bezwzględna lub w stosunku do długości całkowitej. Cztery pola wprowadzania są interaktywne.

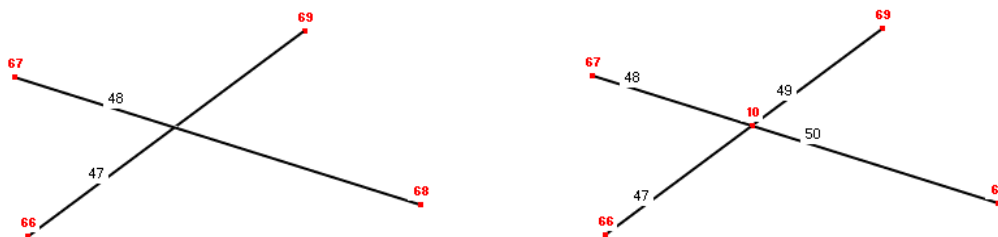


Podczas wprowadzania odległości należy znać orientację linii lub pręta. Orientację i układ osi linii i prętów można włączać i wyłączać w menu kontekstowym lub w nawigаторze *Wyświetl* (zobacz Rysunek 4.26 na stronie 53 oraz Rysunek 4.158 na stronie 159).

Sekcja okna dialogowego *Numeracja zaczyna od* kontroluje numerację nowych obiektów.

### 11.4.8 Połączyć linie i pręty

Funkcja ta służy do łączenia linii i prętów, które krzyżują się ze sobą, ale nie mają wspólnego węzła.



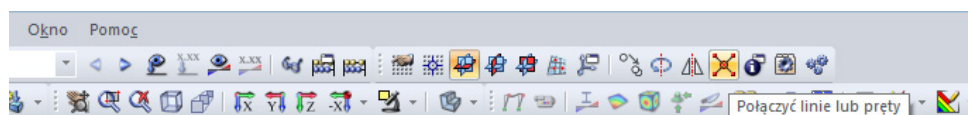
Rysunek 11.93: Oryginał po lewej stronie (przecinające się, niepołączone linie) oraz wynik po prawej stronie (połączone linie)



Aby uzyskać dostęp do odpowiedniej funkcji,

należy wybrać opcję **Połączyć linie/pręty** w menu **Narzędzia**

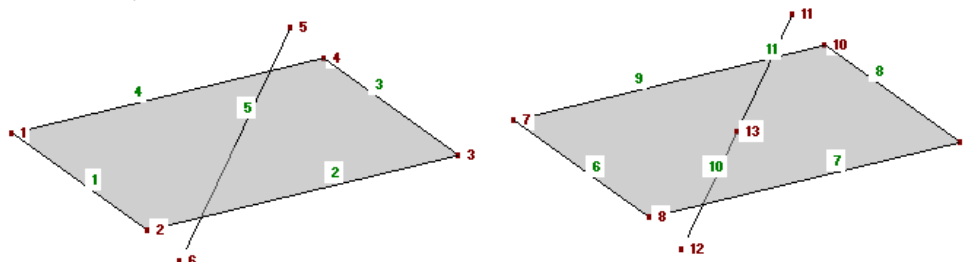
lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 11.94: Przycisk *Połączyć linie lub pręty*

Następnie należy przejść do okna roboczego i narysować okno nad obszarem, w którym linie lub pręty mają zostać połączone. Obiekty nie muszą być nim w pełni objęte.

Ponadto funkcja ta może być wykorzystana do określenia punktu przecięcia linii przebiegającej powierzchni.

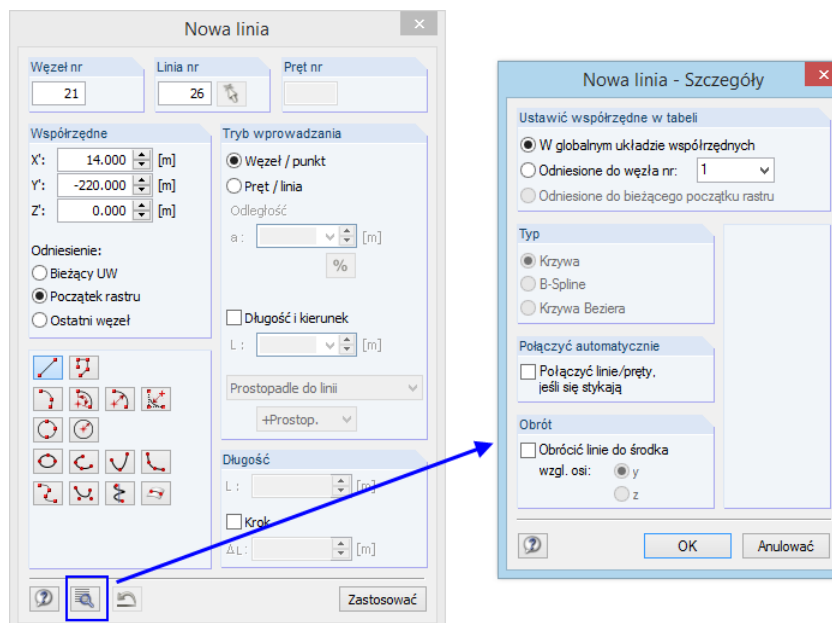


Rysunek 11.95: Tworzenie punktu przecięcia linii i powierzchni: oryginalna (po lewej) i kopiowanie z wynikiem (po prawej)

Funkcja *Łączenia automatycznego* jest wstępnie ustawiona dla wstawiania nowych linii lub prętów w formie graficznej, jak pokazano to na poniższym rysunku. Niemniej węzły połączenia będą tworzone tylko, gdy linie/pręty są połączone z innymi liniami/prętami, czyli gdy kończą się one na odpowiednim obiekcie. Z tego powodu, podczas definiowania krzyżujących się przekątnych, nie zostanie wygenerowany żaden węzeł przecięcia.



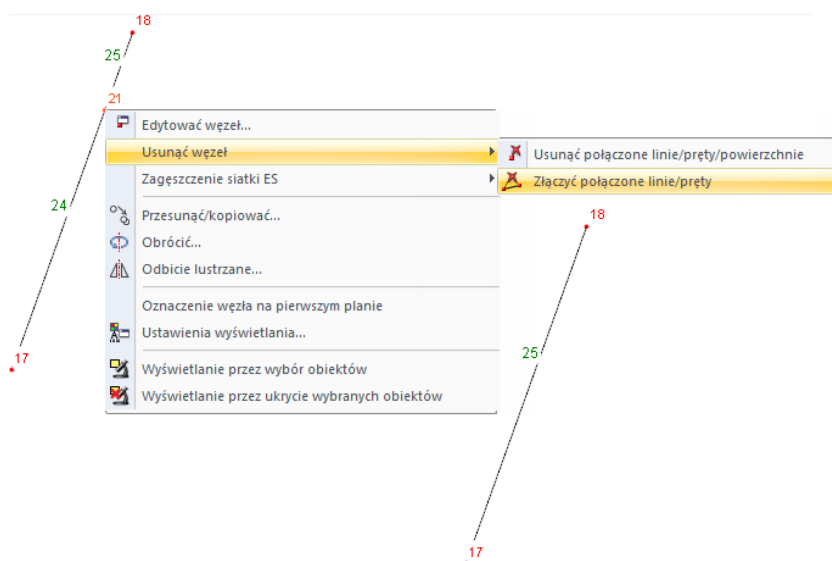
W oknie dialogowym *Nowa linia* lub *Nowy pręt* można wykorzystać przycisk [Szczegóły], aby określić, czy linie lub pręty będą łączone automatycznie podczas generowania.



Rysunek 11.96: Okno dialogowe *Nowa linia - Szczegóły*

### 11.4.9 Scalić linie i pręty

Linie lub pręty, które są połączone ze sobą, mogą zostać scalone w jedną linię lub pręt. Funkcja ta jest dostępna tylko w menu kontekstowym węzłów podziału, które otwiera się, klikając dany węzeł prawym przyciskiem myszy.



Rysunek 11.97: Elementy menu kontekstowego *Usunąć węzeł* → *Scalić połączone linie/pręty* oraz rezultat użycia tej funkcji (po prawej)

Menu kontekstowe oferuje rozszerzone opcje służące do *Usuwania węzłów*, podczas gdy przycisk [Del] usuwa wybrany węzeł, a w konsekwencji połączone linie, pręty i powierzchnie. Opcje specjalne są dostępne jedynie dla węzłów, do których są przyłączone dokładnie dwie linie lub dwa pręty.

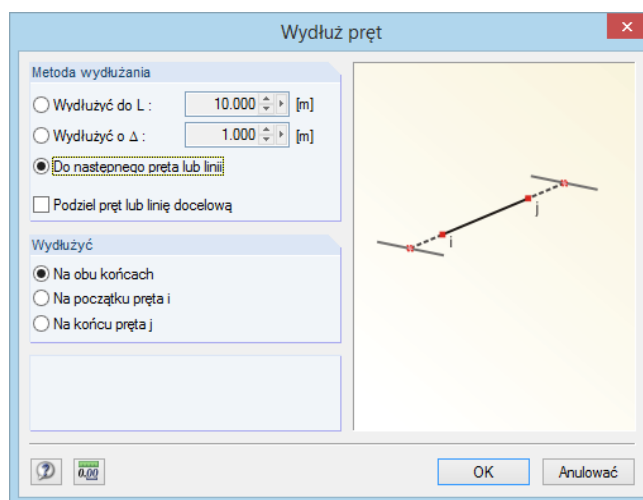
W przypadku, gdy linie lub pręty nie leżą w linii prostej, program RFEM utworzy nową linię lub pręt pomiędzy węzłami brzegowymi podczas scalania.

### 11.4.10 Wydłużyć linie i pręty

Przy użyciu tej funkcji można ogólnie dostosować długość linii lub pręta lub przedłużyć linię, aż dosięgnie ona kolejnej linii.

Aby uzyskać dostęp do funkcji wydłużania, należy wykorzystać menu kontekstowe linii (zobacz Rysunek 11.89 na stronie 500) lub menu kontekstowe pręta, pokazane na lewym marginesie tej strony.

Otworzy się okno dialogowe *Wydłużyć linię* lub *Wydłużyć pręt*.



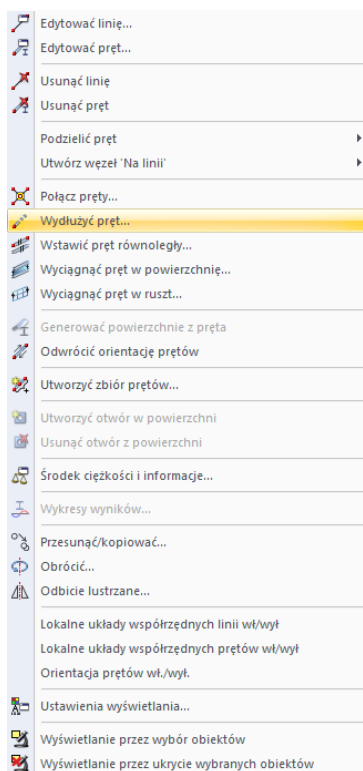
Rysunek 11.98: Okno dialogowe *Wydłużyć pręt*

Sekcja okna dialogowego *Metoda wydłużania* oferuje trzy opcje:

- *Wydłużyć do L* zmienia długość całkowitą linii lub pręta na wymiar, który został określony w polu wprowadzania.
- *Wydłużyć o Δ* wydłuża jedną stronę pręta lub obie strony pręta o określoną wartość lub skraca określoną stronę, jeżeli wartość w polu wprowadzania jest ujemna.
- Wybranie opcji *Do następnego pręta lub linii* pozwala wydłużyć obiekt do najbliższej linii, aż do utworzenia przecięcia z przedłużeniem linii prostej danej linii lub pręta. W przypadku zaznaczenia pola wyboru *Podziel pręt lub linię docelową*, obiekty zostaną połączone automatycznie.

W sekcji znajdującej się w dolnej części okna dialogowego określa się kierunek *Wydłużenia*. Opcja *Na obu końcach* prowadzi do wydłużenia na obu końcach obiektu. Przy użyciu tego ustawienia można wykorzystać odniesienie długości całkowitej L do linii lub środka pręta albo przedłużyć linię po obu stronach o wartość Δ lub do osiągnięcia dwóch następnych linii. Alternatywnie można użyć opcji *Na początku linii/pręta* oraz *Na końcu linii/pręta*, aby dostosować długość linii lub pręta tylko z jednej strony.

Wyświetlanie orientacji linii lub prętów może być ustawione w nawigatorze *Wyświetl* (zobacz Rysunek 4.26 na stronie 53).



Menu kontekstowe pręta



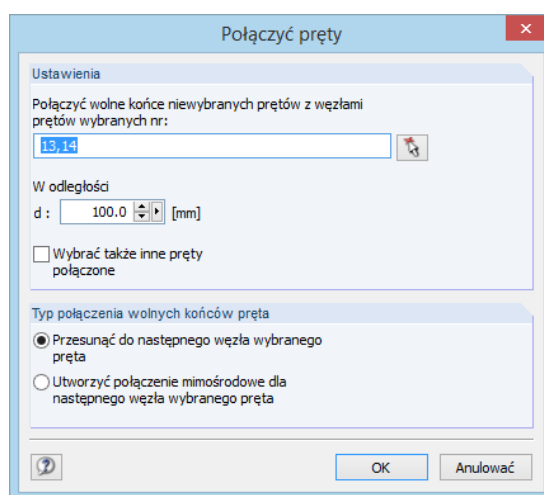
### 11.4.11 Połącz pręty

W przeciwieństwie do łączenia prętów (zobacz rozdział 11.4.8 na stronie 502), funkcja ta nie wymaga wspólnego punktu przecięcia. Z tego powodu wolne pręty dostępne w pewnej odległości do pręta mogą zostać przyłączone do węzłów tego pręta. Jednakże, aby przyłączyć pręt poprzez jego wydłużenie, należy wykorzystać funkcję *Wydłuż pręt* (zobacz rozdział 11.4.10).



Aby uzyskać dostęp do odpowiedniej funkcji, należy wybrać polecenie **Połączyć pręty** w menu **Narzędzia**.

Pojawi się następujące okno dialogowe:



Rysunek 11.99: Okno dialogowe *Połączyć pręty*



W sekcji okna dialogowego *Ustawienia* należy wpisać numer pręta, do którego węzłów mają zostać dołączone wolne pręty. Pręt można wybrać również graficznie przy użyciu funkcji [^]. Pole wprowadzania poniżej określa *odległość*, czyli strefę, w której program RFEM wyszukuje wolne końce prętów. Jeśli zaznaczone jest pole wyboru *Wybrać także inne pręty połączone*, program RFEM uwzględni na liście prętów znajdującej się powyżej pola wprowadzania również pręty, które są już połączone z wybranym prętem.

W sekcji okna dialogowego *Typ połączenia wolnych końców pręta* należy zdecydować, w jaki sposób program RFEM połączy wolne końce prętów z wybranymi prętami. Końce te można przesunąć do węzłów wybranych prętów lub dołączyć je przy użyciu połączeń mimośrodowych.

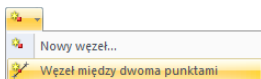
### 11.4.12 Wstawić węzeł

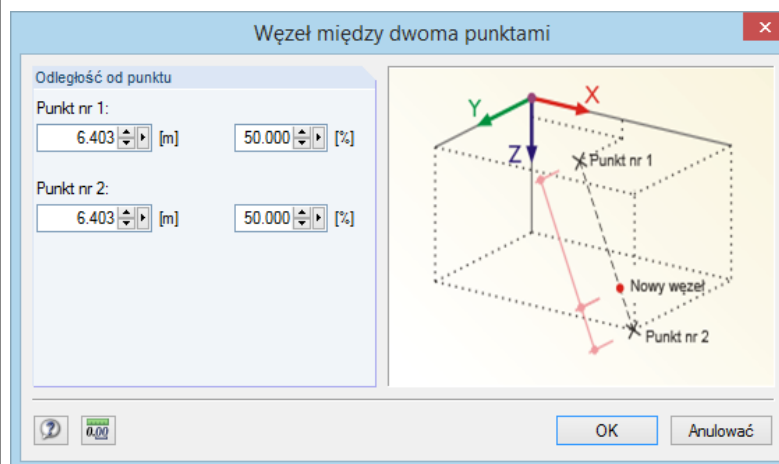
Przy użyciu tej funkcji można utworzyć nowy węzeł pomiędzy dwoma dowolnymi węzłami. Dzięki temu nie trzeba definiować linii ani dzielić jej przy użyciu węzła pośredniego (zobacz rozdział 11.4.7 na stronie 500).

Aby uzyskać dostęp do odpowiedniej funkcji, należy wskazać opcję **Dane modelu** w menu **Wstawić**, wybrać **Węzły**, a następnie kliknąć polecenie **Węzeł między dwoma punktami**

lub wykorzystać przycisk listy [Nowy węzeł] w pasku narzędzi.

Następnie należy wybrać dwa punkty (węzły, punkty rastru, dowolne punkty) jeden po drugim w oknie roboczym. Pojawi się następujące okno dialogowe:



Rysunek 11.100: Okno dialogowe *Węzeł między dwoma punktami*

*Odległość od punktu* można zdefiniować jako wartości bezwzględne lub względne. Okno robocze natychmiast pokazuje wprowadzone zmiany. Aby utworzyć nowy węzeł, należy kliknąć przycisk [OK].

### 11.4.13 Wstawić pręt

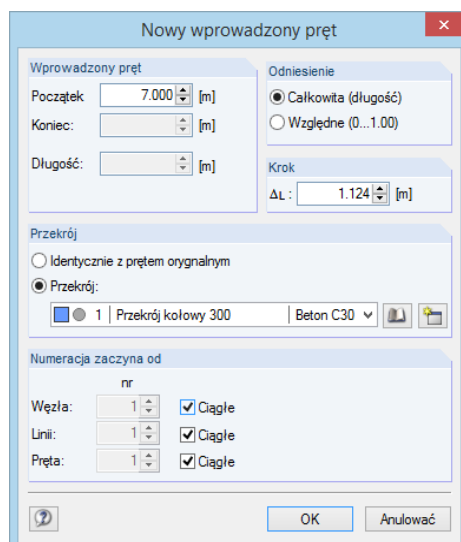
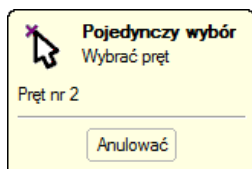
Na istniejącym pręcie możliwe jest zdefiniowanie odcinka posiadającego inne charakterystyki przekroju. Oryginalny pręt zostanie podzielony przez dwa węzły pośrednie.



Aby uzyskać dostęp do odpowiedniej funkcji,

należy wskazać opcję **Dane modelu** w menu **Wstawić**, a następnie wybrać opcję **Pręty i Graficznie** oraz kliknąć polecenie **Wprowadzony pręt**.

Po wybraniu pręta, pojawi się następujące okno dialogowe:

Rysunek 11.101: Okno dialogowe *Nowy wprowadzony pręt*

Oba punkty podziału definiuje się poprzez kliknięcie myszą w oknie roboczym. Krzyż na wskaźniku wskazuje aktualny punkt podziału na pręcie. Odległości podane w trakcie przesuwania kursora wzdłuż pręta są kontrolowane przez wartość wprowadzoną w polu wprowadzania *Krok*.

Położenia x węzła początkowego i końcowego są wyświetlane w polach wprowadzania w sekcji okna dialogowego *Wprowadzony pręt*, gdzie mogą być modyfikowane w razie potrzeby. *Długość pręta* pośredniego pojawia się poniżej.

Za pomocą opcji w sekcji okna dialogowego *Odniesienie* można zdecydować, czy odległości podziałów są związane z długościami bezwzględnymi czy z odległościami względnymi od początku pręta.



*Przekrój* może być zaakceptowany lub przypisany na nowo poprzez wybór z listy już zdefiniowanych przekrojów. Za pomocą przycisków pokazanych na lewym marginesie tej strony można utworzyć [Nowy] przekrój lub wybrać z [Biblioteki] przekrój, który jeszcze nie został wykorzystany.

Sekcja okna dialogowego *Numeracja zaczyna od* kontroluje numerację nowych obiektów.

### 11.4.14 Graficzne przydzielanie właściwości pręta

Przy użyciu tej funkcji można graficznie przenieść kryteria definicji prętów dla przekroju, zwolnienia i mimośrodów do już wygenerowanych prętów.

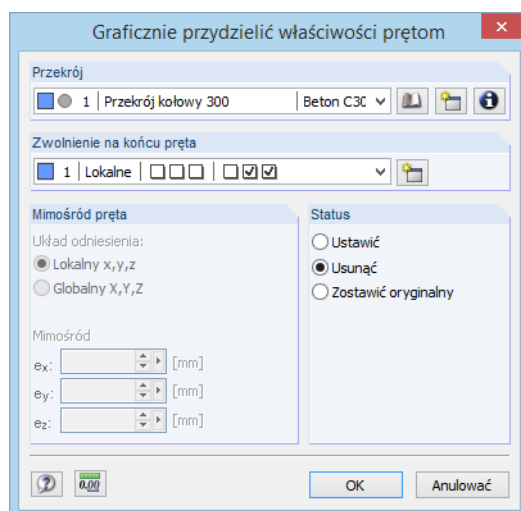


Aby uzyskać dostęp do odpowiedniej funkcji,

należy wybrać opcję **Dane modelu** w menu **Wstawić**, wskazać na **Pręty** i wybrać polecenie **Przydzielić właściwości prętom graficznie** lub

otworzyć menu **Edytować**, wskazać opcję **Dane modelu** i **Pręty**, a następnie wybrać polecenie **Przydzielić właściwości prętom graficznie**.

Pojawi się następujące okno dialogowe:



Rysunek 11.102: Okno dialogowe *Graficznie przydzielić właściwości prętom*



*Przekrój* wybiera się z listy lub z [Biblioteki] za pomocą przycisków pokazanych na lewym marginesie tej strony. W razie potrzeby można zdefiniować *Zwolnienie na końcu pręta* przy użyciu listy lub poprzez utworzenie [Nowego] typu zwolnienia (zobacz rozdział 4.14 na stronie 139).

*Mimośród pręta* można odnieść do lokalnego układu osi xyz pręta lub do globalnego układu współrzędnych XYZ. W razie potrzeby, mimośród można zdefiniować w odpowiednich polach wprowadzania (zobacz rozdział 4.15 na stronie 146).

Za pomocą opcji w sekcji okna dialogowego *Status* można zdecydować, czy mimośród pręta będzie przydzielony ponownie (*Ustawić*) lub usunięty (*Usunąć*). Po wybraniu opcji *Zostawić oryginalny*, zostanie zmieniony tylko przekrój i zwolnienie na końcu pręta, ale istniejący mimośród nie ulegnie zmianie.

Po kliknięciu przycisku [OK] można zobaczyć, że pręty zostały podzielone graficznie w jednej trzeciej punktów podziału (zobacz Rysunek 4.135 na stronie 141). Można teraz kliknąć strony pręta, do których zostaną zastosowane wybrane właściwości (np. zwolnienia). Kliknięcie pręta w jego środkowej części pozwala przypisać zwolnienia lub mimośród na obu jego końcach.

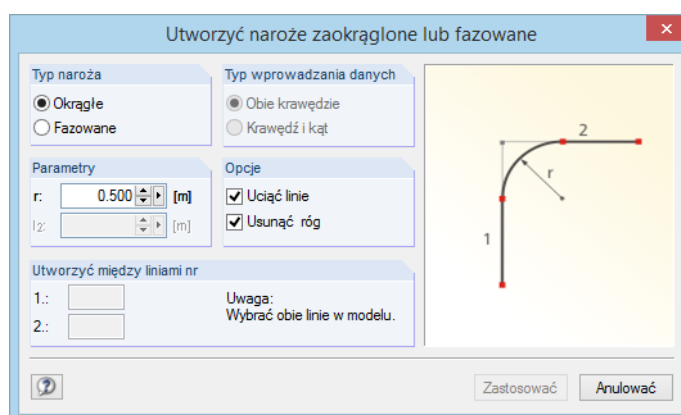
### 11.4.15 Zaokrąglanie naroży



Naroża i krawędzie w modelu mogą spowodować powstanie osobliwości. Aby otworzyć okno dialogowe do modelowania rogów w sposób zbliżony do rzeczywistości za pomocą promienia zaokrąglenia,

należy wybrać polecenie **Utworzyć naroże zaokrąglone lub fazowane** w menu **Narzędzia**.

Nie jest konieczne wcześniejsze wybranie obu linii. Otworzy się następujące okno dialogowe:



Rysunek 11.103: Okno dialogowe *Utworzyć naroże zaokrąglone lub fazowane*

W sekcji okna dialogowego *Typ naroża* można zdecydować, czy strefa naroża będzie *Zaokrąglona* czy *Fazowana*. W zależności od dokonanego wyboru, należy wprowadzić promień zaokrąglenia  $r$  lub wymiary fazy  $l_1$  i  $l_2$  w sekcji okna dialogowego *Parametry*.

Następnie należy zaznaczyć obie linie przez kliknięcie myszą w oknie roboczym bez zamykania okna dialogowego. Numery linii pojawiają się w sekcji okna dialogowego *Utworzyć między liniami nr*.

W przypadku zaznaczenia pola wyboru *Uciąć linie*, program RFEM usuwa wydłużenia oryginalnych linii pokrywających się w strefie narożnej, po utworzeniu łuku lub nowej linii. Opcja *Usunąć naroże* usuwa także węzeł w narożu.

### 11.4.16 Podzielić powierzchnię

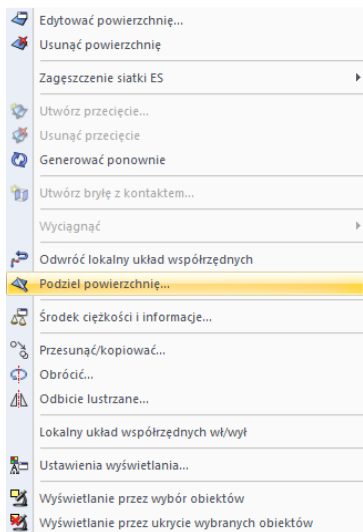


Powierzchnie mogą być podzielone na składowe powierzchni, jeżeli spełniony jest jeden z następujących warunków:

- Powierzchnia jest zdefiniowana przez cztery linie i nie ma naroży wklęsłych. Nie występują linie przecinające się, krzywe trajektorii ani podobne obiekty.
- Powierzchnia jest powierzchnią obróconą o kącie obrotu  $\alpha < 360^\circ$ .

Aby podzielić powierzchnię, należy kliknąć ją prawym przyciskiem myszy i wybrać opcję *Podzielić powierzchnię* w menu kontekstowym.

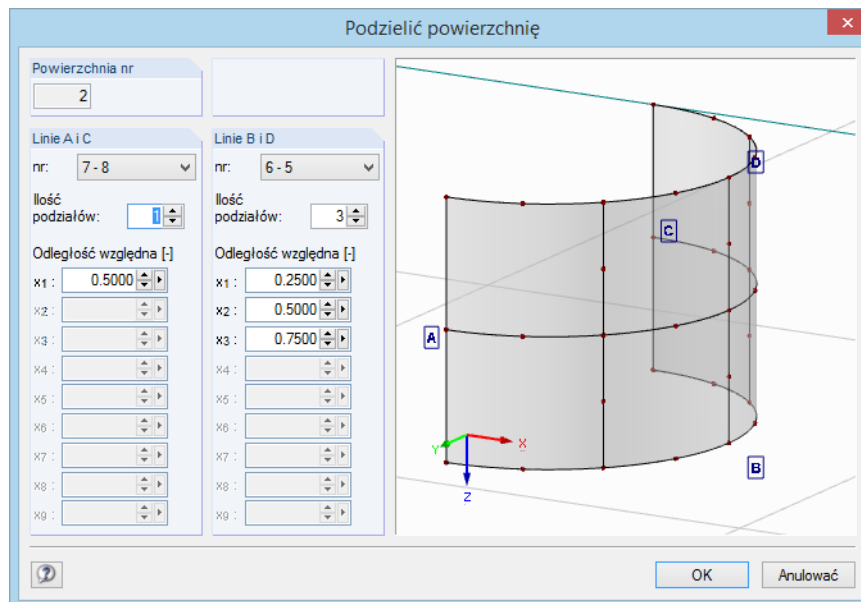
W oknie dialogowym *Podzielić powierzchnię* pojawi się podgląd (zobacz Rysunek 11.104) sugerujący podział, który określają ustawione parametry. Ustawienia parametrów oraz grafika okna dialogowego są interaktywne. Po zmianie *Ilości podziałów* dla obu par linii granicznych A + C i B + D, grafika natychmiast pokazuje nowe powierzchnie składowe.



Menu kontekstowe powierzchni

Dla każdej linii podziału można zdefiniować *Odległość względną*. Możliwe jest również zdefiniowanie nieregularnych schematów dzielenia.

W oknie graficznym można wykorzystywać typowe funkcje myszy, takie jak powiększanie lub obracanie do zmiany widoku (zobacz rozdział 3.4.9 na stronie 38).



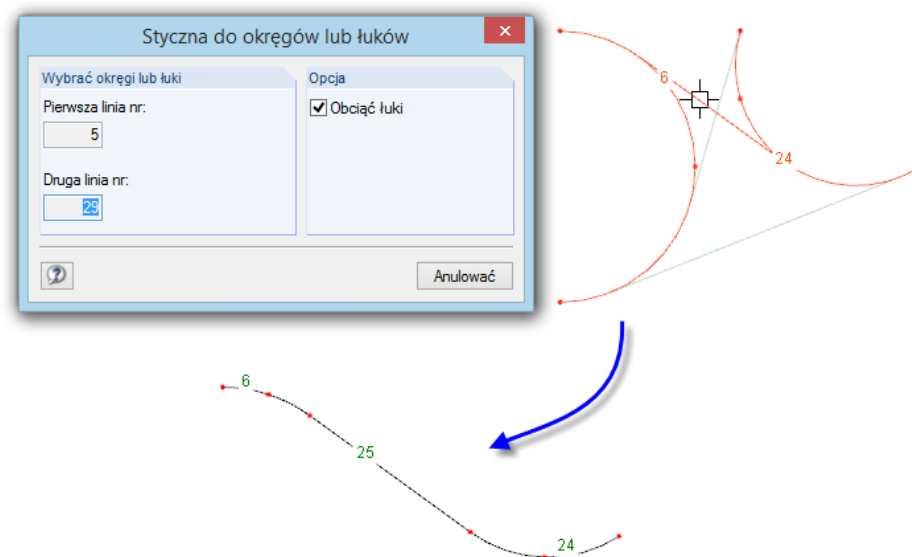
Rysunek 11.104: Okno dialogowe *Podzielić powierzchnię*

### 11.4.17 Stosowanie stycznej do okręgów



Program RFEM pozwala na łatwe tworzenie stycznej do łuku lub okręgu za pomocą skoku do obiektu (zobacz rozdział 11.3.3 na stronie 465). Kolejna specjalna funkcja pozwala znaleźć styczne dla dwóch okręgów lub łuków kołowych. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe, należy wybrać opcję **Styczna do dwóch okręgów/łuków** w menu **Narzędzia**.

Pojawi się następujące okno dialogowe:



Rysunek 11.105: Okno dialogowe *Styczna do okręgów lub łuków* (powyżej) i efekt użycia tej funkcji (poniżej)

Na początku należy kliknąć obie linie łuku lub okręgu jedna po drugiej w oknie roboczym. Program RFEM rysuje możliwe styyczne jako szare linie. Następnie wystarczy zaznaczyć odpowiednią linię. Program RFEM dzieli linię okręgu lub łuku przy użyciu węzłów i tworzy styyczną jako nową linię.

Zaznaczając pole wyboru *Obciąć łuki* można usunąć nakładające się odcinki linii wynikające z podziału (zobacz na powyższym rysunku).

### 11.4.18 Zmiana numeracji

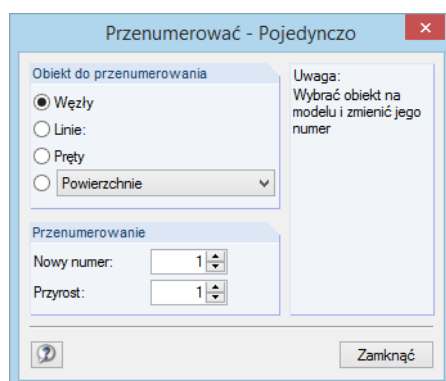
Regularna, uporządkowana numeracja okazuje się pomocna podczas modelowania konstrukcji oraz oceny wyników. Niemniej wprowadzanie graficzne i kolejne modyfikacje mogą zmienić kolejność numeracji.

Dostępne są trzy opcje do późniejszego ustawiania kolejności numeracji. Aby uruchomić odpowiednie funkcje,

należy wybrać polecenie **Zmieni numerację** w menu **Narzędzia**.

Podczas zmiany numeracji, obciążenia nie stwarzają problemów, ponieważ przypisane obciążenia zostaną zamienione automatycznie wraz z nowymi numerami obiektów.

#### Pojedynczo



Rysunek 11.106: Okno dialogowe *Zmieni numerację - Pojedynczo*

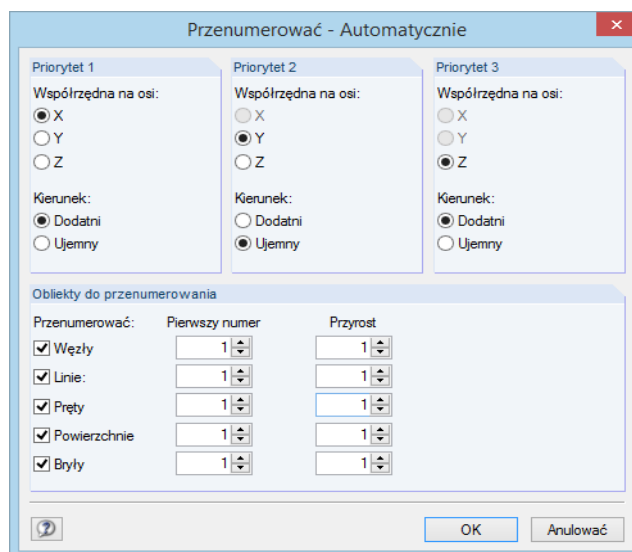
W sekcji okna dialogowego *Obiekty do przenumerowania* można zdecydować, czy zostanie zmieniona numeracja węzłów, linii, prętów lub innych obiektów konstrukcyjnych wybranych na liście. W sekcji okna dialogowego *Przenumerowanie* należy określić numer, od którego rozpocznie się nowa numeracja oraz jej przyrost.

Zamknąć

Po zamknięciu okna dialogowego za pomocą przycisku [Zamknij], można wybrać kolejno odpowiednie obiekty w oknie roboczym. Należy pamiętać, że program RFEM może przydzielić tylko numery, które nie zostały jeszcze przypisane.

#### Automatycznie

Najpierw należy wybrać węzły, linie i pręty (zobacz rozdział 11.2.1 na stronie 457), których numeracja ma zostać dostosowana. Następnie otworzy się następujące okno dialogowe.

Rysunek 11.107: Okno dialogowe *Przenumerować - Automatycznie* dla węzłów, linii i prętów

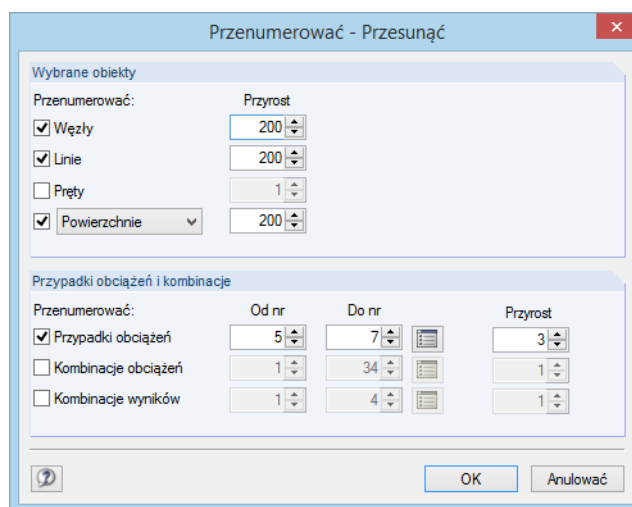
Należy teraz określić *Priorytet* globalnych kierunków X, Y i Z dla nowej numeracji. Należy też zdecydować, czy przyrost numeracji będzie zastosowany w *Kierunku* odpowiedniej osi dodatniej czy ujemnej.

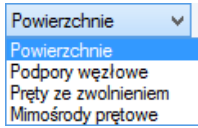
W powyższym przykładzie, węzły (jak również linie i pręty) o najmniejszych współrzędnych X pierwsze otrzymują nowe numery. Węzły są przetwarzane w dodatnim kierunku X. Jeśli dwa węzły mają identyczne współrzędne X, drugi priorytet decyduje, który węzeł otrzyma mniejszy numer. Będzie to węzeł o mniejszej współrzędnej Y. Gdy współrzędne Y również są identyczne, decydujący jest trzeci priorytet.

Sekcja okna dialogowego *Obiekty do przenieumerowania* określa obiekty, których numeracja ma zostać zmieniona oraz jakie numery początkowe i jakie przyrosty zostaną wykorzystane podczas zmiany numeracji. Numery już przydzielone nie mogą być przypisane ponownie. Niemniej program RFEM pozwala na wykorzystanie numerów, które zostały przypisane przed zmianą numerów, ale zostaną zwolnione podczas zmiany numeracji.

## Przesunąć

Najpierw należy wybrać obiekty, których numeracja ma zostać dostosowana. Następnie należy otworzyć następujące okno dialogowe poprzez wskazanie polecenia *Zmienić numerację* a następnie *Przesunąć* w menu *Narzędzia*.

Rysunek 11.108: Okno dialogowe *Przenumerować - Przesunąć*



W sekcji okna dialogowego *Wybrane obiekty*, należy zdefiniować obiekty, których numeracja ma zostać zmieniona. Oprócz węzłów, linii i prętów można wybrać inne obiekty konstrukcyjne z listy. W kolumnie *Przyrost* można określić wartość, o którą zostaną zwiększone numery wybranych obiektów. Ujemne przyrosty zmniejszają numerację. Należy upewnić się, że żaden numer nie będzie mniejszy niż 1.

W sekcji okna dialogowego *Przypadki obciążeń i kombinacje* można dostosować numerację przypadków obciążeń oraz kombinacji obciążeń i wyników. Ich numery określa się w postaci listy wpisywanej w kolumnach *Od nr* oraz *Do nr*. Kolumna *Przyrost* kontroluje wartość, o którą numery obciążeń zostaną odpowiednio zwiększone.

Po kliknięciu przycisku [OK] numery zostaną zmienione. Należy pamiętać, że do różnych obiektów konstrukcyjnych i obciążenia można przypisać nieprzydzielone numery.



## 11.5 Funkcje tabeli

### 11.5.1 Funkcje edycji

Funkcje edycji stanowią narzędzia ułatwiające wprowadzanie danych w tabelach (zobacz rozdział 3.4.4 na stronie 28). W przeciwieństwie do funkcji wyboru, opisanych w następnym rozdziale 11.5.2, nie jest konieczne wcześniejsze zaznaczenie komórek. Funkcje edycji wpływają tylko na komórkę, w której jest umieszczony wskaźnik.



Aby włączyć lub wyłączyć tabelę,

należy wybrać opcję **Wyświetlić** w menu **Tabela**

lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi pokazanego na lewym marginesie tej strony.

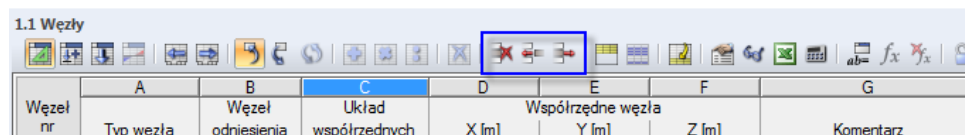
### Uruchamianie funkcji edycji

Aby uaktywnić funkcje edycji dla tabeli, należy umieścić kursor w komórce tabeli. Aby uzyskać dostęp do funkcji edycji,

należy wskazać opcje **Edytować** w menu **Tabela**.

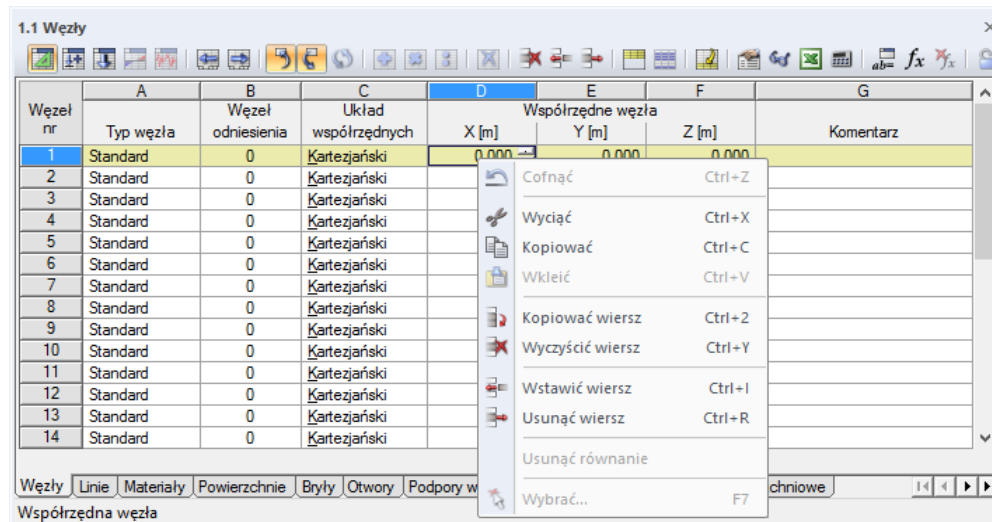


Niektóre funkcje edycji są dostępne w pasku narzędzi tabeli.



Rysunek 11.109: Przyciski dla różnych funkcji edycji w pasku narzędzi tabeli

Aby uzyskać dostęp do funkcji edycji można użyć też menu kontekstowego w tabeli.



Rysunek 11.110: Funkcje edycji w menu kontekstowym tabeli

### Funkcje i polecenia





Polecenie	Opis
Wyciąć [Ctrl+X]	Usuwa zawartość komórki i zapisuje ją w schowku
Kopiować [Ctrl+C]	Kopiuje zawartość komórki do schowka
Wkleić [Ctrl+V]	Wstawia zawartość schowka do komórki Jeśli zawartość schowka jest większa niż komórka, po wcześniejszym wyświetleniu ostrzeżenia, zostaną nadpisane komórki i wiersze kolejnych kolumn tabeli.
Skopiować wiersz [Ctrl+2]	Nadpisuje kolejny wiersz wykorzystując zawartość aktualnego wiersza
Wyczyścić wiersz [Ctrl+Y] 	Usuwa zawartość wiersza bez usuwania samego wiersza
Wstawić wiersz [Ctrl+I] 	Wstawia nowy, pusty wiersz. Kolejne wiersze zostaną przeniesione w dół.
Usunąć wiersz [Ctrl+R] 	Usuwa bieżący wiersz. Kolejne wiersze zostaną przeniesione w górę.
Znaleźć [Ctrl+F]	Wyszukuje liczbę lub ciąg znaków w tabeli
Zastąpić [Ctrl+H]	Wyszukuje liczbę lub ciąg znaków w tabeli i zastępuje je innym wpisem
Wyczyścić tabelę	Całkowicie usuwa zawartość aktualnej tabeli bez wcześniejszego ostrzeżenia
Wyczyścić wszystkie tabele	Usuwa zawartość wszystkich tabel
Wybrać [F7]	Otwiera listę do wyboru w komórce
Aktualizować wykres 	Przenosi modyfikacje wprowadzone w tabeli do grafiki
Edytować przy użyciu okna dialogowego	Otwiera okno dialogowe, w którym można zmienić dane bieżącego wiersza.

Tabela 11.8: Funkcje edycji

## 11.5.2 Funkcje wyboru

Funkcje wyboru to narzędzia ułatwiające wprowadzanie danych w tabelach. W przeciwieństwie do funkcji edycji, opisanych w rozdziale 11.5.1, należy najpierw wybrać kilka połączonych komórek jako *Zaznaczenie*.

Układ współrzędnych	Współrzędne węzła		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
Kartezjański	0.000	0.000	0.000
Kartezjański	7.000	0.000	0.000
Kartezjański	7.000	-6.000	0.000
Kartezjański	0.000	-6.000	0.000
Kartezjański	10.000	-3.000	0.000
Kartezjański	6.000	-5.000	0.000
Kartezjański	3.498	-5.000	0.000
Kartezjański	3.498	-4.020	0.000
Kartezjański	6.000	-4.020	0.000
Kartezjański	0.000	-6.000	4.000

Rysunek 11.111: Zaznaczenie

Wybierać można komórki puste oraz wypełnione. Funkcja wyboru modyfikuje zawartość wybranych komórek.

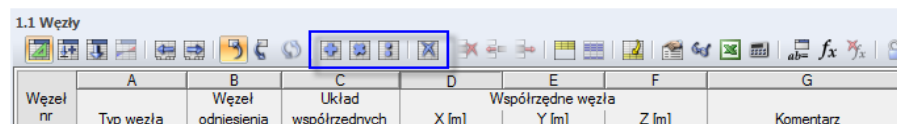
### Uruchamianie funkcji wyboru

Na początku należy dokonać wyboru bloku sąsiadujących komórek tabeli. W tym celu należy przeciągnąć wskaźnikiem przez kilka komórek z przytrzymanym wciśniętym lewym przyciskiem myszy. Kliknięcie nagłówka tabeli (A, B, C ...), zaznacza całą kolumnę tabeli, natomiast numeru rzędu - całego wiersza.

Aby uzyskać dostęp do funkcji wyboru,

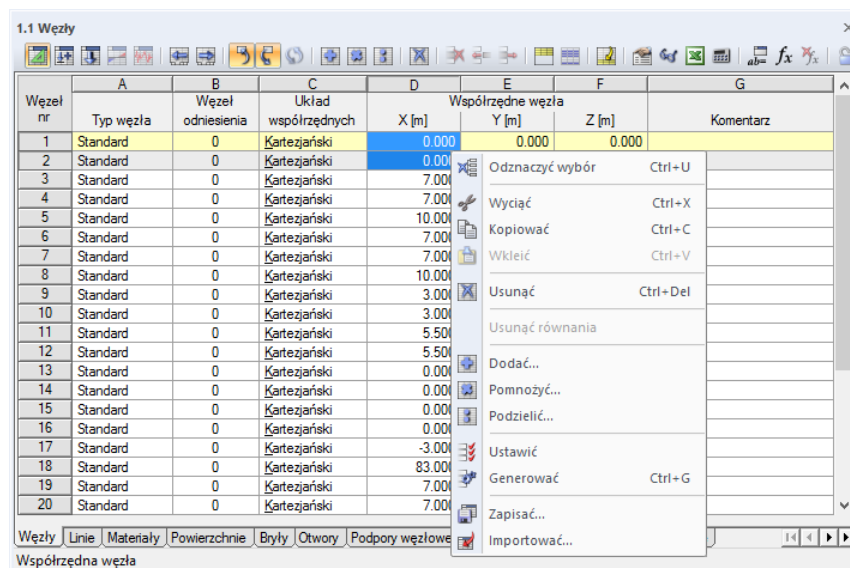
należy wybrać opcję **Wybór** w menu **Tabela**.

Niektóre funkcje wyboru są dostępne w pasku narzędzi tabeli.



Rysunek 11.112: Przyciski dla różnych funkcji wyboru w pasku narzędzi tabeli

Aby uzyskać dostęp do funkcji wyboru można użyć też menu kontekstowego w tabeli.



Rysunek 11.113: Funkcje wyboru w menu kontekstowym tabeli

### Funkcje i polecenia





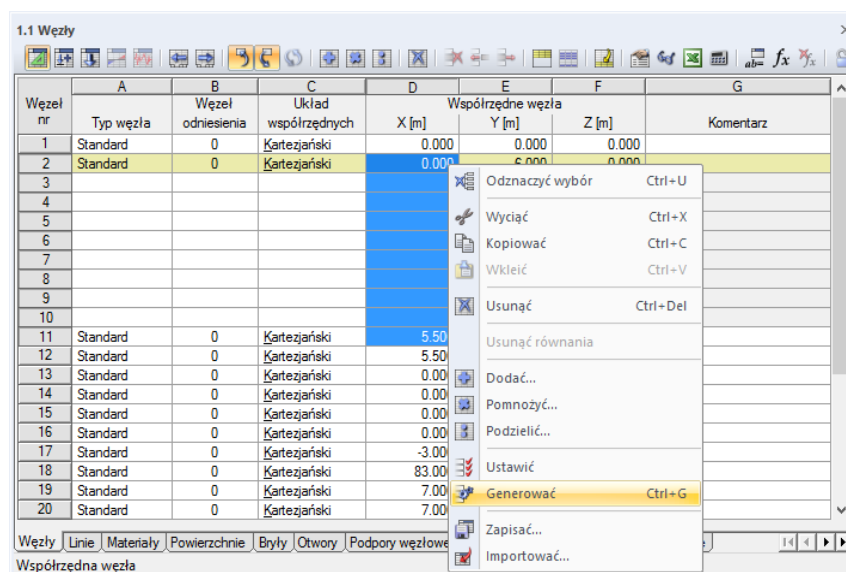
Funkcja	Opis
Odznaczyć wybór [Ctrl+D]	Anuluje zaznaczenie wiersza lub kolumny
Wyciąć [Ctrl+X]	Usuwa zawartość zaznaczonych komórek i zapisuje ją w schowku systemowym
Kopiować [Ctrl+C]	Kopiuje zawartość zaznaczenia do schowka systemowego
Wkleić [Ctrl+V]	Wstawia zawartość schowka systemowego do tabeli Polecenie to jest dostępne tylko wtedy, gdy schowek zawiera stosowne dane (na przykład z programu Excel).
Usunąć [Ctrl+Del] 	Usuwa całą zawartość wybranych komórek
Dodać 	Dodaje lub odejmuje wartość do komórek zawierających wartości numeryczne
Pomnożyć 	Mnoży przez współczynnik komórki zawierające wartości numeryczne
Podzielić 	Dzieli przez dzielnik komórki zawierające wartości numeryczne
Ustawić	Przypisuje wartość najwyższej wybranej komórki do wszystkich komórek w zaznaczeniu
Generować [Ctrl+G]	Używana dla komórek z wartościami numerycznymi. Generuje komórki pomiędzy pierwszą a ostatnią wybraną komórką poprzez interpolację obu wartości podstawowych (zobacz na poniższym przykładzie).
Zapisać	Zapisuje zaznaczenie jako plik
Importować	Importuje zaznaczenie zapisane jako plik

Tabela 11.9: Funkcje wyboru

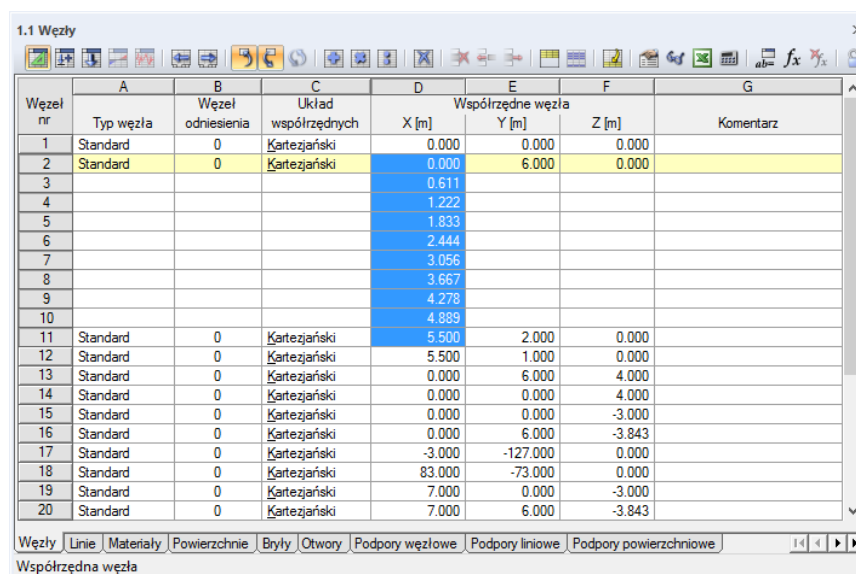
#### Przykład: Generowanie wartości w komórkach

Przy użyciu tej funkcji można szybko wypełnić puste komórki. Wartości pośrednie są określane poprzez interpolację liniową od wartości początkowej górnej komórki (w przykładzie 7 000) i wartości końcowej dolnej komórki (w przykładzie 10 000).



Rysunek 11.114: Menu kontekstowe zaznaczenia

Kiedy stosowana jest funkcja *Generować*, komórki pośrednie są wypełniane przy użyciu wartości interpolowanych.



Wzł nr	A	B	C	D	E	F	G
	Typ węzła	Wzł odniesienia	Układ współrzędnych	X [m]	Współrzędne węzła		Komentarz
					Y [m]	Z [m]	
1	Standard	0	Kartezjański	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	0	Kartezjański	0.000	6.000	0.000	
3				0.611			
4				1.222			
5				1.833			
6				2.444			
7				3.056			
8				3.667			
9				4.278			
10				4.889			
11	Standard	0	Kartezjański	5.500	2.000	0.000	
12	Standard	0	Kartezjański	5.500	1.000	0.000	
13	Standard	0	Kartezjański	0.000	6.000	4.000	
14	Standard	0	Kartezjański	0.000	0.000	4.000	
15	Standard	0	Kartezjański	0.000	0.000	-3.000	
16	Standard	0	Kartezjański	0.000	6.000	-3.843	
17	Standard	0	Kartezjański	-3.000	-127.000	0.000	
18	Standard	0	Kartezjański	83.000	-73.000	0.000	
19	Standard	0	Kartezjański	7.000	0.000	-3.000	
20	Standard	0	Kartezjański	7.000	6.000	-3.843	

Rysunek 11.115: Wyniki

### 11.5.3 Funkcje widoku

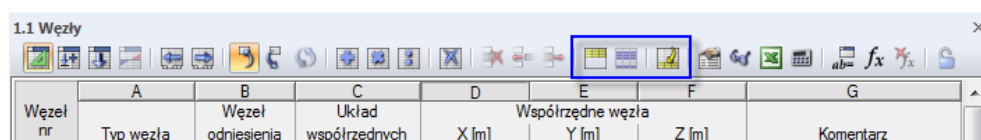
Wyświetlanie tabeli może być dostosowywane przy użyciu różnych funkcji wyświetlania, poprawiających przegląd danych w tabeli.

#### Uruchamianie funkcji widoku

Aby uzyskać dostęp do funkcji widoku,  
 należy wybrać opcję **Widok** w menu **Tabela** lub  
 wybrać opcję **Zoptymalizowane dane obciążenia** w menu **Tabela**.

Niektóre funkcje widoku są dostępne w pasku narzędzi tabeli.





Rysunek 11.116: Przyciski dla różnych funkcji widoku w pasku narzędzi tabeli

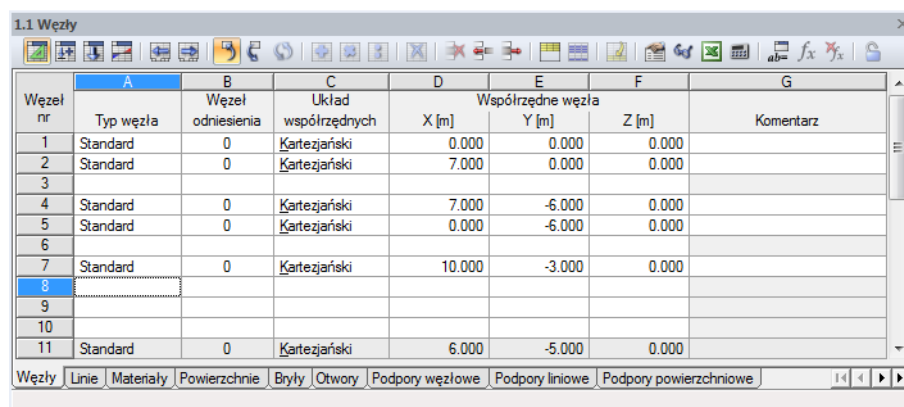
## Funkcje

Funkcja	Opis
 Tylko wypełnione wiersze	Ukrywa wszystkie puste wiersze tabeli
 Tylko zaznaczone wiersze	Pokazuje tylko zaznaczone wiersze
 Tylko wybrane obiekty	Pokazuje tylko obiekty zaznaczone w grafice
 Wybrać obciążenia i obiekty powiązane	Oprócz obciążeń, w grafice wybierane są powiązane obiekty konstrukcyjne (węzły, powierzchnie, pręty itp.). Dostępne tylko w tabelach danych obciążenia 3.
 Kompresować dane	Sumuje obiekty z takimi samymi obciążeniami w jednym wierszu tabeli obciążeń
 Rozpakować dane	Wyświetla obciążenia dla każdego obiektu indywidualnie
 Filtr wyników	Wyniki tabelaryczne mogą być ograniczone do szczególnych rodzajów wyników (zobacz rozdział 11.5.5 na stronie 520).
 Informacje o przekroju	Pokazuje wartości charakterystyczne bieżącego przekroju
 Wykresy wyników na wybranych prętach	Wyświetla wyniki wybranego pręta graficznie w nowym oknie (por. rozdział 9.5 na stronie 381)
 Skala barw	Włącza i wyłącza wyświetlanie czerwonych i niebieskich pasków w tabeli
 Pasek tytułu	Włącza i wyłącza pasek tytułowy
 Pasek narzędzi	Włącza i wyłącza pasek narzędzi
 Nagłówek kolumny	Włącza i wyłącza nagłówki kolumny (A, B, C, ...)
 Pasek stanu	Włącza i wyłącza pasek stanu tabeli
 Podświetl wiersz tabeli	Podświetla przy użyciu koloru wiersz tabeli, w którym umieszczony jest kursor.

Tabela 11.10: Funkcje widoku

### Przykład: Tylko wypełnione wiersze

Tabela zawiera puste wiersze zaburzające przejrzystość tabeli.

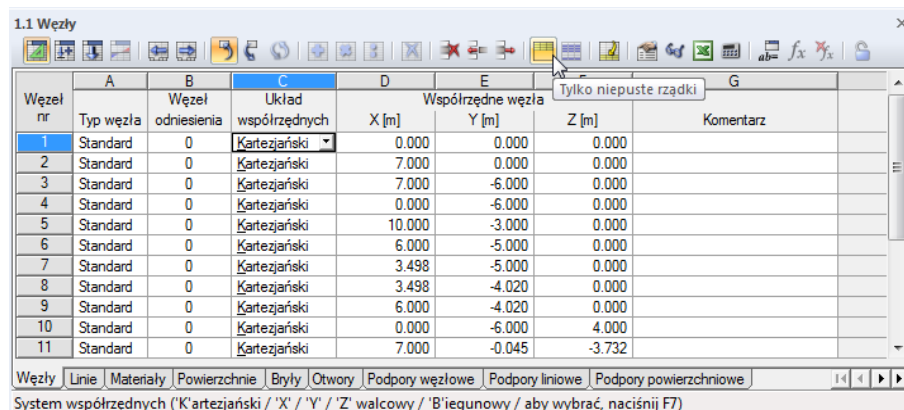


Wzł nr	A	B	C	Współrzędne węzła			G
	Typ węzła	Wzł odniesienia	Układ współrzędnych	X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	Standard	0	Kartezjański	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	0	Kartezjański	7.000	0.000	0.000	
3							
4	Standard	0	Kartezjański	7.000	-6.000	0.000	
5	Standard	0	Kartezjański	0.000	-6.000	0.000	
6							
7	Standard	0	Kartezjański	10.000	-3.000	0.000	
8							
9							
10							
11	Standard	0	Kartezjański	6.000	-5.000	0.000	

Rysunek 11.117: Tabela z pustymi wierszami



Przy użyciu przycisku *Tylko wypełnione wiersze* można ukryć wszystkie puste wiersze.



Wzł nr	A	B	C	Współrzędne węzła			G
	Typ węzła	Wzł odniesienia	Układ współrzędnych	X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	Standard	0	Kartezjański	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	0	Kartezjański	7.000	0.000	0.000	
3	Standard	0	Kartezjański	7.000	-6.000	0.000	
4	Standard	0	Kartezjański	0.000	-6.000	0.000	
5	Standard	0	Kartezjański	10.000	-3.000	0.000	
6	Standard	0	Kartezjański	6.000	-5.000	0.000	
7	Standard	0	Kartezjański	3.498	-5.000	0.000	
8	Standard	0	Kartezjański	3.498	-4.020	0.000	
9	Standard	0	Kartezjański	6.000	-4.020	0.000	
10	Standard	0	Kartezjański	0.000	-6.000	4.000	
11	Standard	0	Kartezjański	7.000	-0.045	-3.732	

Rysunek 11.118: Tabela bez pustych wierszy

## 11.5.4 Ustawienia tabeli

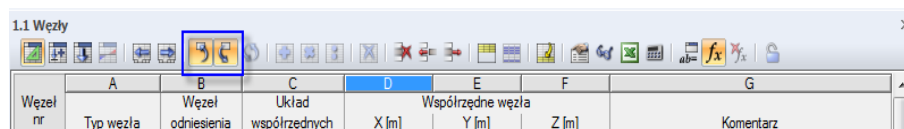
Ustawienia koloru i czcionki używane w tabelach mogą być dostosowane indywidualnie. Oprócz tego możliwe jest zsynchronizowanie wyboru w grafice z wyborem w tabeli.

### Dostęp do ustawień tabeli

Aby uzyskać dostęp do opcji ustawień,

należy wybrać opcję **Ustawienia** w menu **Tabela**.

Aby włączyć lub wyłączyć synchronizację wyboru, można również wykorzystać przyciski z paska narzędzi tabeli.

Wzł nr	A	B	C	Współrzędne węzła			G
	Typ węzła	Wzł odniesienia	Układ współrzędnych	X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	Standard	0	Kartezjański	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	0	Kartezjański	7.000	0.000	0.000	
3	Standard	0	Kartezjański	7.000	-6.000	0.000	
4	Standard	0	Kartezjański	0.000	-6.000	0.000	
5	Standard	0	Kartezjański	10.000	-3.000	0.000	
6	Standard	0	Kartezjański	6.000	-5.000	0.000	
7	Standard	0	Kartezjański	3.498	-5.000	0.000	
8	Standard	0	Kartezjański	3.498	-4.020	0.000	
9	Standard	0	Kartezjański	6.000	-4.020	0.000	
10	Standard	0	Kartezjański	0.000	-6.000	4.000	
11	Standard	0	Kartezjański	7.000	-0.045	-3.732	

Rysunek 11.119: Przyciski Synchronizacja wyboru

## Funkcje



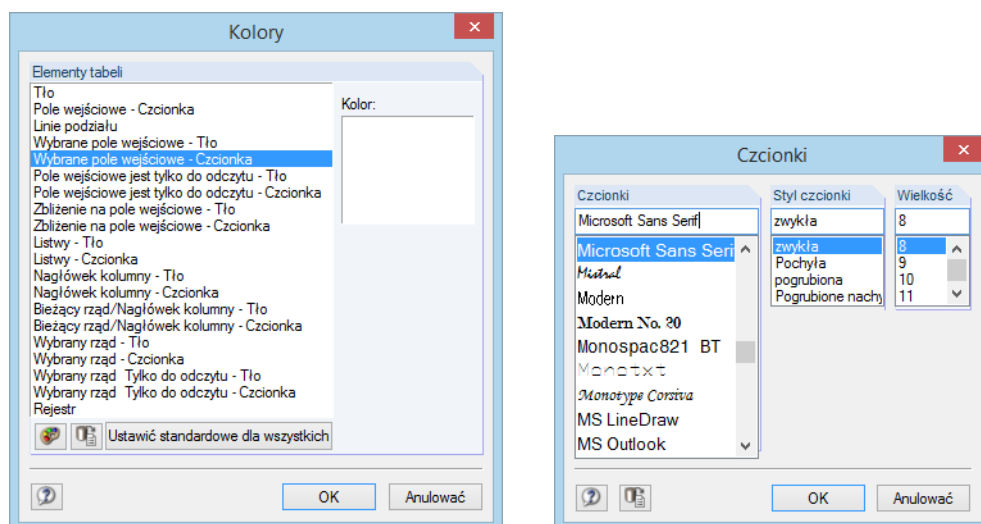
Funkcja	Opis
Kolory	Otwiera okno dialogowe <i>Kolory</i> (Rysunek 11.120). Kolory poszczególnych obiektów tabeli można dostosowywać oddzielnie.
Czcionki	Otwiera okno dialogowe <i>Czcionki</i> (Rysunek 11.120). Typ czcionki, styl i wielkość czcionki mogą być zmienione globalnie dla wszystkich obiektów tabeli.
Wybrać bieżący obiekt na rysunku 	Funkcja ta jest domyślnie aktywna. Obiekt w wierszu tabeli, w którym umieszczony jest wskaźnik, jest zaznaczany także w oknie roboczym.
Pokazać wybrane obiekty w tabelach 	Funkcja ta jest domyślnie aktywna. Obiekty wybrane w oknie roboczym są oznaczone kolorami również w tabeli.

Tabela 11.11: Ustawienia tabeli

Rysunek 11.120: Okna dialogowe *Kolory* i *Czcionki*

### 11.5.5 Funkcje filtrowania

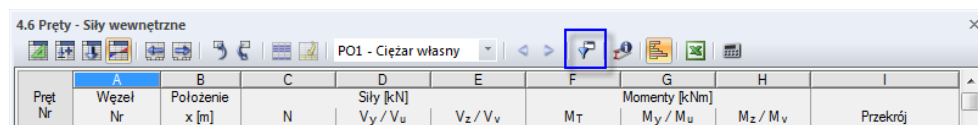
Różne funkcje filtrowania pozwalają w specjalny sposób oceniać siły wewnętrzne, siły kontaktowe i odkształcenia w tabelach wyników prętów. Ponadto opcje filtrowania są dostępne dla sił węzłowych oraz liniowych sił podporowych kombinacji wyników (zobacz rozdział 8.1 na stronie 308 oraz rozdział 8.3 na stronie 314).

#### Dostęp do funkcji filtrowania

Aby uzyskać dostęp do funkcji filtrowania,

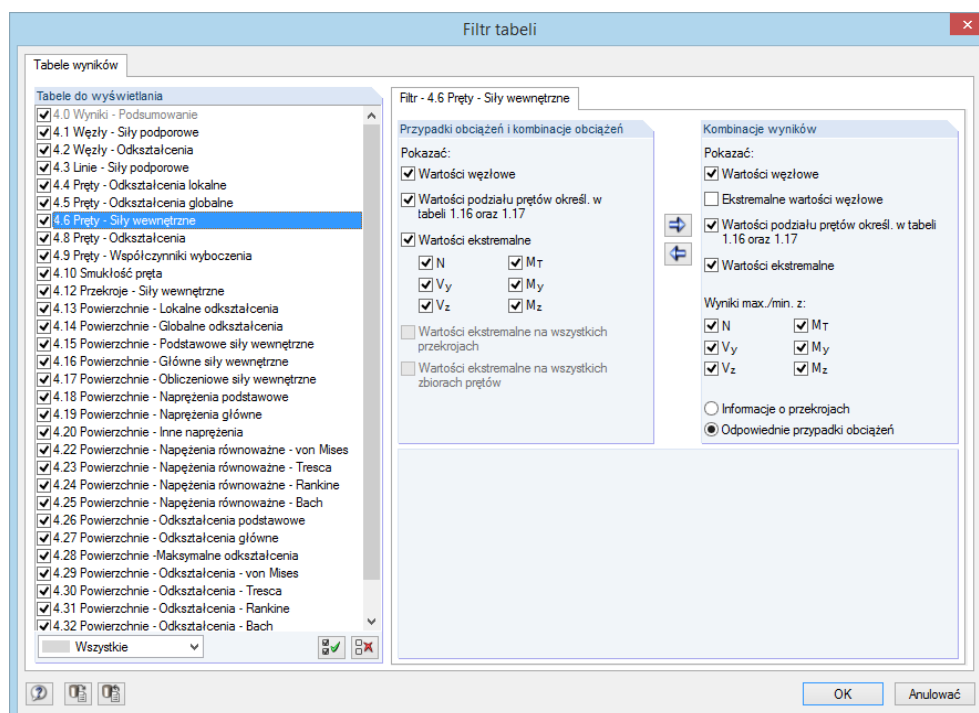
należy wybrać opcję **Widok** w menu **Tabela** i kliknąć przycisk **Filtr wyników**,

lub użyć przycisku z paska narzędzi tabeli pokazanego na lewym marginesie tej strony.

Rysunek 11.121: Przycisk *Filtr wyników*



Pojawi się następujące okno dialogowe:



Rysunek 11.122: Okno dialogowe *Filtr tabeli*

Odpowiednią tabelę wyników wybiera się w sekcji okna dialogowego *Tabele do wyświetlenia*. Następnie, za pomocą zakładki okna znajdującej się po prawo określa się, które wartości pojawią się w postaci numerycznej.

Gdy ustawiona jest tabela dla sił wewnętrznych prętów, można zdefiniować osobno dla *Przypadków obciążenia* oraz *Kombinacji obciążeń* i *Kombinacji wyników*, czy *Wartości węzłowe* (początek pręta i koniec pręta), *Wartości podziału prętów* (punkty pośrednie zdefiniowanego przez użytkownika podziału pręta, zobacz rozdział 4.16) oraz *Wartości ekstremalne* prętów będą przedstawiane w tabeli. Należy zaznaczyć co najmniej jedno z sześciu pól wyboru dla sił wewnętrznych. Wybrane siły wewnętrzne są wyświetlane w położeniu wartości wyników, które są aktywowane przez znak wyboru powyżej.

Dwie wartości wyników pojawiają się w każdym miejscu dla kombinacji wyników – minimalne i maksymalne siły wewnętrzne z odpowiednimi siłami wewnętrznymi.

Za pomocą przycisków pokazanych na lewym marginesie tej strony można przenieść kryteria filtrowania z jednej sekcji okna dialogowego do drugiej.



### Przykład

Podział pręta przy użyciu dwóch punktów pośrednich został zdefiniowany dla pręta 11, który ma długość 6,70 m. Ustawienia filtra dla kombinacji wyników pokazanych na Rysunek 11.122 prowadzą do wyświetlenia poniższej tabeli wyników *4.6 Pręty – Siły wewnętrzne*.

4.6 Pręty - Siły wewnętrzne

KO7 - 1.35\*PO1 + 1.05

Pręt nr	Węzeł nr	Polożenie x [m]	Siły [kN]			Momenty [kNm]			Przekrój
			N	$V_y / V_u$	$V_z / V_v$	$M_T$	$M_y / M_u$	$M_z / M_v$	
5	15	0.000	-5.65	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	3 - HE A 300 ; DIN
	16	6.059	-4.64	0.00	-3.59	0.00	0.00	0.00	
	Max N	6.059	-4.64	0.00	-3.59	0.00	0.00	0.00	
	Min N	0.000	-5.65	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	
	Max $V_y$	6.059	-4.64	0.00	-3.59	0.00	0.00	0.00	
	Min $V_y$	0.000	-5.65	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	
	Max $V_z$	0.000	-5.65	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	
	Min $V_z$	6.059	-4.64	0.00	-3.59	0.00	0.00	0.00	
	Max $M_T$	0.000	-5.65	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	
	Min $M_T$	2.796	-5.19	0.00	0.28	0.00	5.41	0.00	
	Max $M_y$	2.796	-5.19	0.00	0.28	0.00	5.41	0.00	
	Min $M_y$	0.000	-5.65	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	
	Max $M_z$	3.263	-5.11	0.00	-0.28	0.00	5.41	0.00	
Min $M_z$	0.000	-5.65	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00		
6	2	0.000	-29.37	9.91	-22.75	-0.04	45.99	31.96	3 - HE A 300 ; DIN
		0.000	-29.37	10.06	-22.75	-0.04	45.99	31.96	
		0.343	-28.94	9.65	-22.09	-0.02	38.29	28.58	

Pręty - Odkształcenia lokalne | Pręty - Odkształcenia globalne | Pręty - Siły wewnętrzne | Pręty - Odkształcenia

Rysunek 11.123: Wyniki filtrowane według wartości węzłowych, punktów podziału i wartości ekstremalnych  $M_y$ 

Kolumna H tabeli pokazuje przy użyciu pogrubienia maksymalne i minimalne momenty zginające  $M_y$  na węzłach i w punktach podziału, jak również miejsca bezwzględnych wartości ekstremalnych. Miejsca te pojawiają się zapisane dużą literą początkową jako *Max  $M_y$*  i *Min  $M_y$* , na końcu listy (zobacz oznaczone komórki na powyższym rysunku). Wartości w pozostałych kolumnach stanowią odpowiednie siły wewnętrzne odpowiednich wartości maksymalnych i minimalnych.

### 11.5.6 Import i eksport tabel

Tabela z aplikacji MS Excel lub Open Office.org Calc może zostać zaimportowana bezpośrednio do aktualnej tabeli danych programu RFEM. Odpowiedni z powyższych programów musi być otwarty. Możliwy jest również eksport aktualnej tabeli programu RFEM w części lub w całości do aplikacji Excel lub Open Office.org Calc.

#### Dostęp do funkcji importu i eksportu

Aby zastosować funkcję importu lub eksportu, należy kliknąć przycisk [Eksport/Import tabeli] w pasku narzędzi tabeli.

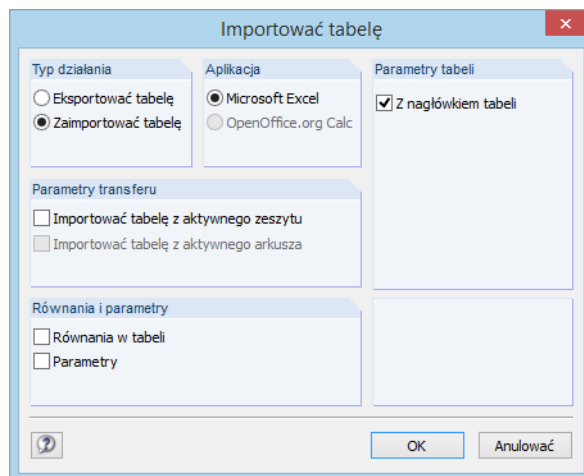


1.1 Węzły

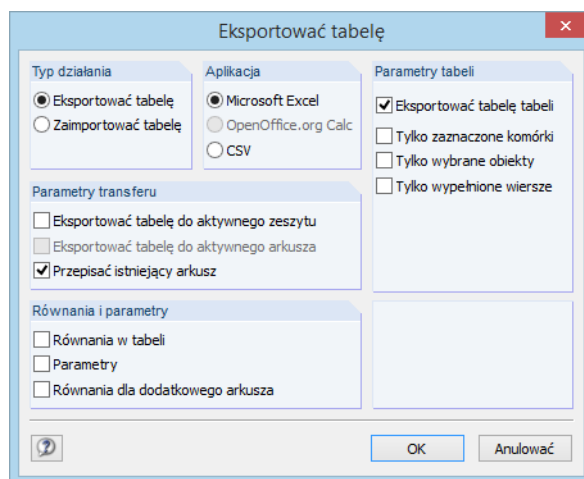
Węzeł nr	A	B	C	Współrzędne węzła			Komentarz
	Typ węzła	Węzeł odniesienia	Układ współrzędnych	X [m]	Y [m]	Z [m]	

Rysunek 11.124: Przycisk *Eksport/Import tabeli* w pasku narzędzi tabeli

Przy użyciu tego przycisku można otworzyć okno dialogowe *Eksportować tabelę* oraz *Importować tabelę*.



Rysunek 11.125: Okno dialogowe *Importować tabelę*



Rysunek 11.126: Okno dialogowe *Eksportować tabelę*

## Import tabeli

Skoroszyt z aplikacji MS Excel lub OpenOffice musi być otwarty przed rozpoczęciem importu. Jeśli w arkuszach istnieją nagłówki, należy zaznaczyć pole wyboru *Z nagłówkiem tabeli*. W przeciwnym wypadku nagłówki będą ignorowane podczas importu. Tylko listy zostaną zaimportowane do tabel programu RFEM.

W sekcji okna dialogowego *Aplikacja* można wybrać pomiędzy arkuszem kalkulacyjnym aplikacji Microsoft Excel a OpenOffice.org Calc.

Sekcja okna dialogowego *Parametry transferu* określa, czy zostanie zaimportowany aktywny skoroszyt czy tylko aktywne arkusze. Podczas importu kompletnego skoroszytu, układ i struktura arkuszy musi być całkowicie zgodna z tabelami programu RFEM.

W sekcji okna dialogowego *Równania i Parametry* można zdecydować, czy równania zapisane w programie Excel lub OpenOffice zostaną zaimportowane również przy wymianie danych.

Kliknięcie przycisku [OK] rozpoczyna import.

Aby zaimportować tylko poszczególne części arkusza, polecana jest funkcja kopiowania. W tym celu należy wybrać odpowiedni obszar w tabeli programu Excel i skopiować go do



schowka za pomocą funkcji [Ctrl] + [C]. Następnie należy umieścić kursor w odpowiedniej komórce tabeli programu RFEM i wstawić zawartość schowka wciskając klawisze [Ctrl]+[V].

## Eksport tabeli

Eksport tabel programu RFEM nie wymaga uruchomienia aplikacji MS Excel lub Open Office.org Calc.

W sekcji okna dialogowego *Aplikacja* dostępne są do wyboru programy arkuszy kalkulacyjnych MS Excel i OpenOffice.org Calc. Ponadto możliwe jest utworzenie pliku ogólnego arkusza CSV (zobacz rozdział 4.13 na stronie 138).

W sekcji okna dialogowego *Parametry tabeli* należy określić, czy nagłówki również zostaną wyimportowane. Jeśli pole wyboru *Eksportuj nagłówki tabeli* zostanie zaznaczone wynik w aplikacji Excel wygląda jak poniżej:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Węzeł		Węzeł	Układ	Współrzędne węzła			
2	nr	Typ węzła	odniesienia	współrzędnych	X [m]	Y [m]	Z [m]	Komentarz
3	1	Standard	0	Kartezjański	0,000	0,000	0,000	
4	2	Standard	0	Kartezjański	7,000	0,000	0,000	
5	3	Standard	0	Kartezjański	7,000	-6,000	0,000	
6	4	Standard	0	Kartezjański	0,000	-6,000	0,000	
7	5	Standard	0	Kartezjański	10,000	-3,000	0,000	
8	6	Standard	0	Kartezjański	6,000	-5,000	0,000	
9	7	Standard	0	Kartezjański	3,498	-5,000	0,000	
10	8	Standard	0	Kartezjański	3,498	-4,020	0,000	
11	9	Standard	0	Kartezjański	6,000	-4,020	0,000	
12	10	Standard	0	Kartezjański	0,000	-6,000	4,000	
13	11	Standard	0	Kartezjański	7,000	-0,045	-3,732	
14	12	Standard	0	Kartezjański	0,000	-0,045	-3,732	
15	13	Standard	0	Kartezjański	7,000	-6,000	-3,000	
16	14	Standard	0	Kartezjański	0,000	-6,000	-3,000	
17	15	Standard	0	Kartezjański	7,000	0,000	4,000	
18	16	Standard	0	Kartezjański	0,000	0,000	4,000	

Rysunek 11.127: Tabela Excel z wyeksportowanymi nagłówkami

Wyczyszczenie tego pola wyboru powoduje, że tylko zawartość tabeli zostanie przeniesiona do aplikacji Excel.

Przy użyciu opcji *Tylko zaznaczone komórki* można wyeksportować wybrane elementy tabeli (zobacz rozdział 11.5.2 na stronie 515).

Przy użyciu pola wyboru *Tylko wybrane obiekty* można wyeksportować dane lub wyniki z wybranych wierszy. Wybór jest łatwiejszy dzięki synchronizacji wyboru pomiędzy grafiką a tabelą (zobacz rozdział 11.5.4 na stronie 519).

Opcja *Tylko wypełnione wiersze* kontroluje sposób, w jaki traktowane są puste wiersze podczas eksportu.

W sekcji okna dialogowego *Parametry transferu* można zdefiniować tabele docelowe, w których zostaną zapisane dane. Gdy pierwsze pole wyboru zostanie zaznaczone, program RFEM utworzy nowy skoroszyt. Przy użyciu opcji *Eksportować tabelę do aktywnego arkusza* można wykorzystać bieżący arkusz roboczy z arkusza kalkulacyjnego. Jeżeli pole wyboru *Przepisać istniejący arkusz* zostanie zaznaczone, program RFEM przeszuka skoroszyt, aby odnaleźć tabelę o tej samej nazwie, jak w programie RFEM oraz następnie ją nadpisze.

Za pomocą pól wyboru w sekcji okna dialogowego *Równania i parametry* można zdecydować, czy i w jaki sposób równania zapisane w programie RFEM zostaną wyeksportowane.

Aby rozpocząć eksport aktualnej tabeli programu RFEM należy kliknąć przycisk [OK].



Aby przesłać kilka tabel na raz do programu Excel lub OpenOffice.org Calc, zaleca się wybrać polecenie **Eksportować** w menu **Plik** (zobacz rozdział 12.5.2 na stronie 607). W kolejnym oknie dialogowym można wybrać tabele do eksportu.

## 11.6 Wprowadzanie parametryczne

### 11.6.1 Koncepcja ogólna

Wprowadzanie parametryczne dla danych modelu i obciążeń wykorzystuje zmienne (na przykład długość, szerokość, obciążenia ruchem itd.), które nazywane są "parametrami" i przechowywane na **Liście parametrów**.

Parametry te mogą być stosowane w równaniach do określenia wartości numerycznej. Równania są edytowane w **Edytorze równań**. Jeżeli parametr zostanie zmodyfikowany na liście parametrów, wyniki wszystkich równań, które go zawierają, również zostaną zmienione.

Wprowadzanie parametryczne jest przydatne w przypadku projektów, w których spodziewa się dokonywania wielu zmian. Zapisane równania zwiększają przejrzystość złożonych konstrukcji i łatwo je kontrolować. Wprowadzanie przy pomocy parametrów stosuje się podczas edycji powtarzających się konstrukcji, które posiadają podobne obliczenia. W takim przypadku wystarczy wybrać dany szablon i dostosować jego parametry.

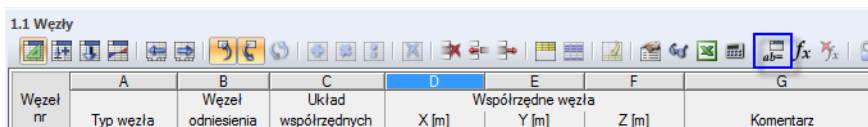
### 11.6.2 Lista parametrów

Lista parametrów zarządza wszystkimi parametrami wymaganymi podczas modelowania.

#### Dostęp do listy parametrów

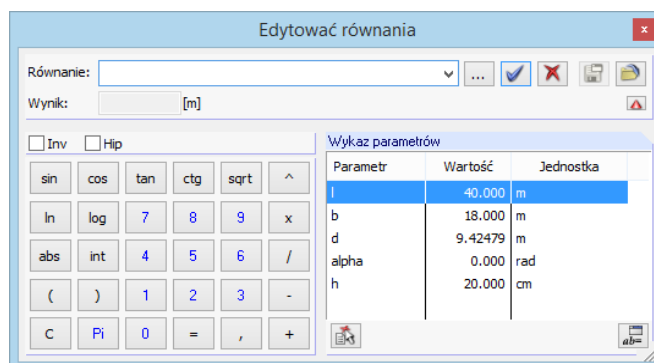
Aby uzyskać dostęp do listy parametrów, należy kliknąć przycisk [Edytować parametry]:

- w pasku narzędzi tabeli danych



Rysunek 11.128: Przycisk *Edytować parametry* w pasku narzędzi tabeli

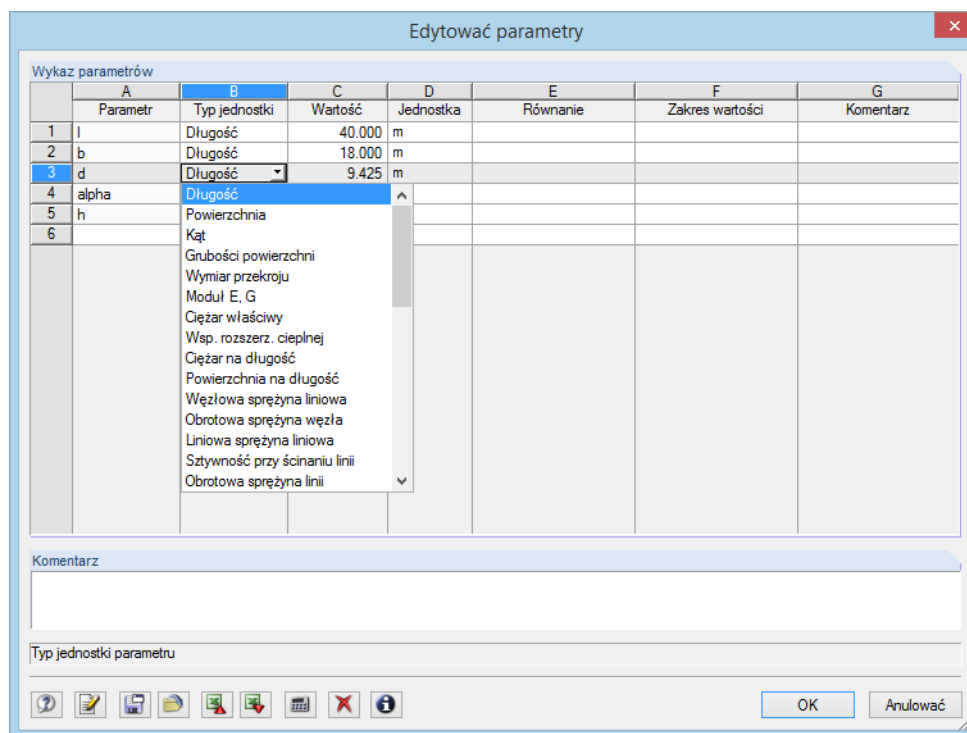
- w Edytorze równań.



Rysunek 11.129: Przycisk *Edytować parametry* w Edytorze równań

## Opis

Pojawi się okno dialogowe *Edytować parametry*.



Rysunek 11.130: Okno dialogowe *Edytować parametry*

Każdy wiersz tabeli zarządza jednym *Parametrem*. W kolumnie **A** należy wprowadzić nazwę utworzoną ze znaków ASCII. Nazwa ta nie może zawierać spacji. Opis jest związany z parametrem użytym w równaniu. Każda nazwa parametru może być przypisana tylko jeden raz.

W kolumnie **B** definiuje się *Typ jednostki* określający, czy parametr stanowi długość, obciążenie, gęstość itp. Typy jednostek są wstępnie zdefiniowane. Aby przejść do listy wyboru dostępnej w kolumnie, należy użyć przycisku kontekstowego [▼] lub klawisza klawiatury [F7].

W kolumnie **C** określa się *Wartość* liczbową parametru.

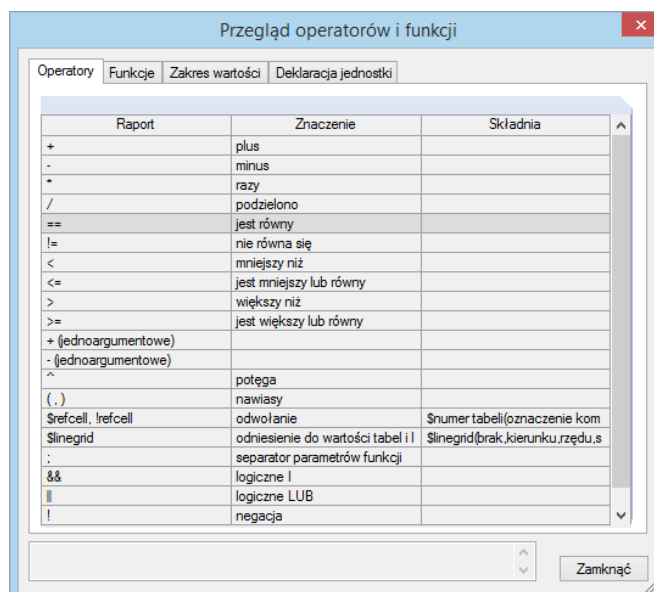
W kolumnie **D** tabeli określa się *Jednostkę*. Aby otworzyć listę wyboru jednostek dostępnych w tej kolumnie, należy użyć przycisku kontekstowego [▼] lub klawisza klawiatury [F7].

W kolumnie **E** wprowadza się *Równanie*, aby określić wartość parametru dla kolumny C tabeli. Oprócz typowych operacji matematycznych, dostępne są funkcje **JEŻELI-TO** oraz **max / min**. Przy użyciu odniesienia **\$** można odnieść się do konkretnej tabeli (na przykład **\$1.1(A1)** używa wartości komórki A1 z tabeli 1.1).

### Przykłady

- jeżeli(A<B;10;B)** Jeżeli parametr A jest mniejszy niż parametr B, stosowana jest wartość 10. W przeciwnym razie zostanie wykorzystany parametr B.
- max(A;B)** Zastosowana zostanie większa wartość z obu parametrów A i B.
- min(max(A;B);C)** Określana jest większa wartość parametrów A i B, która będzie następnie porównana z wartością parametru C. Ostatecznie zastosowana zostanie najmniejsza wartość.

Za pomocą przycisku [...] w kolumnie E tabeli można uzyskać dostęp do *Listy operatorów i funkcji*.

Rysunek 11.131: Okno dialogowe *Lista operatorów i funkcji*

W kolumnie **F** tabeli można określić *Zakres wartości* służący do kontroli wartości kolumnie C.

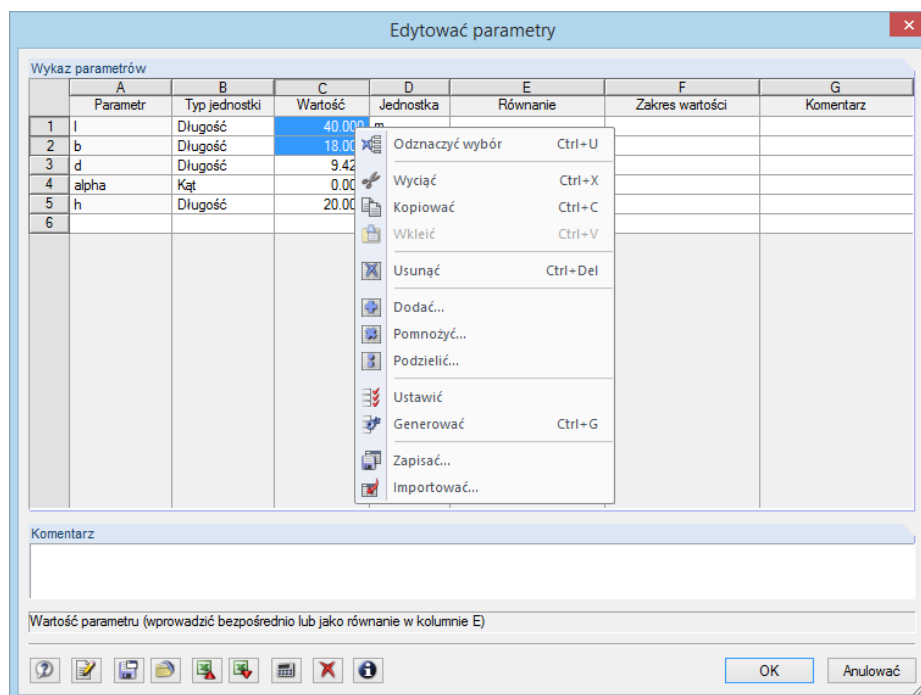
Kolumna **G** służy do wprowadzania dowolnych *Komentarzy*.

## Funkcje wprowadzania

Parametry mogą być wprowadzane kolejno w komórkach.

W menu kontekstowym dostępnych jest kilka narzędzi do efektywnego wprowadzania, które można otworzyć za pomocą kliknięcia prawym przyciskiem myszy. Funkcje edycyjne (wyczyść wiersz lub wstaw wiersz, zastąp itd.) są opisane w rozdziale 11.5.1 na stronie 513).

W przypadku wybrania kilku komórek, pojawi się następujące menu kontekstowe.



Rysunek 11.132: Menu kontekstowe dla wyboru na liście parametrów

Opis funkcji menu znajduje się w rozdziałach 11.5.1 i 11.5.2 na stronie 513.

## Przyciski

Oprócz domyślnych przycisków, na liście parametrów dostępne są następujące funkcje.








Przycisk	Opis
	Zapisuje listę parametrów w pliku
	Wczytuje zapisaną listę parametrów
	Eksportuje listę parametrów do MS Excel
	Importuje dane z otwartej tabeli programu Excel
	Otwiera kalkulator i importuje jego wynik
	Usuwa całą zawartość listy parametrów
	Pokazuje szczegóły przekrojów używanych w modelu

Tabela 11.12: Okno dialogowe *Edytować parametry*: Przyciski

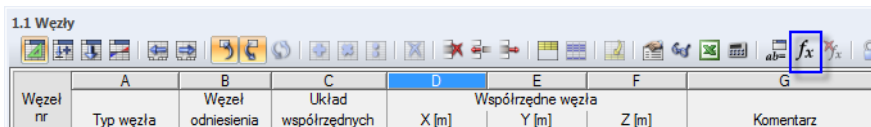
### 11.6.3 Edytor równań

Edytor równań zarządza równaniami wprowadzania parametrycznego.

#### Dostęp do edytora równań

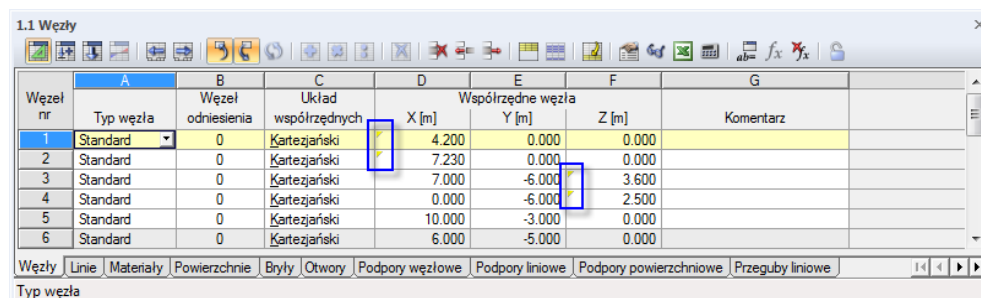
Aby otworzyć Edytor równań, należy

- użyć przycisku z paska narzędzi tabeli pokazanego na lewym marginesie tej strony,



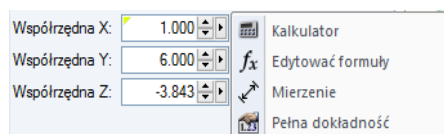
Rysunek 11.133: Przycisk *Edytować równania* w pasku narzędzi tabeli

- kliknąć żółty lub czerwony róg komórki tabeli (czerwony róg oznacza błąd w równaniu) lub



Rysunek 11.134: Zaznaczone rogi w tabeli 1.1 *Węzły*

- użyć przycisków funkcyjnych obok pól w oknach dialogowych (zobacz Rysunek 11.139).

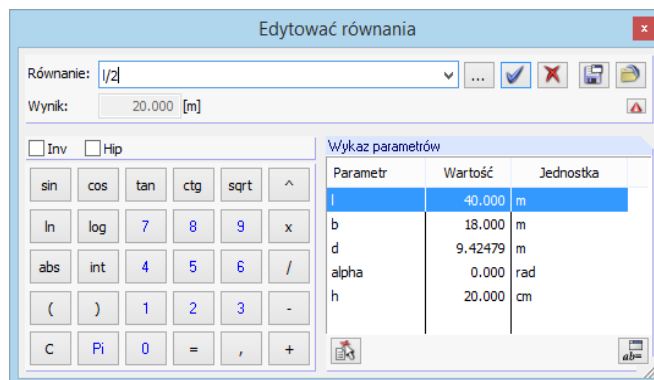


Rysunek 11.135: Przyciski funkcyjne z menu kontekstowym w oknie dialogowym *Edytować węzeł*



Możliwy jest również import równań zapisanych w aplikacji Excel oraz eksport równań z programu RFEM do aplikacji Excel. Więcej informacji na temat wymiany danych z programem Excel znajduje się w rozdziale 12.5.2 na stronie 607.

### Opis



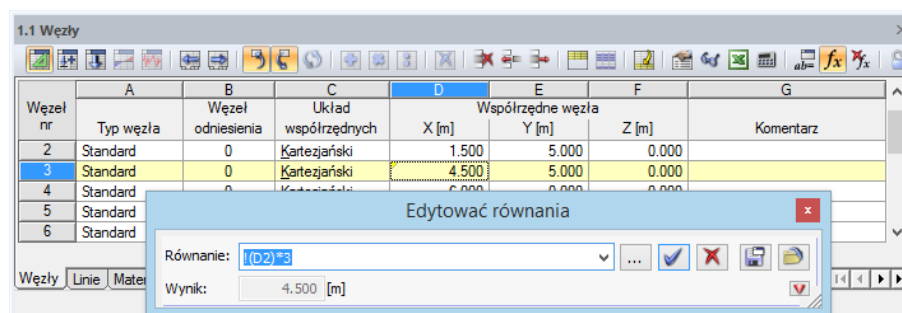
Rysunek 11.136: Okno dialogowe *Edytować równania*

W polu wprowadzania *Równanie*, można ręcznie wprowadzić dowolne równanie. W przypadku korzystania z kalkulatora, jego wyniki zostaną przeniesione automatycznie.

Równanie może zawierać stałe wartości numeryczne, parametry lub funkcje. Wynik równania pojawia się w polu poniżej. Przy użyciu przycisku [▼] na końcu linii *Równanie* można wybrać wpis z listy już wprowadzonych równań.

Kliknięcie przycisku [✓] pozwala zastosować równanie do komórki tabeli lub pola wprowadzania w oknie dialogowym. Wiersz równania usuwa się za pomocą przycisku [X].W przypadku błędnych wpisów, równania są wyświetlane w kolorze czerwonym.

Zawartość innych komórek może być stosowana w równaniach w postaci odniesienia.



Rysunek 11.137: Edytor równań z odniesieniem

Odniesienia oznaczane są przez wykrzyknik (!). Komórka odniesienia znajduje się w nawiasach. Jak pokazano na powyższym rysunku, zawartość komórki **D3** stanowi trzykrotność wartości komórki **D2**.

Poprzez dodanie znaku równości można również wprowadzać równania bezpośrednio w komórkach tabeli (na przykład  $=2,5*PI$ ). Jeśli stosowane są wartości (na przykład  $=22,1 + A*H$ ), pochodzą one z układu jednostek SI, posiadając [m] lub [N] w równaniu.

W kalkulatorze Edytora równań dostępne są następujące funkcje:














Funkcja	Opis
	Sinus
	Cosinus
	Tangens
	Cotangens
	Pierwiastek kwadratowy
	Potęga
	Logarytm naturalny
	Logarytm o podstawie 10
	Wartość bezwzględna
	Liczba całkowita, na przykład $int(5,638) = 5$
	Wyczyść linię równania
	Odwróć, na przykład $inv\ sqrt(5)$ oznacza $5^2$
	Funkcja hiperboliczna

Tabela 11.13: Funkcje kalkulatora



Sekcja okna dialogowego *Wykaz parametrów* w Edytorze równań zawiera wszystkie parametry z aktualnymi wartościami. Aby przenieść dany parametr do linii *Równanie*, należy dwukrotnie kliknąć jego wpis lub zaznaczyć ten wpis i użyć przycisku [Zastosować] pokazanego na lewym marginesie tej strony.



Kliknięcie przycisku [Edytować parametry] (zobacz rozdział 11.6.2 na stronie 525) pozwala otworzyć listę parametrów, na której można zmieniać lub uzupełniać parametry.

### Przyciski

Przyciski dostępne w Edytorze równań posiadają następujące funkcje:






Przycisk	Opis
	Stosuje równanie w komórce tabeli lub w polu okna dialogowego
	Usuwa wpis równania
	Zapisuje zawartość Edytora równań w postaci pliku
	Wczytuje zapisany plik
	Wyświetla lub ukrywa kalkulator oraz listę parametrów

Tabela 11.14: Okno dialogowe *Edytować równania*: Przyciski

## 11.6.4 Równania w tabelach i oknach dialogowych

Równania przechowywane w Edytorze równań mogą być użyte zarówno w komórkach tabel jak i w polach wprowadzania w oknach dialogowych. Ponieważ tabele i okna dialogowe są interaktywne, dostęp do równań jest zapewniony w obu trybach wprowadzania.

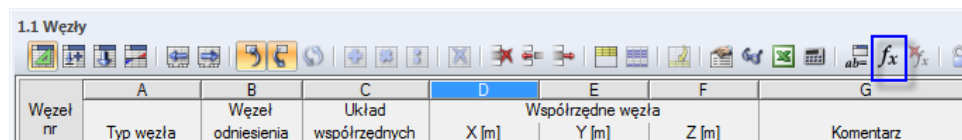
## Równania w tabelach

0.30

Gdy komórki są zaznaczone żółtą lub czerwoną flagą (trójkąt) w lewym górnym rogu, równanie zawiera odniesienie (zobacz Rysunek 11.134 na stronie 528). Kliknięcie flagi otwiera Edytor równań.

$f_x$

Aby utworzyć odniesienie do "normalnej" komórki przy użyciu równania, należy umieścić kursor w tej komórce i utworzyć Edytor równań za pomocą przycisku pokazanego na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 11.138: Przycisk *Edytować równania* w pasku narzędzi tabeli



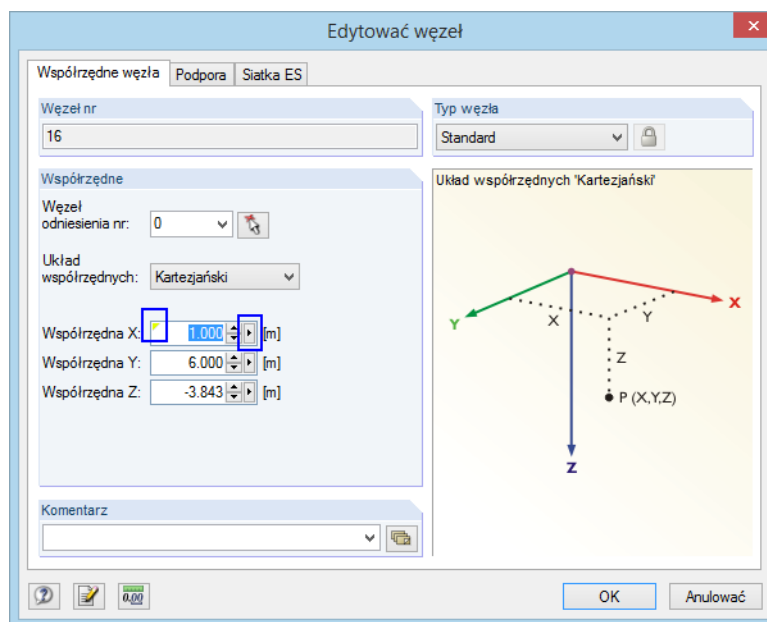
Czerwona flaga wskazuje błąd w definicji równania, odpowiadający linii równania zaznaczonej na czerwono w Edytorze równań. Zaleca się poprawienie błędnego równania.

## Równania w oknach dialogowych

Wprowadzanie parametryczne zostało opracowane przede wszystkim do stosowania w tabelach. Jednakże możliwe jest również zastosowanie go w oknach dialogowych równań.



Przycisk funkcyjny z prawej strony pól wprowadzania w oknach dialogowych wskazuje, czy mogą one być powiązane przy użyciu równań.



Rysunek 11.139: Okno dialogowe z powiązaniem równaniem i przyciskiem funkcyjnym

Gdy pole wprowadzania zostało już powiązane z równaniem, jest to oznaczone przez flagę, tak jak w przypadku komórek (żółtej lub czerwonej flagi w przypadku błędnych danych).



Kliknięcie klawisza funkcyjnego pozwala otworzyć menu kontekstowe pokazane na Rysunek 11.135 na stronie 528, gdzie można uzyskać dostęp do Edytora równań.

## 11.7 Generatory modelu

Program RFEM posiada wiele narzędzi pomagających tworzyć modele konstrukcji lub ich elementy. Oprócz funkcji kopiowania i wyciągania, program RFEM udostępnia specjalne okna dialogowe do generowania prętów i modeli powierzchniowych.

### 11.7.1 Kopiowanie i wyciąganie

#### 11.7.1.1 Równoległe odsunięcie linii i prętów

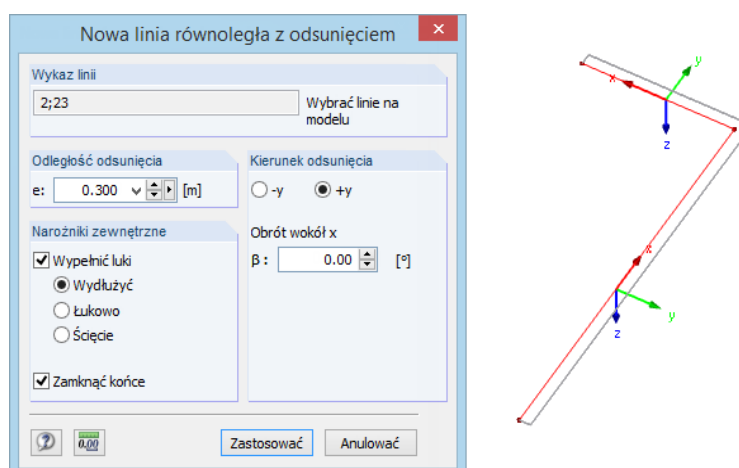
Kopiowanie wybranych linii lub prętów najłatwiej wykonuje się w sposób graficzny. W tym celu należy przesunąć obiekty na żądane miejsce w obszarze roboczym, przytrzymując wciśnięty klawisz [Ctrl]. Funkcja ta odpowiada ogólnym standardom dla aplikacji Windows.

Specyficzne ustawienia dla tworzenia równoległych linii lub prętów można wprowadzić w oknie dialogowym, które otwiera się przy pomocy polecenia

**Wstawić linię równoległą** w menu **Narzędzia** lub

**Wstawić pręt równoległy** w menu **Narzędzia**

lub skorzystać z menu kontekstowego linii lub pręta (zobacz Rysunek 11.149 na stronie 539).



Rysunek 11.140: Okno dialogowe *Nowa linia równoległa z odsunięciem*

Wybrana linia pojawi się w *Wykazie linii*. W razie potrzeby, linie mogą być dodawane poprzez kliknięcie ich w oknie roboczym. Należy pamiętać, że wszystkie linie znajdujące się w wykazie muszą leżeć w jednej płaszczyźnie.

W sekcji okna dialogowego *Odległość odsunięcia* można określić odległość kopii od oryginału.

Istnieje wiele możliwości kopiowania kilku linii przy użyciu przesunięcia równoległego. W sekcji okna dialogowego *Narożniki zewnętrzne* można dostosować kopiowane linie lub pręty. Powyższy rysunek przedstawia kopiowane linie (bez osi) przedłużone do wspólnego punktu przecięcia. Ponadto oba końce są połączone z oryginalnymi liniami, poprzez zaznaczenie pola wyboru *Zamknąć końce*.

Przy użyciu ustawień w sekcji okna dialogowego *Kierunek odsunięcia* można określić kierunek, w którym będą kopiowane linie. Kierunki *+y* i *-y* są bezpośrednio wyświetlane w oknie roboczym i odnoszą się jedynie do tego okna dialogowego, a więc nie zależą od aktualnie ustawionej płaszczyzny roboczej i nie muszą odzwierciedlać osi linii. Przy użyciu pola wprowadzania *Obrót wokół x* można skopiować obiekty poza płaszczyznę.

### 11.7.1.2 Wyciąganie linii i prętów

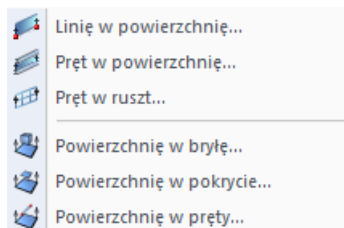
Przez wyciągnięcie linii i prętów można szybko utworzyć powierzchnie, rastry oraz ruszty. Jednakże, aby wygenerować nieregularny raster przy użyciu rozszerzonych parametrów, zaleca się wykorzystać okno dialogowe *Utworzyć raster* (zobacz rozdział 11.7.2 na stronie 543).

Aby uzyskać dostęp do funkcji wyciągania,

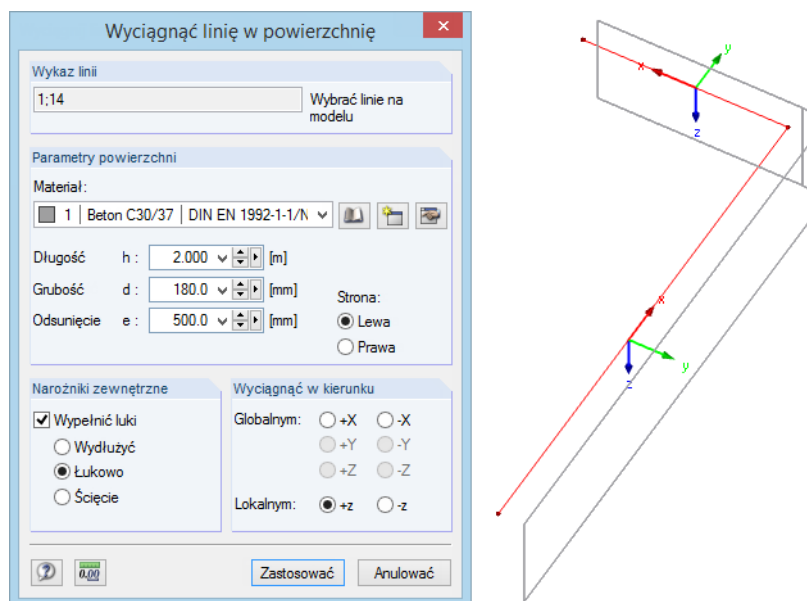
należy wybrać polecenie **Wyciągnąć** w menu **Narzędzia**.

W tym samym celu można także skorzystać z menu kontekstowego danej linii lub pręta.

#### Wyciągnąć: pręt/linia w powierzchnię



Menu Narzędzia → Wyciągnąć



Rysunek 11.141: Okno dialogowe *Wyciągnąć linię w powierzchnię*

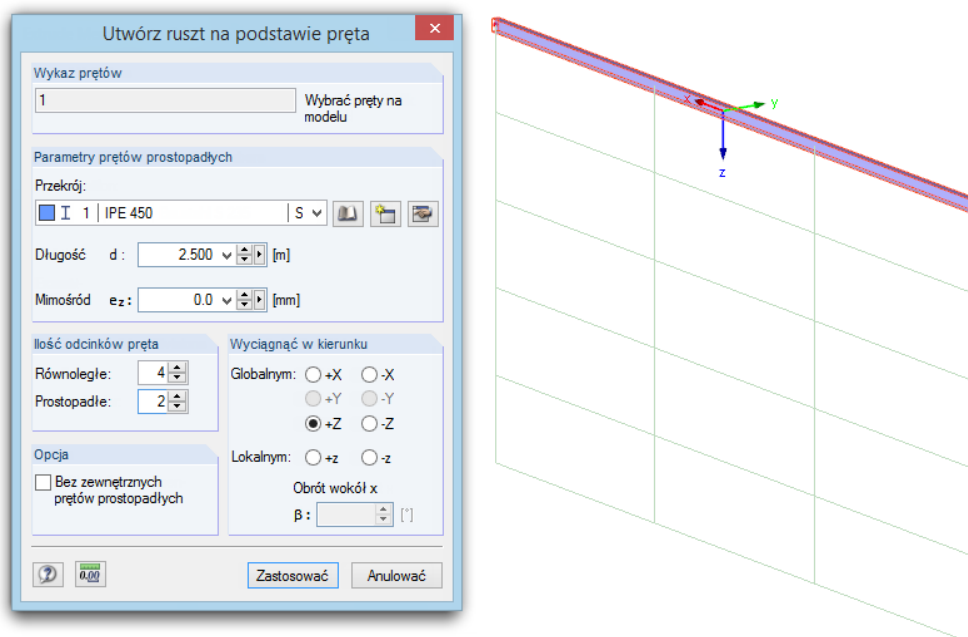
Wybrana linia pojawi się w *Wykazie linii*. Jeśli okaże się to konieczne, można dodać więcej linii, poprzez wybranie ich w oknie roboczym. Należy pamiętać, że wszystkie linie na liście muszą leżeć w jednej płaszczyźnie.

Następnie należy wprowadzić materiał, długość i wysokość nowej powierzchni jako *Parametry powierzchni*. Jeżeli definiowane jest *Odsunięcie*, należy także określić *Stronę*. Powierzchnia zostanie utworzona zgodnie z zadanym kierunkiem i odległością. Zmodyfikowane parametry przedstawiane są na bieżąco w grafice okna roboczego.

Podczas wyciągania kilku linii, w sekcji okna dialogowego *Narożniki zewnętrzne* oferowanych jest kilka możliwości dostosowania kopiowanych linii. Rysunek powyżej przedstawia linie (bez osi) wyciągane z odsunięciem połączone łukiem.

W sekcji okna dialogowego *Wyciągnąć w kierunku* definiuje się globalny lub lokalny kierunek wyciągania.

## Wyciągnąć: pręt w ruszt



Rysunek 11.142: Okno dialogowe *Wyciągnąć pręt w ruszt*

Wybrany pręt pojawia się w *Wykazie prętów*. W razie potrzeby można dodać inne pręty poprzez kliknięcie ich w oknie roboczym. Wszystkie pręty znajdujące się wykazie muszą leżeć w jednej płaszczyźnie.

W sekcji okna dialogowego *Parametry prętów prostopadłych* wprowadza się przekrój i wysokość prętów prostopadłych, jako wartości dla całkowitej wysokości rastru. Opcjonalnie można określić także mimośród w celu połączenia prętów przy użyciu połączenia mimośrodowego (zobacz rozdział 4.15 na stronie 146).

Ustawienia w sekcji okna dialogowego *Ilość odcinków pręta* kontroluje podział na jednolitą siatkę składającą się z prętów równoległych i prostopadłych. Ponadto użytkownik posiada *Opcję* pozwalającą kontynuować bez generowania zewnętrznych prętów pionowych.

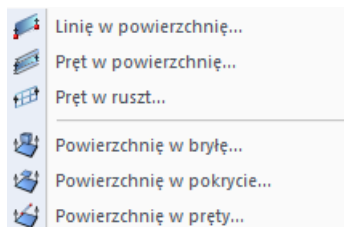
W sekcji okna dialogowego *Wyciągnij w kierunku* definiuje się globalny lub lokalny kierunek, w którym zostaną utworzone pręty rastru. Pole wprowadzania *Obrót wokół x* pozwala na kopiowanie obiektów poza płaszczyznę.

### 11.7.1.3 Wyciąganie powierzchni

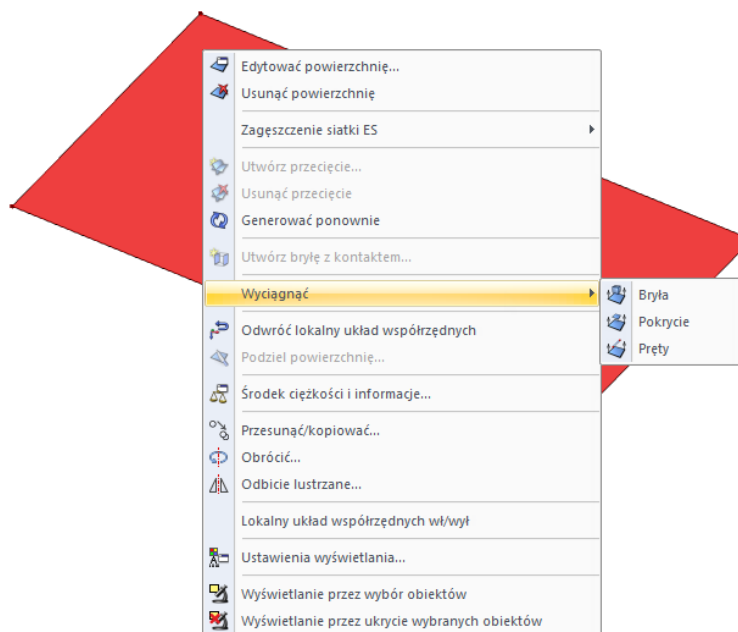
Wyciąganie powierzchni płaskich służy do szybkiego tworzenia obiektów przestrzennych.

Aby uzyskać dostęp do odpowiednich funkcji, należy wybrać polecenie **Wyciągnąć** w menu **Narzędzia**.

W tym samym celu można także skorzystać z menu kontekstowego odpowiedniej powierzchni.



Menu Narzędzia → *Wyciągnij*

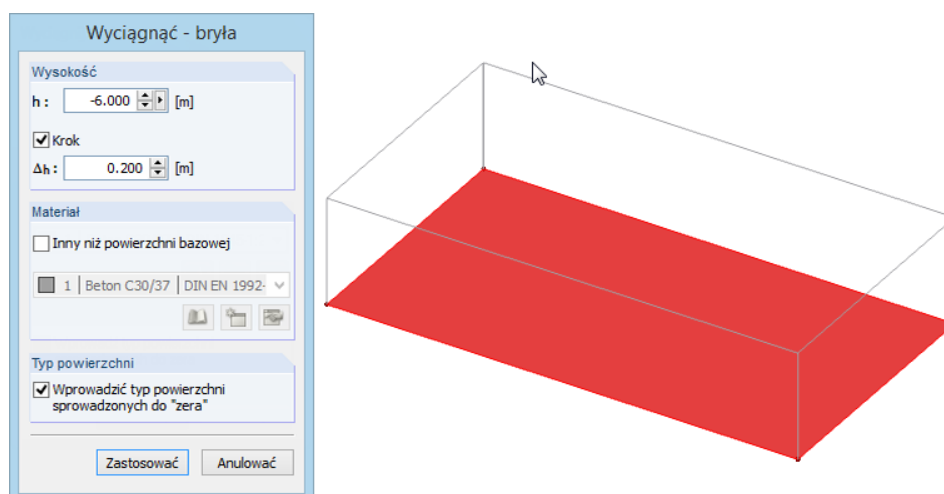


Rysunek 11.143: Menu kontekstowe powierzchni

Aby utworzyć obiekty wyciągnięte przez przesunięcie równoległe powierzchni w przestrzeni roboczej, należy wybrać jedną z trzech opcji w menu kontekstowym.

- **Bryły:** Zostanie utworzona bryła 3D (zobacz rozdział 4.5 na stronie 91).
- **Pokrycie:** Zostaną wygenerowane tylko powierzchnie otaczające obiekt przestrzenny.
- **Pręty:** Pręty zostaną utworzone na liniach łączących pomiędzy węzłami a ich kopiami. Opcjonalnie zostanie również skopiowana powierzchnia podstawy.

W zależności od wyboru, pojawi się nowe okno dialogowe, w którym należy określić odpowiednie parametry. Wysokość  $d$  można wprowadzić bezpośrednio lub określić graficznie za pomocą myszy.



Rysunek 11.144: Okno dialogowe Wyciągnąć - bryła

### 11.7.1.4 Tworzenie brył

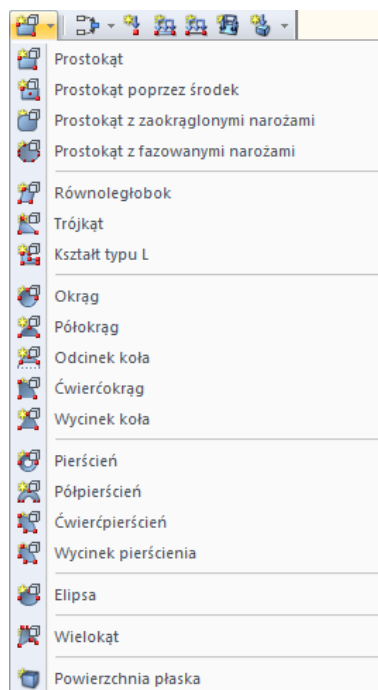
Poprzedni rozdział opisuje, w jaki sposób istniejące powierzchnie mogą być wykorzystywane do tworzenia brył lub pokryć. Jednakże, aby wygenerować zupełnie nową bryłę, program RFEM oferuje specjalne funkcje do tworzenia obiektów 3D. Na początku należy utworzyć powierzchnie (prostokąt z zaokrąglonymi narożami, półokrąg, itp.). Następnie należy wyciągnąć te powierzchnie w odniesieniu do punktu lub płaszczyzny.

#### Wyciągnięcie powierzchni w odniesieniu do płaszczyzny równoległej

Aby uzyskać dostęp do odpowiedniej funkcji,

należy wskazać opcję **Dane modelu** w menu **Wstawić**, a następnie wybrać polecenie **Bryły**, następnie **Graficznie** oraz **Przez pochYLENIE ścian**

lub użyć odpowiedniego przycisku listy z paska menu.



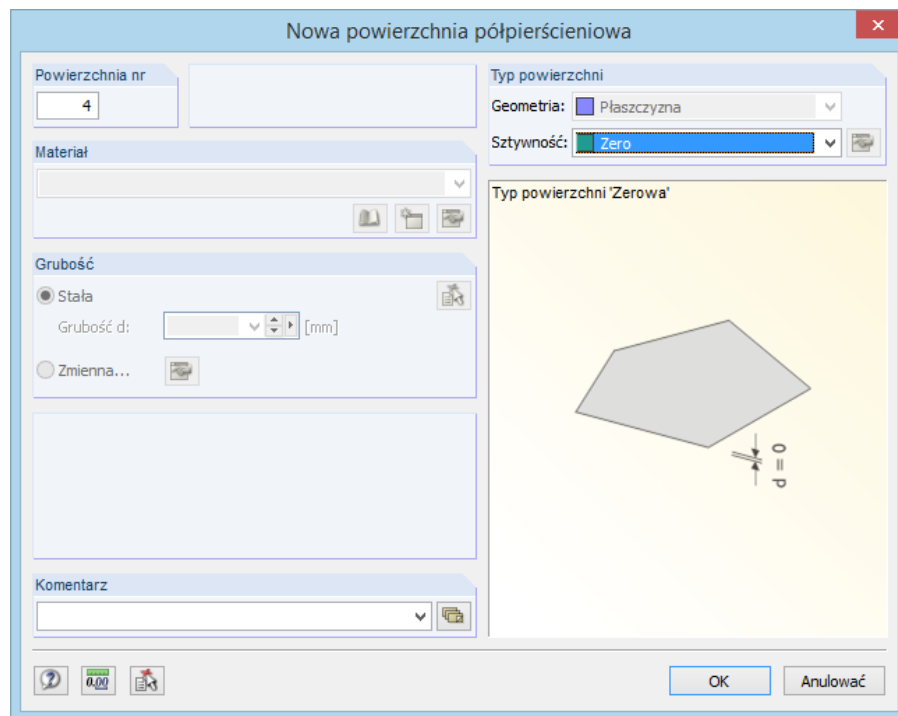
Rysunek 11.145: Przycisk listy *Nowa powierzchnia prostokątna*

Menu zawiera wiele kształtów powierzchni płaskich, które mogą być zdefiniowane graficznie, a następnie wyciągnięte równoległe do płaszczyzny powierzchni.

Zasada działania jest podobna do graficznego wprowadzania powierzchni (zobacz rozdział 4.4 na stronie 81). Na początku należy określić materiał i sztywność w oknie dialogowym.

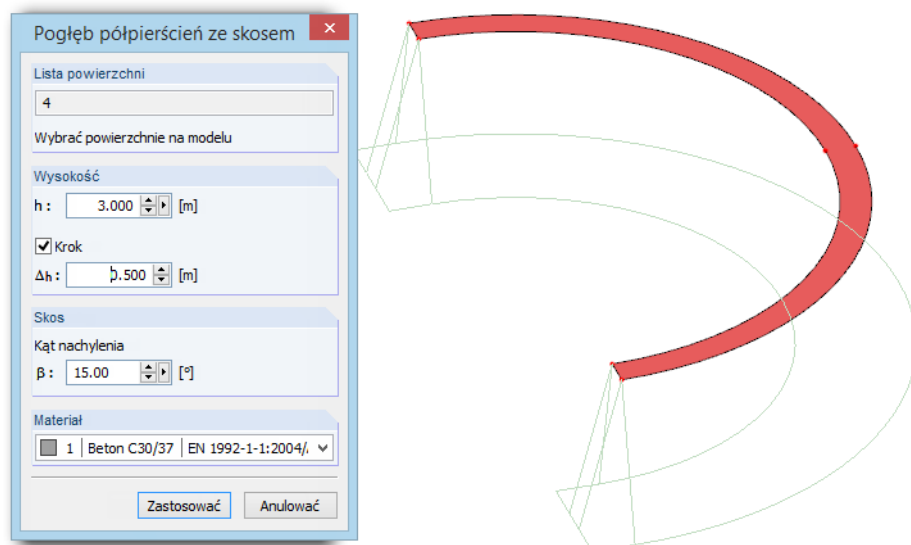
Następnie można utworzyć powierzchnie w oknie roboczym wybierając stosowne punkty.





Rysunek 11.146: Okno dialogowe *Nowa powierzchnia półpiersiowa* dla graficznego definiowania powierzchni

Gdy jest ustawiona powierzchnia bazowa, należy zdefiniować parametry do tworzenia bryły w oknie dialogowym.



Rysunek 11.147: Okno dialogowe *Powierzchnia półpiersiowa z pochylonymi ścianami*

*Wysokość d* można wprowadzać bezpośrednio lub określić graficznie za pomocą myszy. Kierunek rzutu posiada zawsze kąt prosty do płaszczyzny powierzchni podstawy.

Wprowadzając wartość w sekcji okna dialogowego *Skos* można utworzyć ściany równoległe lub pochylone. Kąt  $\beta$  opisuje nachylenie ścian do kierunku rzutu.

Ponadto należy określić *Materiał* nowej bryły.



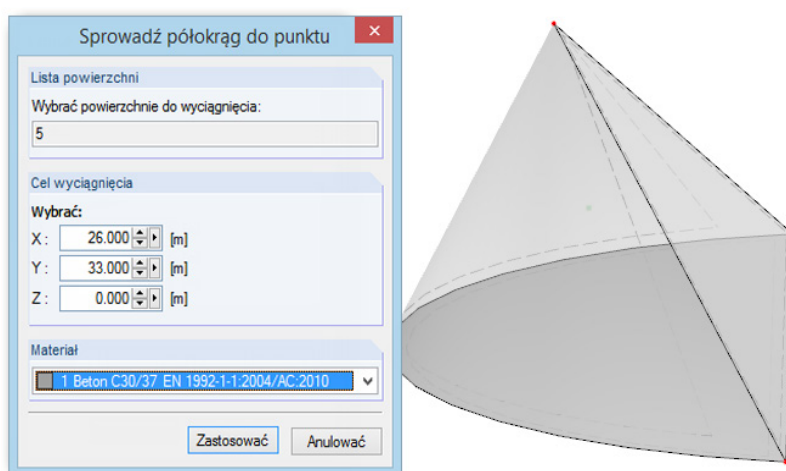
## Wyciąganie powierzchni w odniesieniu do wyznaczonego wierzchołka

Aby uzyskać dostęp do odpowiedniej funkcji,

należy wskazać opcję **Dane modelu** w menu **Wstawić**, wybrać **Bryły** oraz **Graficznie**, a następnie kliknąć polecenie **Do wierzchołka**

Menu zawiera wiele kształtów powierzchni płaskich, które mogą być zdefiniowane graficznie, a następnie wyciągnięte w odniesieniu do punktu.

Zasada działania jest podobna do wyciągania obiektów w odniesieniu płaszczyzny równoległej (zobacz powyżej). Na początku graficznie określa się pole podstawy. Następnie można wprowadzić punkt rzutu wyciągnięcia w oknie dialogowym *Wyciąganie*. Punkt ten można także zdefiniować graficznie.



Rysunek 11.148: Okno dialogowe *Wyciągnąć półokrąg do wierzchołka* z wynikiem użycia tej funkcji

### 11.7.1.5 Dzielenie prętów na powierzchnie

Czasem konieczna jest szczegółowa analiza poszczególnych stref modelu ramowego (np. do oceny podpór lub połączeń rami jako modelu powierzchni). Ręczne wprowadzanie przekroju za pomocą elementów powierzchniowych jest możliwe, lecz czasochłonne. Funkcja *Generować powierzchnie z pręta* pomaga przedstawić element prętowy 1D za pomocą elementów powierzchniowych 2D.



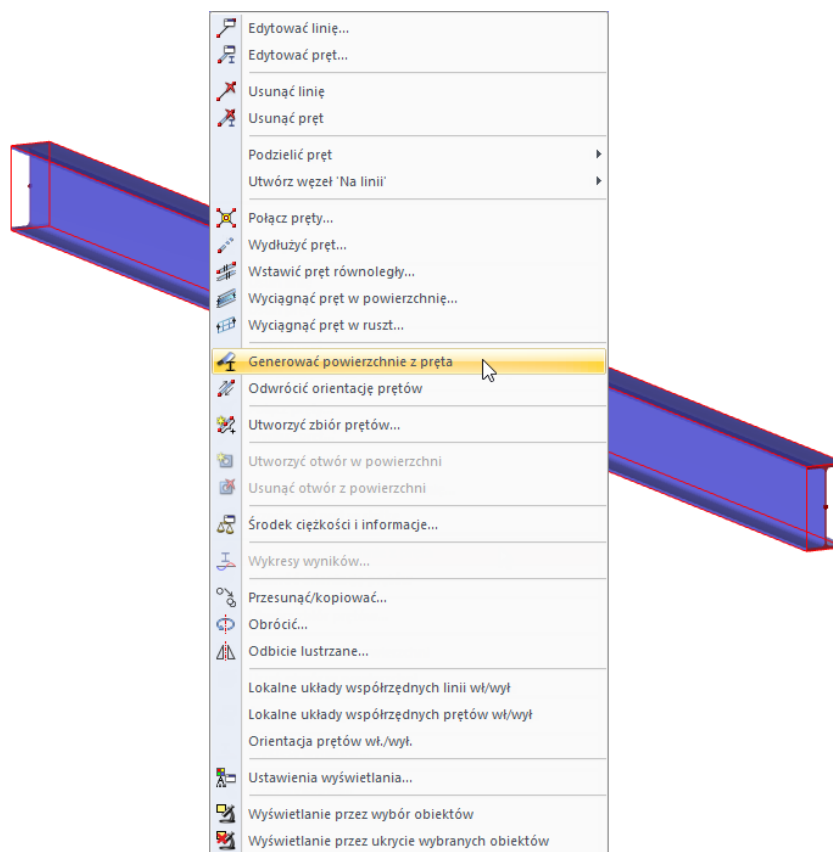
Funkcja ta jest dostępna tylko wtedy, gdy typ modelu został zdefiniowany jako 3D (zobacz Rysunek 12.23 na stronie 591).



Aby podzielić uprzednio wybrany pręt,

należy wskazać opcję **Generować powierzchnie z pręta** w menu **Narzędzia**, a następnie wybrać polecenie **Generować**.

Funkcja ta jest również dostępna w menu kontekstowym pręta. Kliknięcie elementu prawym przyciskiem myszy otwiera jego menu kontekstowe.

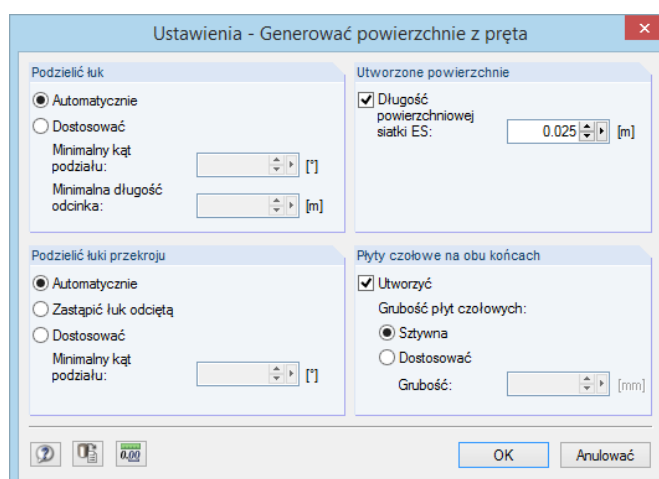


Rysunek 11.149: Menu kontekstowe pręta

Informacje o pręcie nie zostaną utracone. Oprócz powierzchni, w osi środka ciężkości zostanie utworzony pręt typu zerowy. Pręt ten zawiera wszystkie dane pręta, ale nie zostanie uwzględniony w obliczeniach.

Aby uzyskać więcej opcji dla funkcji *Generować powierzchnie z pręta*,

naależy wskazać opcję **Generować powierzchnie z pręta** w menu **Narzędzia**, a następnie wybrać polecenie **Ustawienia**.



Rysunek 11.150: Okno dialogowe Ustawienia - Generować powierzchnie z pręta

Przy użyciu sekcji okna dialogowego *Podzielić łuk* można kontrolować, ile razy zostanie podzielony pręt leżący na linii krzywej. Jeśli przy ustawieniu domyślnym *Automatycznie* tworzony jest łańcuch wielokątny o widocznych narożach, można dostosować podział i zmniejszyć *kąt podziału* lub *długość odcinka*.

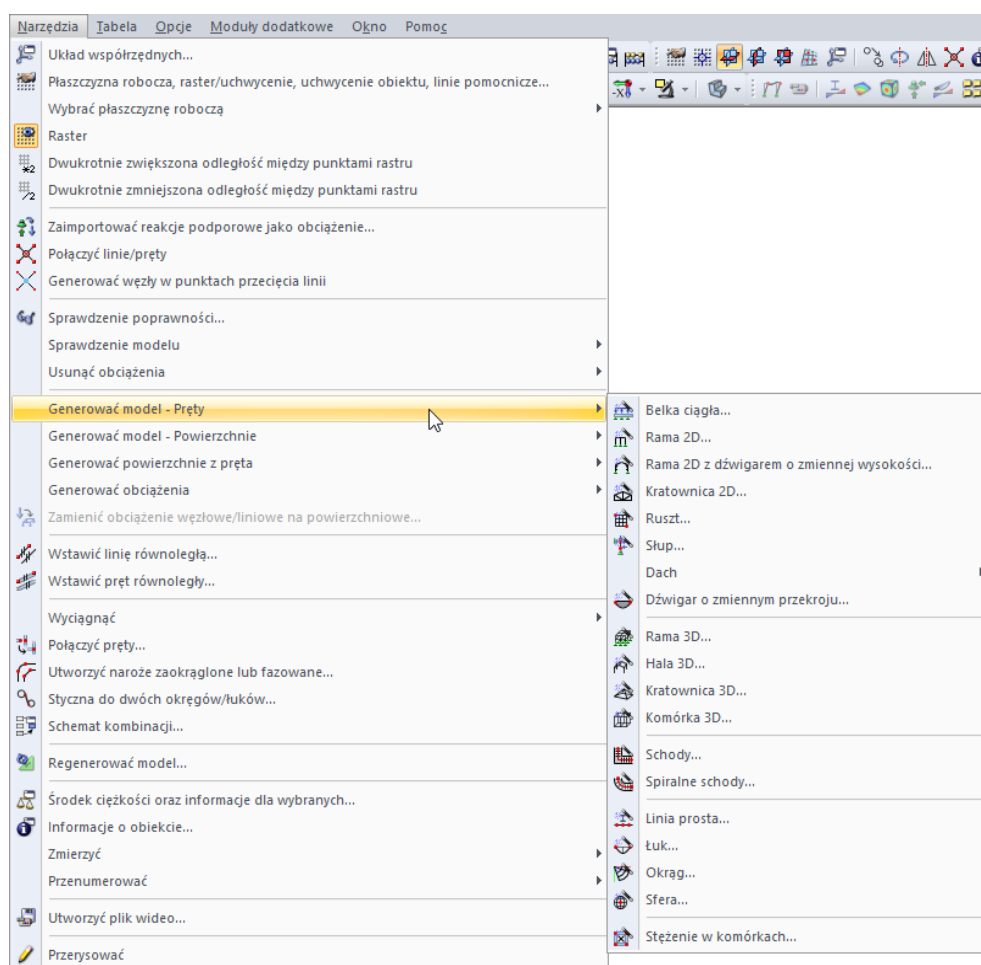
Ustawienia w sekcji okna dialogowego *Podzielić łuki przekroju* wpływają na podział zakrzywionych powierzchni, np. pręty o przekroju typu "Rura". Podział może być zagęszczony przy użyciu zdefiniowanego przez użytkownika *kąta podziału*.

W sekcji okna dialogowego *Utworzone powierzchnie* można zdefiniować zagęszczenie siatki ES dla generowanych powierzchni (zobacz rozdział 4.23 na stronie 182).

Podczas przekształcania na końcach prętów mogą być dodatkowo tworzone *Płyty czołowe*. Parametry utworzonych powierzchni mogą być później dostosowywane poprzez edycję powierzchni (zobacz rozdział 4.12 na stronie 121).

## 11.7.2 Generatory konstrukcji

Aby uzyskać dostęp do okna dialogowego do tworzenia obiektów konstrukcyjnych, należy wybrać polecenie **Generować model - Pręty** w menu **Narzędzia** lub **Generować model - Powierzchnie** w menu **Narzędzia**.



Rysunek 11.151: Menu *Narzędzia* → *Generować model – Pręty lub powierzchnie*

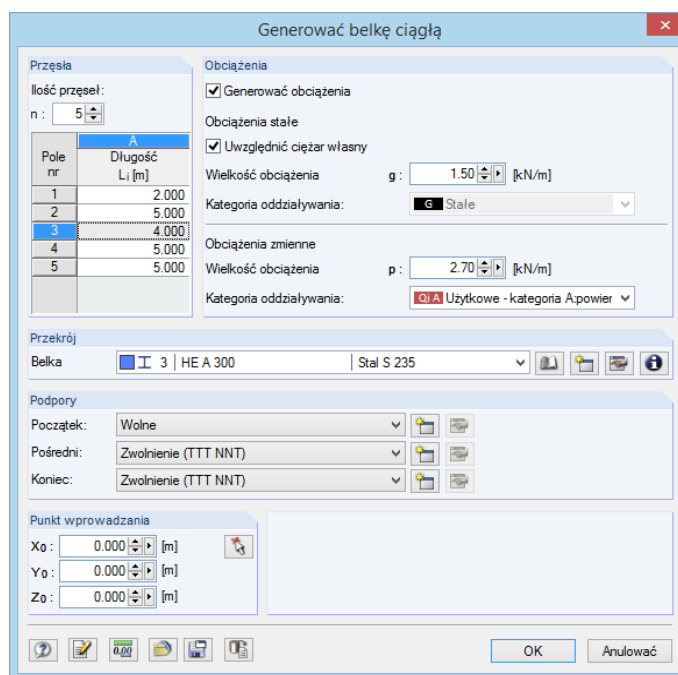
Ogólny opis funkcji znajduje się w dalszej części instrukcji.

Każdy wpis w oknie dialogowym można zapisać jako szablon i wykorzystać ponownie później. Przyciski widoczne po lewej stronie służą do zapisywania i wczytywania danych generatora.



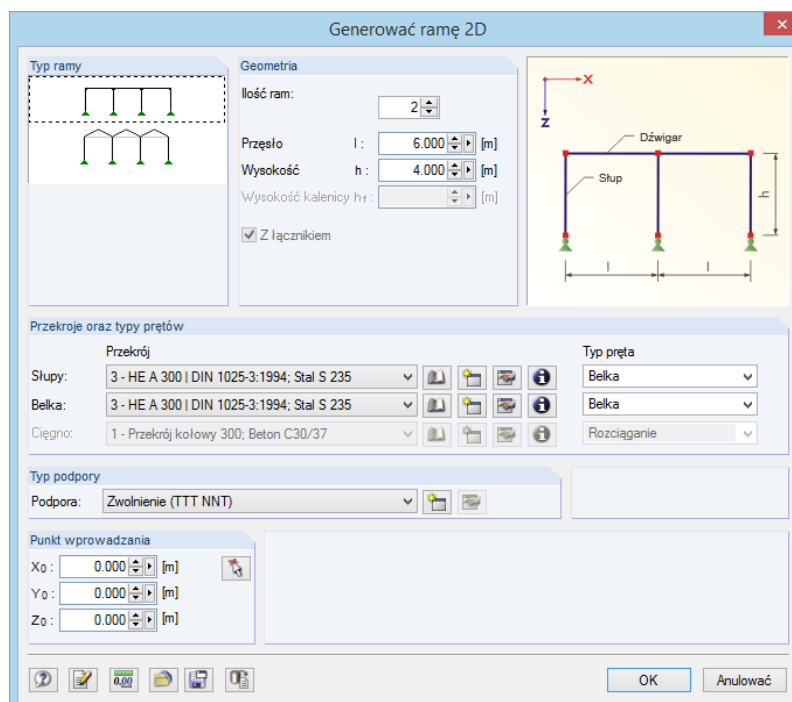
## 11.7.2.1 Pręty

## Belka ciągła

Rysunek 11.152: Okno dialogowe *Generować belkę ciągłą*

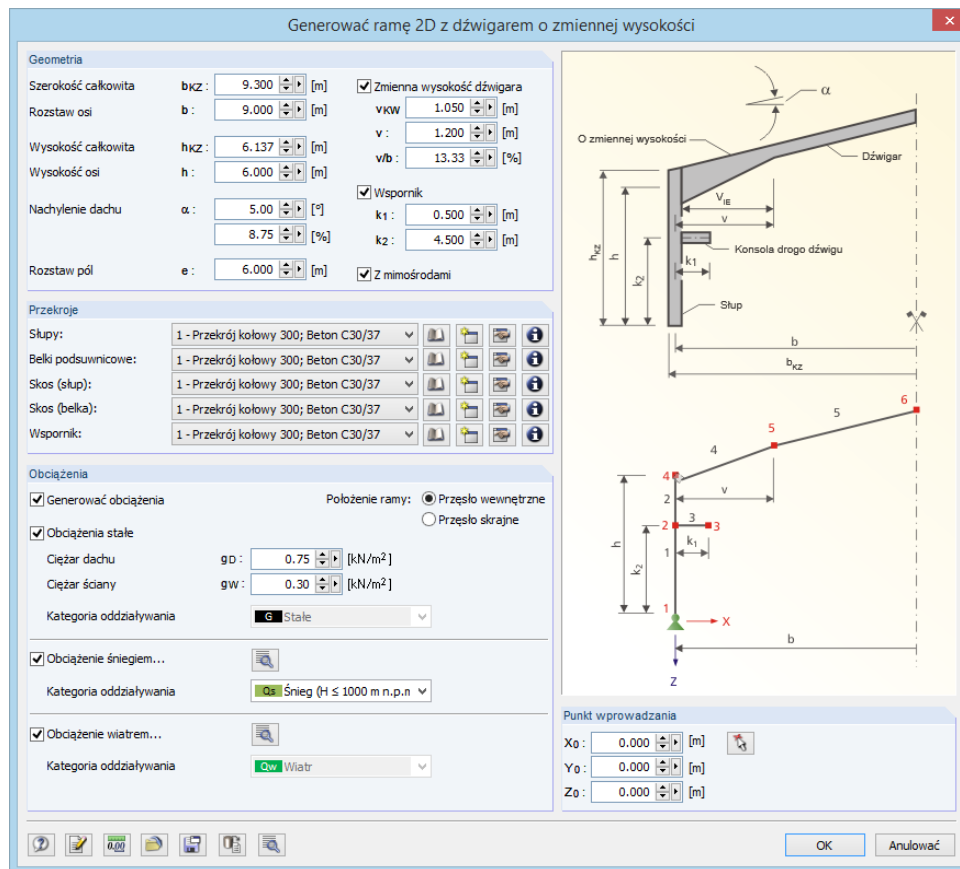
Program RFEM tworzy belkę ciągłą o jednolitym przekroju poprzecznym, podporach i nieregularnych przęsłach. Opcjonalnie tworzone są również przypadki obciążeń i kombinacje wyników.

## Rama 2D

Rysunek 11.153: Okno dialogowe *Generować ramę 2D*

Przed wprowadzeniem danych geometrycznych i właściwości przekroju, należy wybrać *Typ ramy*. Dla wszystkich słupów ramy płaskiej definiowane są takie same warunki podparcia.

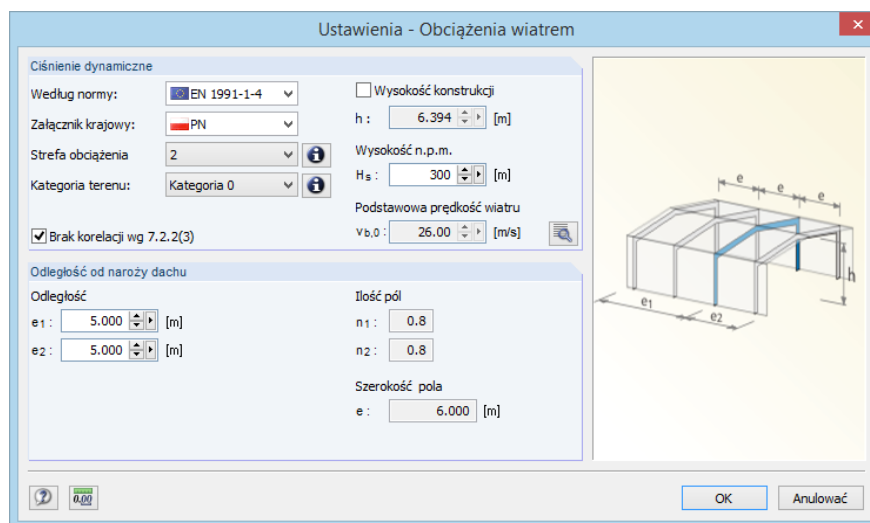
### Rama 2D z dźwigarem o zmiennej wysokości



Rysunek 11.154: Okno dialogowe *Generować ramę 2D z dźwigarem o zmiennej wysokości*

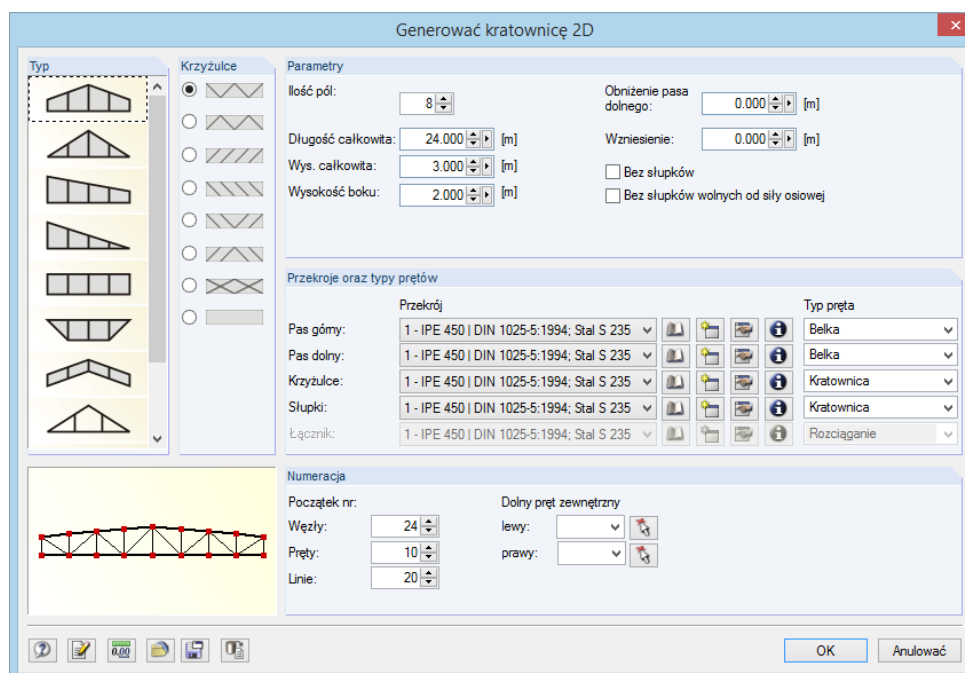


Płaska rama musi być zdefiniowana przez swoją *Geometrię* i *Przekroje*. Przy użyciu tej opcji można tworzyć zwężenia, belki podsuwnicowe oraz połączenia mimośrodowe. Dodatkowo można tworzyć *Obciążenia*. Przyciski [Ustawienia] oferują dostęp do parametrów generatora. *Położenie ramy* jest ważne dla określenia obciążenia.



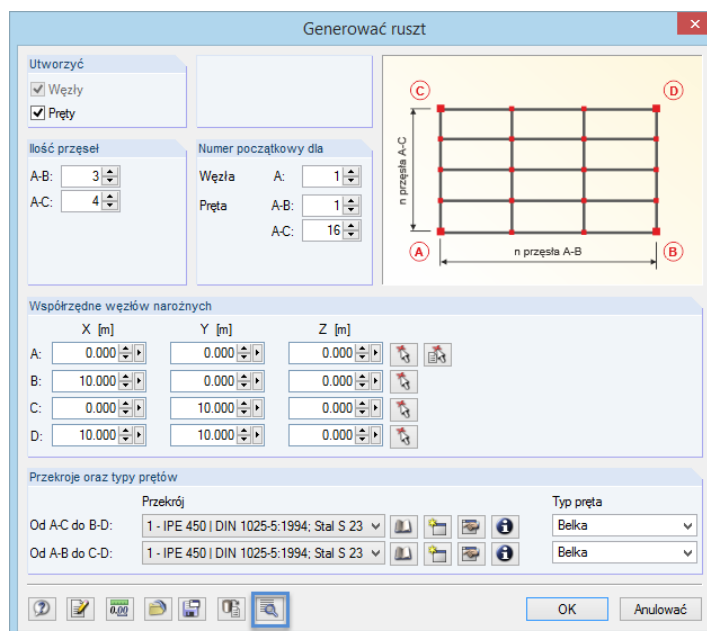
Rysunek 11.155: Okno dialogowe *Ustawienia – Obciążenia wiatrem*

## Kratownica 2D

Rysunek 11.156: Okno dialogowe *Generować kratownicę 2D*

Na początku należy określić *Typ* kratownicy oraz układ *Krzyżulców*. Następnie można zdefiniować *Parametry*, *Przekroje oraz typy prętów*.

## Ruszt

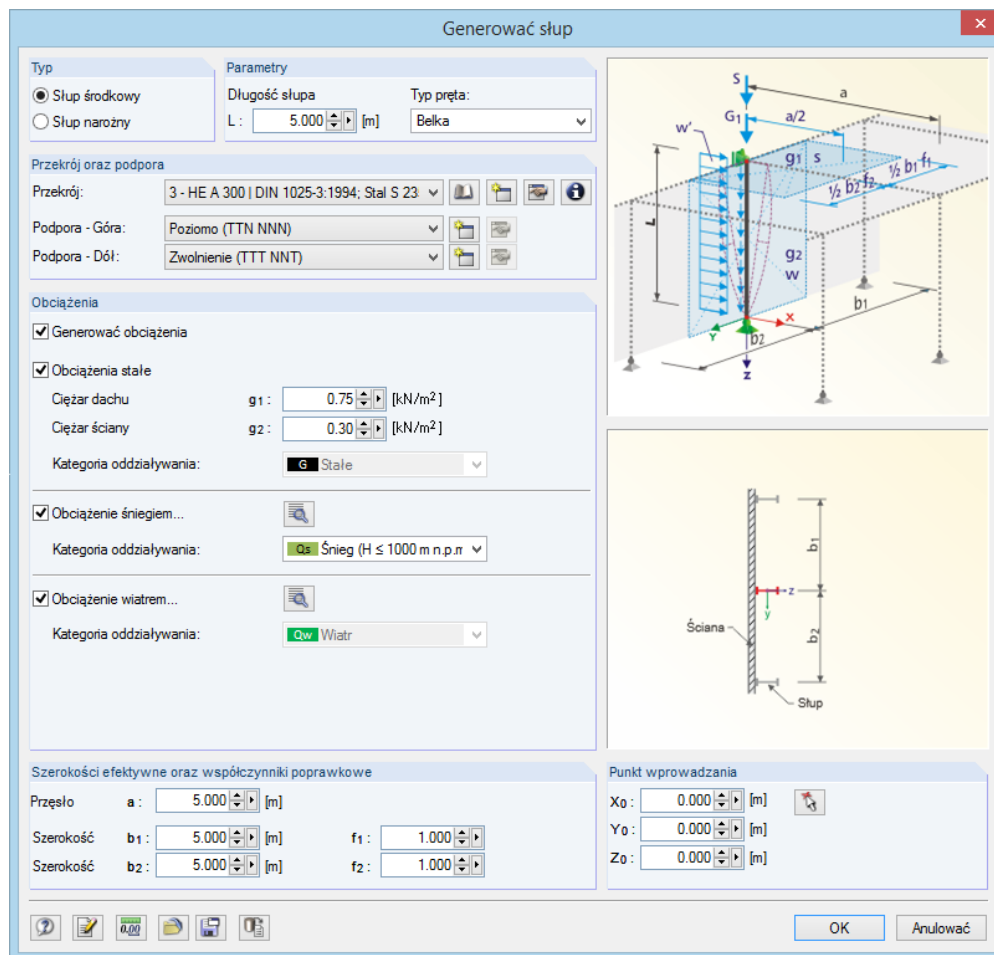
Rysunek 11.157: Okno dialogowe *Generować ruszt*

Przy użyciu tego generatora można utworzyć konstrukcje, które tworzą jednolity ruszt. Ruszt nie musi posiadać kątów prostych, jak pokazano na powyższym rysunku. Możliwy jest dowolny rodzaj czworoboczny model przestrzenny, który posiada cztery punkty narożne. Do generowania "rzeczywistego" rusztu zaleca się ustawić *Typ modelu* na **2D - XY** w oknie dialogowym modelu *Dane ogólne* (zobacz rozdział 12.2 na stronie 591).



Aby wygenerować nieregularne siatki, należy użyć przycisku [Edytować ustawienia zaawansowane], pokazanego na lewym marginesie tej strony.

## Słup



Rysunek 11.158: Okno dialogowe *Generować słup*

W sekcji okna dialogowego *Typ* należy określić, czy wygenerowany ma być słup środkowy czy słup narożny. W przypadku, gdy mają zostać wygenerowane *Obciążenia*, należy określić ich *Szerokości efektywne oraz współczynniki poprawkowe*. Do utworzenia słupa szczytowego, wymagane jest *Przęsło* dla obszaru wpływu w kierunku podłużnym hali. Współczynniki  $f_1$  i  $f_2$  służą do skalowania szerokości geometrycznych  $b_1$  i  $b_2$  dla modelu konstrukcyjnego lub do uwzględniania specjalnych wymagań normowych (na przykład współczynników przyrostu obciążenia dla poszczególnych obliczeń).

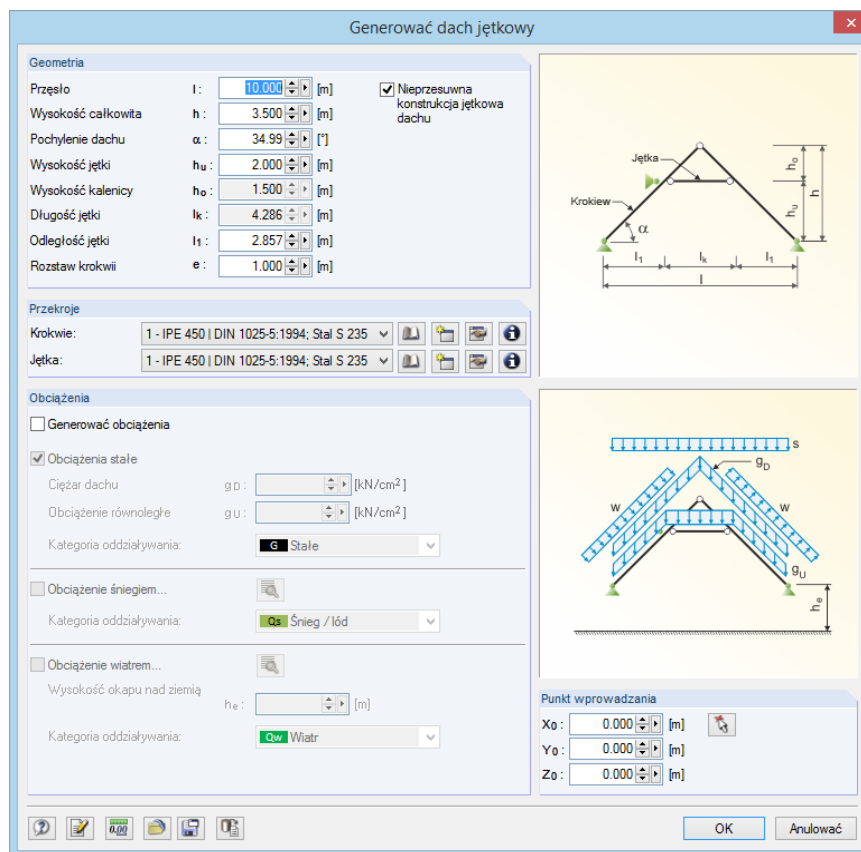
## Generatory dachu



Element menu o nazwie *Dach* zawiera trzy generatory dachu, które można wybrać do generowania płaskich układów dachowych wraz z obciążeniami. Przyciski [Ustawienia] dostępne w oknach dialogowych dla dachu pomagają określić obciążenia wiatrem i śniegiem (zobacz Rysunek 11.155 na stronie 542).

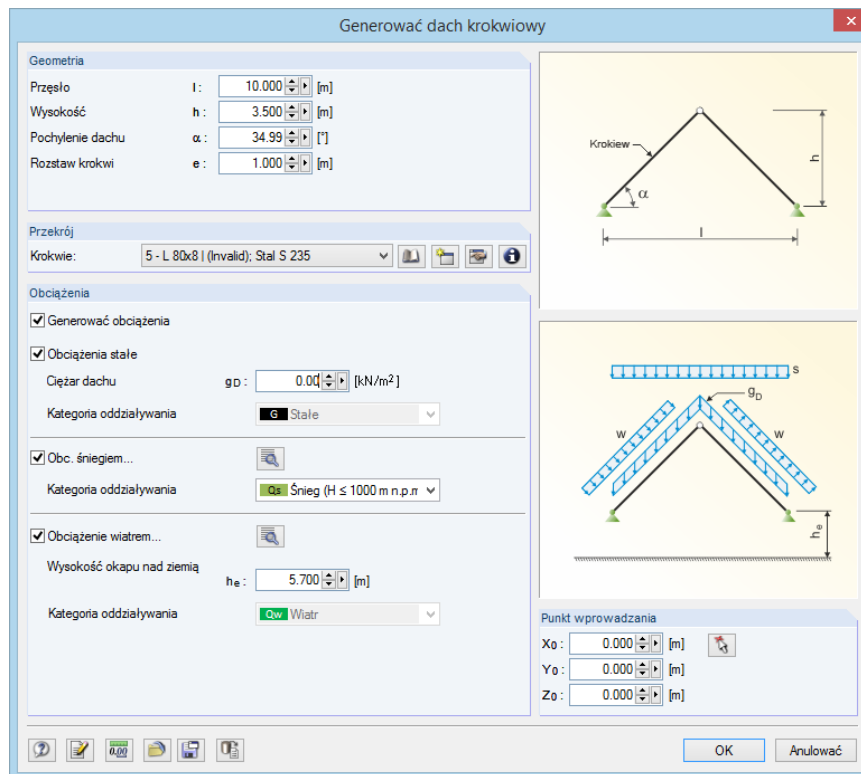


Dach jętkowy



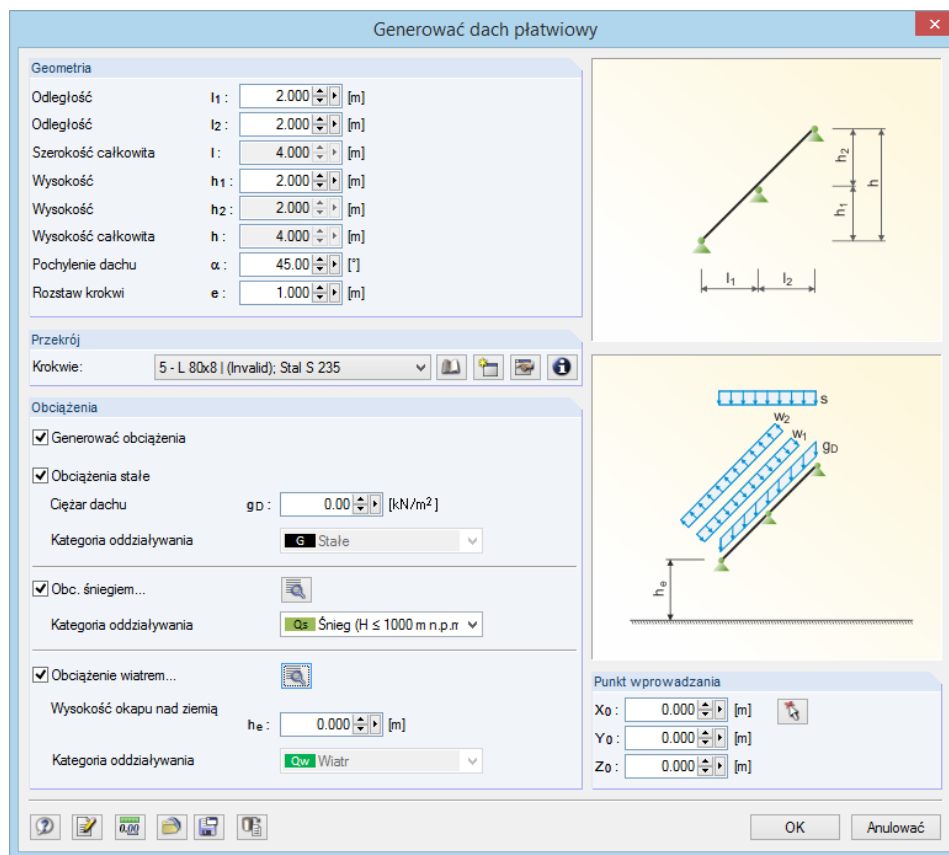
Rysunek 11.159: Okno dialogowe *Generować dach jętkowy*

Dach krokwiowy



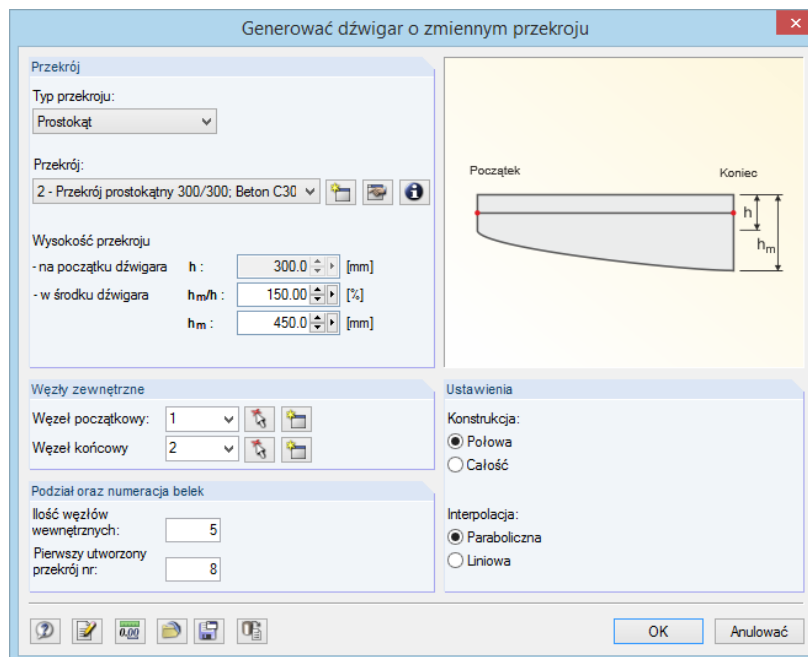
Rysunek 11.160: Okno dialogowe *Generować dach krokwiowy*

Dach płatwiowy



Rysunek 11.161: Okno dialogowe *Generować dach płatwiowy*

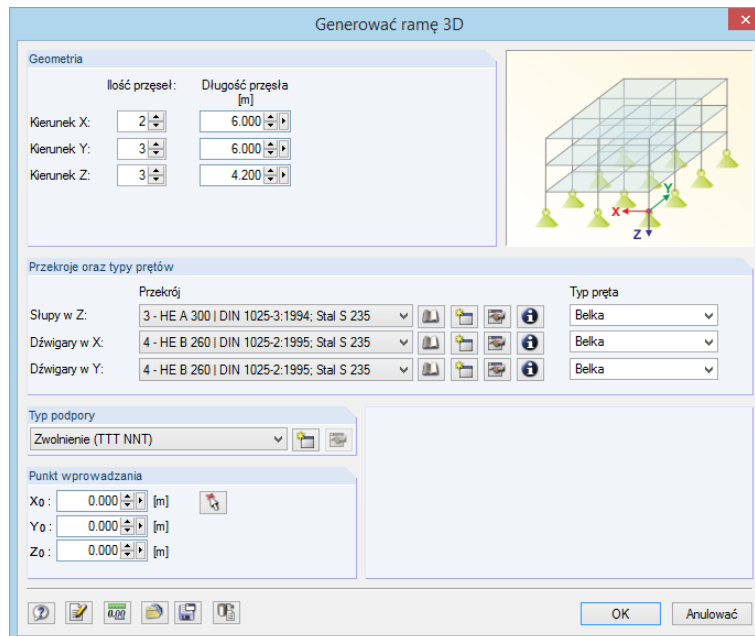
Dźwigar o zmiennym przekroju



Rysunek 11.162: Okno dialogowe *Generować dźwigar o zmiennym przekroju*

Podczas generowania dźwigarów o zmiennym przekroju, które są często używane w konstrukcjach drewnianych, na liście *Typ przekroju* do wyboru dostępne są przekroje prostokątne oraz ITS (symetryczne belki dwuteowe).

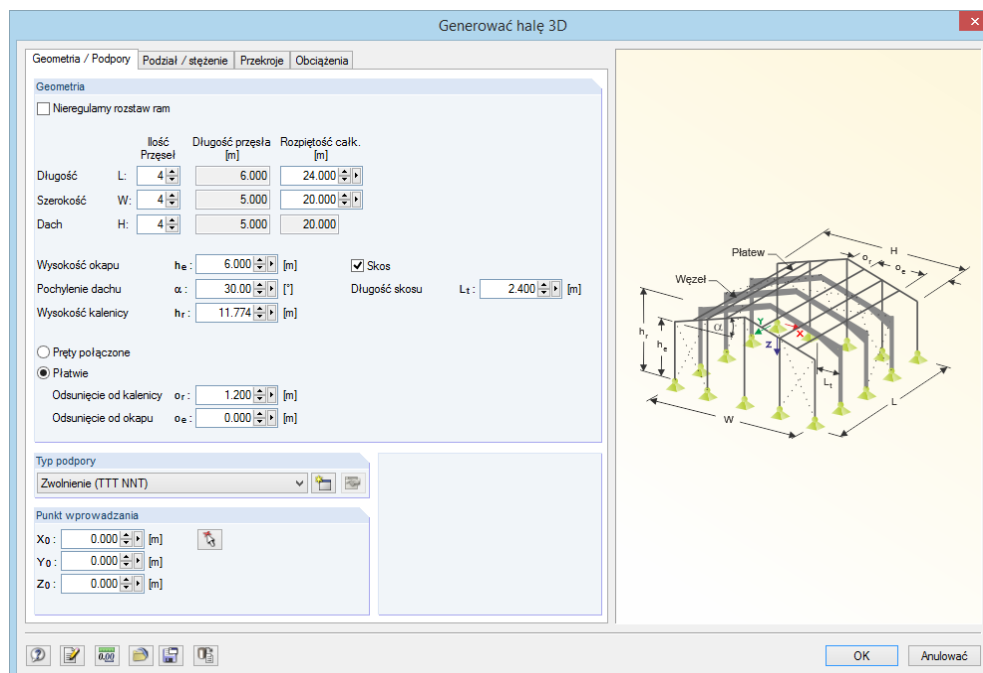
### Rama 3D



Rysunek 11.163: Okno dialogowe *Generować ramę 3D*

Przy użyciu tego generatora można tworzyć zwykłe konstrukcje ramowe. Dla wszystkich słupów ramy definiowane są takie same warunki podparcia.

### Hala 3D

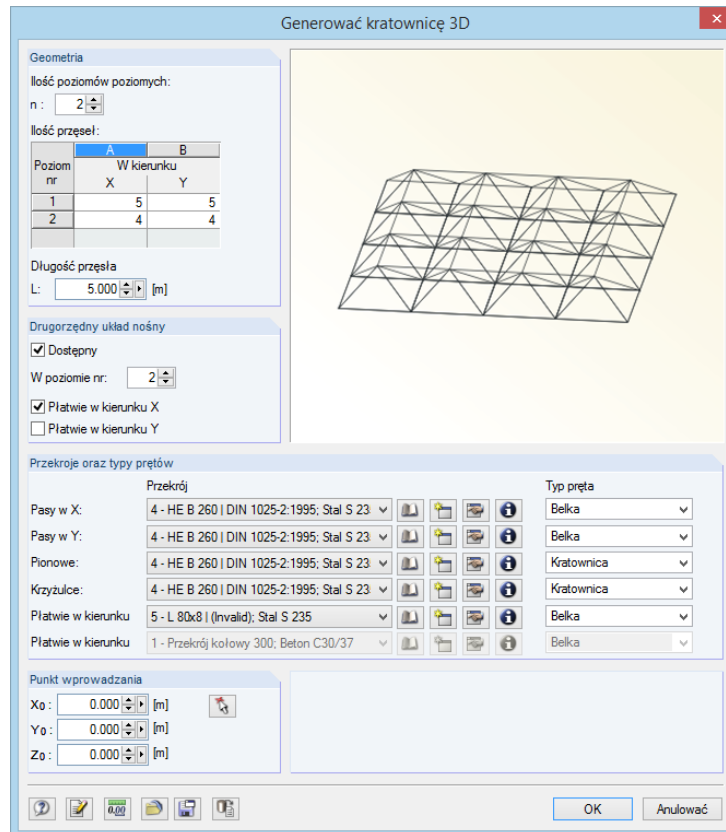


Rysunek 11.164: Okno dialogowe *Generować halę 3D*

Ten złożony generator tworzy kompletną halę wraz z obciążeniami. Jego okno dialogowe składa się z czterech zakładek. *Geometria / Podpory* zarządza geometrią konstrukcji, *Podział /*

Stężenie kontroluje nieregularne odstępy pręseł i rozmieszczenie stężeń. W pozostałych dwóch zakładkach definiowane są *Przekroje* i *Obciążenia*.

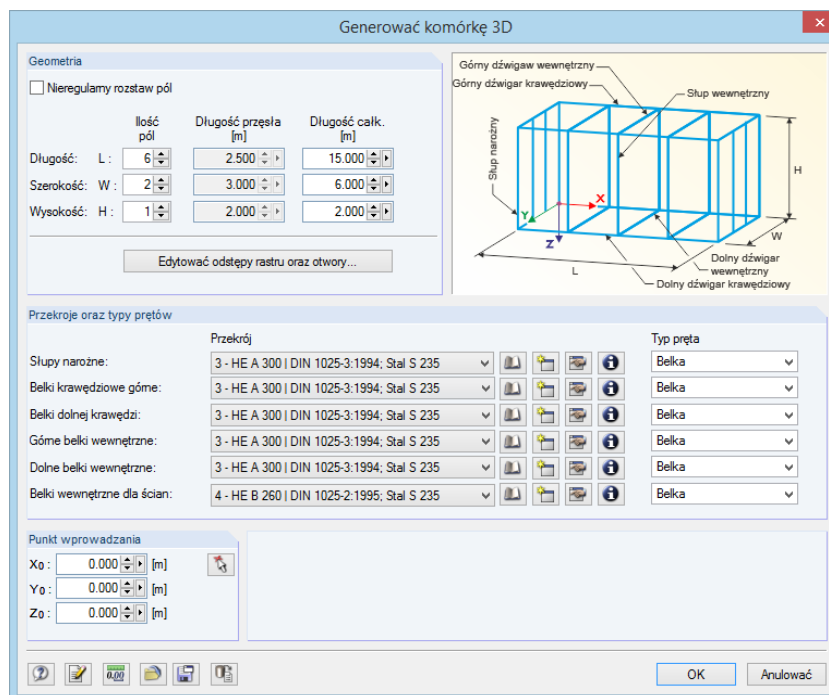
### Kratownica 3D



Rysunek 11.165: Okno dialogowe *Generować kratownicę 3D*

Za pomocą tego generatora można utworzyć przestrzenną konstrukcję nośną według systemu Bernauera ([www.raumtragwerke.de](http://www.raumtragwerke.de)).

### Komórka 3D

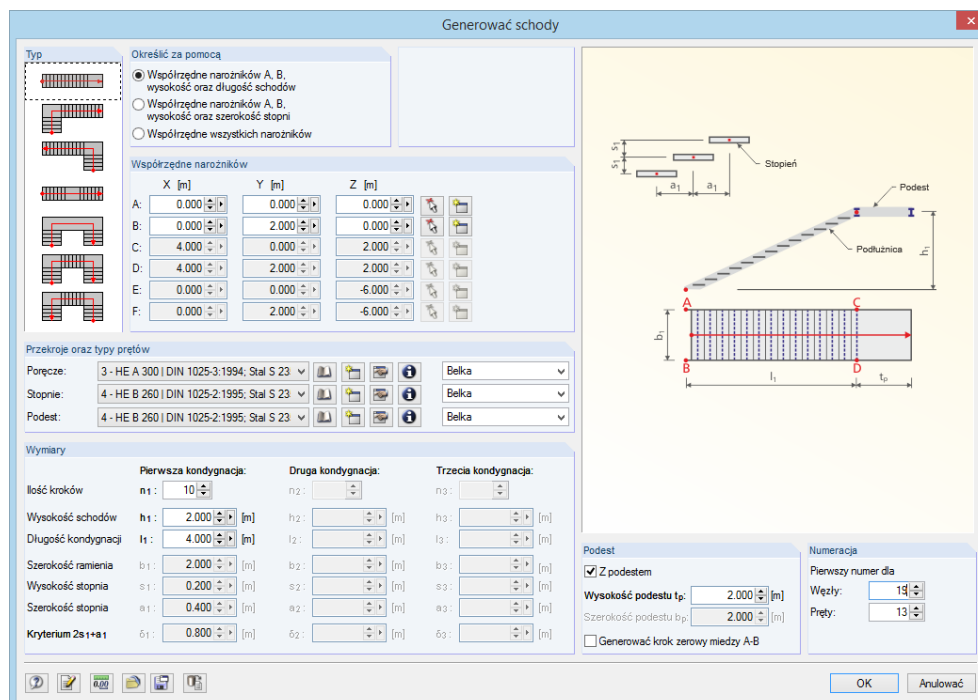


Rysunek 11.166: Okno dialogowe *Generować komórkę 3D*

Edytować odstępy rastru oraz otwory...

Ten generator tworzy przestrzenną komórkę posiadającą kilka pól. Przy użyciu przycisku [Edytować odstępy rastru oraz otwory] można otworzyć kolejne okno dialogowe, w którym można zdefiniować otwory, jak również rozmieszczenie rastru dla nieregularnych odległości pomiędzy polami.

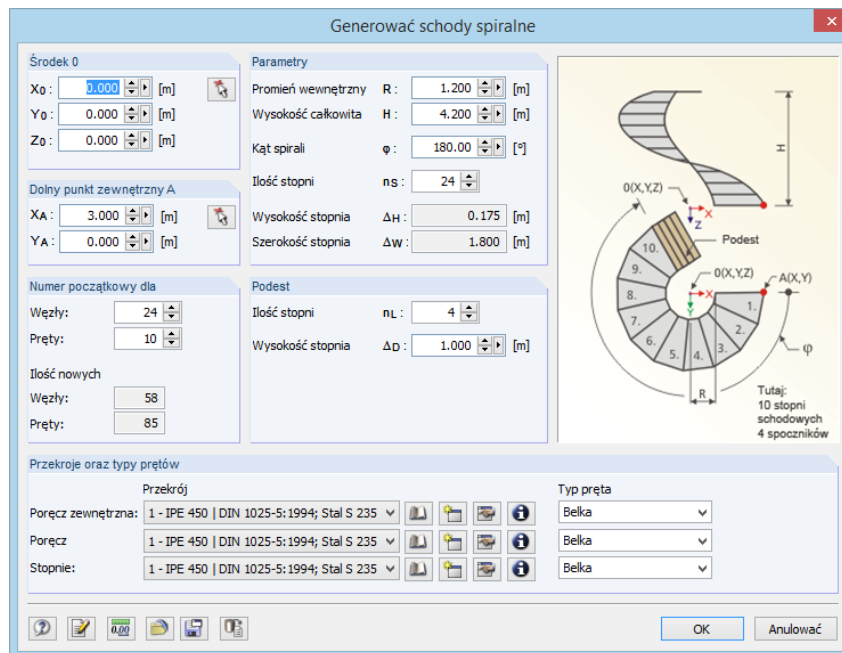
### Schody



Rysunek 11.167: Okno dialogowe *Generować schody*

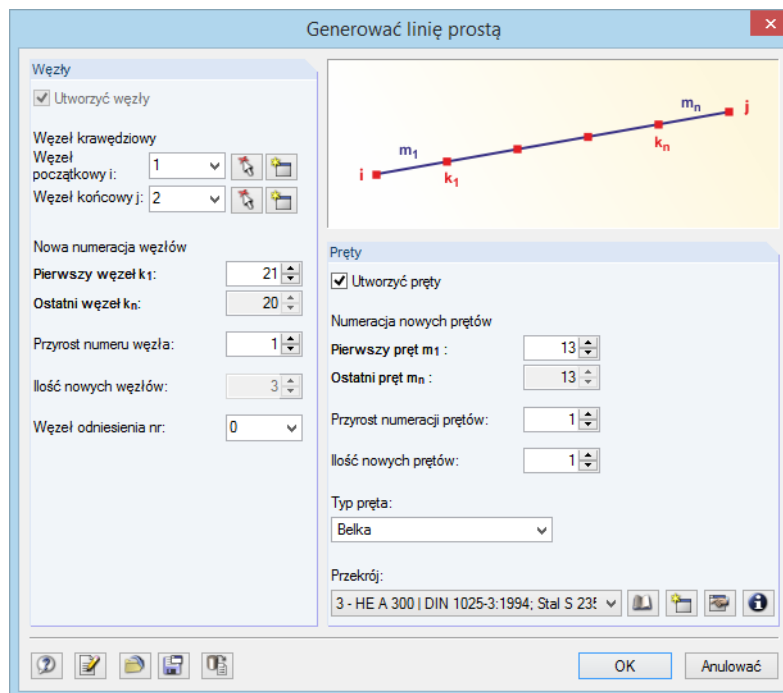
Z listy należy wybrać *Typ* kontrolujący pozostałe parametry.

### Schody spiralne



Rysunek 11.168: Okno dialogowe *Generować schody spiralne*

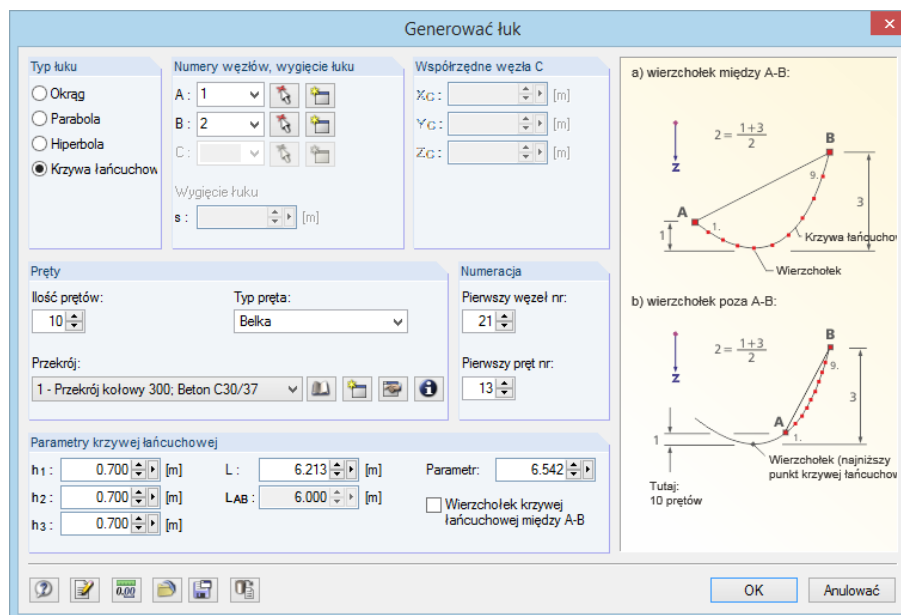
### Linia prosta



Rysunek 11.169: Okno dialogowe *Generować linię prostą*

Funkcja ta pozwala na tworzenie linii prostych opartych na nowych lub już istniejących węzłach. Możliwe jest także utworzenie tylko węzłów umieszczonych na nierealnej linii prostej.

Łuk



Rysunek 11.170: Okno dialogowe *Generować łuk*

Na początku należy określić *Typ łuku*: okrąg, parabola, hiperbola lub krzywa łańcuchowa. Punkty A i B stanowią węzły brzegowe łuku, punkt C określa jego położenie, natomiast *Wygięcie łuku* - jego krzywiznę. Długość krzywej łańcuchowej jest określana przez parametr L. Wysokości h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub> i h<sub>3</sub> są wartościami interaktywnymi.

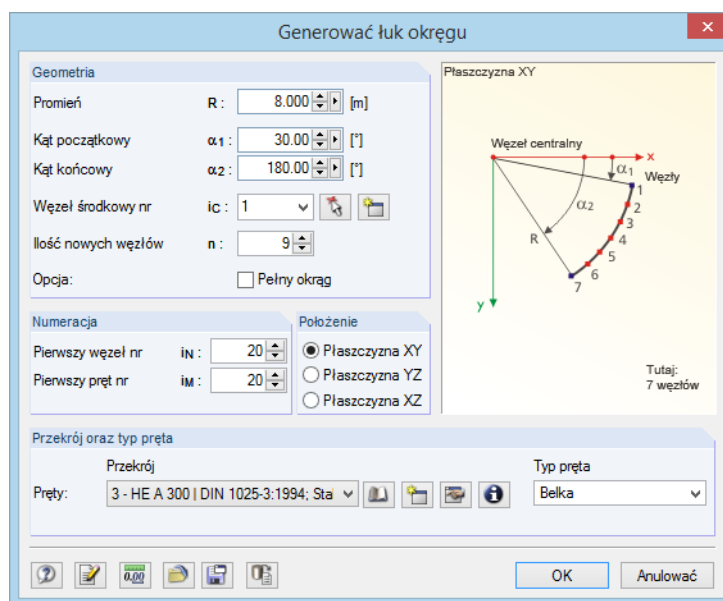
*Parametr* opisuje stałą w następującym równaniu krzywej łańcuchowej:

$$y(x) = a \cdot \cosh\left(\frac{x - v_x}{a}\right) + v_y \quad \text{gdzie } v_x \text{ lub } v_y: \quad \text{przemieszczenia w x lub y}$$

Równanie 11.1

Im większa *Ilość prętów* tym dokładniej zamodelowany będzie łuk w postaci linii łamanej.

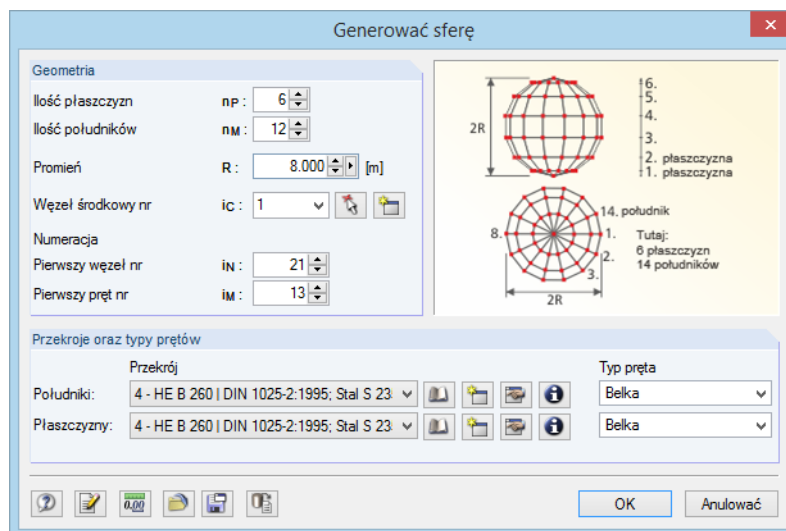
Okrąg



Rysunek 11.171: Okno dialogowe *Generować łuk okręgu*

Okrąg lub łuk okręgu jest określony przez *Promień* i *kąt*. Obiekt zostanie utworzony wokół węzła środkowego, który może być wybrany w dowolnym miejscu jednej z płaszczyzn globalnych.

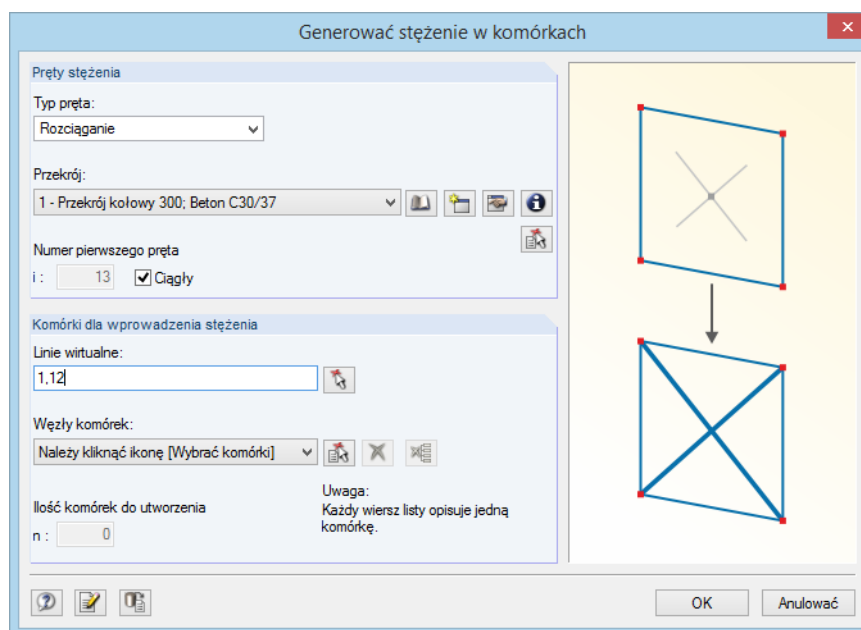
## Sfera



Rysunek 11.172: Okno dialogowe *Generować sferę*

Większa *Ilość płaszczyzn* oraz *Ilość południków* pozwalają na zdefiniowanie bardziej okrągłego kształtu sfery. Kształt kulisty jest przybliżany przez wielokątne łańcuchy, gdzie każdy segment jest tworzony przez jeden pręt.

## Stężenia w komórkach



Rysunek 11.173: Okno dialogowe *Generować stężenie w komórkach*



Komórki są definiowane przez cztery węzły narożne otoczone przez pręty ze wszystkich stron i umieszczone w jednej płaszczyźnie. W oknie dialogowym generatora należy określić *Pręty stężenia* oraz *Komórki dla wprowadzania usztywnienia*. Można również wykorzystać funkcję [^], aby wybrać je w oknie roboczym poprzez zaznaczenie krzyży w komórkach.

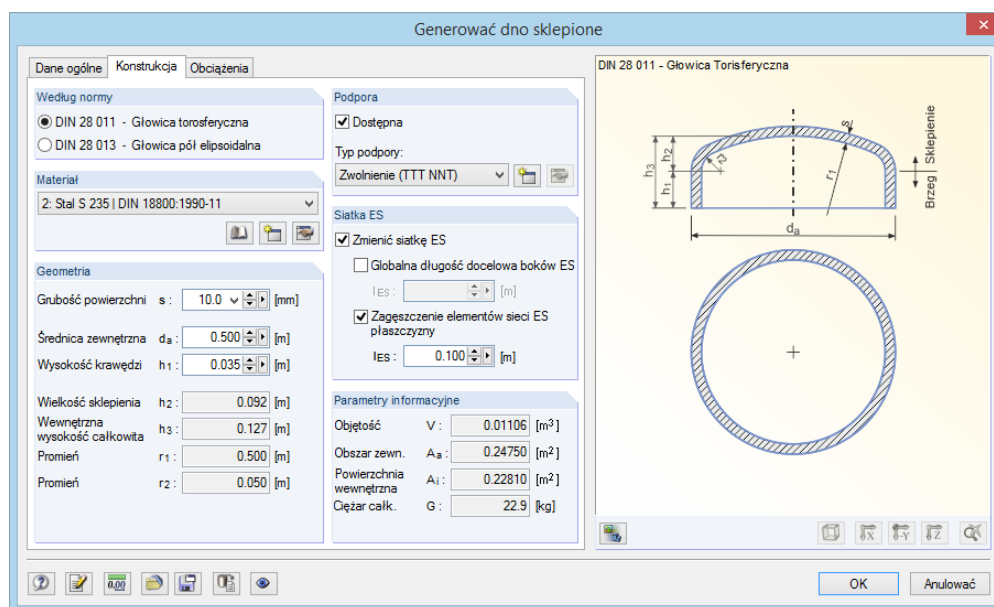




Oprócz tego *Linie wirtualne* pozwalają zamknąć komórki umożliwiając tworzenie stężeń na przykład również pomiędzy podporami ściany.

### 11.7.2.2 Powierzchnie

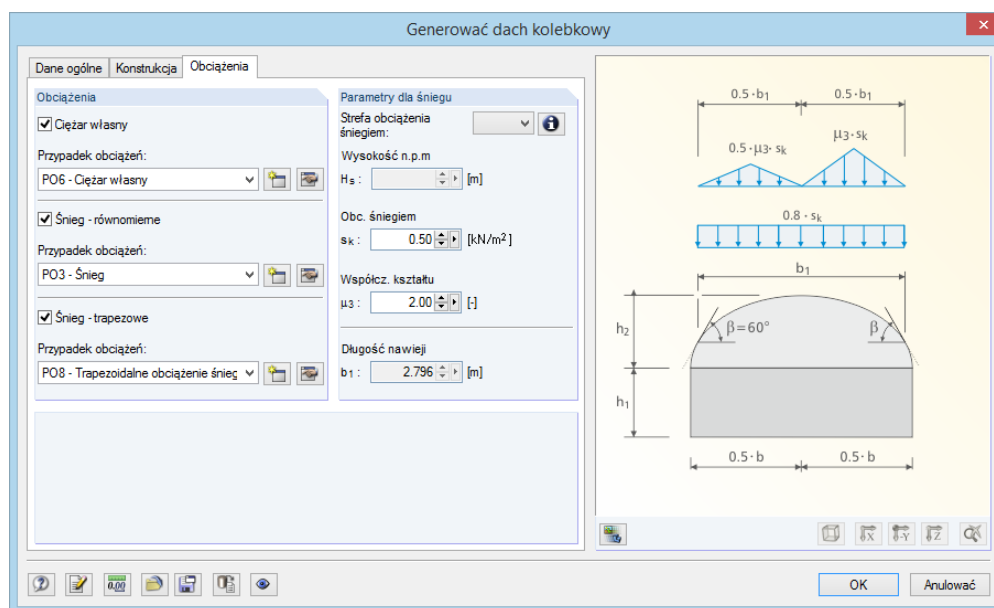
#### Dno sklepione według DIN 28 011 lub DIN 28 013



Rysunek 11.174: Okno dialogowe *Generować dno sklepione*, zakładka *Konstrukcja*

W celu utworzenia dna sklepionego, program RFEM oferuje standardowe warianty *Głowica torosferyczna* oraz *Głowica półelipsoidalna*. Gdy w zakładce *Dane ogólne* zostanie już ustawiony punkt odniesienia do umieszczenia głowicy, w zakładce okna dialogowego *Konstrukcja* można zdefiniować materiał i parametry geometryczne, jak grubość powierzchni, średnicę zewnętrzną oraz wysokość krawędzi. Ponadto w zakładce okna dialogowego *Obciążenia* można określić *Nadciśnienie* jako obciążenie powierzchniowe.

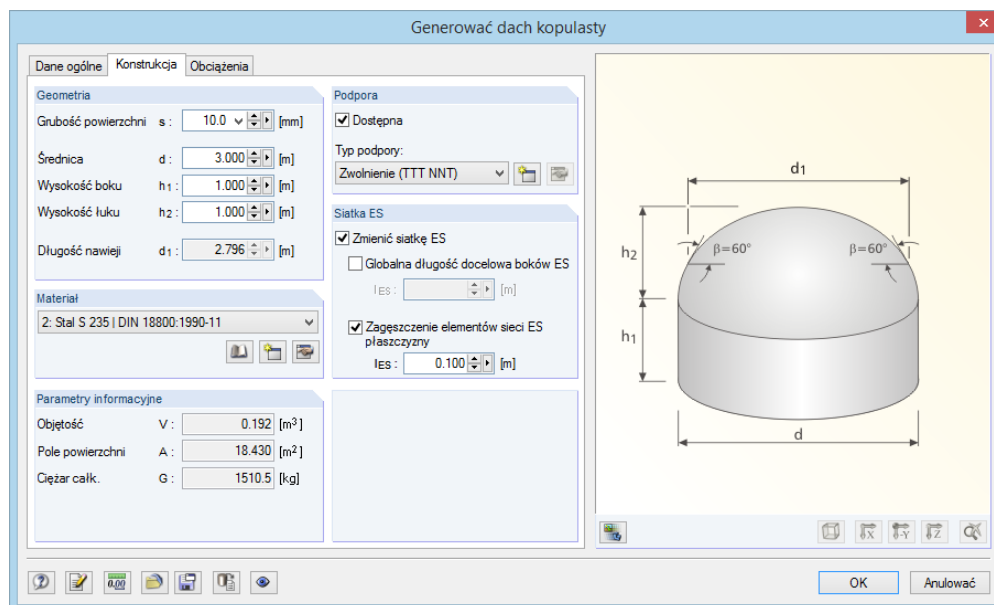
#### Dach kolebkowy



Rysunek 11.175: Okno dialogowe *Generować dach kolebkowy*, zakładka *Obciążenia*

Parametry dachu kolebkowego definiuje się w zakładkach okna dialogowego *Dane ogólne* oraz *Konstrukcja*. W zakładce *Obciążenia* wprowadza się wymagane dane dotyczące tworzenia przypadków obciążenia śniegiem.

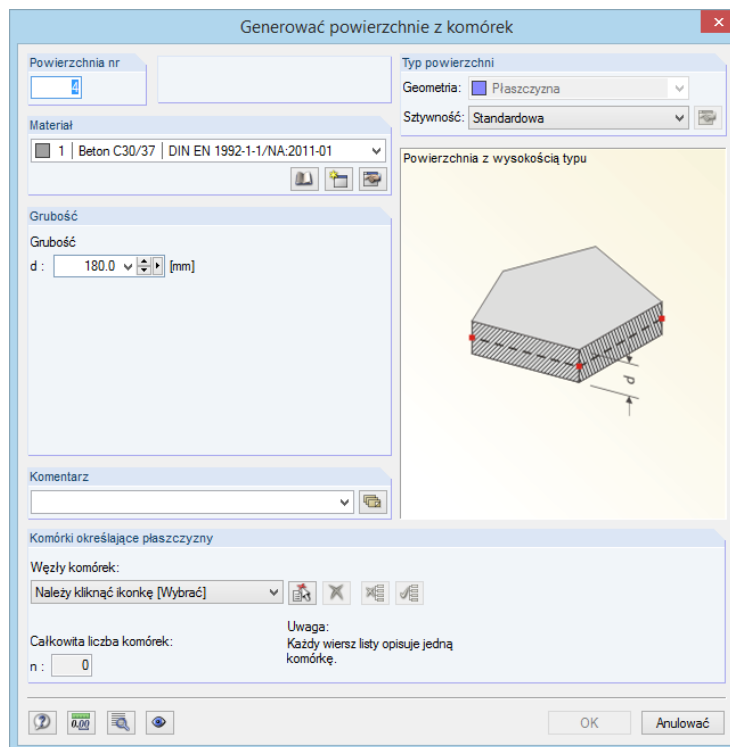
## Dach kopulasty



Rysunek 11.176: Okno dialogowe *Generować dach kopulasty*, zakładka *Konstrukcja*

Parametry dachu kopulastego definiuje się w zakładkach okna dialogowego *Podstawy* oraz *Konstrukcja*. W zakładce *Obciążenia* wprowadza się wymagane dane dotyczące tworzenia przypadków obciążenia śniegiem.

## Powierzchnie z komórek



Rysunek 11.177: Okno dialogowe *Generować powierzchnie z komórek*



Komórki składają się z co najmniej trzech węzłów narożnych i są otoczone liniami lub prętami ze wszystkich stron oraz umieszczone w jednej płaszczyźnie. Aby wypełnić komórki powierzchniami, należy najpierw zdefiniować *Materiał* i *Grubości* powierzchni. Następnie należy wybrać komórki graficznie za pomocą funkcji [^] poprzez zaznaczenie krzyży komórek w oknie roboczym.

## 11.8 Generatory obciążeń

Druga grupa generatorów pomaga przydzielać obciążenia prętowe i powierzchniowe. Możliwe jest przekształcenie obciążenia powierzchniowego oddziałującego na konstrukcję (np. śnieg, wiatr) na obciążenia prętowe i powierzchniowe. Można także przekształcać wolne obciążenia liniowe i obciążenia pokrycia wywołane mrozem na obciążenia prętowe.

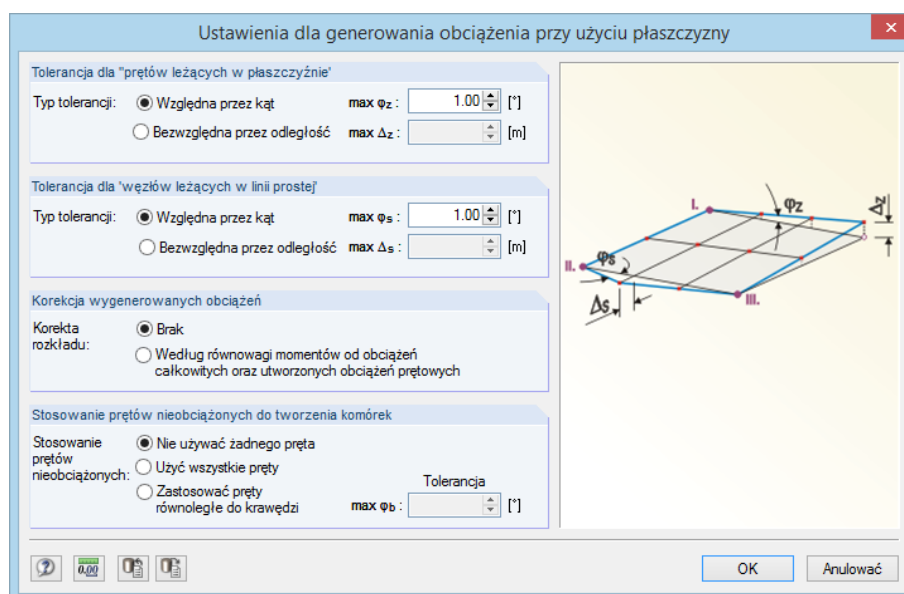
Aby otworzyć okna dialogowe do generowania obciążeń prętowych i powierzchniowych, należy wybrać polecenie **Generować obciążenia** w menu **Narzędzia**.

### 11.8.1 Funkcje ogólne

#### Ustawienia dla generowania obciążeń



Wiele okien dialogowych generatora oferuje przycisk [Ustawienia] (zobacz Rysunek 11.184 na stronie 559), który otwiera okno dialogowe *Ustawienia dla generowania obciążenia*, służącego do kontroli tolerancji dla integracji węzłów w płaszczyźnie obciążenia oraz do poprawy generowanego obciążenia.



Rysunek 11.178: Okno dialogowe *Ustawienia dla generowania obciążenia przy użyciu płaszczyzny*

Parametry w oknie dialogowym ustawień mają zastosowanie dla wszystkich generatorów obciążenia prętowego. *Tolerancja* określa warunki, zgodnie z którymi pręty lub węzły uważane są za należące do *Płaszczyzny* lub *Linii*. Ustawień można dokonać poprzez wprowadzenie *kąta* lub *odległości*. Jeśli węzły będą leżały pomiędzy zdefiniowanymi progami, program RFEM rozpozna komórki i wygeneruje obciążenia.

Sekcja okna dialogowego *Korekcja utworzonych obciążeń* pozwala na porównanie dostępnych obciążeń powierzchniowych z określonymi obciążeniami prętowymi. Sumy kontrolne są wyświetlane w oknach dialogowych pojawiających się po wygenerowaniu obciążenia oraz przed ostateczną zamianą na obciążenia prętowe (zobacz Rysunek 11.188 na stronie 562). W przypadku niewielkich różnic, możliwe jest poprawienie rozkładu według *równowagi*

momentów, podczas której program RFEM sprawdza równowagę momentów wokół początku konstrukcji i dostosowuje ją w razie potrzeby.

Korekty dokonywane są zgodnie z następującymi równaniami:

$$\int_{L_{\text{Cell}}} (q_{\text{Member}} + q_{\text{correct}}) dL = \int_{M_{\text{Cell}}} q dS \quad \text{Równowaga sił}$$

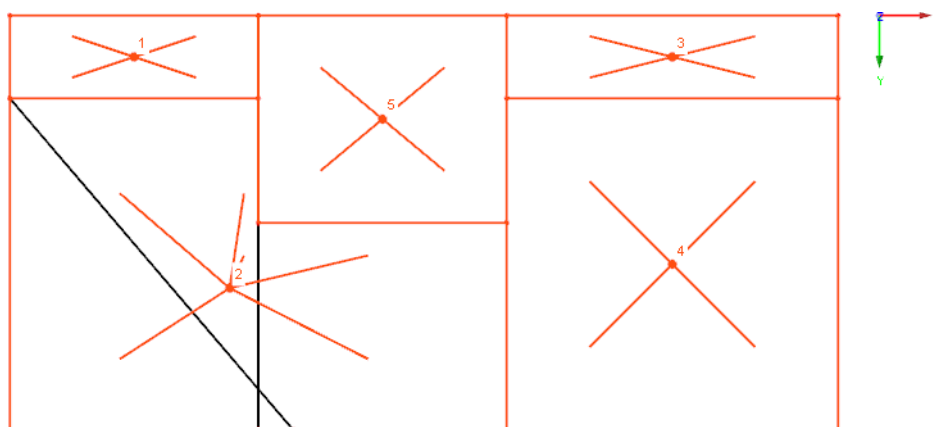
$$\int_{L_{\text{Cell}}} (q_{\text{Member}} + q_{\text{correct}}) r dL = \int_{M_{\text{Cell}}} q r dS \quad \text{Równowaga momentów}$$

gdzie  $r = (x, y)$                       Odległość od środka ciężkości komórki

Równowaga sił prowadzona jest automatycznie, natomiast równowaga momentów może być określona przez ustawienia definiowane przez użytkownika. Moment jest tworzony od obciążeń powierzchniowych do środka ciężkości, a następnie porównywany z momentem od obciążeń prętowych do środka ciężkości. Jako uproszczenie można sobie wyobrazić korektę momentów, jako przeliczenie reakcji podporowych. Ta reakcja podporowa zostanie następnie zastosowane jako obciążenie liniowe na pręcie.

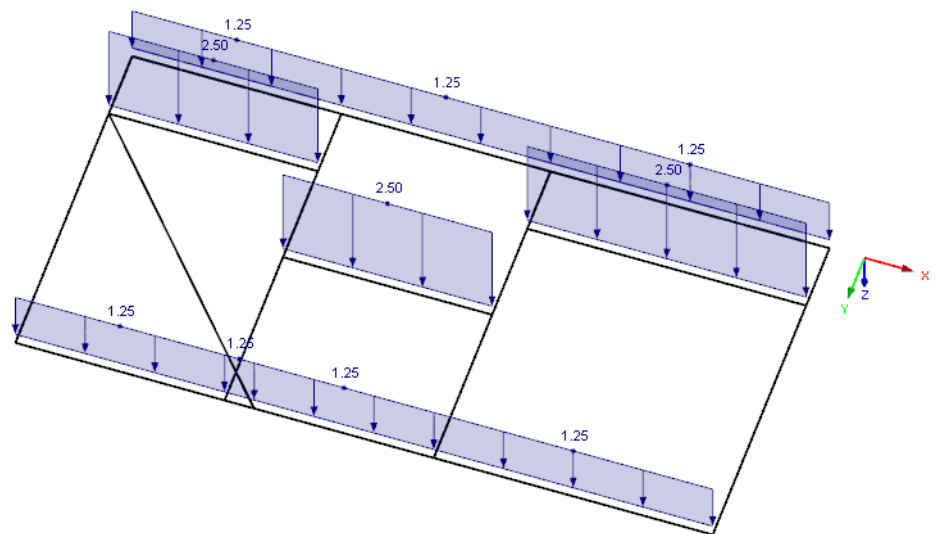
Ustawienia w sekcji okna dialogowego *Stosowanie prętów nieobciążonych do tworzenia komórek* dotyczy głównie prętów, które leżą w pozycji skośnej w modelu. W trakcie tworzenia obciążenia, zostanie najpierw utworzona powierzchnia całkowita, która zostanie obciążona. Następnie program RFEM dokona analizy prętów, które otaczają komórki. W kolejnym kroku komórki te zostaną odjęte od powierzchni całkowitej. Podczas usuwania pręta z obciążeń (opcja *Usunąć wpływ z prętów*, patrz poniżej), program RFEM przeniesie jego obciążenie na pozostałe pręty płaszczyzny lub komórki.

Te trzy opcje opisane są na przykładzie konstrukcji platformy. Chcemy zastosować jedynie obciążenia ruchem na prętach przebiegających w kierunku X. Pochylony pręt, tak jak pręty równoległe w Y, jest wykluczony z zakresu stosowania obciążenia, ale w zależności od określonego ustawienia wpływa on na tworzenie obciążeń prętowych.

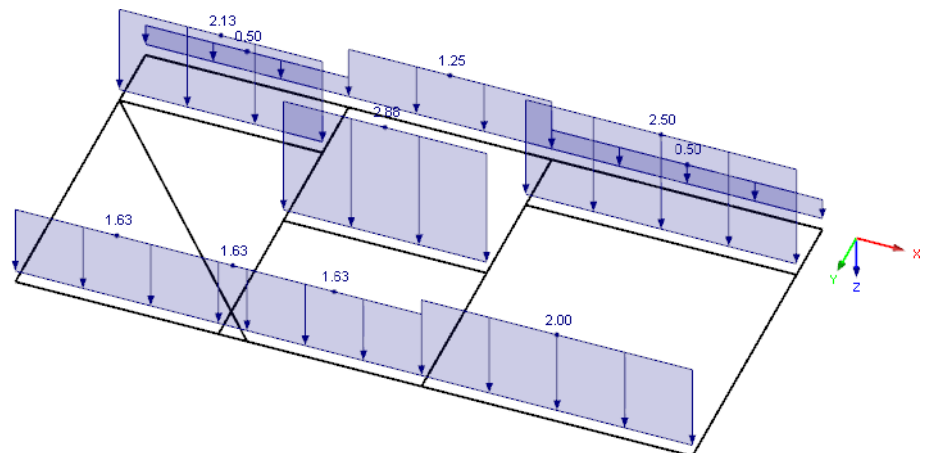


Rysunek 11.179: Konstrukcja platformy z komórkami do generowania obciążenia

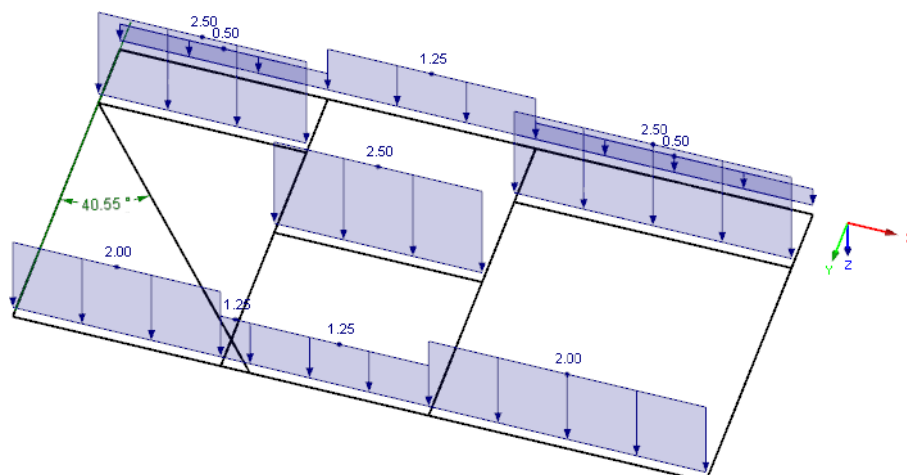
- *Nie używać żadnego pręta:*  
Obciążenie stosowane jest równomiernie do prętów krawędziowych oraz do prętów pośrednich. Przy tym ustawieniu, wszystkie wykluczone pręty są ignorowane, co oznacza, że są one stosowane wewnątrz do rozkładu obciążenia. Po obliczeniu pola komórek, obciążenie jest rozkładane na wszystkie dozwolone pręty komórki.

Rysunek 11.180: Wynik wykorzystania opcji *Nie używać żadnego pręta*

- *Użyć wszystkie pręty:*  
Podczas generowania obciążeń są uwzględniane wszystkie nieobciążone pręty. Istnieje niewielki problem w rozkładzie obciążenia z powodu dużej wygenerowanej komórki 2.

Rysunek 11.181: Wynik wykorzystania opcji *Użyć wszystkie pręty*

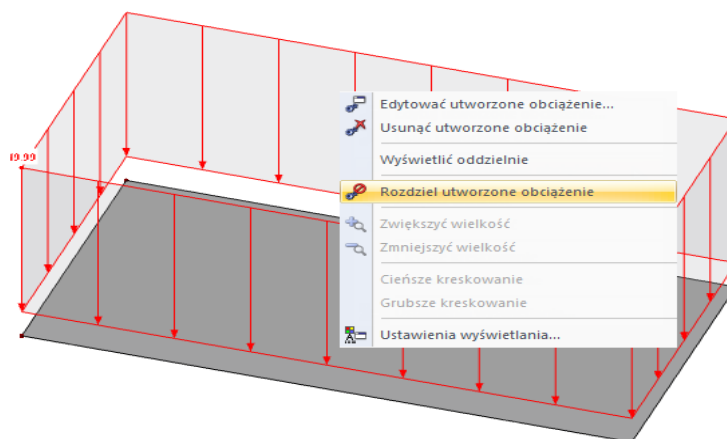
- *Zastosować pręty równoległe do krawędzi:*  
W ten sposób możliwe jest wykluczenie prętów leżących skośnie. Jeżeli kąt graniczny pomiędzy prętami  $\phi_b$  jest ograniczony do  $40,55^\circ$  w oknie dialogowym *Ustawienia* (zobacz Rysunek 11.178 na stronie 555), obciążenie zostanie wygenerowane zgodnie z oczekiwaniami.

Rysunek 11.182: Wynik wykorzystania opcji *Zastosować pręty równoległe do krawędzi*

### Późniejsze modyfikowanie wygenerowanych obciążeń

Po zatwierdzeniu okna dialogowego generatora, wygenerowane obciążenia przekazywane są do tabeli obciążeń 3.14. W nawigatorze *Dane* pojawi się dodatkowy wpis *Obciążenia wygenerowane* (zobacz Rysunek 6.52 na stronie 269). Parametry generatora nie zostaną utracone, ponieważ oryginalne okna dialogowe pozostają dostępne jako obiekty, w których można dokonywać zmian. Aby ponownie otworzyć początkowe okno dialogowe, należy dwukrotnie kliknąć jeden z wpisów w nawigatorze. W tym samym celu można także kliknąć dwukrotnie wygenerowane obciążenie w oknie roboczym. Po otwarciu okna dialogowego możliwa jest zmiana parametrów.

Niemniej, aby móc traktować wygenerowane obciążenia jako oddzielne obiekty obciążenia, należy wyłączyć obciążenia z ogólnej koncepcji i podzielić je na składniki. Dostęp do tej funkcji znajduje się w menu kontekstowym obciążenia, które otwiera się poprzez wybranie wygenerowanego obciążenia prawym przyciskiem myszy. Wybranie polecenia *Rozdziel utworzone obciążenie* pozwala na tworzenie oddzielnych obciążeń (zobacz na poniższym rysunku).



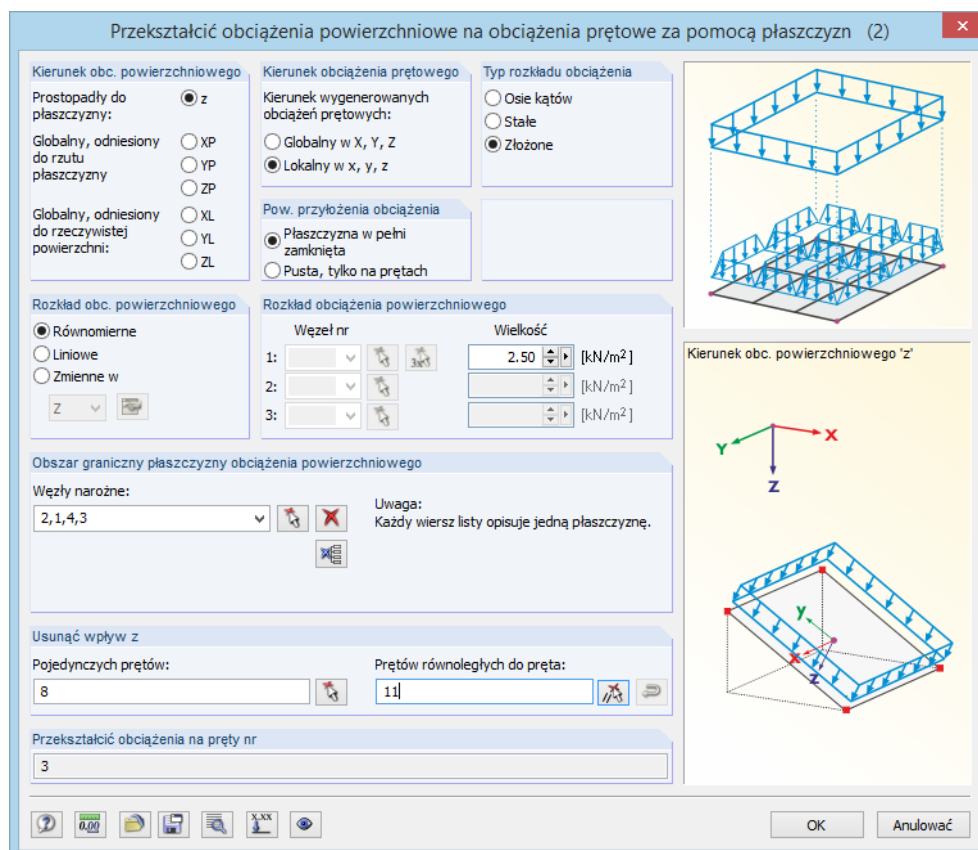
Rysunek 11.183: Menu kontekstowe wygenerowanego obciążenia

W tym samym celu można także skorzystać z menu kontekstowego wygenerowanego obciążenia w nawigatorze *Dane*.

## 11.8.2 Obciążenia prętowe/liniowe od obciążeń powierzchniowych



### 11.8.2.1 Obciążenia prętowe od obciążeń powierzchniowych przy użyciu płaszczyzny



Rysunek 11.184: Okno dialogowe Przekształcić obciążenia powierzchniowe na obciążenia prętowe za pomocą płaszczyzn

#### Kierunek obciążenia powierzchniowego

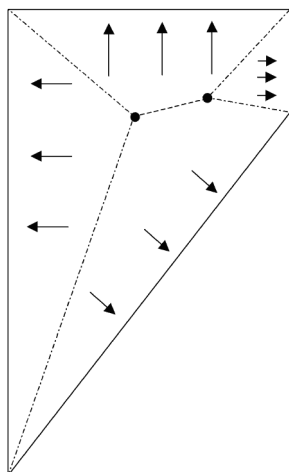
Należy zdecydować, czy obciążenie działa prostopadle do płaszczyzny lub czy jest globalnie powiązane z powierzchnią rzeczywistą lub rzutowaną. Grafika w prawym rogu okna dialogowego pokazuje wybrany kierunek obciążenia.

#### Kierunek obciążenia prętowego

Generowane obciążenia prętowe mogą być ustawione jako obciążenia globalne lub lokalne (zobacz rozdział 6.2 na stronie 238). Różnica ta jest istotna zwłaszcza w przypadku obliczeń nieliniowych.

#### Powierzchnia przyłożenia obciążenia

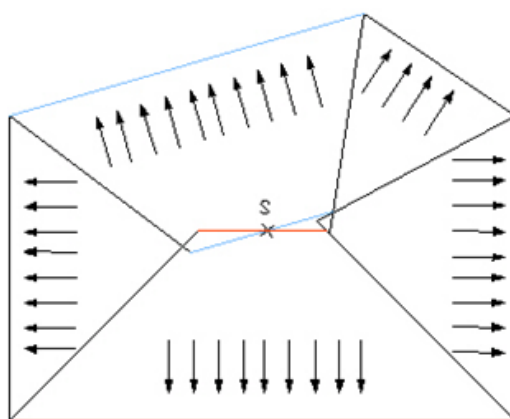
Dostępne są dwie opcje wyboru. Opcję *Płaszczyzna w pełni zamknięta* wybiera się, gdy powierzchnia istnieje w płaszczyźnie obciążenia pomiędzy prętami (np. ściana lub powierzchnia dachu), która nie jest przedstawiona w modelu RFEM. W tym przypadku program RFEM zamienia obciążenie powierzchniowe działające na całej płaszczyźnie na obciążenie prętowe. Jeżeli konstrukcja składa się tylko z prętów (na przykład wieża kratowa), należy wybrać opcję *Pusta, tylko na prętach*. Następnie program RFEM obciąża tylko efektywny lub rzutowany obszar, który jest zapewniony przez przekrój pręta jako "obszar stosowania obciążenia". Obciążenie będzie stosowane z uwzględnieniem orientacji pręta.



### Typ rozłożenia obciążenia

Użytkownik decyduje, jakie elementy obciążenia powierzchniowego zostaną przypisane do prętów. Należy wybrać *Osie kątów* dla wielokątów, które nie mają kątów wklęsłych. Punkty przecięcia się linii dwusiecznych będą połączone w taki sposób, że zostaną utworzone obszary, jak pokazano na rysunku po lewej stronie. W ten sposób możliwe jest jednoznaczne rozłożenie obciążenia powierzchniowego na prętach.

Metoda osi kątów nie stosuje się w przypadku płaszczyzn posiadających kąty wklęsłe, ani w przypadku wielokątów. W takich przypadkach należy ustawić typ rozkładu obciążenia jako *Stale*. Oprócz dwusiecznych kąta, program RFEM określa również środki ciężkości płaszczyzny. Jeżeli punkty przecięcia linii dwusiecznych leżą przed środkiem ciężkości, zostaną wygenerowane trójkątne obszary stosowania. Jeżeli leżą one za środkiem ciężkości, przez środek ciężkości zostanie narysowana linia równoległa do pręta, tworząca obszar stosowania z obiema dwusiecznymi kątów.



Rysunek 11.185: Typ rozłożenia obciążenia *Stale*

Użycie tej metody powoduje, że obszary te nie będą uwzględnione albo zostaną uwzględnione dwukrotnie. Brakująca lub pozostała ilość zostanie pomnożona przez stałą, tak aby suma obciążeń powierzchniowych i prętowych była równa.

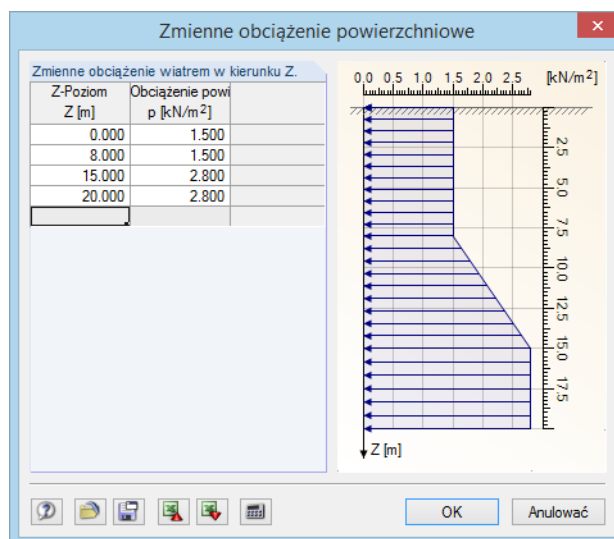
Opcja *Złożone* określa powierzchnie stosowania w trójkątach, czworobokach i wielokątach według metody osi kątów, gdzie jest to możliwe. Jeśli metoda nie może zostać użyta, program RFEM przełącza się automatycznie na stały rozkład obciążenia. Z tego powodu metoda łączona ustawiana jest domyślnie, a program RFEM wybiera odpowiednią metodę automatycznie.

### Rozkład obciążenia powierzchniowego

Obciążenie może działać na powierzchnię jako *Równomierne* lub *Liniowe* obciążenie zmienne. Możliwe jest również zdefiniowanie obciążeń powierzchniowych działających dowolnie jako *Zmienne w kierunku* osi globalnej (np. obciążenie wiatrem zależne od wysokości). Przy użyciu przycisku [Edytować] otwiera się okno dialogowe, w którym można zdefiniować parametry obciążenia w zależności od poziomów wysokości.





Rysunek 11.186: Okno dialogowe *Zmienne obciążenie powierzchniowe*

W lewej kolumnie tabeli wprowadza się globalne rzędne *Poziomu*. Po prawej stronie przypisuje się odpowiednie wartości *Obciążenia powierzchniowego*. Grafika pokazuje aktualny stan wprowadzonych danych.



Jeżeli są ustawione swobodne obciążenia zmienne, należy wybrać korektę rozkładu według równowagi momentów w oknie dialogowym *Ustawienia* (zobacz Rysunek 11.178 na stronie 555). W przeciwnym wypadku zostaną wygenerowane stałe obciążenia prętowe.



### Wielkość obciążenia powierzchniowego

Kiedy obciążenie działa równomiernie na danym obszarze, w uaktywnionym polu wprowadzania należy wprowadzić wartość obciążenia. W przypadku obciążeń zmiennych liniowo należy określić trzy numery węzłów z odpowiednimi obciążeniami. W tym samym celu można również użyć funkcji [^], aby wybrać węzły graficznie w oknie roboczym.



### Obszar graniczny płaszczyzny obciążenia powierzchniowego

Granica określana jest przez węzły narożne płaszczyzny. Przy użyciu funkcji [^] należy zaznaczyć odpowiednie węzły jeden po drugim w oknie roboczym. Płaszczyzna będzie oznaczona kolorem wyboru. W pełni wprowadzona płaszczyzna zostanie podświetlona na niebiesko. Do określenia płaszczyzny wymagane są przynajmniej trzy węzły. Powierzchnia nie musi być ograniczona przez linie lub pręty ze wszystkich stron.

Możliwe jest zdefiniowanie różnych płaszczyzn, które pojawiają się na liście *Węzły narożne*.



Jeśli okno dialogowe będzie otwierane wielokrotnie, na liście *Węzły narożne* mogą być ustawione ostatnio wprowadzone płaszczyzny. W celu uniknięcia przypadkowego wprowadzenia podwójnego obciążenia na tych płaszczyznach, zaleca się w tym przypadku opróżnić listę przy użyciu przycisku [Usunąć wszystkie płaszczyzny obciążenia powierzchniowego].



### Usunąć wpływ z

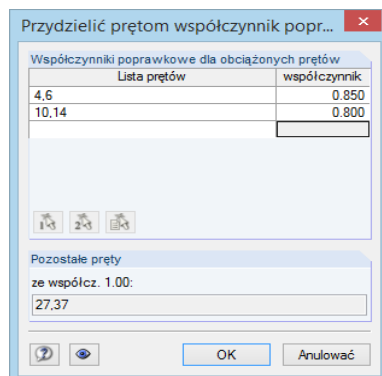
W sekcji okna dialogowego *Usunąć wpływ z* można wykluczyć pręty, na których nie ma zostać zastosowane obciążenie (na przykład płatwie lub stężenia). Wybór odbywa się kolejno lub poprzez wprowadzenie szablonu pręta, który jest równoległy do prętów nieposiadających obciążenia. Ponownie zaleca się wykorzystać funkcję [^] do dokonania wyboru graficznego.



Kliknięcie przycisku [Ustawienia], pokazanego na lewym marginesie tej strony, pozwala otworzyć okno dialogowe *Ustawienia dla tworzenia obciążenia* (zobacz Rysunek 11.178 na stronie 555). Następnie można ustawić tolerancję dla integracji węzłów w płaszczyźnie obciążenia lub skorygować wygenerowane obciążenia.



Przy użyciu przycisku [Przydzielić prętom współczynniki poprawkowe dla obciążeń] można skalować obciążenia dla poszczególnych prętów. W ten sposób można uwzględnić na przykład skutki ciągłości pokrycia dachu na krokwiach krawędziowych, w celu wygenerowania tam zredukowanych obciążeń prętowych. Otworzy się następujące okno dialogowe.

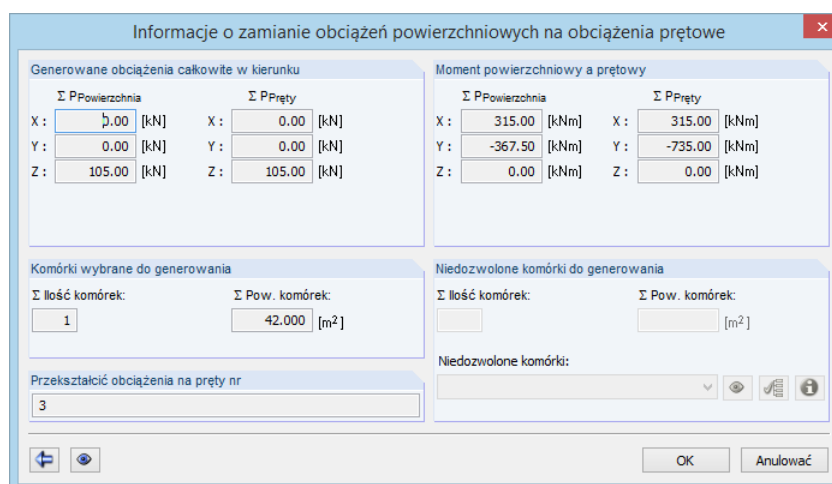


Rysunek 11.187: Okno dialogowe *Przydzielić prętom współczynniki poprawkowe*



Pręty wybiera się w oknie roboczym przy użyciu przycisków [ $\backslash$ ]. Po tym kroku można przeskalować je o *Współczynnik*.

Kliknięcie przycisku [OK] rozpoczyna generowanie obciążeń prętowych. Pojawi się przegląd informacji na temat komórek i obciążeń.



Rysunek 11.188: Okno dialogowe *Informacje o zmianie obciążeń powierzchniowych na obciążenia prętowe*



Jeżeli wymienione będą komórki niedozwolone, oznacza to, że program RFEM nie był w stanie jednoznacznie przypisać obciążeń. Przy użyciu przycisku okna [Pokazać bieżącą niedozwoloną komórkę] można podświetlić komórkę w grafice. Aby wyświetlić listę powodów nieprawidłowości komórek, należy kliknąć przycisk [Informacje]. Usunięte granice komórki (co oznacza pręty krawędziowe wyłączone ze stosowania obciążenia) lub krzyżujące się pręty, które nie są połączone, są często odpowiedzialne za problemy występujące podczas konwersji obciążeń.



W sekcji okna dialogowego *Moment powierzchniowy a prętowy* określone obciążenia prętowe są porównywane ze stosowanymi obciążeniami powierzchniowymi. W przypadku rozbieżności, można użyć przycisku [Cofnij], aby przejść do początkowego okna dialogowego, w którym można zmienić parametry. Specyfikacje mogą być dostosowane w oknie dialogowym *Ustawienia dla tworzenia obciążenia* (zobacz Rysunek 11.178 na stronie 555), które można otworzyć przy użyciu przycisku [Ustawienia].

Przyciski na dole po lewej stronie w oknie informacyjnym posiadają następujące funkcje:





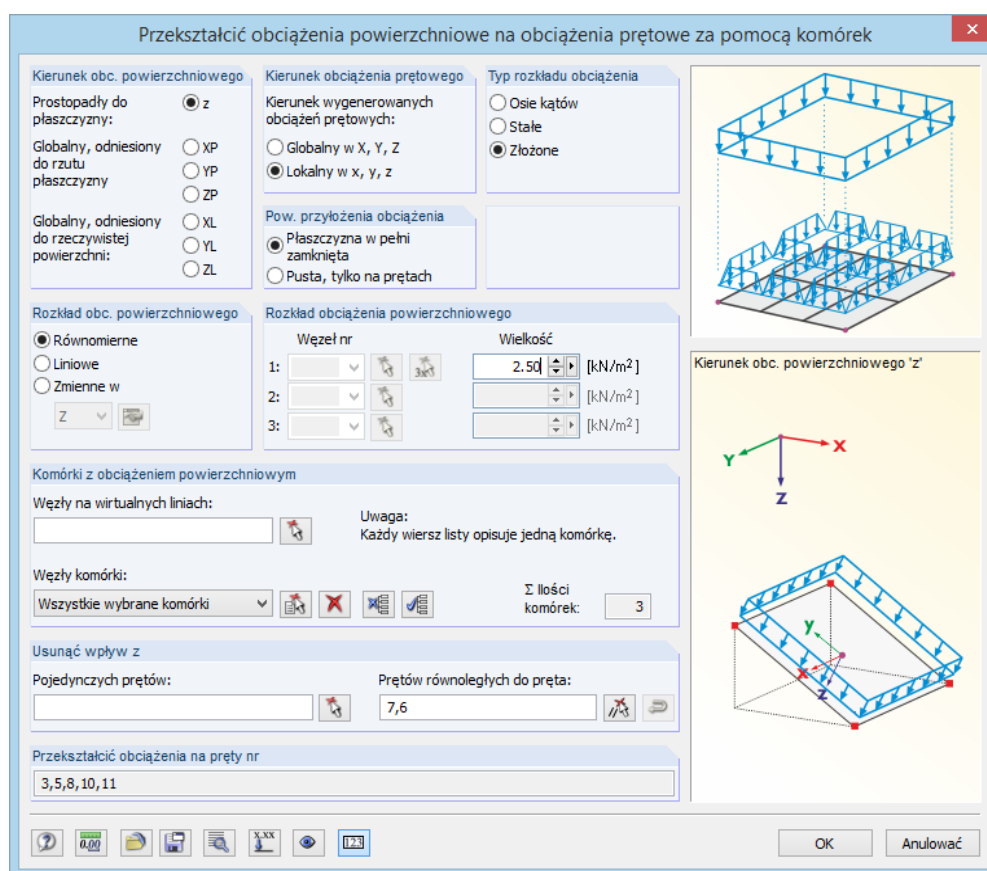
Przycisk	Opis
	Otworzy się ponownie okno dialogowe <i>Przekształć obciążenia powierzchniowe na obciążenia prętowe...</i> , w którym można dostosować parametry generowania.
	Program RFEM pokazuje okno robocze, w którym można zmienić widok (tryb widoku). Aby powrócić do okna <i>Informacje</i> , należy kliknąć prawym przyciskiem myszy w oknie roboczym lub użyć przycisku [Esc].

Tabela 11.15: Przyciski w oknie informacyjnym dla przekształcania obciążeń prętowych



### 11.8.2.2 Obciążenia prętowe od obciążeń powierzchniowych przy użyciu komórek

Rysunek 11.189: Okno dialogowe *Przekształć obciążenia powierzchniowe na obciążenia prętowe za pomocą komórek*

To okno dialogowe jest podobne do okna dialogowego *Przekształć obciążenia powierzchniowe na obciążenia prętowe przy użyciu płaszczyzny*, opisanego na stronie 559. Podczas otwierania okna dialogowego program RFEM sprawdza, czy komórki istnieją w modelu. Dostępne komórki są reprezentowane przez krzyże w komórkach. Komórki są strefami zdefiniowanymi przez trzy lub więcej węzłów narożnych, otoczonymi przez pręty ze wszystkich stron i umieszczone w jednej płaszczyźnie.



Generator obciążenia przy użyciu komórek nie może być używany dla obciążenia wiatrem, na przykład dla ścianie hali z słupami. Program RFEM nie rozpoznaje komórek, ponieważ brak jest prętów pomiędzy posadowieniami. W takim przypadku można utworzyć *Wirtualne linie* poprzez kliknięcie węzła początkowego i końcowego przy użyciu funkcji [~]. W ten sposób, komórki są zamykane sztucznie i mogą być rozpoznane przez generator.

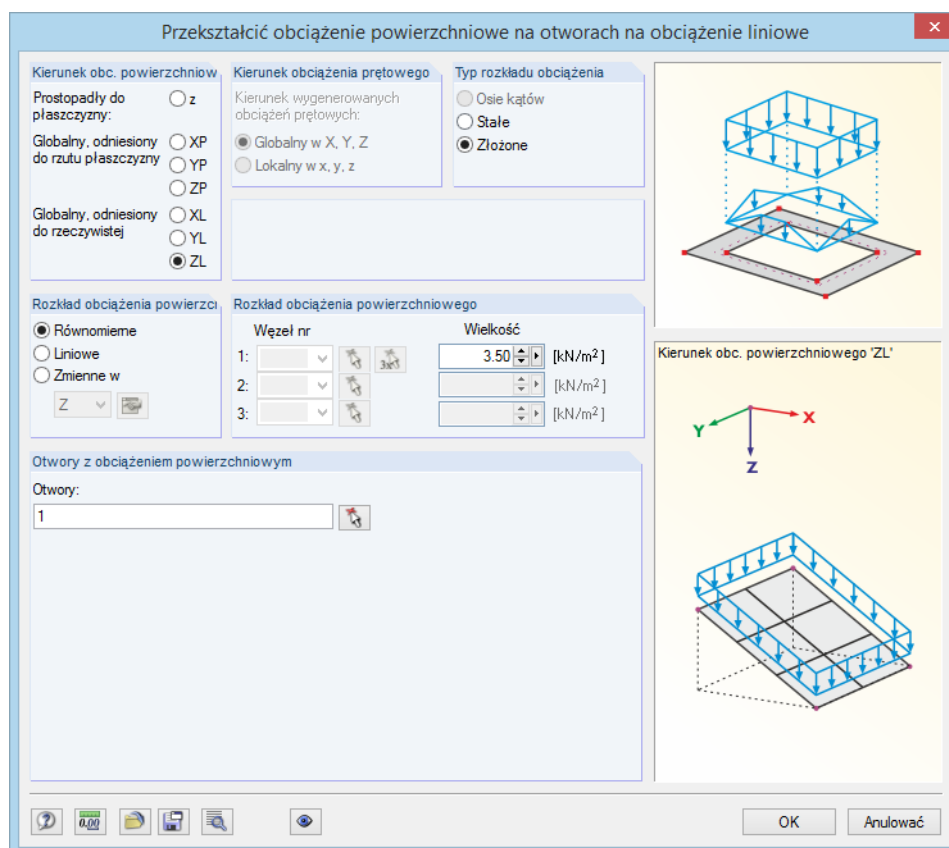


Węzły komórki można wybrać jeden po drugim w grafice przy użyciu [↵]. Po zakończeniu generowania, pojawi się przegląd informacji o komórkach i obciążeniach.



Kliknięcie przycisku [Ustawienia], pokazanego na lewym marginesie tej strony, pozwala otworzyć okno dialogowe *Ustawienia dla tworzenia obciążenia* (zobacz Rysunek 11.178 na stronie 555). Następnie można ustawić tolerancję dla integracji węzłów w płaszczyźnie obciążenia lub skorygować wygenerowane obciążenia.

### 11.8.2.3 Obciążenia liniowe z obciążeń powierzchniowych na otworach



Rysunek 11.190: Okno dialogowe *Przekształć obciążenia powierzchniowe na otworach na obciążenia prętowe*

To okno dialogowe jest podobne do okna dialogowego *Przekształć obciążenia powierzchniowe na obciążenia prętowe za pomocą płaszczyzny*, opisanego na stronie 559. W górnej części okna dialogowego można zdefiniować różne parametry obciążenia.



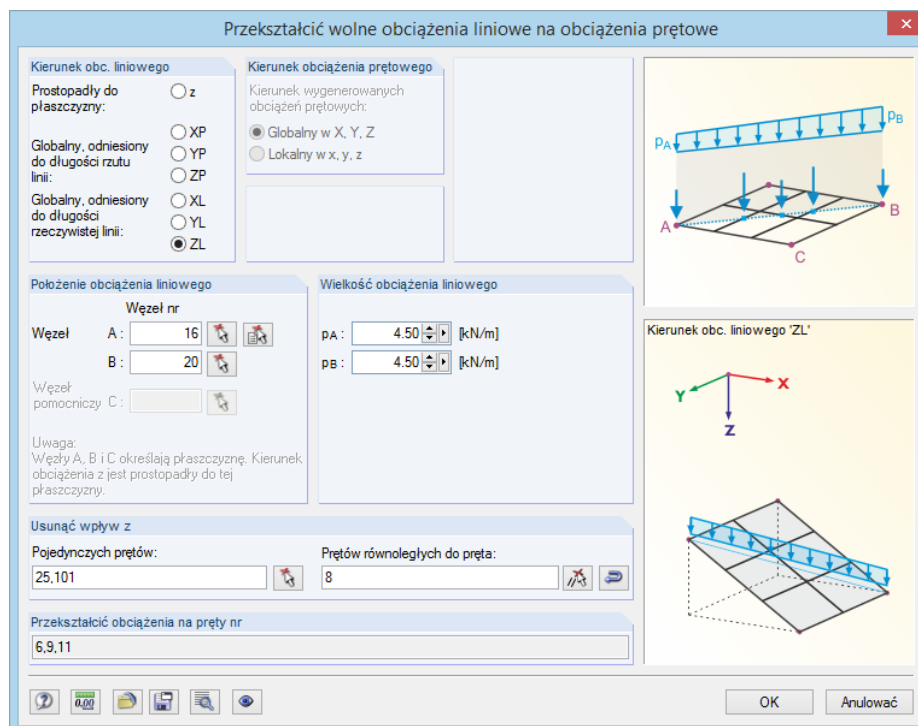
W polu wprowadzania *Otwory z obciążeniem powierzchniowym* należy wprowadzić numery otworów. Oprócz tego można wybrać je w oknie graficznym przy użyciu funkcji [↵].

Następnie należy kliknąć przycisk [OK]. Pojawi się przegląd informacji na temat generowanych obciążeń. Po tym kroku należy kliknąć [OK], aby utworzyć obciążenia liniowe na krawędziach otworu(ów).

### 11.8.3 Inne obciążenia



#### 11.8.3.1 Obciążenia prętowe od wolnego obciążenia liniowego



Rysunek 11.191: Okno dialogowe *Przekształć wolne obciążenia liniowe na obciążenia prętowe*

Przy użyciu tego generatora można zdefiniować wolne obciążenia liniowe dla konstrukcji utworzonych jedynie z prętów, takich jak ruszty wspornikowe, aby rozdzielić proporcjonalnie obciążenia na pręty.

Poprawne przyporządkowanie obciążenia wymaga parametrów dla *Kierunku obciążenia liniowego* oraz *Kierunku obciążenia prętowego*, jeśli występują one w konstrukcji. Te sekcje okna dialogowego, jak również opcja *Usunąć wpływ z* z opisano już dla funkcji "Obciążenia prętowe od obciążeń powierzchniowych przy użyciu płaszczyzny" na stronie 559.

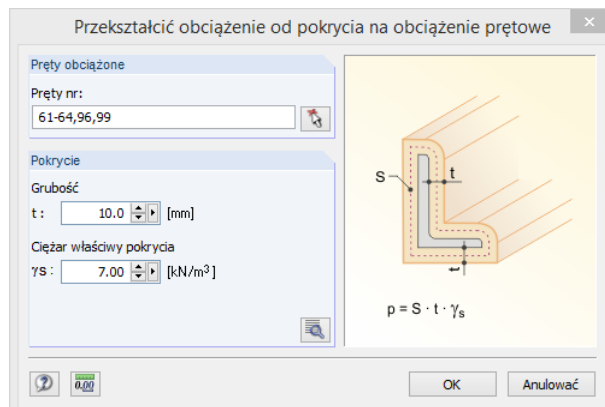
*Wielkości obciążenia liniowego* można zdefiniować jako stałe lub liniowe. *Położenie obciążenia liniowego* może być zdefiniowane graficznie przy użyciu funkcji [^], poprzez kliknięcie węzła początkowego i końcowego. Jeżeli obciążenie liniowe jest skierowane prostopadle do płaszczyzny, należy dodatkowo wprowadzić węzeł pomocniczy C.

Klikając przycisk [Ustawienia], pokazany na lewym marginesie tej strony, można otworzyć okno dialogowe *Ustawienia dla tworzenia obciążenia* (zobacz Rysunek 11.178 na stronie 555).





### 11.8.3.2 Obciążenia prętowe od pokrycia



Rysunek 11.192: Okno dialogowe *Przekształć obciążenie od pokrycia na obciążenie prętowe*



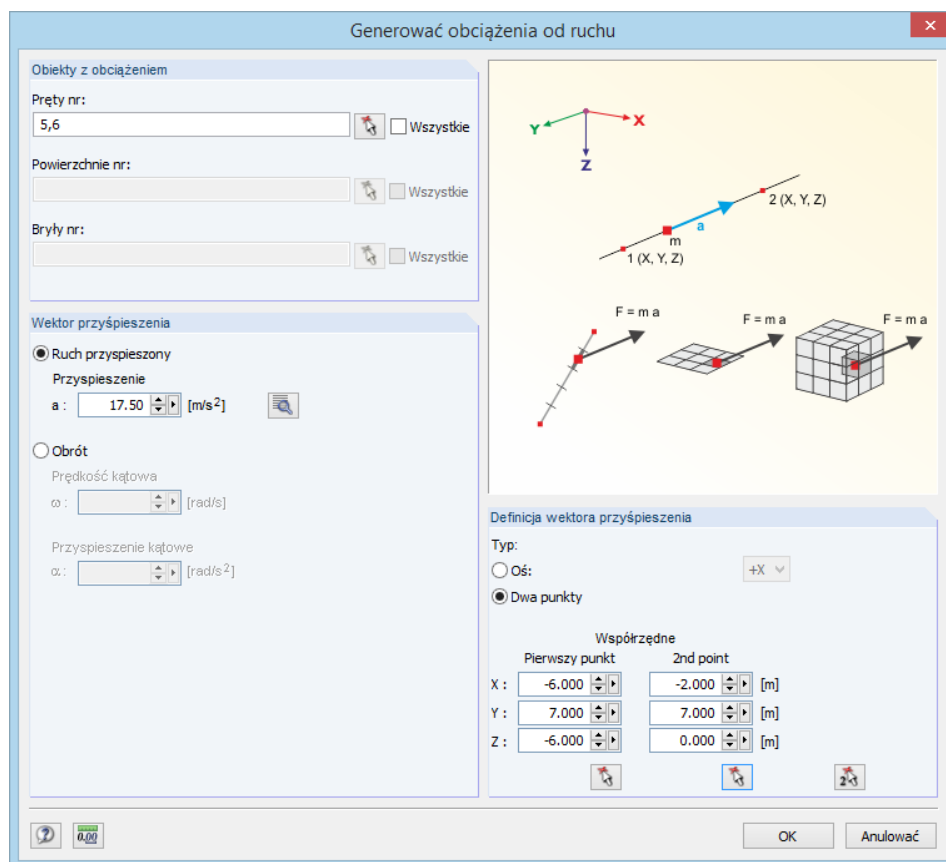
*Pręty obciążone* mogą być wprowadzane bezpośrednio lub określone graficznie przy użyciu funkcji [↖]. *Pokrycie* definiuje się przez grubość i ciężar właściwy.



Przy użyciu przycisku [Informacje], pokazanego na lewym marginesie tej strony, można sprawdzić pola  $A_s$  wybranych przekrojów pręta, które zostaną zastosowane w celu określenia obciążenia lodem. Odnoszą się one do linii w połowie grubości obciążenia lodem, jak pokazano w grafice okna dialogowego (Rysunek 11.192). Dzięki temu obciążenia zostaną określone prawidłowo nawet w przypadku małych przekrojów o wielu krawędziach.



### 11.8.3.3 Obciążenia od ruchu



Rysunek 11.193: Okno dialogowe *Generować obciążenia od ruchu*

Generator ten tworzy obciążenia powstające w wyniku przyspieszenia lub obrotu działającego na poszczególnych obiektach modelu. Ciężar określany jest na podstawie ciężaru własnego.



W sekcji okna dialogowego *Obiekty z obciążeniem* wprowadza się numery odpowiednich prętów, powierzchni lub brył. Obiekty te można wybrać również graficznie przy użyciu funkcji [^].



Następnie należy zdefiniować *Wektor przyspieszenia* jako przyspieszenie lub obrót (prędkość kątowna  $\omega$ , przyspieszenie kątowe  $\alpha$ ). Przy użyciu przycisku [Otworzyć kalkulator przyspieszeń], pokazanego na lewym marginesie tej strony, można określić przyspieszenia na podstawie prędkości, które są dostępne w dwóch punktach.

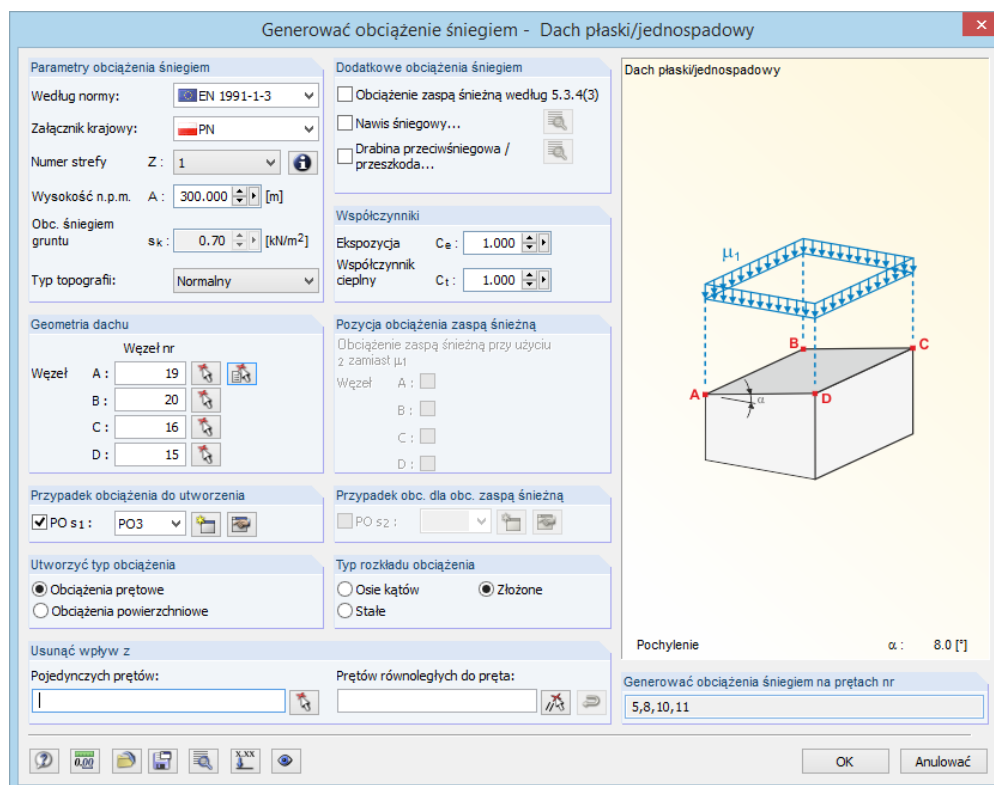


W sekcji okna dialogowego *Definicja wektora przyspieszenia* można zdecydować, czy wektor ten jest związany z osią globalną czy zdefiniowany przez dwa punkty. Wektor można zdefiniować graficznie za pomocą przycisków [^].

Kliknięcie [OK] utworzy obciążenia dla aktualnie wybranego przypadku obciążenia.

## 11.8.4 Obciążenia śniegiem

### 11.8.4.1 Dach płaski/jednospadowy



Rysunek 11.194: Okno dialogowe *Generować obciążenie śniegiem - Dach płaski/jednospadowy*

Dachy płaskie i jednospadowe zarządzane są w jednym oknie dialogowym. Współczynniki kształtu dla dachów płaskich lub dla dachów o spadku jednostronnym są brane pod uwagę zgodnie z EN 1991-1-3 oraz DIN 1055-5.

Na początku należy określić normę i, jeśli to konieczne, załącznik krajowy w sekcji okna dialogowego *Parametry obciążenia śniegiem*. Ustawienia te kontrolują, które pola wprowadzania zostaną uaktywnione.



Przy użyciu przycisku [Informacje] można otworzyć mapę pozwalającą wybrać graficznie strefę obciążenia śniegiem Z. Na podstawie wprowadzonych parametrów program RFEM określa

wartość charakterystyczną obciążenia gruntu śniegiem  $s_k$  z uwzględnieniem wysokości A (zobacz poziom).

Trzy pola wyboru w sekcji okna dialogowego *Dodatkowe obciążenia śniegiem* pozwalają zdecydować, czy będą uwzględniane inne obciążenia śniegiem:

- Obciążenia zaspą śnieżną
- Nawis śniegowy
- Drabinka przeciwśniegowa/przeszkoda

Przy użyciu przycisku [Edytować] można zdefiniować parametry dla nawisu śniegowego oraz dla drabinki przeciwśniegowej.

W razie potrzeby można ustawić współczynnik ekspozycji  $C_e$  (EN 1991-1-3, tabela 5.1), jak również współczynnik cieplny  $C_t$  (EN 1991-1-3, sekcja 5.2 (8)) w sekcji okna dialogowego *Współczynniki*.



*Geometrię dachu* definiuje się za pomocą węzłów narożnych dachu od A do D, zgodnie z grafiką okna dialogowego. W tym samym celu można również użyć funkcji [^], aby określić je graficznie w oknie roboczym. Płaszczyzna będzie oznaczona kolorem wyboru. Do określenia płaszczyzny wymagane są przynajmniej trzy węzły. Powierzchnia nie musi być ograniczona przez linie lub pręty ze wszystkich stron.

*Pozycja obciążenia zaspą śnieżną* może być zdefiniowana przez węzły krawędziowe powierzchni dachu.



W sekcji okna dialogowego *Przypadek obciążenia do utworzenia* oraz *Przypadek obciążenia dla obciążenia zaspą śnieżną* określa się numery przypadków obciążenia dla generowania obciążeń. Przypadki obciążenia śniegiem mogą być tworzone przy użyciu przycisku [Nowy]. Jeśli w modelu dostępne są powierzchnie, można użyć opcji w sekcji okna dialogowego *Utworzyć typ obciążenia*, aby zdecydować, czy będą generowane obciążenia prętowe czy powierzchniowe.

Sekcje okna dialogowego *Typ rozłożenia obciążenia* oraz *Usunąć wpływ* z zostały opisane dla funkcji generatora "Przekształcić obciążenia powierzchniowe na obciążenia-prętowe za pomocą płaszczyzny" na stronie 559.



Kliknięcie przycisku [Ustawienia], pokazanego na lewym marginesie tej strony, pozwala otworzyć okno dialogowe *Ustawienia dla tworzenia obciążenia* (zobacz Rysunek 11.178 na stronie 555).

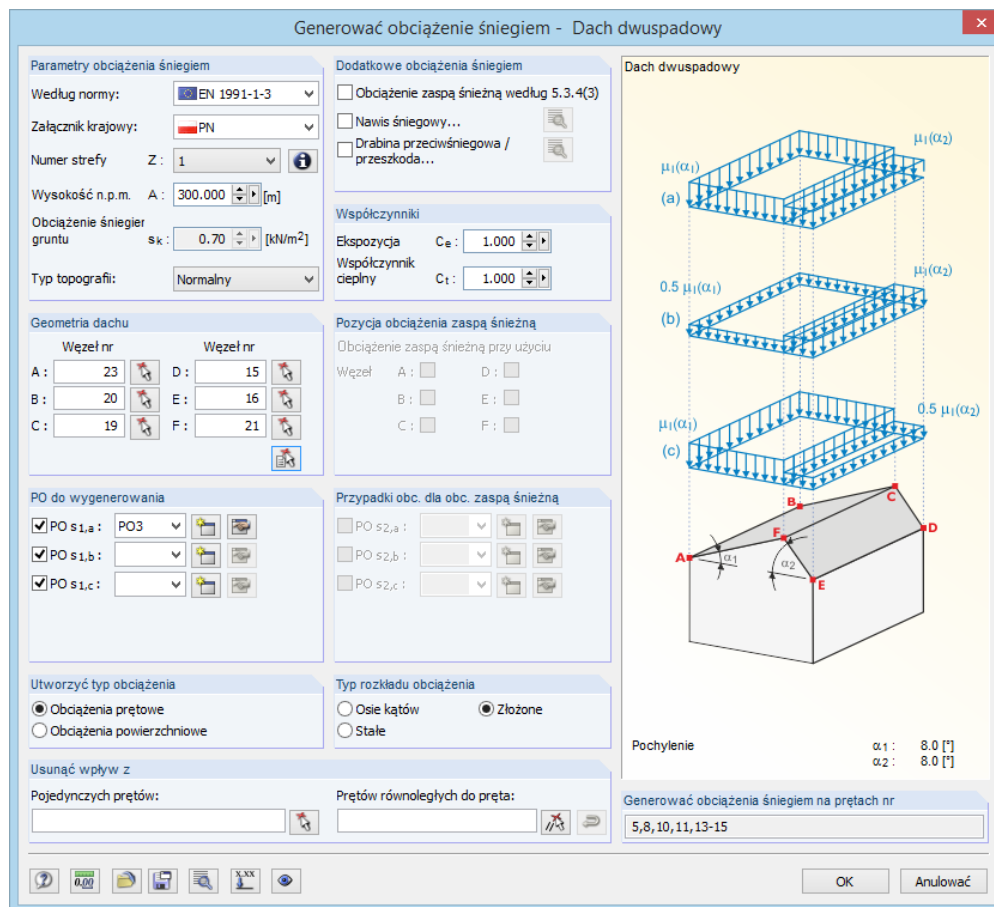


Przy użyciu przycisku [Przydzielić prętom współczynniki poprawkowe dla obciążeń] można skalować obciążenia dla poszczególnych prętów. Specyfikacje zostaną wprowadzone w osobnym oknie dialogowym (zobacz Rysunek 11.187 na stronie 562).

Po potwierdzeniu okna dialogowego generatora poprzez kliknięcie [OK], program RFEM pokazuje wyniki generowania obciążenia dla wszystkich przypadków obciążenia w formie przeglądu. Dzięki temu działające obciążenia powierzchniowe można porównać z obciążeniami przekształconymi. Zanim obciążenia zostaną przeniesione do programu RFEM, można kliknąć przycisk [Powrót], aby przejść do początkowego okna dialogowego, gdzie można zmienić parametry obciążeń.



## 11.8.4.2 Dach dwuspadowy

Rysunek 11.195: Okno dialogowe *Generować obciążenia śniegiem - Dach dwuspadowy*

Na początku należy określić normę i, jeśli to konieczne, załącznik krajowy w sekcji okna dialogowego *Parametry obciążenia śniegiem*. Ustawienia te kontrolują, które pola wprowadzania zostaną uaktywnione.



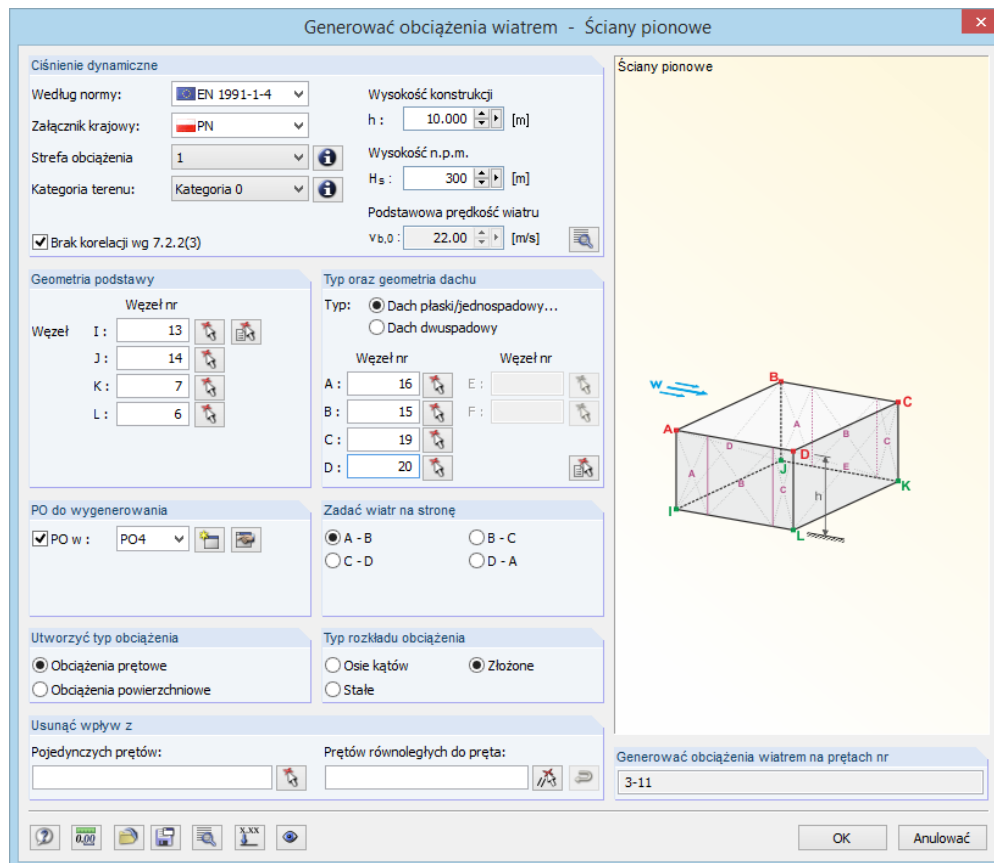
Parametry określa się w sposób opisany w poprzednim rozdziale. *Geometrię dachu* dwuspadowego definiuje się za pomocą węzłów narożnych dachu od A do F, zgodnie z grafiką okna dialogowego. W tym samym celu można również użyć funkcji [↶], aby określić je graficznie w oknie roboczym.



W sekcji okna dialogowego *Przypadek obciążenia do utworzenia* oraz *Przypadki obciążenia dla obciążenia zaspą śnieżną* określa się numery przypadków obciążenia dla generowania obciążeń. Alternatywne przypadki obciążeń zostaną utworzone, gdy są brane pod uwagę dodatkowe obciążenia śniegiem (na przykład DIN 1055-5, rysunek 4) lub współczynniki kształtu (na przykład EN 1991-1-3, rysunek 5.3). Odpowiednie przypadki obciążenia śniegiem mogą być tworzone za pomocą przycisku [Nowy].

## 11.8.5 Obciążenia wiatrem

### 11.8.5.1 Ściany pionowe



Rysunek 11.196: Okno dialogowe *Generować obciążenia wiatrem – Ściany pionowe* (geometria dachu: *Dach płaski*)

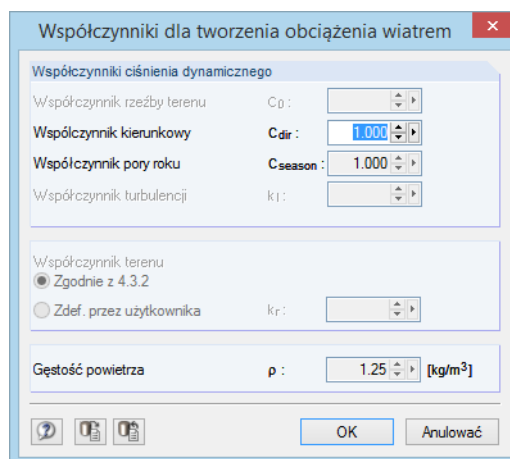
Na początku należy określić normę i, w razie potrzeby, załącznik krajowy w sekcji okna dialogowego *Ciśnienie dynamiczne*. Ustawienia te kontrolują, które pola wprowadzania zostaną uaktywnione.



Strefę wiatrową oraz kategorię terenu można wybrać graficznie na mapie, którą otwiera się przy użyciu przycisku [Informacje]. Wysokość konstrukcji  $h$  nie jest pobierana automatycznie z modelu, ale musi zostać określona. Na podstawie wprowadzonych ustawień program RFEM określa wartości podstawowej bazowej prędkości wiatru  $v_{b,0}$ .



Kliknięcie przycisku [Edytować], pokazanego na lewym marginesie tej strony, pozwala uzyskać dostęp do większej ilości współczynników używanych do określania obciążeń wiatrowych.



Rysunek 11.197: Okno dialogowe *Współczynniki do generowania obciążeń wiatrowych*

Ściany są określane przez *Geometrię podstawy* (węzły od I do L dla powierzchni podstawy), a także *Typ oraz geometrię dachu* (węzły od A do D lub od A do F dla płaszczyzn dachu). W przypadku okapów, należy określić górne węzły ściany, a nie węzły dachu. Jak pokazano w grafice okna dialogowego, obciążenie wiatrem może być generowane dla obiektów budowlanych zamkniętych ze wszystkich stron i posiadających czworoboczne pole podstawy. Należy pamiętać podczas wprowadzania geometrii, że węzły początkowe I oraz A muszą leżeć jeden nad drugim. Ponadto kierunek oznaczania węzłów musi być jednakowy podczas określania podstawy jak i powierzchni dachu. Aby zdefiniować podstawę i geometrię dachu graficznie, wykorzystać można przyciski [↶].



W sekcji okna dialogowego *Przypadek obciążenia do utworzenia* określa się numer przypadku obciążenia dla generowania obciążeń. Przy użyciu przycisku [Nowy] można utworzyć przypadek obciążenia wiatrem.

Kierunek wiatru jest definiowany w sekcji okna dialogowego *Zadać wiatr na stronę*. Wiatr działa prostopadle do określonej linii.

Jeśli w modelu dostępne są powierzchnie, można użyć opcji w sekcji okna dialogowego *Utworzyć typ obciążenia*, aby zdecydować, czy będą generowane obciążenia prętowe czy powierzchniowe.

Sekcje okna dialogowego *Typ rozłożenia obciążenia oraz Usunąć wpływ z* zostały opisane dla funkcji generatora "Przekształć obciążenia powierzchniowe na obciążenia prętowe za pomocą płaszczyzny" na stronie 559).

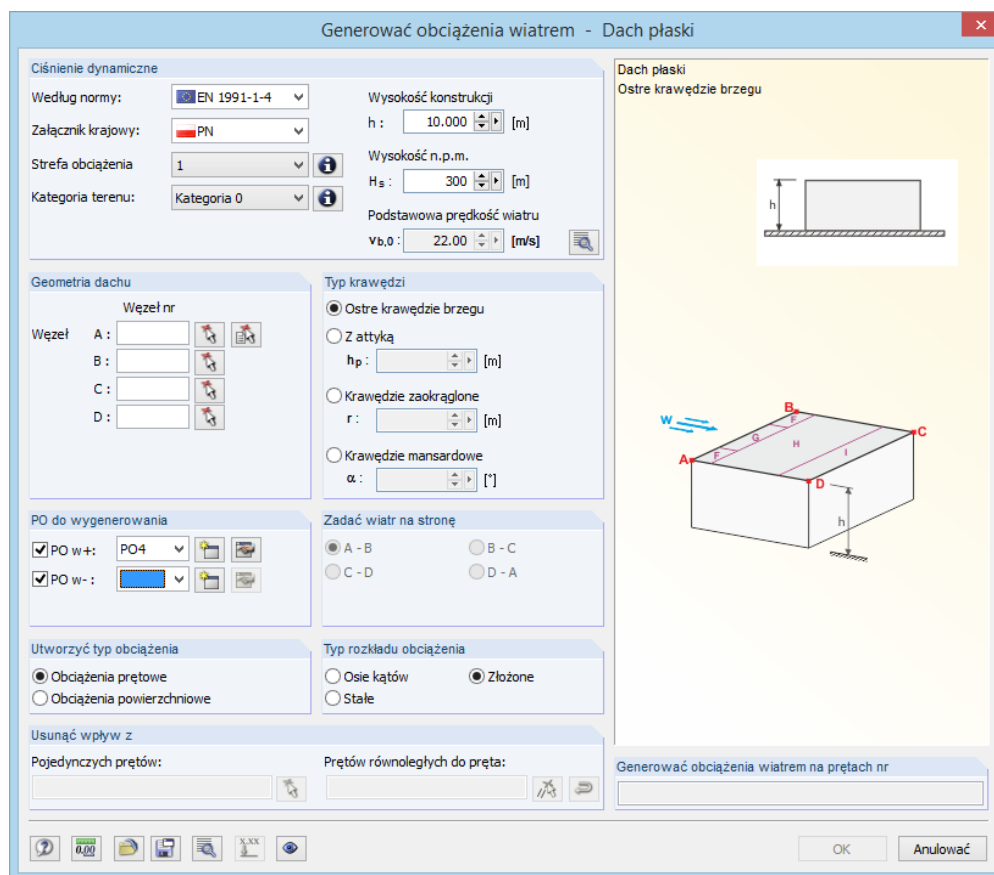


Kliknięcie przycisku [Ustawienia], pokazanego na lewym marginesie tej strony, pozwala otworzyć okno dialogowe *Ustawienia dla tworzenia obciążenia* (zobacz Rysunek 11.178 na stronie 555).



Po potwierdzeniu okna dialogowego generatora poprzez kliknięcie [OK], program RFEM pokazuje wyniki generowania obciążeń w formie przeglądu dla wszystkich przypadków obciążeń. Dzięki temu działające obciążenia powierzchniowe można porównać z przekształconymi obciążeniami. Zanim obciążenia zostaną przeniesione do programu RFEM, można kliknąć przycisk [Powrót], aby przejść do początkowego okna dialogowego, w którym można zmienić parametry obciążeń.

## 11.8.5.2 Dach płaski

Rysunek 11.198: Okno dialogowe *Generować obciążenia wiatrem - Dach płaski*

Program RFEM przyjmuje, że dach jest płaski, jeżeli jego pochylenie wynosi  $\alpha < 5^\circ$ .

Na początku należy określić normę – i w razie potrzeby – załącznik krajowy w sekcji okna dialogowego *Ciśnienie dynamiczne*. Ustawienia te kontrolują, które pola wprowadzania zostaną uaktywnione.

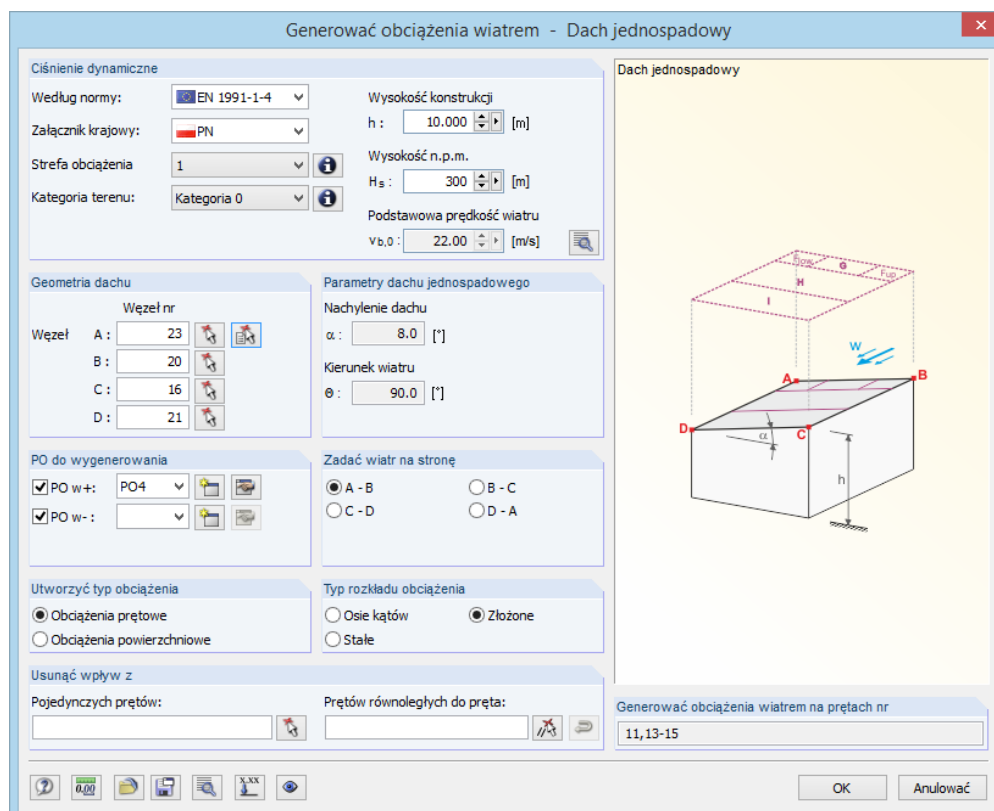
Parametry określa się w sposób opisany w poprzednim rozdziale. Sekcja okna dialogowego *Typ okapu* jest połączona z interaktywną grafiką znajdującą się w prawej części okna dialogowego ilustrującą poszczególne ustawienia.



Jak opisano w EN 1991-1-4, tabela 7.2, w przypadku dachu płaskiego należy wziąć pod uwagę kilka przypadków obciążeń. W sekcji okna dialogowego *Przypadki obciążeń do utworzenia* określa się numery przypadków obciążeń dla generowania obciążeń. Obciążenia od parcia są tworzone w przypadku obciążenia *PO w+*. Obciążenia ssące są generowane w *PO w-*. Odpowiednie przypadki obciążenia mogą być tworzone za pomocą przycisku [Nowy].

Po potwierdzeniu okna dialogowego generatora poprzez kliknięcie [OK], program RFEM pokazuje wyniki generowania obciążenia w formie przeglądu dla wszystkich przypadków obciążeń (zobacz Rysunek 11.201 na stronie 575). Zakładki okna dialogowego stanowią ważną opcję sprawdzania, ponieważ dla każdego przypadku obciążenia pozwalają zobaczyć współczynnik ciśnienia zewnętrznego  $c_{pe,10}$  oraz ciśnienie zewnętrzne  $w_e$  wyświetlone według stref.

## 11.8.5.3 Dach jednospadowy

Rysunek 11.199: Okno dialogowe *Generować obciążenia wiatrem - Dach jednospadowy*

Na początku należy określić normę – i w razie potrzeby – załącznik krajowy w sekcji okna dialogowego *Ciśnienie dynamiczne*. Ustawienia te kontrolują, które pola wprowadzania zostaną uaktywnione.

Parametry określa się w sposób opisany w rozdziale 11.8.5.1. *Parametry dachu jednospadowego* są określane automatycznie na podstawie geometrii dachu oraz strony, na którą oddziałuje wiatr.

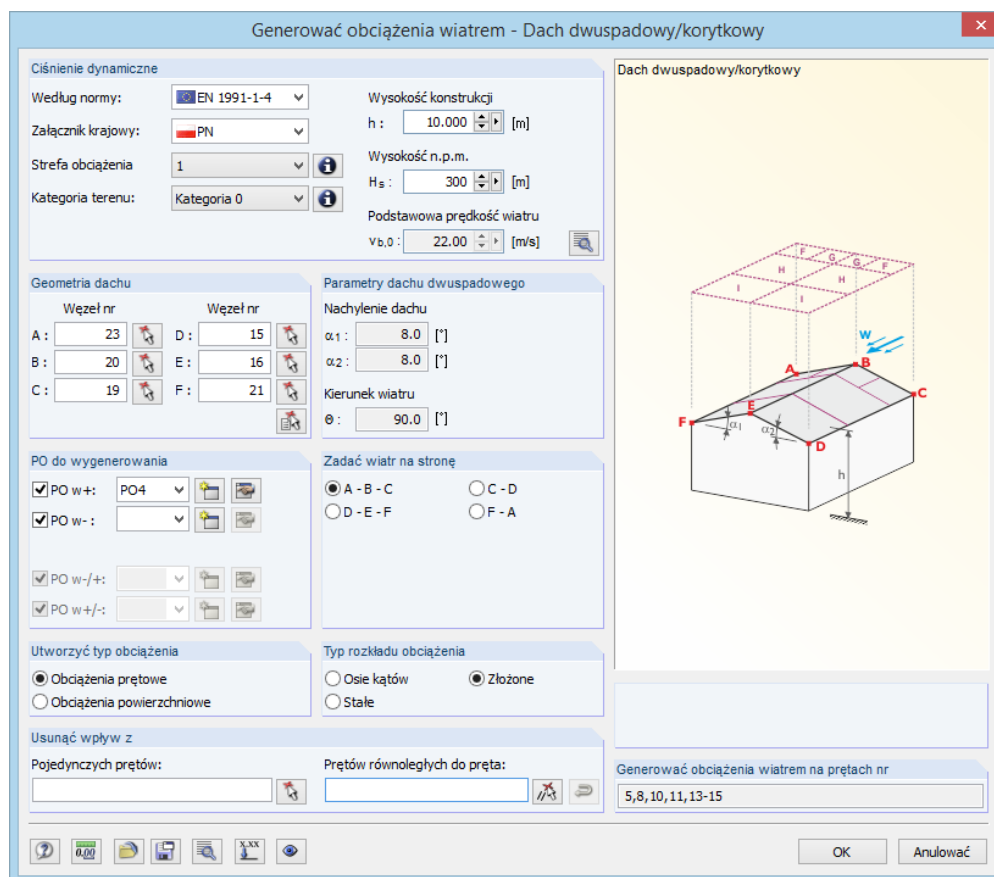


Jak opisano na przykład w EN 1991-1-4, tabela 7.3a, w przypadku dachu jednospadowego należy wziąć pod uwagę kilka przypadków obciążeń. W sekcji okna dialogowego *Przypadki obciążeń do utworzenia* określa się numery przypadków obciążeń dla generowania obciążeń. Obciążenia od parcia są tworzone w przypadku obciążenia *PO w+*. Obciążenia ssące są generowane w *PO w-*. Odpowiednie przypadki obciążeń mogą być tworzone za pomocą przycisku [Nowy].



Przy użyciu przycisku [Przydzielić prętom współczynniki poprawkowe dla obciążeń] można skalować obciążenia dla poszczególnych prętów. W ten sposób można uwzględnić na przykład wpływ ciągłości poszycia dachu na krokwiach krawędziowych w celu wygenerowania zredukowanych obciążeń prętowych. Specyfikacje zostaną wprowadzone w osobnym oknie dialogowym (zobacz Rysunek 11.187 na stronie 562).

## 11.8.5.4 Dach dwuspadowy/korytkowy

Rysunek 11.200: Okno dialogowe *Generować obciążenia wiatrem - Dach dwuspadowy/korytkowy*

Na początku należy określić normę – i w razie potrzeby – załącznik krajowy w sekcji okna dialogowego *Ciśnienie dynamiczne*. Ustawienia te kontrolują, które pola wprowadzania zostaną uaktywnione.

Parametry określa się w sposób opisany w rozdziale 11.8.5.1 na stronie 570. *Parametry dachu dwuspadowego* są określane automatycznie na podstawie geometrii dachu oraz strony, na której oddziałuje wiatr.



Jak opisano na przykład w EN 1991-1-4, tabela 7.4a, w przypadku dachu dwuspadowego należy wziąć pod uwagę kilka przypadków obciążeń. W sekcji okna dialogowego *Przypadki obciążeń do utworzenia* określa się numery przypadków obciążeń dla generowania obciążeń. Obciążenia od parcia są tworzone w przypadku obciążenia *PO w+*. Obciążenia ssące są generowane w *PO w-*. Kombinacje (parcie z jednej strony dachu i ssanie z drugiej strony) są definiowane jako *LC w-/+* oraz *LC w+/-*. Odpowiednie przypadki obciążeń mogą być tworzone za pomocą przycisku [Nowy].

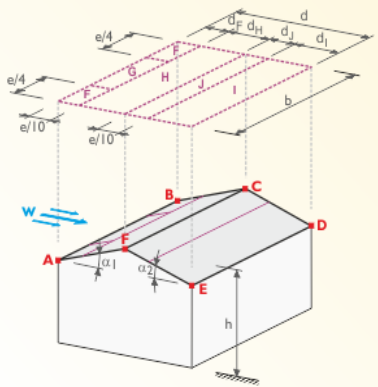
Po potwierdzeniu okna dialogowego generatora poprzez kliknięcie [OK], program RFEM pokazuje wyniki generowania obciążeń w formie przeglądu dla wszystkich przypadków obciążeń. Zakładki okna dialogowego stanowią ważną opcję sprawdzania, ponieważ dla każdego przypadku obciążenia pozwalają zobaczyć współczynnik ciśnienia zewnętrznego  $c_{pe,10}$  oraz ciśnienie zewnętrzne  $w_e$  wyświetlone według stref.

Informacje o generowaniu obciążenia wiatrem - Dach dwuspadowy/korytkowy

**Wymiary dachu dwuspadowego**

h:	10.000 [m]	bF:	5.000 [m]
b:	30.000 [m]	dF:	2.000 [m]
d:	15.000 [m]	dH:	5.500 [m]
e:	20.000 [m]	dI:	5.500 [m]
A:	453.982 [m <sup>2</sup> ]	dJ:	2.000 [m]
$\alpha_1$ :	7.6 [°] $ \alpha_1  \geq 5^\circ$	$\theta$ :	0.0 [°]
$\alpha_2$ :	7.6 [°] $ \alpha_2  \geq 5^\circ$		

**Dach dwuspadowy/korytkowy**



**PO1 PO2**

Strefa	F	G	H	I	J	Współczynnik ciśnienia zew. $C_{pe,10}$	Ciśnienie zew. $w_e$ [kN/m <sup>2</sup> ]
F:	0.052	0.052	0.052	0.000	0.148	0.052	0.047
G:						0.052	0.047
H:						0.052	0.047
I:						0.000	0.000
J:						0.148	0.134

Generow. całkow. obc. wiatrem	Mom. całkow. do początku
$\Sigma P$ Powierzchni: 18.663 [kN]	300.569 [kNm]
$\Sigma P$ : 18.663 [kN]	300.075 [kNm]

**Komórki wybrane do generowania**

$\Sigma$ ilość komórek:	$\Sigma$ Pow. komórek:
179	1286.283 [m <sup>2</sup> ]

**Niedozwolone komórki do generowania**

$\Sigma$ ilość komórek:	$\Sigma$ Pow. komórek:
	[m <sup>2</sup> ]

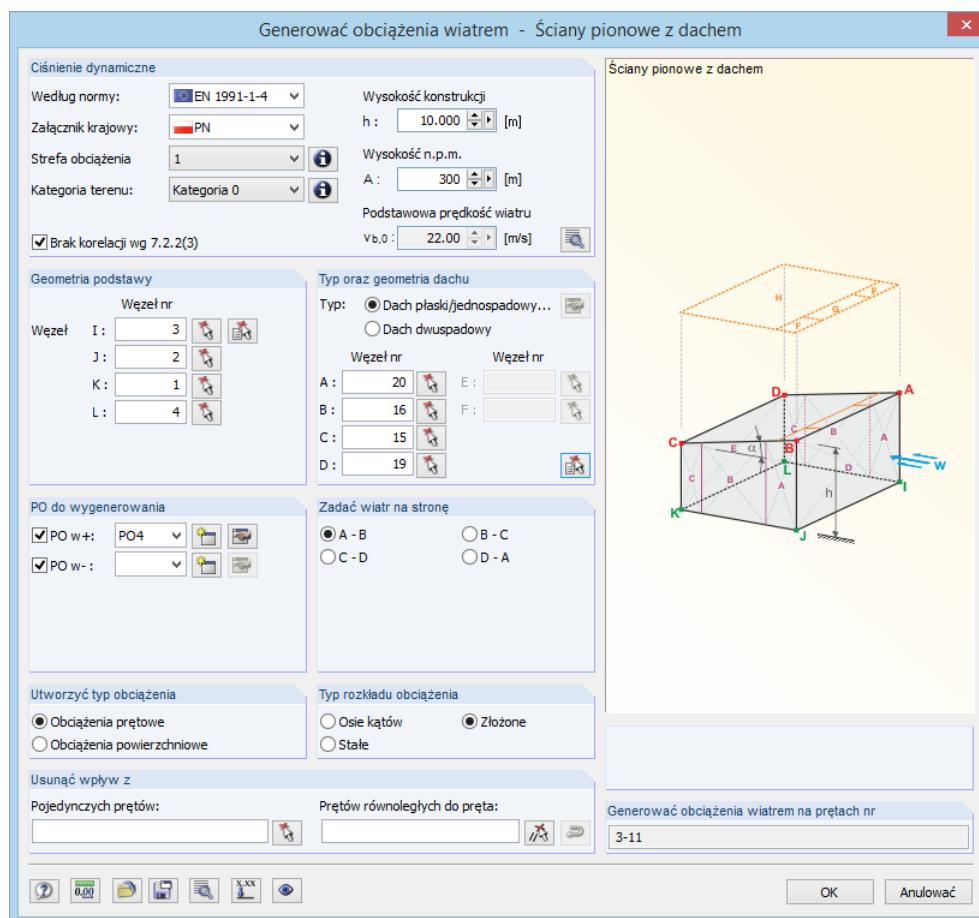
Generować obciążenia wiatrem na prętach nr  
25-29,40-44,50-54,60-64,70-79,85-109,115-119,140-144

OK Anulować

Rysunek 11.201: Okno dialogowe *Informacje na temat generowania obciążeń wiatrowych - Dach dwuspadowy/korytkowy*

Zanim obciążenia zostaną przeniesione do programu RFEM, można kliknąć przycisk [Powrót], aby przejść do początkowego okna dialogowego pozwalającego zmienić parametry obciążeń.

## 11.8.5.5 Ściany pionowe wraz z dachem



Rysunek 11.202: Okno dialogowe *Generować obciążenia wiatrem - Ściany pionowe z dachem* (geometria dachu: *Dach dwuspadowy*)

Na początku należy określić normę – i w razie potrzeby – załącznik krajowy w sekcji okna dialogowego *Ciśnienie dynamiczne*. Ustawienia te kontrolują, które pola wprowadzania zostaną uaktywnione.

Parametry określa się w sposób opisany w rozdziale 11.8.5.1 na stronie 570.



Jak opisano na przykład w EN 1991-1-4 w tabeli 7.4a, w przypadku dachu dwuspadowego należy wziąć pod uwagę kilka przypadków obciążenia. W sekcji okna dialogowego *Przypadek obciążenia do utworzenia* określa się numery przypadków obciążeń dla generowania obciążeń. Obciążenia od parcia są tworzone w przypadku obciążenia *PO w+*. Obciążenia ssące są generowane w *PO w-*. Kombinacje (parcie z jednej strony dachu i ssanie z drugiej strony) są definiowane jako *LC w-/+* oraz *LC w+/-*. Odpowiednie przypadki obciążenia mogą być tworzone za pomocą przycisku [Nowy].



Przy użyciu przycisku [Przydzielić prętom współczynniki poprawkowe dla obciążeń] można skalować obciążenia dla poszczególnych prętów. Specyfikacje zostaną wprowadzone w osobnym oknie dialogowym (zobacz Rysunek 11.187 na stronie 562).

Po potwierdzeniu okna dialogowego generatora poprzez kliknięcie [OK], program RFEM pokazuje wyniki generowania obciążenia w formie przeglądu dla wszystkich przypadków obciążeń (zobacz Rysunek 11.201 na stronie 575). Zakładki okna dialogowego stanowią ważną opcję sprawdzania, ponieważ dla każdego przypadku obciążenia pozwalają zobaczyć współczynnik ciśnienia zewnętrznego  $c_{pe,10}$  oraz ciśnienie zewnętrzne  $w_e$  wyświetlone według stref.



# 12. Zarządzanie plikami

Rozdział ten wyjaśnia, w jaki sposób dane są organizowane w Menedżerze projektów oraz w jaki sposób zarządzane są w blokach powtarzające się elementy konstrukcyjne. Ponadto rozdział ten opisuje import i eksport danych przy użyciu zintegrowanych interfejsów do wymiany danych z innymi programami.

## 12.1 Menedżer projektów

Podczas analizy statyczno-wytrzymałościowej, projekt jest często dzielony na kilka modeli. *Menedżer projektów* pomaga organizować dane wszystkich aplikacji firmy Dlubał. Dodatkowo można również użyć go do zarządzania modelami programu RFEM w ramach sieci (zobacz rozdział 12.3 na stronie 598).

Menedżer projektów może zostać otwarty jako samodzielna aplikacja podczas pracy w programie RFEM.

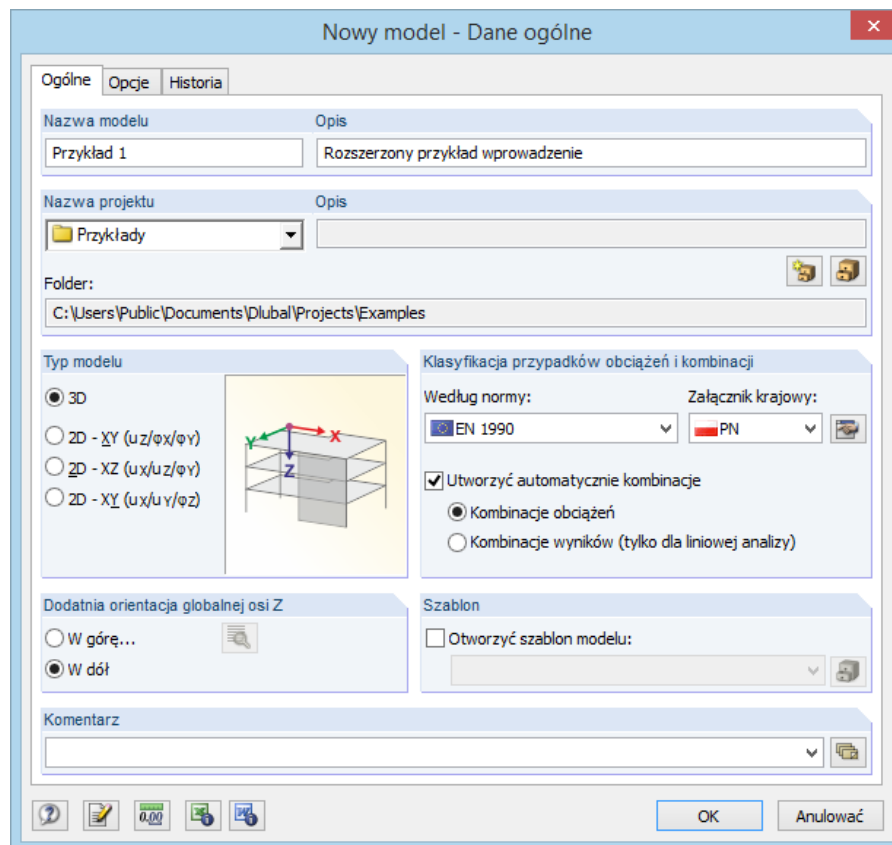


Aby otworzyć Menedżera projektów, należy wybrać opcję **Menedżer projektów** w menu **Plik** lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony.



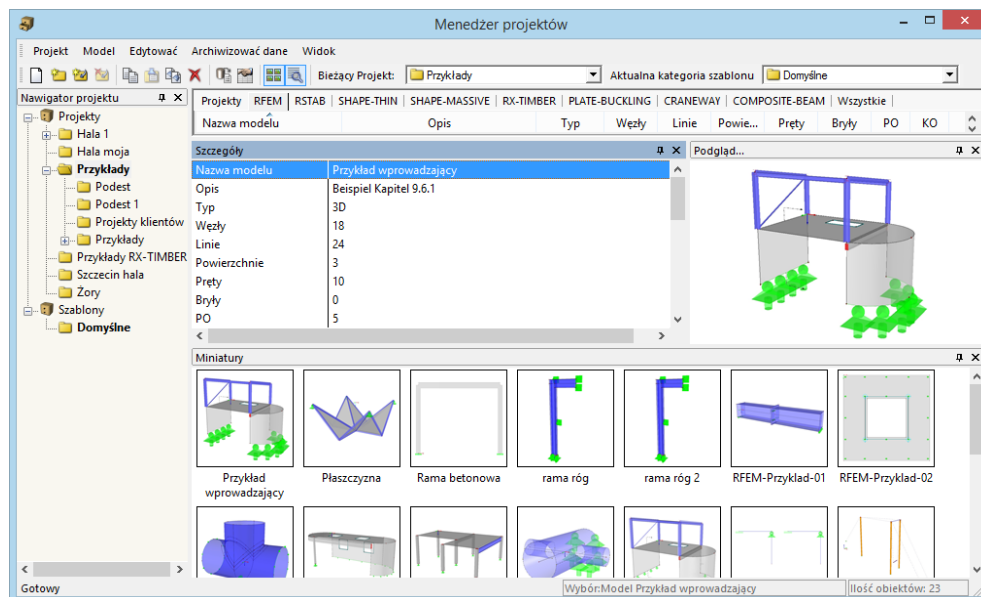
Rysunek 12.1: Przycisk *Menedżera projektów* w pasku narzędzi

Dostęp do Menedżera projektów można uzyskać również w oknie dialogowym modelu *Dane ogólne*.



Rysunek 12.2: Przycisk *Menedżera projektów* w oknie dialogowym *Dane ogólne*

Po otwarciu Menedżera projektów, pojawia się następujące wieloczęściowe okno dialogowe, które ma swoje własne menu i pasek narzędzi.



Rysunek 12.3: Menedżer projektów

### Nawigator projektu

Po lewej stronie jest wyświetlany nawigator zawierający w strukturze drzewa wszystkie projekty. Aktualnie używany projekt jest pogrubiony. Aby wybrać inny projekt, należy dwukrotnie kliknąć odpowiedni wpis lub użyć listy *Bieżący projekt* w pasku narzędzi. Tabela po prawej stronie od nawigatora zawiera modele wchodzące w skład wybranego projektu.

### Tabela modeli

Modele znajdują się w kilku zakładkach i są posortowane według aplikacji firmy Dlubal. Zakładka *RFEM* wymienia wszystkie modele programu RFEM znajdujące się w wybranym projekcie. Wyświetlane są odpowiednio: *Nazwa modelu* oraz *Opis*, jak również istotne informacje na temat konstrukcji i pliku włącznie z nazwą użytkownika, który utworzył i edytował dany model.



Aby dostosować sposób wyświetlania kolumn, należy wybrać polecenie **Ustawienia kolumn** w menu **Widok** Menedżera projektów lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony (zobacz na stronie 587).

### Szczegóły

Ta część okna pokazuje wszystkie informacje dostępne dla modelu, który jest zaznaczony w górnej sekcji okna dialogowego.


### Podgląd

Wybrany model jest wyświetlany w podglądzie. Rozmiar okna podglądu można dostosować przesuwając górną krawędź okna.

### Miniatury

Dolna część Menedżera projektów oferuje graficzny przegląd modeli znajdujących się w wybranym projekcie. Miniatury obrazów są interaktywne z powyższą tabelą.

Przy użyciu pinezek można zminimalizować poszczególne części okna. Zostaną one zadokowane jako zakładki w stopce.

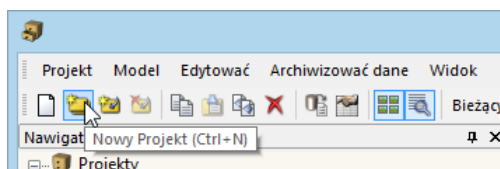
Szczegóły  

## 12.1.1 Menedżer projektów

### Tworzenie nowego projektu

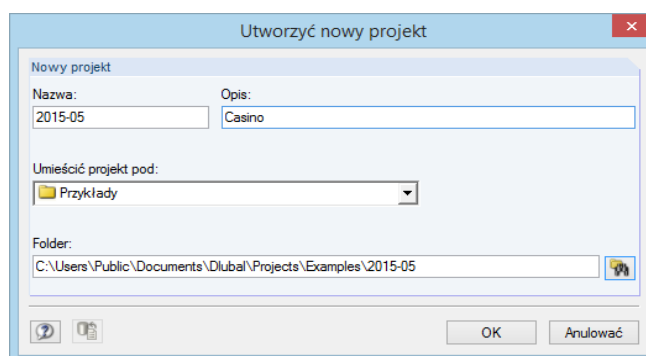
Aby utworzyć nowy projekt, należy

- wybrać polecenie **Nowy** w menu **Projekt** Menedżera projektów lub
- kliknąć przycisk [Nowy projekt] w pasku narzędzi, pokazany na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 12.4: Przycisk *Nowy projekt*

Otworzy się okno dialogowe *Utworzyć nowy projekt*, w którym wpisuje się *Nazwę* nowego projektu. Następnie należy wybrać *Folder*, w którym zapisywane będą modele. Za pomocą przycisku [Przeglądać], pokazanego na lewym marginesie tej strony, można ustawić katalog. Dodatkowo można również dodać krótki *Opis* projektu, który będzie jedynie pokazywany w nagłówku protokołu wydruku i nie ma dalszego znaczenia.



Rysunek 12.5: Okno dialogowe *Utworzyć nowy projekt*

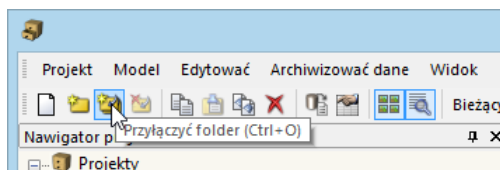
W Menedżerze projektów możliwe jest również tworzenie podprojektów, poprzez wybranie projektu z listy *Umieść projekt pod*. Nowy projekt będzie wyświetlany w nawigatorze jako podprojekt. Jeśli użytkownik nie chce korzystać z tego ustawienia, należy wybrać wpis *Projekty* na szczycie listy. Po tym kroku projekt pojawi się jako główny wpis w nawigatorze.

Po kliknięciu przycisku [OK] nowy folder z nazwą projektu zostanie utworzony na dysku lokalnym lub sieciowym.

### Łączenie istniejącego folderu

Aby zintegrować folder zawierający już kilka modeli programu RFEM jako jeden projekt,

- należy wybrać polecenie **Połączyć folder** w menu **Projekt** Menedżera projektów lub
- wykorzystać przycisk [Przyłączyć folder] w pasku narzędzi, pokazany na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 12.6: Przycisk *Przyłączyć folder*

Nie ma znaczenia, czy folder, który ma zostać połączony znajduje się na dysku lokalnym czy sieciowym. Zostanie on dołączony do zarządzania plikami i pozostawiony w swojej lokalizacji dyskowej - podobnie do tworzenia skrótu na pulpicie. Informacje są zapisywane w pliku ASCII **PRO.DLP** w folderze **ProMan** (zobacz rozdział 12.1.4.3 na stronie 590).



Otworzy się okno dialogowe, które jest podobne do okna dialogowego pokazanego na Rysunek 12.5. Należy w nim wprowadzić *Nazwę* i *Opis* projektu i użyć przycisku [Przeglądać], aby ustawić katalog dla odpowiedniego folderu. Jeżeli projekt jest określony na liście *Umieść projekt pod*, folder łączący musi być umieszczony w katalogu tego projektu. Folder ten będzie następnie traktowany jako podprojekt. Niemniej, jeżeli folder ma pojawić się w Menedżerze projektów jako niezależny projekt, należy wybrać polecenie *Projekty* na górze listy.

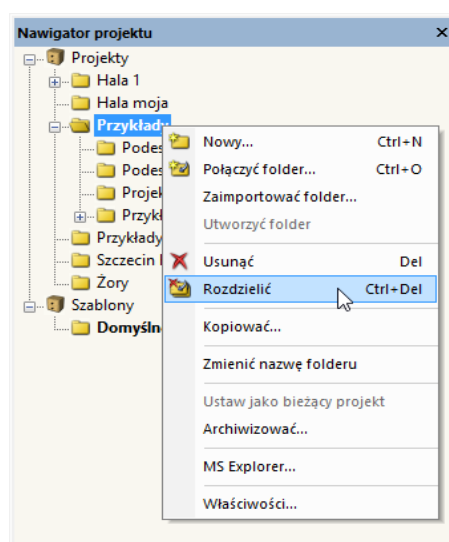
Aby jednorazowo połączyć wszystkie foldery znajdujące się w wybranym folderze przy użyciu Menedżera projektów należy zaznaczyć opcję *Połączyć folder wraz ze wszystkimi podfolderami*.



## Odlączenie folderu

Aby odłączyć folder zintegrowany w Menedżerze projektów, należy

- wybrać polecenie **Rozdzielić** w menu **Projekt** Menedżera projektów (projekt musi być uprzednio zaznaczony) lub
- użyć menu kontekstowego projektu w nawigatorze.



Rysunek 12.7: Menu kontekstowe projektu



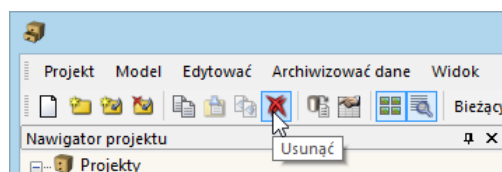
Projekt zostanie usunięty tylko z zarządzania wewnętrznego. Folder na dysku twardym i jego zawartość zostaną zachowane.

## Usuwanie projektu

Aby usunąć projekt, należy

- wybrać polecenie **Usunąć** w menu **Projekt** Menedżera projektów (projekt musi być wcześniej zaznaczony),
- kliknąć przycisk [Usunąć] w pasku narzędzi Menedżera pokazany na lewym marginesie tej strony lub
- wykorzystać wpis **Usunąć** w menu kontekstowym projektu dostępny w nawigatorze (zobacz na powyższym rysunku).



Rysunek 12.8: Przycisk *Usunąć*

Folder wraz z jego zawartością zostanie całkowicie usunięty z dysku twardego.

Jeśli folder zawiera również pliki z innych programów, zostaną usunięte tylko pliki z aplikacji Dlubal, a sam folder zostanie zachowany.



Aby cofnąć usunięcie projektów, należy wybrać polecenie **Przywrócić z kosza Dlubal** w menu **Edytować** Menedżera projektów.

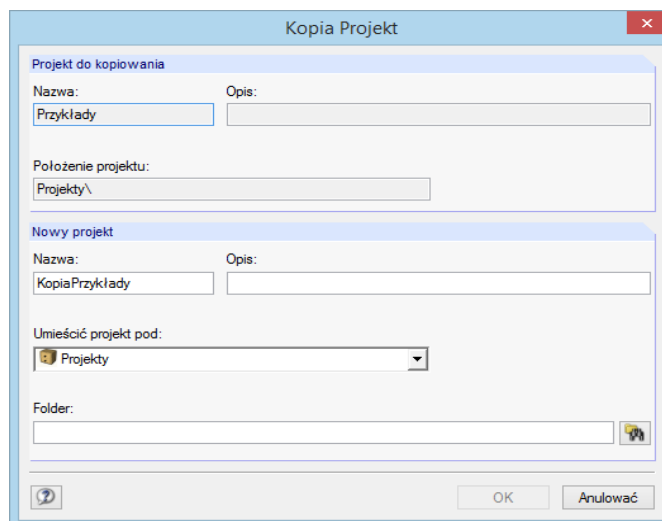
Kosz Dlubal został opisany w rozdziale 12.1.4.2 na stronie 588.

W przypadku usuwania plików przechowywanych na dysku sieciowym, są one kopiowane poprzez sieć do kosza Dlubal na dysku twardym, który różni się od standardu systemu Windows, gdzie dane są nie do odzyskania. W ten sposób można przywrócić z odpowiedniego komputera pliki usunięte na dyskach sieciowych. Jeśli pliki nie mają być kopiowane do kosza, zaleca się odłączyć projekt (zobacz powyżej). Następnie można usunąć dane z dysku sieciowego ręcznie.

## Kopiowanie projektu

Aby skopiować projekt,

- należy wybrać opcję **Kopiować** w menu **Projekt** Menedżera projektów (projekt musi zostać uprzednio zaznaczony) lub
- użyć wpisu **Kopiować** w menu kontekstowym projektu w nawigatorze (zobacz Rysunek 12.7).

Rysunek 12.9: Okno dialogowe *Kopiować projekt*

Należy teraz wpisać *Nazwę*, *Opis* i lokalizację nowego projektu w Menedżerze projektów oraz określić folder, który zostanie utworzony podczas kopiowania.

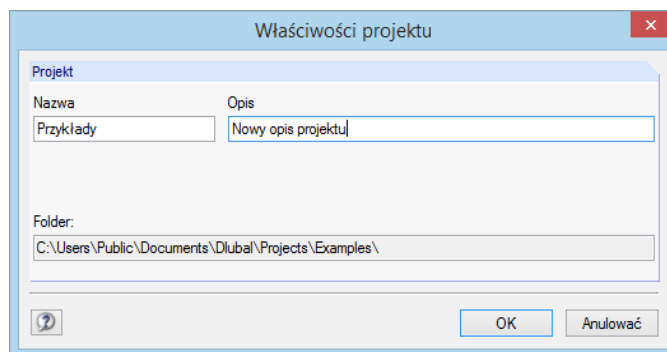
Możliwe jest również skopiowanie projektu przy użyciu aplikacji Windows Explorer. Następnie można zintegrować nowy folder jako połączony folder zarządzany przez Menedżera projektów (zobacz rozdział Rysunek 12.6 na stronie 579).

## Zmiana nazwy projektu / zmiana opisu

Aby w późniejszym terminie zmienić opis projektu,

- należy wybrać polecenie **Właściwości** w menu **Projekt** Menedżera projektów (projekt musi zostać uprzednio zaznaczony) lub
- użyć wpisu **Właściwości** w menu kontekstowym projektu w nawigatorze (zobacz Rysunek 12.7).

Otworzy się okno dialogowe *Właściwości projektu*, w którym można zmienić *Nazwę* i *Opis* projektu. *Folder* projektu jest również wyświetlany.



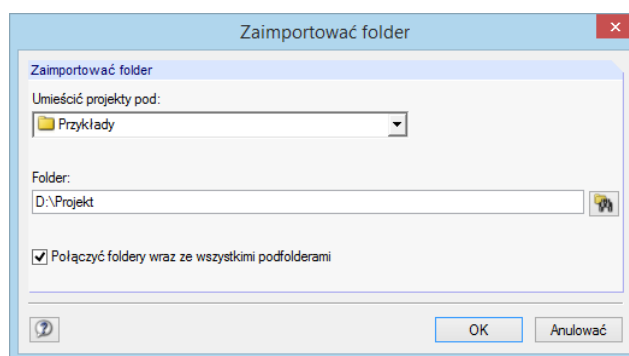
Rysunek 12.10: Okno dialogowe *Właściwości projektu*

## Importowanie folderu projektu

Po zmianie komputera można przywrócić pełne drzewo katalogów Menedżera projektów bez kopiowania pliku PRO.DLP (zobacz rozdział 12.3 na stronie 598). Wszystkie projekty zawarte w folderze zostaną uwzględnione w zarządzaniu projektami (co oznacza, że folder musi zawierać projekty, a nie modele). W ten sposób projekty nie muszą być łączone pojedynczo.

Aby otworzyć okno dialogowe do importowania folderu projektu,

należy wybrać opcję **Zaimportować folder** w menu **Projekt** Menedżera projektów.



Rysunek 12.11: Okno dialogowe *Zaimportować folder*



Na liście *Umieścić projekty pod* należy zdefiniować sposób, w jaki zostanie zintegrowany folder projektu podczas zarządzania. Jeżeli foldery mają pojawić się w Menedżerze projektów jako niezależne projekty, należy wybrać wpis *Projekty* na szczycie listy. Za pomocą przycisku [Przeglądać], pokazanego na lewym marginesie tej strony, można ustawić katalog dla powiązanego *Folderu*.

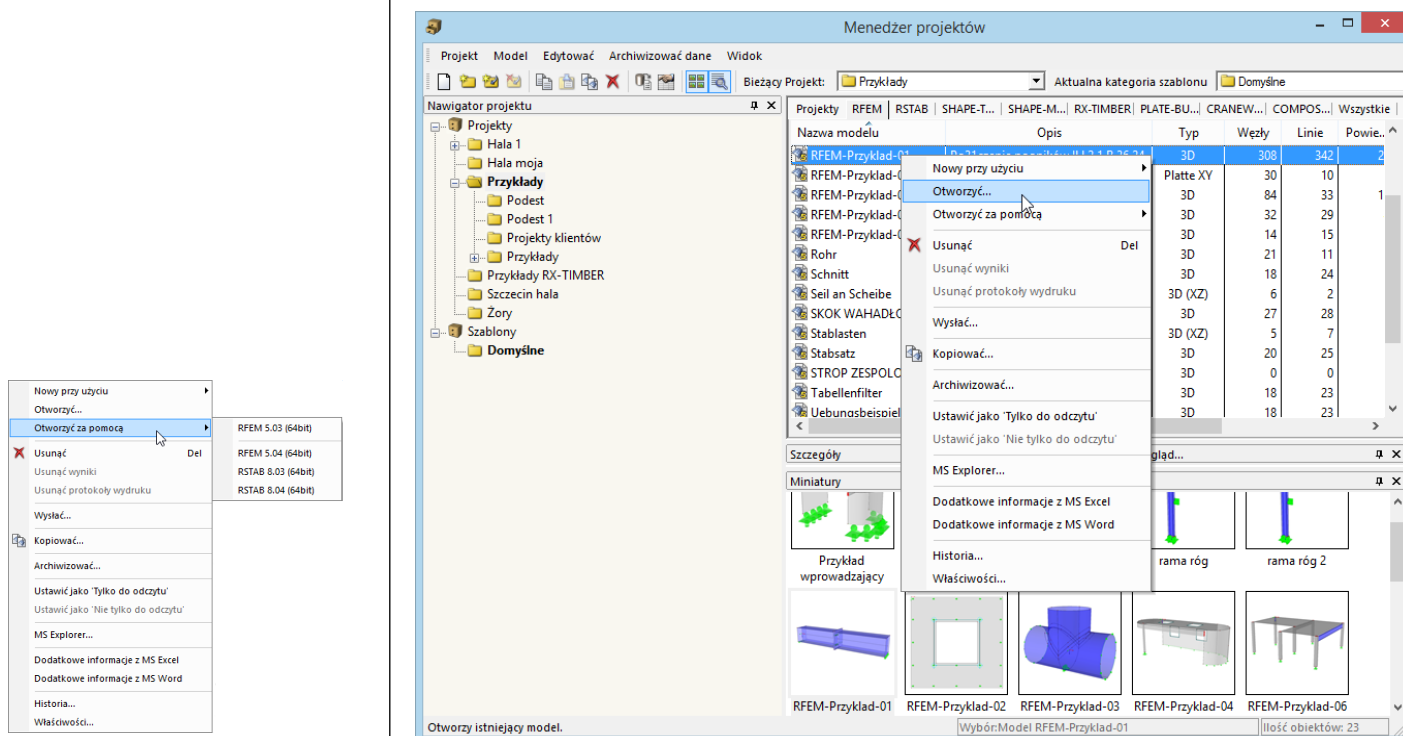
Zaznaczenie opcji *Połączyć foldery wraz ze wszystkimi podfolderami* pozwala zintegrować wszystkie podfoldery folderów w Menedżerze projektów.

## 12.1.2 Zarządzanie modelami

### Otwieranie modelu

Aby otworzyć model z Menedżera projektów,

- należy kliknąć dwukrotnie nazwę modelu lub jego miniaturę,
- wybrać polecenie **Otworzyć** w menu **Model** Menedżera projektów (model musi zostać uprzednio zaznaczony) lub
- skorzystać z menu kontekstowego modelu.



Rysunek 12.12: Menu kontekstowe *Model*

Przy użyciu opcji menu kontekstowego *Otworzyć za pomocą*, pokazanej na lewym marginesie tej strony, można wybrać określoną aplikację firmy Dlubal, przy użyciu której zostanie otwarty model.

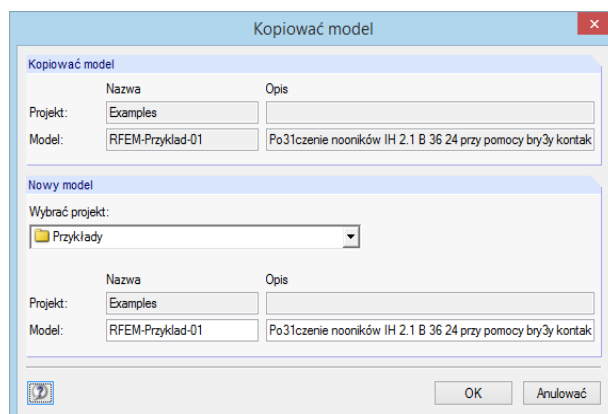


Możliwe jest także otwarcie plików z programu RSTAB bezpośrednio w programie RFEM.

### Przesuwanie / kopiowanie modelu

Aby skopiować model do innego projektu,

- należy wybrać polecenie **Kopiować** w menu **Model** (model musi zostać wcześniej zaznaczony),
- użyć wpisu **Kopiować** w menu kontekstowym modelu (zobacz na powyższym rysunku) lub
- użyć funkcji przeciągnij-i-upuść, trzymając wciśnięty klawisz [Ctrl].

Rysunek 12.13: Okno dialogowe *Kopiować model*

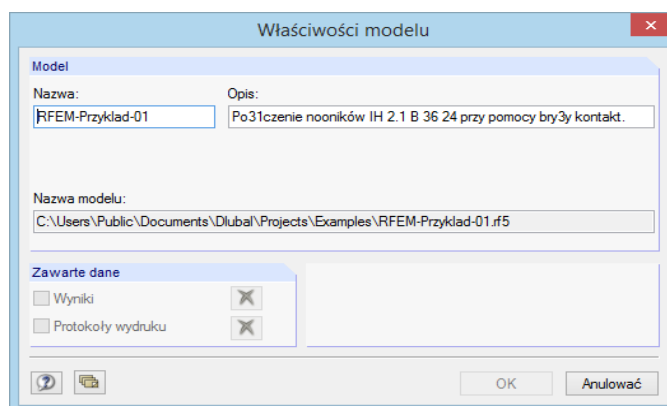
W oknie dialogowym *Kopiować model* można określić projekt docelowy oraz wprowadzić *Nazwę* i *Opis* dla kopii modelu.

Aby przesunąć model, należy przytrzymać wciśnięty lewy przycisk myszy podczas przenoszenia go do innego folderu.

## Zmiana nazwy modelu

Aby zmienić nazwę modelu,

- należy wybrać opcję **Właściwości** w menu **Model** Menedżera projektów (model musi zostać uprzednio zaznaczony)
- użyć wpisu **Właściwości** w menu kontekstowym modelu (zobacz Rysunek 12.12).

Rysunek 12.14: Okno dialogowe *Właściwości modelu*

W oknie dialogowym *Właściwości modelu* można zmienić *Nazwę* i *Opis* modelu. *Nazwa pliku* i katalog modelu są również wyświetlane.

Jeśli model zawiera również wyniki i protokoły wydruku, można usunąć te dodatkowe *Dane* za pomocą przycisku [Usunąć].



## Usuwanie modelu

Aby usunąć model,

- należy wybrać polecenie **Usunąć** w menu **Model** Menedżera projektów (model musi zostać wcześniej zaznaczony)
- kliknąć przycisk [Usunąć] w pasku narzędzi, pokazany na lewym marginesie tej strony
- użyć wpisu **Usunąć** w menu kontekstowym modelu (zobacz Rysunek 12.12).





W menu kontekstowym istnieje również możliwość specjalnego *Usuwania wyników* i / lub *Usuwania protokołu wydruku* modelu. W obu przypadkach, dane początkowe pozostaną dostępne.



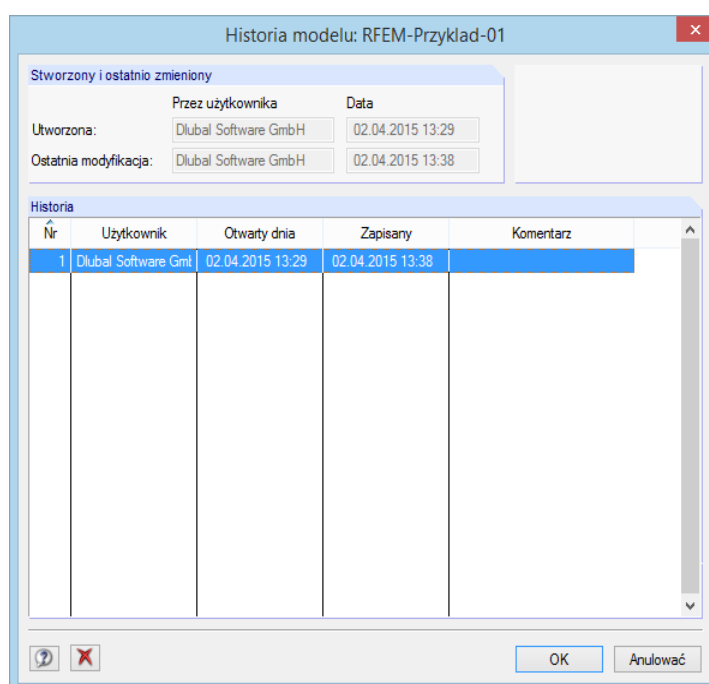
Aby cofnąć usunięcie modelu,  
należy wybrać polecenie **Przywrócić z kosza Dlubal** w menu **Edytować**.

Kosz Dlubal został opisany w rozdziale 12.1.4.2 na stronie 588.

## Wyświetlanie historii

Aby sprawdzić historię modelu,

- należy wybrać opcję **Historia** w menu **Model** Menedżera projektów (model musi zostać uprzednio zaznaczony)
- użyć wpisu **Historia** w menu kontekstowym modelu (zobacz Rysunek 12.12).



Rysunek 12.15: Okno informacyjne *Historia modelu*

Pojawi się okno dialogowe pokazujące informacje o użytkownikach, którzy utworzyli, otworzyli lub dokonali zmian w modelu. Przegląd zawiera również czas, w którym wykonane zostały poszczególne działania.

Uwagi wymienione w kolumnie *Komentarz* są oparte na danych ogólnych modelu. Odpowiednie wpisy w oknie dialogowym *Dane ogólne* są zarządzane w zakładce *Historia*. Komentarze służą do odpowiedniego opisu postępów pracy z konstrukcją (zobacz rozdział 12.2.2 na stronie 597).

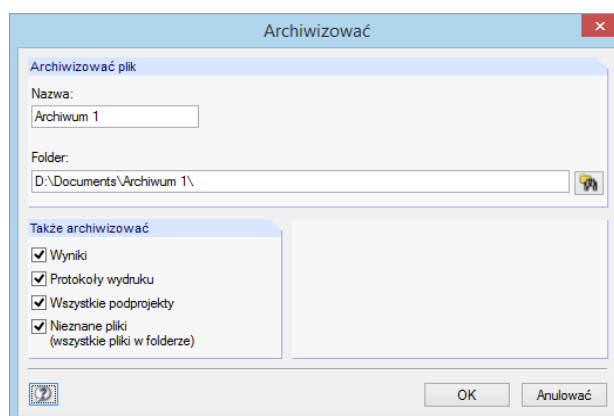
### 12.1.3 Kopia zapasowa danych

#### Archiwizacja danych

Kopie zapasowe dla wybranych modeli lub nawet dla całych folderów projektu można tworzyć w skompresowanym pliku kopii zapasowej. Oryginalne modele pozostają dostępne.

Aby rozpocząć archiwizację,

- należy wybrać polecenie **Utworzyć archiwum** w menu **Archiwizować dane** Menedżera projektów (model lub projekt musi zostać uprzednio zaznaczony)
- skorzystać z menu kontekstowego projektu (zobacz Rysunek 12.7) lub modelu (zobacz Rysunek 12.12).



Rysunek 12.16: Okno dialogowe *Archiwizować*

Plik kopii zapasowej może być wygenerowany z wynikami i protokołem wydruku lub bez nich. Dalsze opcje pozwalają na integrację podprojektów i plików, które nie należą do żadnej z aplikacji Dlubal.

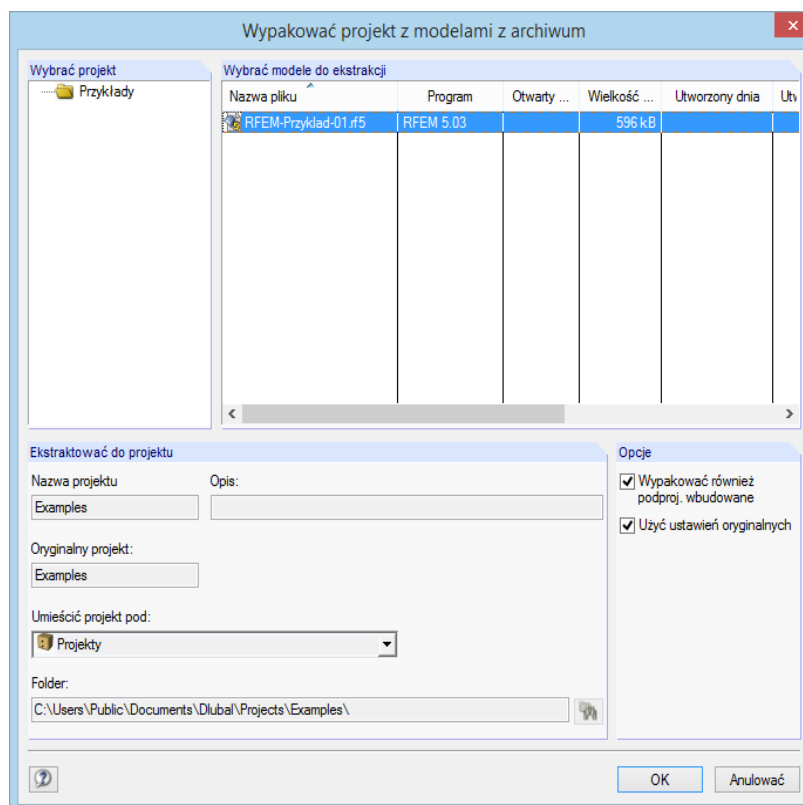
Kiedy będzie zdefiniowana *Nazwa* i *Folder* pliku archiwum, można utworzyć plik ZIP poprzez kliknięcie przycisku [OK].

#### Wypakowywanie z archiwum

Aby wypakować dane z archiwum,

należy wybrać polecenie **Wypakować projekt/modele z archiwum** w menu **Archiwizować dane** Menedżera projektów.

Otworzy się okno dialogowe systemu Windows *Otworzyć*, w którym można wybrać plik kopii zapasowej w formacie ZIP. Po kliknięciu przycisku [OK], wyświetlona zostanie jego zawartość.

Rysunek 12.17: Okno dialogowe *Wypakować projekt z modelami z archiwum*

W sekcji okna dialogowego *Wybrać modele do wypakowania* należy wybrać modele, które zostaną przywrócone. Mogą być one wypakowane z ustawieniami oryginalnego projektu lub jako nowy projekt. Na liście *Umieść projekt pod* można określić pozycję w strukturze Menedżera projektów.

Alternatywnie można utworzyć nowy folder za pomocą przycisku [Przeglądać].

## 12.1.4 Ustawienia

### 12.1.4.1 Widok

#### Wyświetlanie miniatur i szczegółów

Część okna pod tabelą modelu może być dostosowana według preferencji użytkownika. Można wybrać dwie opcje dla dodatkowych okien, które mogą być aktywowane niezależnie od siebie.

Aby ustawić opcje wyświetlania,

należy wybrać opcję **Podgląd miniatur wszystkich modeli** w menu **Widok** lub

wybrać **Szczegóły bieżącego modelu** w menu **Widok** Menedżera projektów

albo użyć odpowiednich przycisków z paska narzędzi.



Przycisk	Funkcja
	Pokazuje miniatury wszystkich modeli w projekcie
	Pokazuje szczegóły modelu oraz podgląd modelu

Tabela 12.1: Przyciski do ustawiania widoku

## Sortowanie modeli

Rozmieszczenie modeli w tabeli można dostosowywać. Tak jak w przypadku aplikacji systemu Windows, można posortować listę w kolejności rosnącej lub malejącej, klikając na tytuły kolumn.

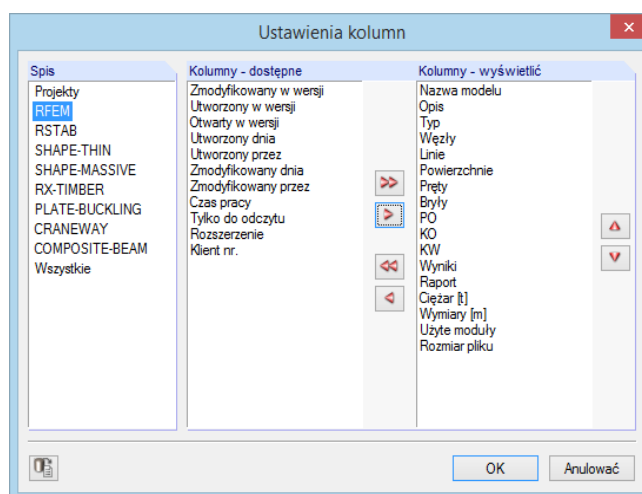
Alternatywnie można

wybrać polecenie **Sortować modele** w menu **Widok**.

## Dostosowywanie kolumn

Aby rozmieścić kolumny w zależności od potrzeb,

- należy wybrać polecenie **Ustawienia kolumn** w menu **Widok** Menedżera projektów lub
- użyć przycisku [Ustawienia kolumn] w pasku narzędzi Menedżera, pokazanego na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 12.18: Okno dialogowe *Ustawienia kolumn*



Na początku należy określić w *Spisie*, której kolumny mają zostać dostosowane (na przykład RFEM). Teraz można wybrać odpowiednie wpisy z listy *Kolumny - dostępne*, aby przesłać je na listę *Kolumny - wyświetlić*. Transferu dokonuje się za pomocą przycisków strzałek [▶]. W tym samym celu można również dwukrotnie kliknąć dane elementy. Kolumny, które nie mają być wyświetlone, można ukryć poprzez kliknięcie przycisku [◀].

Kolejność kolumn na liście modeli można zmienić za pomocą przycisków [▲] i [▼] na liście *Kolumny - wyświetlić*. Kliknięcie powoduje przesunięcie wybranego wpisu w górę lub w dół.

Aby zoptymalizować szerokość kolumn na liście modeli, należy wybrać polecenie **Rozmieścić automatycznie** w menu **Widok** Menedżera projektów. W tym samym celu można również użyć przycisku paska narzędzi, pokazanego na lewym marginesie tej strony.

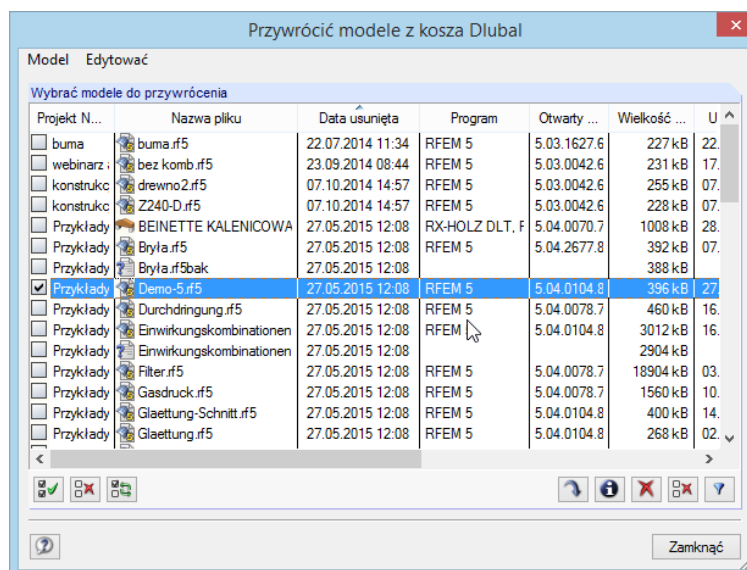


### 12.1.4.2 Kosz

Aby przywrócić usunięte projekty i modele,

należy wybrać polecenie **Przywrócić z kosza Dlubal** w menu **Edytować** Menedżera projektów.

Pojawi się okno dialogowe, w którym wszystkie usunięte modele są wymienione według projektów.

Rysunek 12.19: Okno dialogowe *Przywrócić modele z kosza Dlubal*

Modele do przywrócenia można wybierać przez kliknięcie myszą. Za pomocą przycisku [Wybrać wszystko] można zaznaczyć wszystkie wpisy na raz. Kliknięcie przycisku [Przywrócić wybrane modele z kosza] pozwala umieścić usunięte modele w oryginalnych folderach projektu.

Aby usunąć obiekty przechowywane w koszu Dlubal,

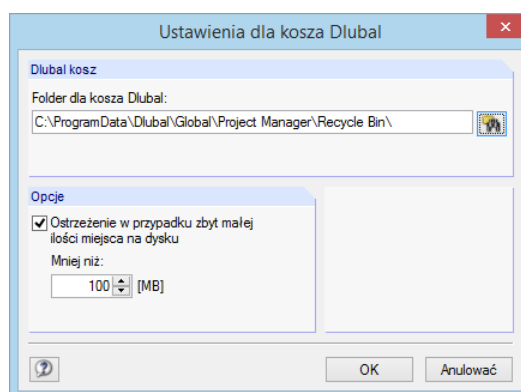
należy wybrać polecenie **Opróżnić kosz Dlubal** w menu **Edytować** Menedżera projektów.

Przed całkowitym usunięciem plików wyświetlane jest zapytanie kontrolne.

Aby dostosować ustawienia kosza Dlubal,

należy wybrać opcję **Ustawienia dla kosza Dlubal** w menu **Edytować** Menedżera projektów.

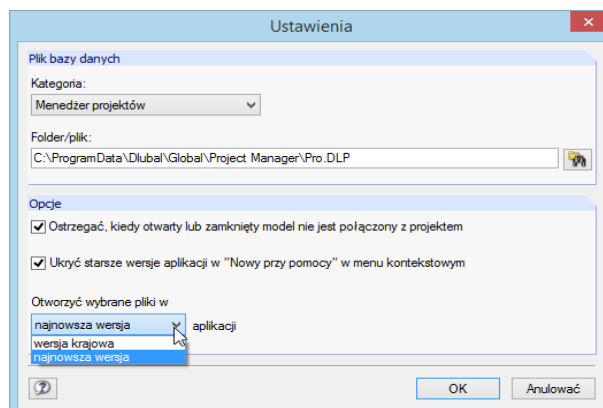
Pojawi się okno dialogowe, w którym zarządza się ustawieniami dla miejsca przechowywania i wielkości pamięci.

Rysunek 12.20: Okno dialogowe *Ustawienia dla kosza Dlubal*

### 12.1.4.3 Katalogi

Katalogi Menedżera projektów (oraz Menedżera bloków) można sprawdzić w *Ustawieniach* programu. Aby otworzyć odpowiednie okno dialogowe,

należy wybrać **Opcje programu** w menu **Edytować** Menedżera projektów.



Rysunek 12.21: Okno dialogowe *Ustawienia*



*Kategoria* zarządza ustawieniami oddzielnie dla Menedżera projektów oraz dla Menedżera bloków. Folder i nazwa pliku są wyświetlane w polu wprowadzania poniżej, gdzie w razie potrzeby można je dostosowywać. Projekty są przechowywane w pliku **PRO.DLP**, który zazwyczaj znajduje się w folderze *C:\ProgramData\Dlubal\ProMan* (64-bit) lub *C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\Dlubal\ProMan* (32-bit). Przycisk [Przełóżnik] pozwala ustawić inną ścieżkę dostępu.

Dzięki temu, że Menedżer projektów jest kompatybilny z siecią, można zorganizować zarządzanie danymi dla modeli, które się w nim znajdują, w jednym centralnym miejscu. W tym celu należy ustawić katalog dla pliku *PRO.DLP* na serwerze (zobacz rozdział 12.3 na stronie 598).

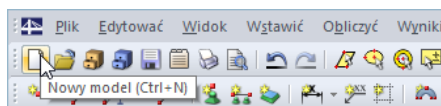
Sekcja okna dialogowego *Opcje* oferuje ogólne ustawienia dla obsługi plików programu RFEM. Gdy powiązany folder nie jest zintegrowany w zarządzaniu przez Menedżera projektów, zwykle pojawia się komunikat podczas otwierania pliku z Eksploratora, programu do obsługi poczty e-mail itp. Wiadomość ta może zostać wyłączona. Ponadto można zdecydować, która wersja programu zostanie użyta podczas tworzenia lub otwierania plików modelu.

## 12.2 Tworzenie nowego modelu



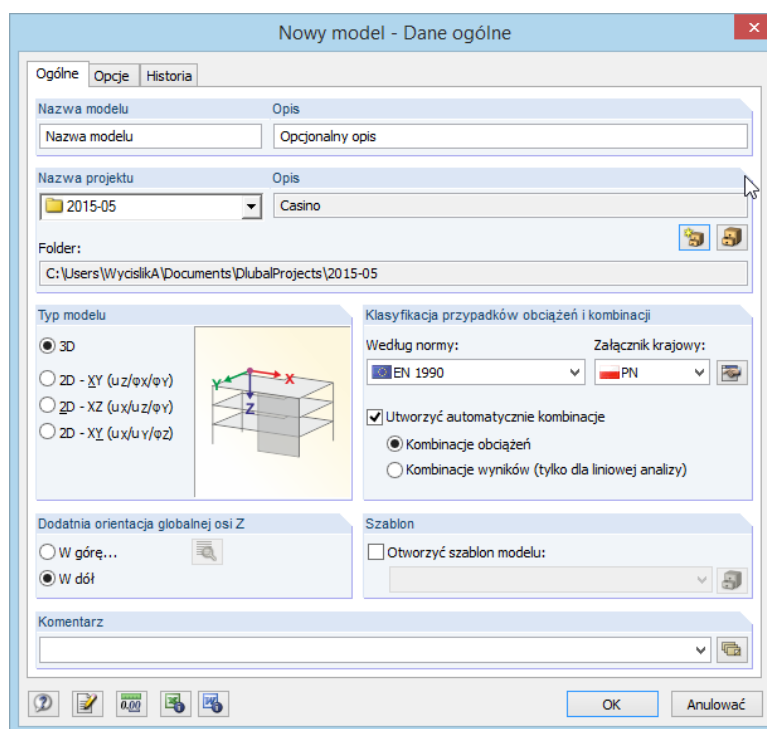
Aby utworzyć model,

- należy wybrać opcję **Nowy** w menu **Plik** programu RFEM,
- kliknąć przycisk na pasku narzędzi [Nowy model] pokazany na lewym marginesie tej strony.
- wskazać polecenie **Nowy przy użyciu** w menu **Model** Menedżera projektów, a następnie wybierać RFEM 5.



Rysunek 12.22: Przycisk *Nowy model*

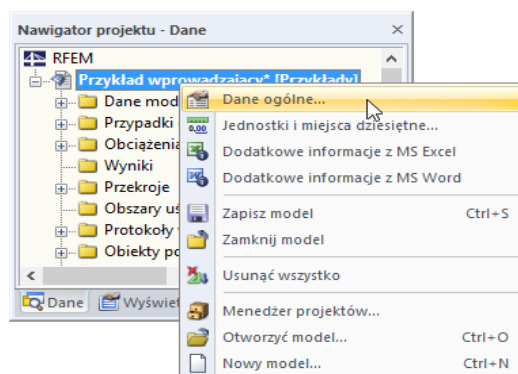
Otworzyć się okno dialogowe *Nowy model - Dane ogólne*, które posiada trzy zakładki.



Rysunek 12.23: Okno dialogowe *Nowy model - Dane ogólne*, zakładka *Ogólne*

Aby móc później edytować dane ogólne modelu,

- należy wskazać opcję **Dane modelu** w menu **Edytować**, a następnie wybrać wpis **Dane ogólne**
- skorzystać z menu kontekstowego modelu w nawigatorze *Dane*.



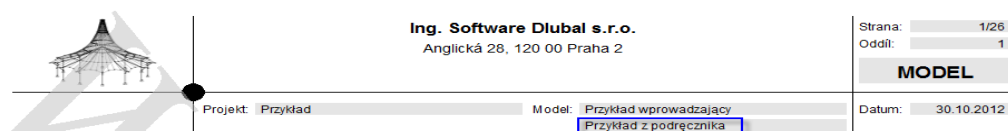
Rysunek 12.24: Menu kontekstowe modelu

## 12.2.1 Ogólne

Pierwsza zakładka okna dialogowego (zobacz Rysunek 12.23) zarządza podstawowymi parametrami modelu.

### Nazwa modelu / Opis

W polu wprowadzania wprowadza się *Nazwę modelu*. Jest ona również używana jako nazwa pliku modelu. Wprowadzając *Opis* można szczegółowo opisać model. Pojawia się on także w protokole wydruku, ale nie ma dodatkowego znaczenia.



Rysunek 12.25: Opis modelu w protokole wydruku

### Nazwa projektu / Opis

Na liście *Nazwa projektu* można wybrać folder projektu, w którym zostanie utworzony model. Wstępnie ustawiony jest aktualny projekt. W razie potrzeby, ustawienia można zmienić w Menedżerze projektów (zobacz rozdział 12.1 na stronie 577), do którego można uzyskać dostęp przy użyciu przycisku okna dialogowego znajdującego się z prawej strony.

*Opis* i *Folder* wybranego projektu są wyświetlane w celach informacyjnych.

### Typ modelu

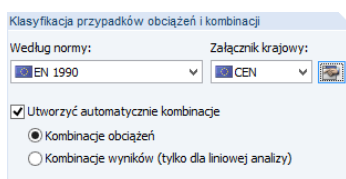
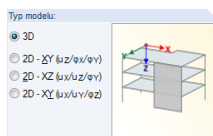
Pośród danych ogólnych modelu należy określić, czy konstrukcja jest modelem przestrzennym czy płaskim. W przypadku modeli 2D, wprowadzanie danych jest znacznie łatwiejsze z powodu ograniczonych współrzędnych i stopni swobody.

Typ 2D - XY używany jest dla płaskich konstrukcji płytowych, takich jak płyty, które są obciążane prostopadle do płaszczyzny powierzchni. Typy modeli 2D - XZ oraz 2D - XY mogą zostać użyte dla ścian i powłok pod warunkiem, że obciążenia działają tylko w kierunku płaszczyzny powierzchni. Zastosowanie typu 2D - XZ jest zalecane w przypadku płaskich konstrukcji ramowych, ponieważ opcja ta uwzględnia tylko momenty wokół silnych osi pręta.

Wybrany typ modelu można w trakcie pracy zmienić. Należy zwrócić uwagę, że takie modyfikacje mogą spowodować utratę danych, na przykład, gdy konstrukcja 3D jest zredukowana do ściany.

### Klasyfikacja przypadków obciążeń i kombinacji

Obciążenia mogą być stosowane według przypadków obciążeń. Obciążenia mogą być na przykład ciężarem własnym, śniegiem lub obciążeniem użytkowym.





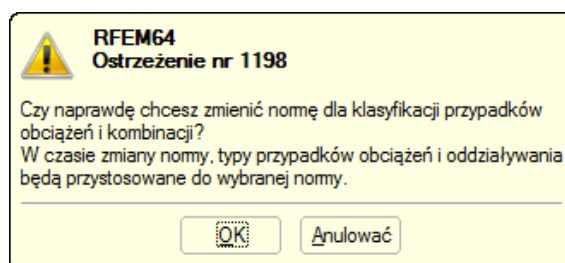
Poszczególne normy określają zasady łączenia przypadków obciążeń. Z tego powodu ważne jest przypisanie przypadków obciążeń do poszczególnych kategorii oddziaływań (zobacz rozdział 5.1 na stronie 188). Dzięki temu podczas tworzenia kombinacji obciążeń i wyników, program RFEM jest w stanie automatycznie stworzyć przypadki obciążeń z poprawnymi częściowymi współczynnikami bezpieczeństwa i współczynnikami kombinacji.

### Według normy

Lista *Według normy* zawiera wiele norm opisujących zasady dla stanu granicznego nośności, użyteczności i wytrzymałości układów konstrukcyjnych. Poprzez wybór normy, w programie RFEM definiowane są zasady tworzenia kombinacji obciążeń i wyników. Powyższy wybór jest szczególnie istotny dla automatycznego tworzenia kombinacji przez program RFEM (zobacz od rozdziału 5.2 na stronie 190 do rozdziału 5.4 na stronie 205).

W przypadku ustawienia opcji *Brak*, żadna kombinacja nie zostanie utworzona automatycznie, co stanowi ustawienie domyślne w programie RFEM. Po wybraniu tej opcji, przypadki obciążeń należy utworzyć ręcznie (zobacz rozdział 5.5.1 na stronie 211 oraz rozdział 5.6.1 na stronie 219).

Po późniejszej zmianie normy, wymagane jest przeklasyfikowanie przypadków obciążeń oraz dostosowanie kombinacji. Pojawi się odpowiednie ostrzeżenie (zobacz na poniższym rysunku).



Rysunek 12.26: Ostrzeżenie podczas zmiany normy

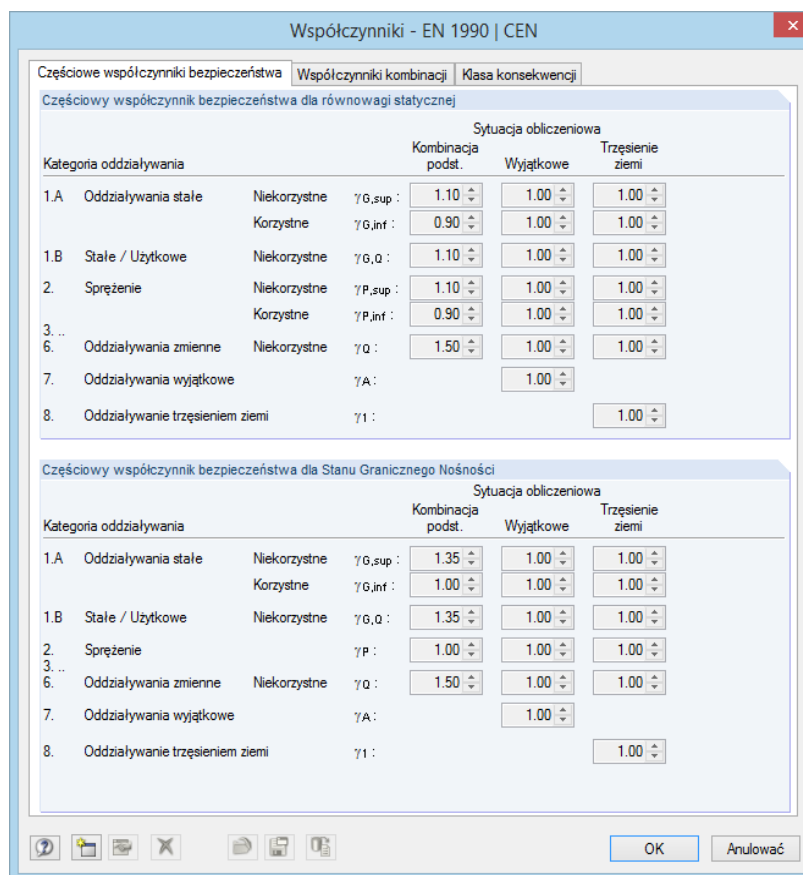
### Załącznik krajowy

W przypadku wybrania normy *EN 1990*, pojawia się dodatkowa lista wyboru. Pomimo tego, że reguły kombinacji są określone w normie Eurokod, poszczególne kraje mogą same określać częściowe współczynniki bezpieczeństwa i współczynniki kombinacji.

Lista ta oferuje wybór pomiędzy załącznikami krajowymi z różnych krajów. Kiedy ustawiona jest opcja *CEN*, stosowane są współczynniki zalecane przez Komisję Europejską.

Za pomocą przycisku okna dialogowego [Edytować] można sprawdzić i dostosować częściowe współczynniki bezpieczeństwa oraz współczynniki kombinacji aktualnie ustawionej normy.

Współczynniki są rozdzielone w kilku kartach okna *Współczynniki*. Pierwsza zakładka zarządza Częściowymi współczynnikami bezpieczeństwa  $\gamma$  dla sytuacji obliczeniowych "równowagi statycznej" i "stanu granicznego nośności".

Rysunek 12.27: Okno dialogowe *Współczynniki*, zakładka *Częściowe współczynniki bezpieczeństwa*

Zakładka okna dialogowego *Współczynniki kombinacji* (zobacz Rysunek 5.24 na stronie 208) kontroluje współczynniki  $\psi$  i  $\xi$ . W zakładce *Współczynniki dla konstrukcji*, która jest dostępna dla EN 1990, można zdefiniować współczynnik niezawodności  $K_{FI}$ .

### Automatyczne tworzenie kombinacji

To pole wyboru jest domyślnie odznaczone, a więc obie poniższe opcje nie są dostępne. Z tego powodu wymagane kombinacje obciążeń i wyników muszą zostać utworzone ręcznie (zobacz rozdział 5.5.1 na stronie 211 oraz rozdział 5.6.1 na stronie 219). Podczas łączenia przypadków obciążeń automatycznie przydzielane są częściowe współczynniki bezpieczeństwa oraz współczynniki kombinacji zgodnie z wybraną normą.

Alternatywnie można wykorzystać opcję *Utwórz kombinacje automatycznie*. Po tym kroku w oknie dialogowym pojawiają się dodatkowe zakładki *Edytować obciążenia i kombinacje obciążeń*, jak również oddzielne pozycje w nawigatorze *Dane*. Oprócz tego zostaną uaktywnione zakładki od 2.2. do 2.4. Tworzenie kombinacji zostało opisane szczegółowo w rozdziałach od 5.2 na stronie 190 do 5.4 na stronie 205.

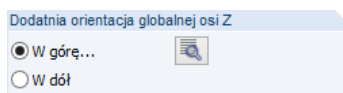


Dodatkowe informacje na temat kombinatoryki znajdują się na naszej stronie internetowej [www.dlubal.pl](http://www.dlubal.pl).

Podczas automatycznej superpozycji, program RFEM tworzy *Kombinacje obciążeń* lub *Kombinacje wyników*. Różnica pomiędzy oboma typami kombinacji została opisana w rozdziałach 5.5 na stronie 210 oraz 5.6 na stronie 218.

### Dodatnia orientacja globalnej osi Z

Ta sekcja okna dialogowego kontroluje orientację globalnej osi Z. W programach CAD, oś Z jest zazwyczaj skierowana w górę. W większości programów stosowanych do analizy

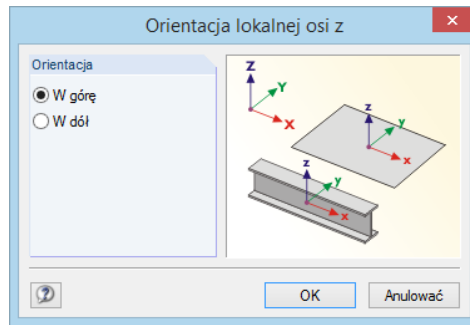


statyczno-wytrzymałościowej jest ona skierowana w dół. Ustawienie te nie jest istotne dla obliczeń.

Jeśli w danych podstawowych przypadku obciążenia oś Z jest zdefiniowana *W górę* oraz ciężar własny jest określony ze współczynnikiem 1,0 w kierunku Z, ciężar własny działa w górę. W tym przypadku współczynnik ciężaru własnego musi być zmieniony na -1,0.



Jeżeli globalna oś Z jest skierowana w górę, można określić ustawienia dla powierzchni i prętów za pomocą przycisku [Wybrać], pokazanego na lewym marginesie tej strony. Pojawi się okno dialogowe *Orientacja lokalnej osi z*.

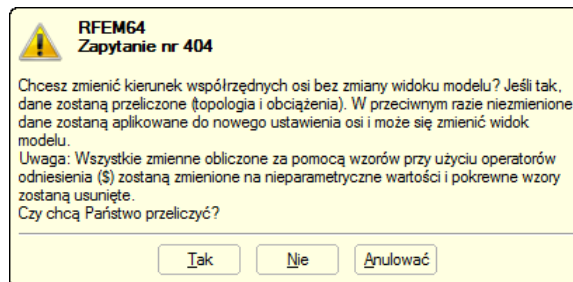


Rysunek 12.28: Okno dialogowe *Orientacja lokalnej osi z*

Lokalna oś z może być skierowana *W górę* lub *W dół* w celu odpowiedniego przypisania na przykład sprężystych posadowień powierzchni lub zbrojenia płyt. Następnie należy negatywnie odpowiedzieć na zapytanie (patrz rysunek poniżej), które pojawi się po zamknięciu okna dialogowego *Dane ogólne*.



W programie RFEM można zmieniać orientację osi z w trakcie późniejszych obliczeń. Istnieje również możliwość dostosowania współrzędnych oraz globalnych obciążeń, tak aby zachować widok modelu. Jeżeli kierunek osi zostanie zmodyfikowany, pojawi się następujące zapytanie:



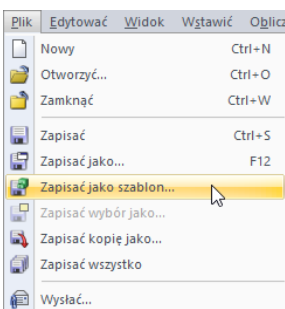
Rysunek 12.29: Zapytanie podczas zmiany kierunku Z

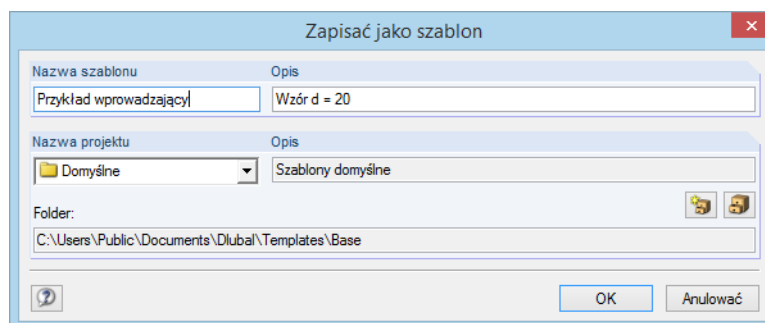
### Szablon

Model może zostać stworzony według szablonu, który został zapisany w innym modelu.

Aby uzyskać dostęp do funkcji zapisu,

należy wybrać polecenie **Zapisać jako szablon** w menu **Plik**.

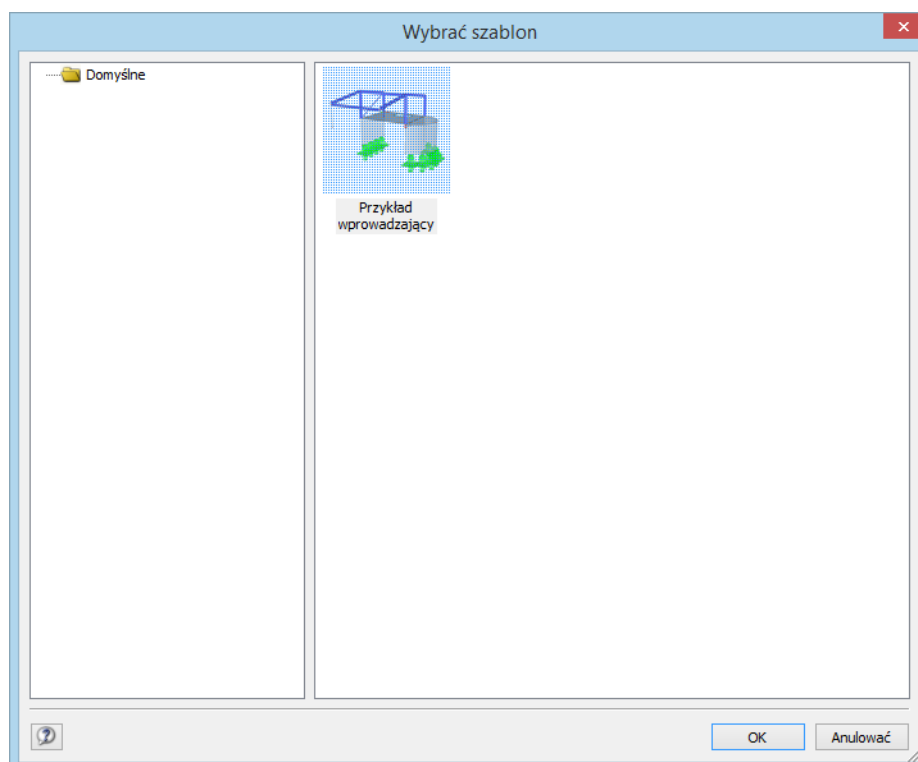
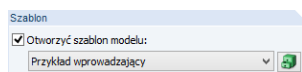


Rysunek 12.30: Okno dialogowe *Zapisać jako szablon*

Ogólnie, szablony są zapisywane w folderze Base programu Dlubal dla szablonów. Dostęp do nich jest również możliwy w nawigаторze Menedżera projektów, poprzez wybranie wpisu *Domyślne* w elemencie *Szablony* (zobacz Rysunek 12.3 na stronie 578).

Po zaznaczeniu pola wyboru w oknie dialogowym *Nowy model - Dane ogólne*, można wybrać odpowiedni *Szablon modelu* z listy.

Kliknięcie przycisku, pokazanego na lewym marginesie tej strony, pozwala otworzyć przegląd z podglądem obrazków, pomagający w wyborze szablonów.

Rysunek 12.31: Okno dialogowe *Wybrać szablon*

### Komentarz

W polu wprowadzania tekstu można wprowadzić tekst lub wybrać go z listy, aby dodać krótki opis do danych ogólnych. Komentarz ten pojawi się również w protokole wydruku.

Przyciski w oknie dialogowym *Dane ogólne* posiadają następujące funkcje:





Przycisk	Opis	Objaśnienie
	Komentarz	→ rozdział 11.1.4 na stronie 448
	Jednostki i miejsca dziesiętne	→ rozdział 11.1.3 na stronie 447
	MS Excel	Opcja wprowadzenia dodatkowych objaśnień w postaci pliku XLS zapisanego w pliku programu RFEM
	MS Word	Opcja wprowadzenia dodatkowych objaśnień w postaci pliku DOC zapisanego w pliku programu RFEM

Tabela 12.2: Okno dialogowe *Dane ogólne*, przyciski

### 12.2.2 Historia

Druga zakładka okna dialogowego zawiera zapisy przetwarzania danych w postaci *Historii*.

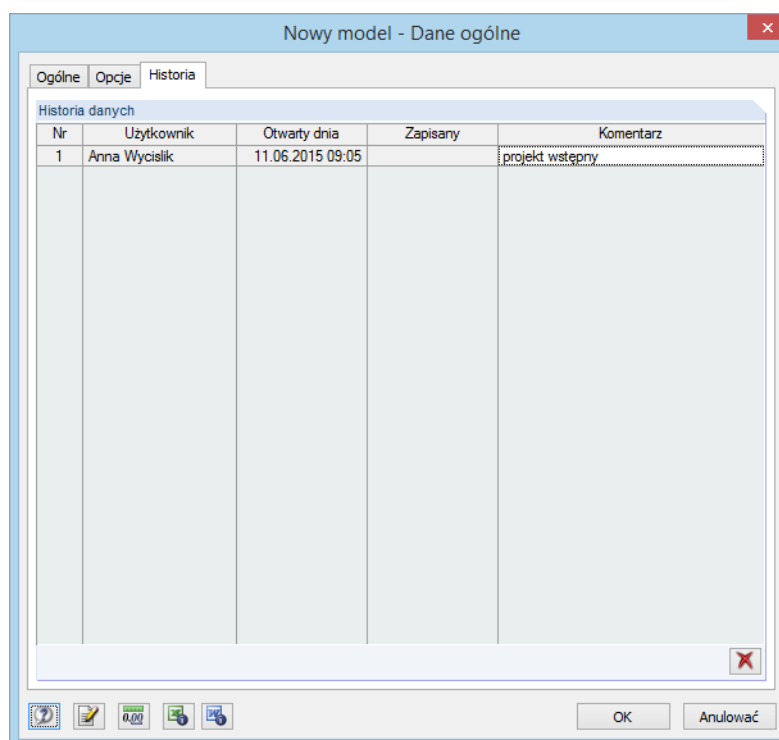
Rysunek 12.32: Okno dialogowe *Edytować model - Dane ogólne*, zakładka *Historia*

Tabela ta przedstawia informacje o czasie, w którym model został *Otwarty* i *Zapisany* przez *Użytkownika*.

W ostatnim wierszu tabeli można wprowadzić *Komentarz* opisujący aktualny stan przetwarzania modelu. Komentarz ten pojawi się w historii, podczas ponownego zapisywania modelu. Komentarz pojawia się nie tylko w zakładce *Historia*, ale jest także dostępne w Menedżerze projektów (zobacz Rysunek 12.15 na stronie 585).



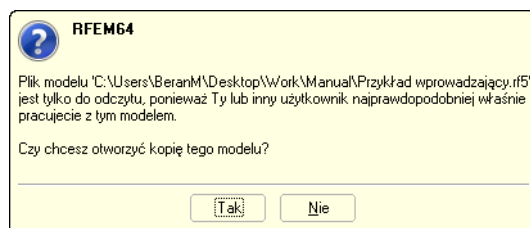
Aby usunąć historię, należy kliknąć przycisk [X]. W ten sposób można usunąć informacje osobiste z pliku.

## 12.3 Zarządzanie siecią

Kiedy kilku użytkowników pracuje nad tym samym projektem, zarządzanie modelem może być prowadzone przy pomocy Menedżera projektów, pod warunkiem, że modele są przechowywane w folderze, który jest dostępny w sieci.

Na początku należy włączyć folder sieciowy do wewnętrznego zarządzania projektami. Opis znajduje się w rozdziale 12.1.1 na stronie 579. Teraz można bezpośrednio przejść do modeli tego folderu w Menedżerze projektów, co oznacza, że można otworzyć lub skopiować modele, sprawdzić ich historię lub zapewnić im ochronę przed nadpisaniem.

Jeśli inny użytkownik pracuje już z modelem, który ma zostać otwarty, pojawi się ostrzeżenie. W tym przypadku można otworzyć model jako kopię.



Rysunek 12.33: Zapytanie podczas otwierania modelu chronionego przed zapisem

Automatyczna synchronizacja modyfikacji danych nie jest możliwa.



Informacje na temat projektów zapisywane w Menedżerze projektów są przechowywane w pliku **PRO.DLP**. Jest to plik ASCII, który zazwyczaj znajduje się w folderze *C:\ProgramData\Dlubal\ProMan (64 bit)* lub *C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\Dlubal\ProMan (32-bit)*.

Kopiując plik PRO.DLP na inny komputer można uniknąć łączenia folderów projekt po projekcie. Dodatkowo plik może być edytowany przy użyciu edytora. Ułatwia to importowanie wszystkich odpowiednich folderów projektu do wewnętrznego zarządzania plikami Menedżera projektów, szczególnie po nowych instalacjach. Alternatywnie można skorzystać z funkcji *Zaimportować folder* (zobacz rozdział 12.1.1 na stronie 579).

Przed rozpoczęciem kopiowania pliku PRO.DLP – tak jak przed odinstalowaniem aplikacji Dlubal – zaleca się zapisać istniejący plik.

Menedżer projektów jest sieciowo kompatybilny. Zarządzanie plikami może być organizowane w jednym centralnym miejscu, tak aby wszyscy użytkownicy mogli być zintegrowani w jednym, wspólnym zarządzaniu projektami. Aby zdefiniować ustawienia sieciowe,

należy wybrać polecenie **Opcje programu** w menu **Edytować** Menedżera projektów.

Otworzy się okno dialogowe, w którym można określić miejsce przechowywania pliku PRO.DLP (zobacz Rysunek 12.21 na stronie 590).

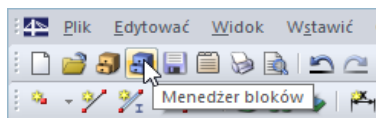
Menedżer projektów działa osobno na każdym komputerze lokalnym, ale każdy z nich wykorzystuje centralny plik PRO.DLP z serwera. W ten sposób wszyscy użytkownicy mogą przeprowadzić modyfikacje struktury projektu w tym samym czasie. Podczas zapisu do pliku PRO.DLP jest on blokowany tylko w momencie zapisu i następnie jest odblokowywany.

## 12.4 Menedżer bloków

Menedżer zarządza blokami modelu przy użyciu zarządzania międzyprojektowego. Wybrane obiekty mogą być zapisywane jako bloki i ponownie importowane do innych modeli. W *Katalogu* Menedżera bloków jest wstępnie zdefiniowanych wiele typowych elementów.

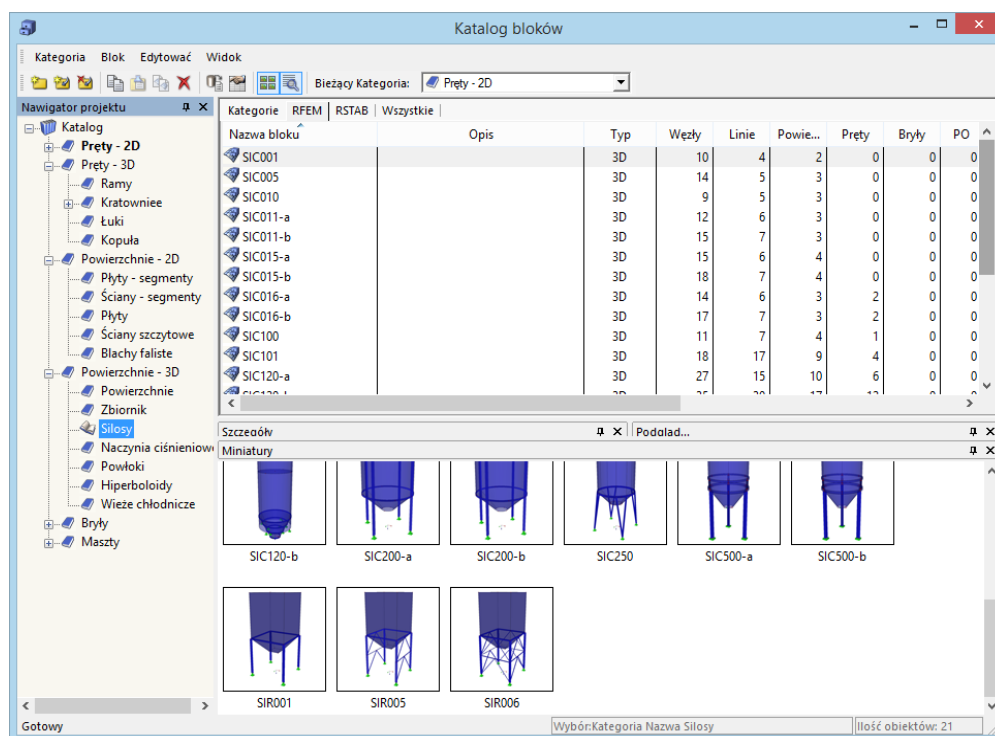


Aby otworzyć Menedżera bloków, należy wybrać opcję **Menedżer bloków** w menu **Plik** w programie RFEM lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 12.34: Przycisk *Menedżer bloków* w pasku narzędzi

Po otwarciu Menedżera bloków, pojawi się wieloczęściowe okno. Podobnie jak w przypadku Menedżera projektów (zobacz rozdział 12.1), także i Menedżer bloków posiada własne menu i pasek narzędzi.



Rysunek 12.35: Menedżer bloków

### Nawigator bloków

Po lewej stronie znajduje się nawigator zawierający *Katalog* wszystkich kategorii bloków. Aktualna kategoria jest pogrubiona. Aby wybrać inną kategorię, należy dwukrotnie kliknąć odpowiedni wpis lub użyć listy *Bieżąca kategoria* w pasku narzędzi Menedżera. Tabela po prawej stronie nawigatora zawiera listę obiektów znajdujących się w wybranej kategorii. Do wyboru dostępne są bloki dla różnych modeli prętów, powierzchni i brył.

### Tabela bloków

Bloki wybranej kategorii są wymieniane pojedynczo. Odpowiednio pokazywana jest również *Nazwa bloku* i *Opis*, jak również istotne informacje o obiekcie i o pliku.



Aby dostosować wyświetlane kolumny, należy wybrać polecenie **Ustawienia kolumn** w menu **Widok** w Menedżerze bloków lub wykorzystać przycisk z paska narzędzi pokazany na lewym marginesie tej strony (zobacz rozdział 12.1.4 na stronie 587).

### Szczegóły

Ta sekcja okna dialogowego pokazuje szczegółowe informacje na temat wybranego bloku.


### Podgląd

Wybrany blok jest wyświetlany w podglądzie. Rozmiar okna podglądu można ustawić, przesuując górną krawędź okna.

### Miniatury

Dolny obszar Menedżera bloków oferuje graficzny przegląd bloków znajdujących się w wybranej kategorii. Miniatury obrazów są interaktywne z powyższą tabelą.

Przy użyciu pinezek można zminimalizować poszczególne części okna. Będą one zadokowane jako zakładki w stopce.

Szczegóły  x

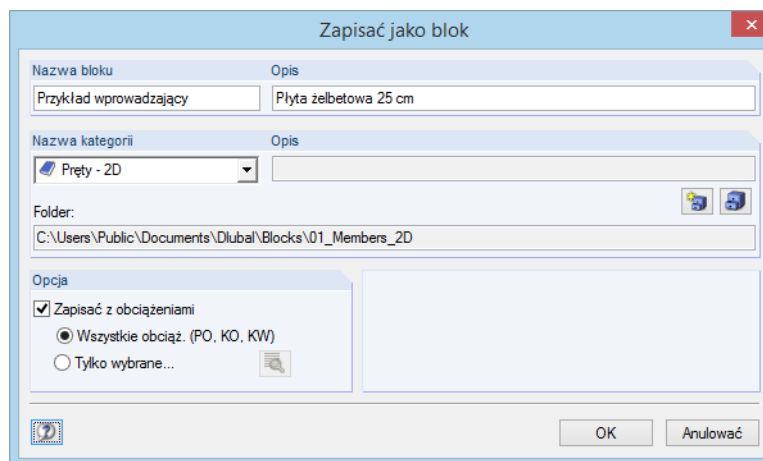
## 12.4.1 Tworzenie bloków

Aby utworzyć blok z poszczególnych obiektów, należy zaznaczyć odpowiednie obiekty aktualnego modelu programu RFEM w oknie roboczym. Wielokrotnego wyboru można dokonać rysując okno z wciśniętym przyciskiem myszy. W tym samym celu można także kliknąć kilka elementów, przytrzymując klawisz [Ctrl].

Aby utworzyć nowy blok,

należy wybrać polecenie **Zapisać jako blok** w menu **Plik** w programie RFEM.

Pojawi się następujące okno dialogowe.



Rysunek 12.36: Okno dialogowe *Zapisać jako blok*

Następnie należy określić *Nazwę bloku* oraz *Nazwę kategorii*, w której blok zostanie zapisany. Kategoria ta może zostać wybrana z listy. *Opis* to dodatkowa możliwość krótkiej charakterystyki bloku.

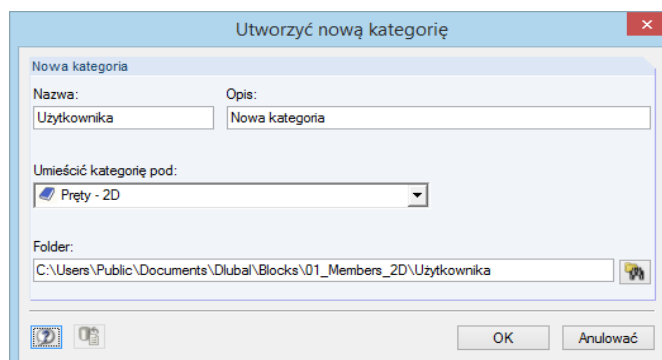
Katalog bloku jest wskazywany w polu okna dialogowego o nazwie *Folder*.

W przypadku, gdy zdefiniowane są obciążenia, mogą być zapisane wraz z blokiem. Ponadto można użyć ustawień w sekcji okna dialogowego *Opcje* do określenia, czy istotne są wszystkie obciążenia czy tylko wybrane przypadki obciążeń.





Aby utworzyć nową kategorię bloków, należy użyć przycisku [Nowa kategoria], pokazanego na lewym marginesie tej strony.



Rysunek 12.37: Okno dialogowe *Utworzyć nową kategorię*

Tworzenie bloku jest podobne do tworzenia nowego projektu w Menedżerze projektów (zobacz rozdział 12.1.1 na stronie 579).

## 12.4.2 Import bloków



Aby zaimportować blok do bieżącego modelu programu RFEM, należy otworzyć Menedżer bloków (zobacz Rysunek 12.34 na stronie 599). Po wybraniu kategorii w katalogu, można wybrać odpowiedni blok w zakładce RFEM.

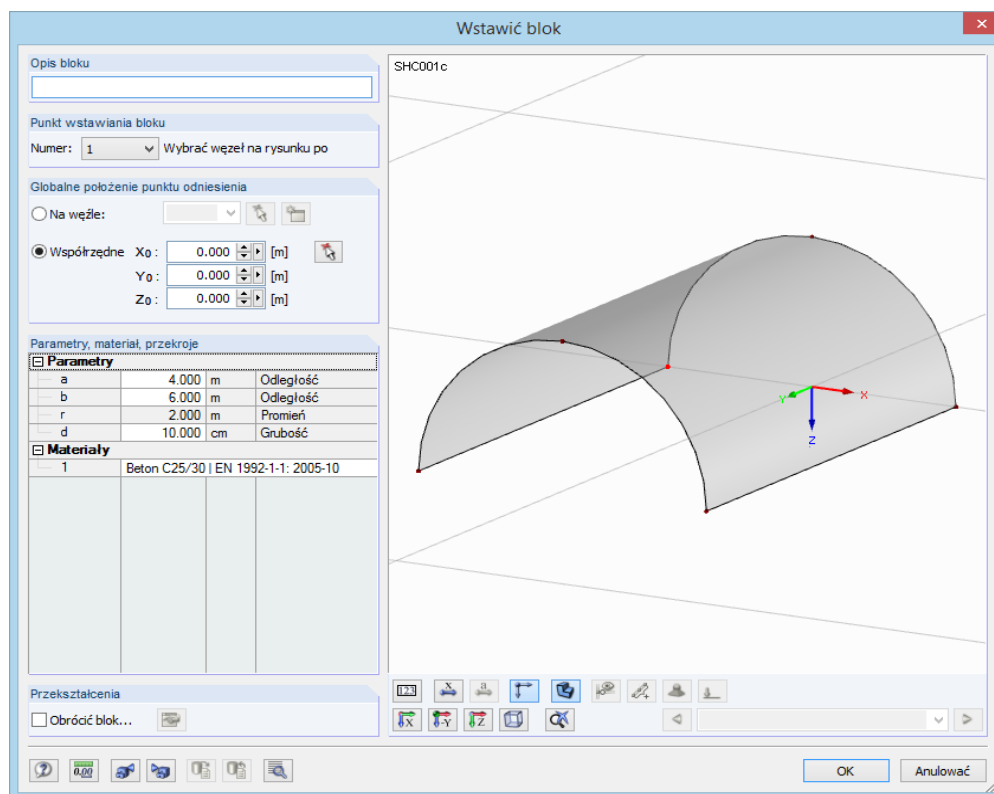
Aby rozpocząć import,

- należy wybrać polecenie **Wstawić blok** w menu **Blok**
- skorzystać z menu kontekstowego bloku.

Kategorie		RFEM	RSTAB	Wszystkie					
Nazwa bloku	Opis	Typ	Wezły	Linie	Powie...	Pręty	Bryły		
ARS001c-crv		3D	5	2	0	2	0		
ARS001p-crv		3D	5	2	0	2	0		
ARS002c-crv		3D	5	2	0	2	0		
ARS002p-crv		3D	5	2	0	2	0		
ARS005c-crv-a		3D	16	8	0	8	0		

Rysunek 12.38: Menu kontekstowe bloku

W tym samym celu można także dwukrotnie kliknąć blok w tabeli. Pojawi się następujące okno dialogowe.

Rysunek 12.39: Okno dialogowe *Wstawić blok*

Należy określić *Punkt wstawiania bloku* oraz *Globalne położenie punktu odniesienia* w oknie dialogowym. Punkty te mogą być również wybrane graficznie w modelu blokowym lub w modelu programu RFEM.

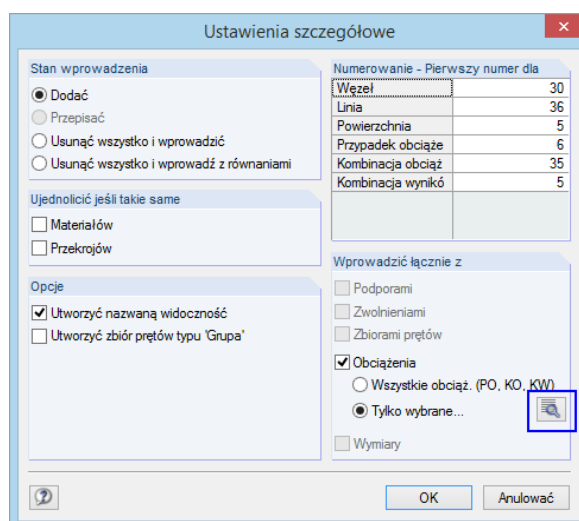


*Parametry, materiał, przekroje* mogą być zmieniane. Kliknięcie w odpowiednim polu uaktywnia przyciski, których można użyć do wybrania pozycji z listy lub od otwarcia biblioteki.

W przypadku bloków zdefiniowanych przez użytkownika możliwy jest także import obciążeń. *Obciążenie aktywne* może zostać wybrane z listy.



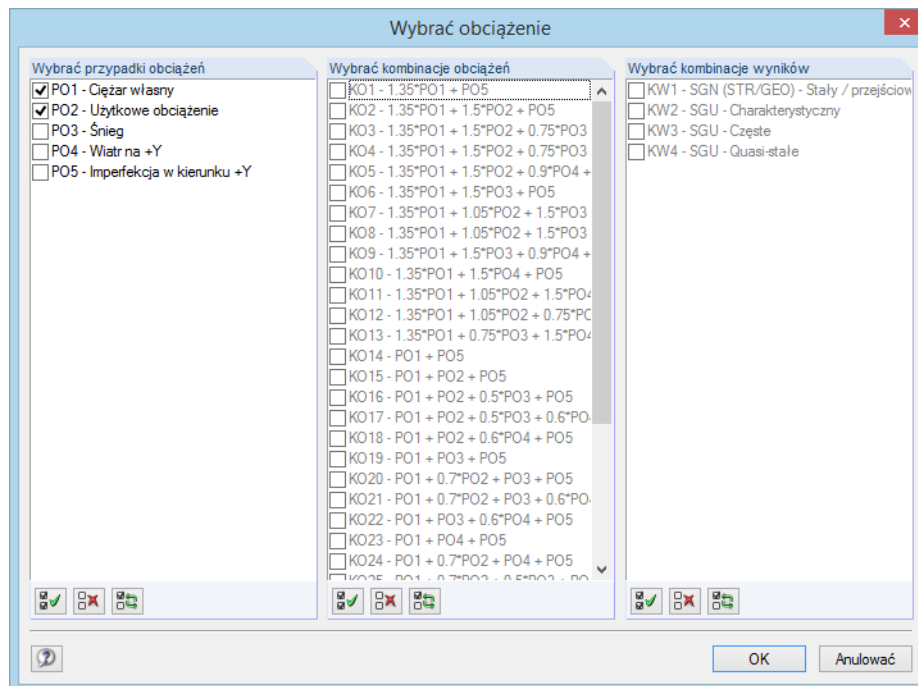
Kliknięcie przycisku [Edytować], pokazanego na lewym marginesie tej strony, pozwala uzyskać dostęp do ustawień importu, które mogą być definiowane w innym oknie dialogowym.

Rysunek 12.40: Okno dialogowe *Ustawienia szczegółowe*

Przy użyciu opcji dostępnych w oknie dialogowym *Ustawienia szczegółowe* określa się sposób, w jaki obiekty zostaną dostosowane do istniejących elementów konstrukcyjnych. Ponadto można wpływać na *Numerację*.



Kliknięcie przycisku [Wybrać] pozwala otworzyć nowe okno dialogowe, w którym można wybrać przypadki obciążeń oraz kombinacje obciążeń i wyników, które zostaną zaimportowane.



Rysunek 12.41: Okno dialogowe *Wybrać obciążenie*

### 12.4.3 Usuwanie bloku



Aby usunąć blok,

- należy wybrać polecenie **Usunąć** w menu **Blok** Menedżera bloków (blok musi zostać wcześniej zaznaczony)
- kliknąć przycisk [Usunąć] w pasku narzędzi, pokazany na lewym marginesie tej strony
- skorzystać z menu kontekstowego bloku (zobacz Rysunek 12.38).



Rysunek 12.42: Przycisk *Usunąć*

Po potwierdzeniu zapytania kontrolnego, blok zostanie przeniesiony do kosza Dlubal.

## 12.5 Interfejsy

Program RFEM oferuje możliwość wymiany danych z innymi programami. Dzięki temu można wykorzystać na przykład szablony CAD utworzone w innych programach. Można też udostępniać wyniki obliczeń statyczno-wytrzymałościowych z oprogramowania służącego do tworzenia projektu budowlanego lub projektowego.

Eksportowanie protokołu wydruku jako pliku **RTF** oraz do **VCmaster** zostało opisane w rozdziale 10.1.11 na stronie 427.

Ponadto program RFEM może być uruchomiony zewnętrznie przy użyciu programowalnego interfejsu opartego na technologii COM (na przykład Visual Basic). Przy użyciu **RF-COM**, który można zakupić jako moduł dodatkowy dla programu RFEM, możliwe jest użycie niestandardowych makr wejściowych i programów do kontynuowania pracy.

### 12.5.1 Bezpośrednia wymiana danych

Program RFEM posiada interfejs, który pozwala na bezproblemowy import danych wejściowych ze wszystkich wcześniejszych wersji programu **RFEM**. Również pliki z programu dla konstrukcji szkieletowych **RSTAB** można otworzyć bezpośrednio w programie RFEM, aby np. dodać powierzchnie lub elementy bryłowe. W ten sam sposób możliwe jest otwieranie w programie RSTAB 8 plików utworzonych w programie RFEM 5.

Program RFEM posiada bezpośrednie połączenie dla programów CAD z **Tekla Structures** i **Autodesk AutoCAD** (za wyjątkiem wersji LT). W ten sposób dzięki RFEM można wykorzystać zalety BIM (*Building Information Modeling*), ponieważ dane modelu można bezpośrednio wymieniać w ramach komputerowych procesów planowania.

Aby rozpocząć bezpośrednią wymianę danych,

należy wybrać polecenie **Importować** lub **Eksportować** w menu **Plik** w programie RFEM lub użyć przycisków paska narzędzi pokazanych na lewym marginesie tej strony.

Otwiera się okno dialogowe pokazane na Rysunek 12.43 lub Rysunek 12.44 na stronie 605, w którym można wybrać odpowiedni program CAD w sekcji okna dialogowego *Importy bezpośrednie* lub *Eksporty bezpośrednie*.

Przyciski w pasku narzędzi programu RFEM *Eksportować/Importować* posiadają następujące funkcje:







	Bezpośredni import z Tekla Structures
	Bezpośredni eksport do Tekla Structures
	Bezpośredni import z AutoCAD
	Bezpośredni eksport do AutoCAD

Tabela 12.3: Przyciski paska narzędzi *Eksportować/Importować*

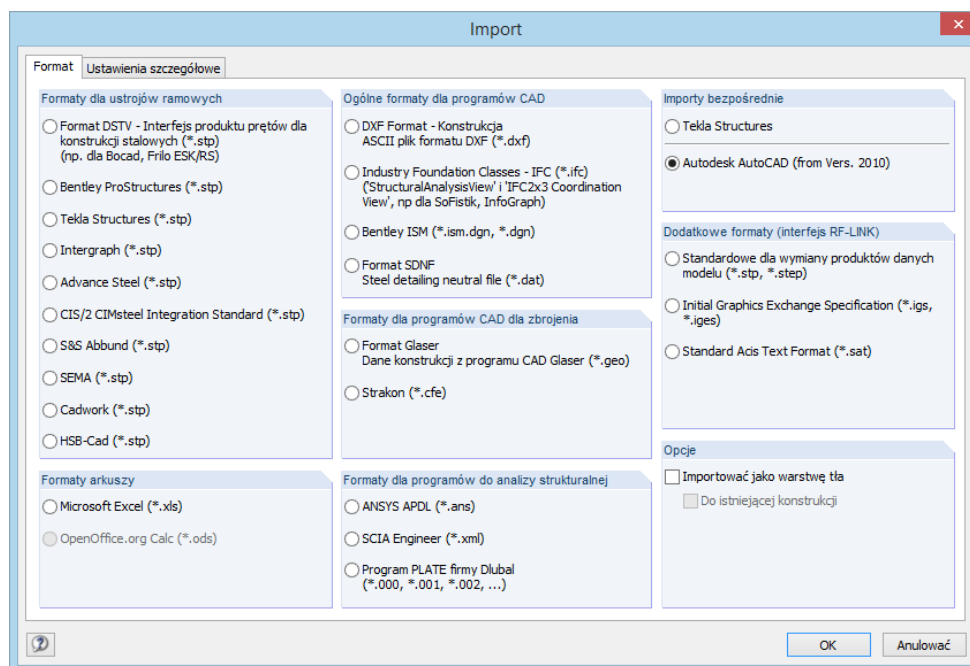
Opis interfejsów dla Tekla Structures i Autodesk AutoCAD Revit znajduje się na stronie <http://www.dlubal.com/pl/instrukcje-dla-kategorii-interfejsy.aspx>.

- **RX-Tekla**
- **RX-Revit**

## 12.5.2 Formaty plików dla wymiany danych

Jeżeli programy CAD i programy dla analizy statyczno-wytrzymałościowej posiadają możliwość tworzenia plików typu \*.stp, \*.dxf, \*.fem, \*.asf, \*.dat, \*.cfe lub \*.ifc, odpowiednie dane mogą być używane jako szablon dla programu RFEM. Program RFEM potrafi również tworzyć pliki w formatach odpowiednich dla innych programów.

Aby otworzyć okno dialogowe dla importu pliku, należy wybrać polecenie **Importować** w menu **Plik**.

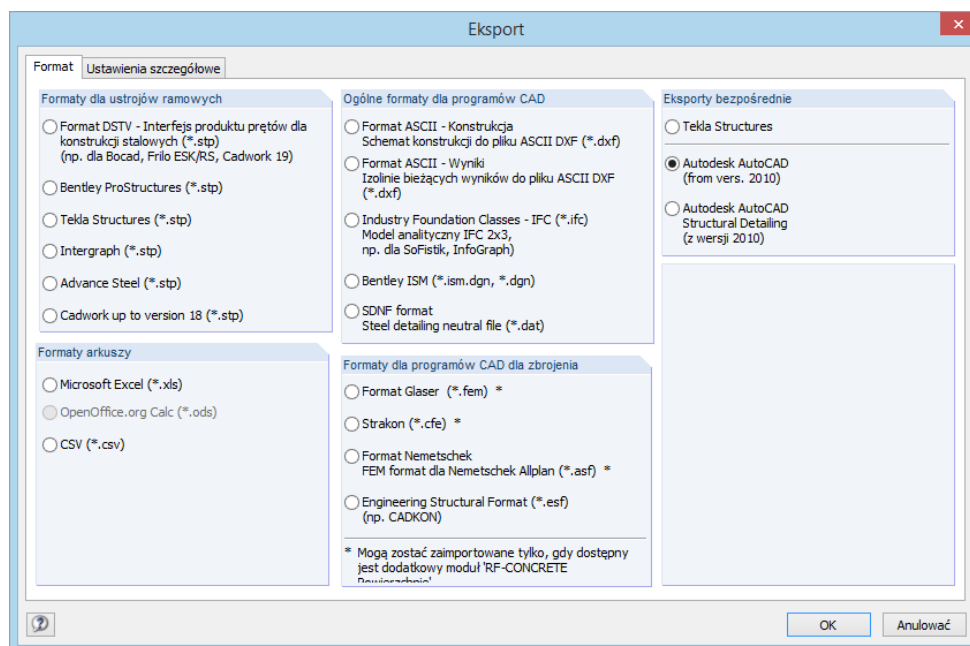


Rysunek 12.43: Okno dialogowe *Import*

Kiedy zaznaczona jest opcja *Importować jako warstwę tła*, program RFEM wyświetli w oknie roboczym tylko model liniowy, który może być użyty do wstawiania węzłów, linii itp. (zobacz rozdział 11.3.10 na stronie 485).



Aby rozpocząć eksport pliku programu RFEM, należy wybrać polecenie **Eksportować** w menu **Plik**.

Rysunek 12.44: Okno dialogowe *Eksport*

## Formaty plików dla konstrukcji szkieletowych

### Format DSTV \*.stp

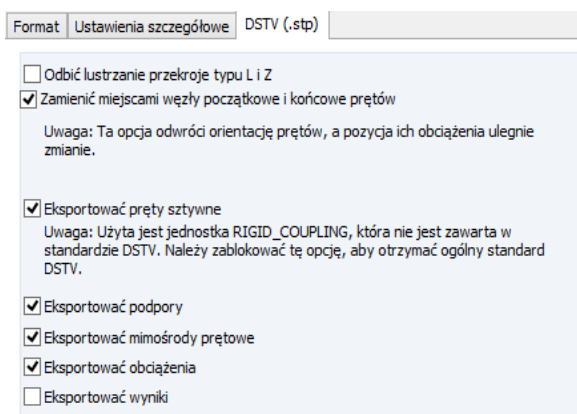
Interfejs produktu DSTV (German Steel Construction Association) nie pozwala na transfer przy użyciu plików konstrukcji szkieletowych zredukowanych do modeli liniowych, lecz jako plików zawierających wszystkie dane konstrukcyjne i obciążenia, które są niezbędne dla efektywnego przetwarzania danych. Firma DLUBAL, tak jak wielu innych producentów oprogramowania, pracuje nad rozwojem tego interfejsu. Dzięki temu możliwa jest wymiana danych z różnymi programami, takimi jak *Bentley ProStructure*, *Tekla Structures*, *Intergraph Frameworks*, *Advance Steel*, *CIS/2 CIMSteel* lub *cadwork*. Programy te można również wybrać bezpośrednio w oknach dialogowych dla importu i eksportu.



Interfejs ten obejmuje dane CAD oraz konstrukcyjne. Program RFEM obsługuje tylko format konstrukcyjny z określonymi "jednostkami" (zobacz plik PDF w języku angielskim i niemieckim dostępny na stronie <http://www.deutscherstahlbau.de/asp/biblioaussdet.asp?auss=7>).

Interfejs ten przesyła informacje na temat węzłów, prętów i przekrojów wraz z mimośrodami prętowymi oraz obrotami przekrojów. Ponadto przesyłane są podpory węzłowe, przypadki obciążeń, kombinacje obciążeń i wyników z obciążeniami węzłowymi i prętowymi, jak również imperfekcje. Wyniki obliczeń mogą być również zapisane w pliku wymiany.

Więcej ustawień dla wymiany danych można zdefiniować w zakładce okna dialogowego *DSTV (.stp)*.

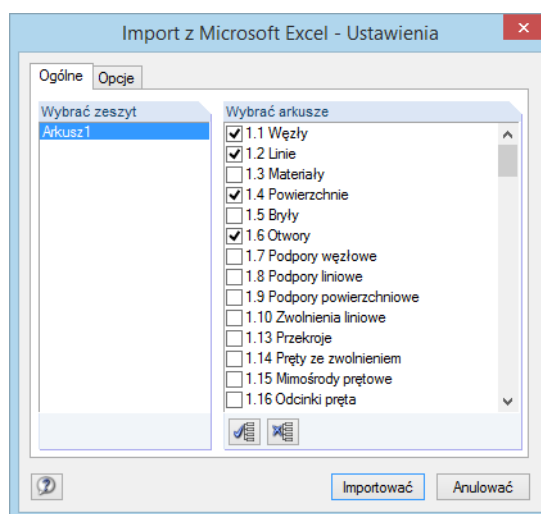
Rysunek 12.45: Okno dialogowe *Eksport*, zakładka *DSTV (.stp)*

## Formaty plików dla arkuszy kalkulacyjnych

### Format MS Excel \*.xls

W programie RFEM istnieje możliwość importowania i tworzenia tabel w postaci plików \*.xls. Wymiana danych z MS Excel została opisana w rozdziale 11.5.6 na stronie 522. Niemniej opisana opcja wymiany jest dostępna tylko dla aktywnej tabeli programu RFEM. Funkcja opisana poniżej obejmuje wszystkie dane z modelu na raz. Dzięki temu mogą być stosowane zdefiniowane przez użytkownika, zewnętrzne generatory danych konstrukcyjnych i obciążeń.

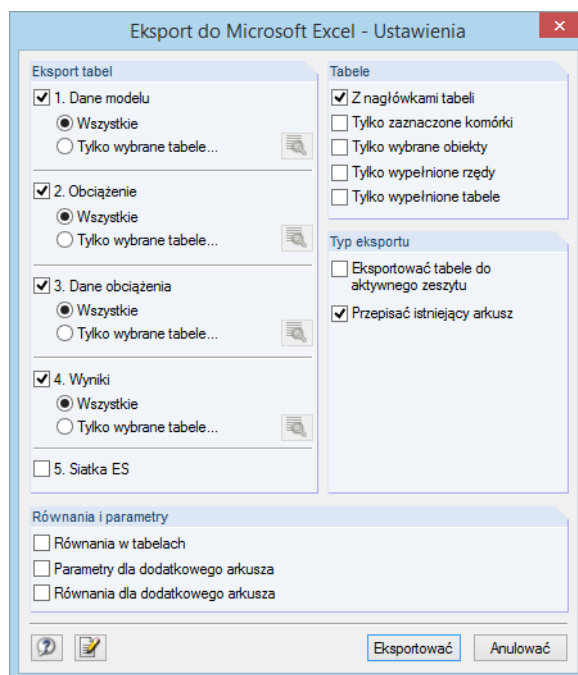
Aby dokonać **importu** pliku XLS, najpierw należy dany plik otworzyć w aplikacji MS Excel, a następnie wybrać opcję *Microsoft Excel* w oknie dialogowym *Import* w programie RFEM (zobacz Rysunek 12.43), aby otworzyć następujące okno dialogowe.

Rysunek 12.46: Okno dialogowe *Import z Microsoft Excel - Ustawienia*

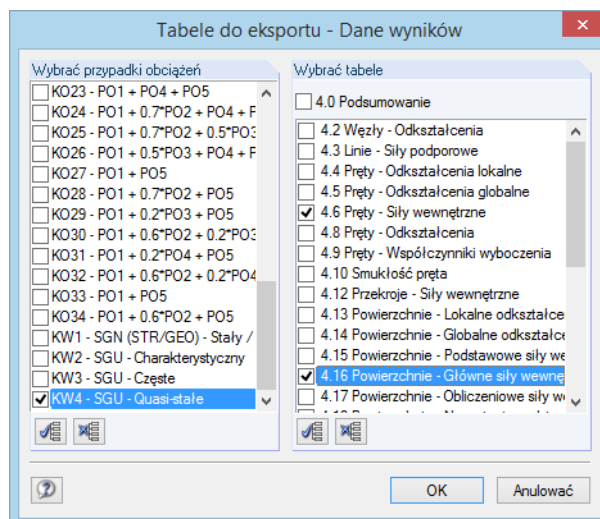
Kolejną należy wybrać *Zeszyt* i *Arkusze*, które mają zostać zaimportowane. Opisy, sekwencja i struktura arkuszy musi dokładnie pasować do danych w programie RFEM, aby importowane dane zostały zapisane poprawnie w tabelach programu RFEM. W przypadku braku pewności, można próbnie utworzyć plik XLS z bieżącego pliku programu RFEM.

W zakładce *Opcje* należy określić, czy arkusze będą importowane z lub bez nagłówek oraz w jaki sposób równania będą przedstawione w arkuszach.

Podczas **eksportu** pliku nie ma potrzeby wcześniejszego uruchomienia aplikacji MS Excel. Arkusz kalkulacyjny jest uruchamiany automatycznie.

Rysunek 12.47: Okno dialogowe *Eksport do Microsoft Excel - Ustawienia*

W sekcji okna dialogowego *Eksport tabel* należy zaznaczyć tabele, które zostaną wyeksportowane. Po aktywacji opcji *Tylko wybrane tabele*, program RFEM uaktywnia odpowiedni przycisk [Wybrać], pokazany na lewym marginesie tej strony. Kliknięcie tego przycisku pozwala otworzyć kolejne okno dialogowe zawierające specyficzne ustawienia.

Rysunek 12.48: Okno dialogowe *Tabele do eksportu - Dane wyników*

W sekcji *Równania i Parametry* początkowego okna dialogowego (Rysunek 12.47) można zdecydować, czy podczas wymiany danych pomiędzy programami RFEM i Excel będą również przesyłane zapisane równania.

### Formaty OpenOffice \*.ods

Interfejs ten jest dostępny tylko, gdy jest zainstalowana aplikacja OpenOffice.org Calc.

Opcje importu i eksportu są podobne do wymiany danych pomiędzy programami RFEM i Excel, opisanymi szczegółowo powyżej.

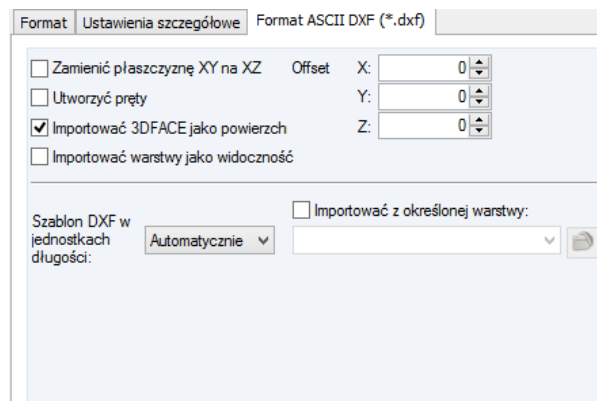


## Ogólne formaty pliku dla programów CAD

### Format ASCII \*.dxf

Format DXF przenosi tylko ogólne informacje dotyczące linii używanych w modelu. Program RFEM jest w stanie zaimportować model liniowy utworzony na przykład w programie AutoCAD i utworzyć plik DXF z bieżącego modelu. Dla każdego przekroju poprzecznego zostanie użyta jedna warstwa. Podpory węzłowe, obciążenia itp. nie mogą zostać przeniesione.

Więcej ustawień dla wymiany danych można zdefiniować w zakładce okna dialogowego *Format ASCII DXF (\*.dxf)*. Zaleca się sprawdzić te parametry, zwłaszcza przed importem.

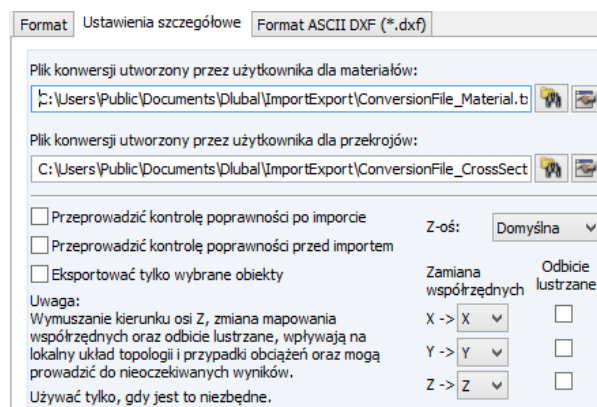


Rysunek 12.49: Okno dialogowe *Import*, zakładka *Format ASCII DXF (\*.dxf)*

Należy sprawdzić również opcję *Szablon DXF w jednostkach długości*. Opcjonalnie można określić *Odsunięcie* stosowane dla modelu podczas importowania go do programu RFEM. Wybranie opcji *Importować 3DFACE jako powierzchnię* pozwala automatycznie utworzyć powierzchnie 3D z szablonu DXF jako powierzchnie w programie RFEM.

Aby wybrać polecenie *Zaimportować plik z określonej warstwy*, należy użyć przycisku [Wybrać plik DXF], pokazanego na lewym marginesie tej strony, pozwalającego wybrać plik DXF, a następnie poszczególne warstwy z listy.

W większości programów CAD oś Z jest skierowana w górę, natomiast w programie RFEM zwykle jest ona skierowana w dół. Po przejściu do drugiej zakładki okna dialogowego *Ustawienia szczegółowe* w oknie dialogowym dla importu oraz zdefiniowaniu *W dół* na liście dla osi Z, obciążenia ciężarem można wprowadzać w programie RFEM jako dodatnie.



Rysunek 12.50: Okno dialogowe *Import*, zakładka *Ustawienia szczegółowe*

Eksport DXF uwzględni również wartości. Niemniej dozwolona jest tylko jedna wartość lub jedna grupa wartości. W przypadku określenia kilku wartości, eksportowana będzie zawsze tylko pierwsza wartość oraz wyświetlany będzie odpowiedni komunikat.



Logo IAI I

Podczas eksportu DXF zaleca się również sprawdzić orientację osi Z.

### Format IFC \*.ifc

Industry Foundation Classes (IFC) to globalny standard wymiany danych w rozwiązaniach konstrukcyjnych opartych na modelu. Zostały one opracowane przez IAI (International Alliance for Interoperability). IFC posiadają strukturę domen (architektura, projektowanie, analiza statyczno-wytrzymałościowa, inżynieria elektryczna itp.). Oprogramowanie firmy DLUBAL obsługuje domenę dla budownictwa, która pozwala na transfer danych konstrukcyjnych, takich jak węzły, pręty, podpory, przypadki obciążeń i obciążenia. IFC jest wciąż w fazie rozwoju.

Opis tego interfejsu znajduje się na stronie [www.buildingsmart.de](http://www.buildingsmart.de).

Podczas eksportowania modelu programu RFEM w postaci modelu IFC, model analityczny tworzony jest w wersji IFC 2 x Edition 3.

### Format Bentley \*.ism.dgn, \*.dgn

Interfejs ten umożliwia wymianę danych z produktem CAD MicroStation. Program RFEM może importować dane modelu i eksportować pliki programu RFEM, korzystając z możliwości interoperacyjności. Połączenie wszystkich aplikacji Bentley, takich jak ProSteel, jest tworzone na podstawie ISM (Integrated Structural Modeling).

### Format SDNF \*.dat

Format SDNF (*Steel detailing neutral file*) jest używany do wymiany z programem INTERGRAPH danych geometrycznych takich jak węzły, przekroje i pręty.

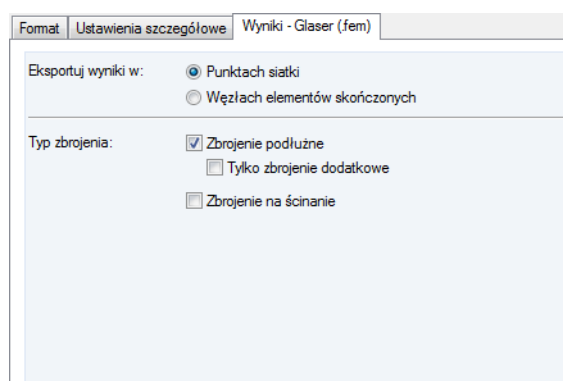
## Formaty plików dla programów CAD dla zbrojenia

### Format Glaser \*.geo, \*.fem

Program RFEM zapewnia interfejs dla programu *Glaser* firmy ISB CAD umożliwiający wymianę danych geometrycznych oraz danych dotyczących zbrojenia.

Aby wyeksportować wyniki zbrojenia z dodatkowego modułu RF-CONCRETE Surfaces, należy upewnić się, że powierzchnie są zdefiniowane jako płaskie i poziome, czyli utworzone w płaszczyźnie XY.

W zakładce okna dialogowego *Wyniki - Glaser (.fem)* można kontrolować wyniki dla zbrojenia, które są istotne podczas eksportu.



Rysunek 12.51: Okno dialogowe *Eksport*, zakładka *Wyniki - Glaser (.fem)*

Zbrojenie eksportowane do programu GLASER może być przedstawiane w formie graficznej w punktach rastru lub w węzłach ES. Ponieważ są one dostępne jako wartości, można zastosować je w szkicach zbrojenia.

### Format Strakon \*.cfe

Format Strakon wspiera wymianę danych geometrycznych, takich jak powierzchnie, z systemem programów CAD o nazwie STRAKON dostarczanym przez producenta oprogramowania DICAD.

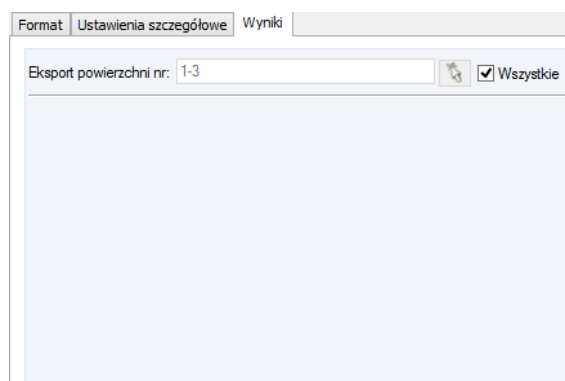
W zakładce *Wyniki* okna dialogowego *Eksport* można ustawić powierzchnie, których zbrojenie zostanie wyeksportowane (zobacz Rysunek 12.52).

### Format Nemetschek \*.asf

Wymiana danych jest również możliwa z programem Allplan firmy NEMETSCHKEK.

Podczas eksportu wyników zbrojenia dodatkowego modułu RF-CONCRETE Surfaces, należy pamiętać, że powierzchnie mogą być definiowane w dowolnym położeniu, ale muszą być one płaskie. Podczas eksportu program RFEM tworzy jeden plik ASF dla każdej powierzchni płaskiej. Na przykład, jeżeli model programu RFEM posiada 12 powierzchni, zostanie utworzonych 12 plików, które mogą być połączone do modelu 3D w programie Allplan.

W zakładce *Wyniki* okna dialogowego *Eksport* można ustawić powierzchnie, których zbrojenie zostanie wyeksportowane.



Rysunek 12.52: Okno dialogowe *Eksport*, zakładka *Wyniki*

### Format ESF \*.esf

Interfejs ten został opracowany specjalnie dla programu CADKON firmy AB STUDIO. Pozwala on na eksportowanie powierzchni płaskich o stałej grubości wraz z otworami i informacjami na temat materiału. Ponadto możliwe jest wyeksportowanie zbrojenia powierzchni programu RFEM w formacie \*.esf (*Engineering Structural Format*).

Import plików \*.esf nie jest możliwy. Zamiast tego użytkownik może skorzystać z formatu DXF.

## Formaty plików dla programów do analizy statyczno-wytrzymałościowej

### Format Ansys \*.ans

Korzystanie z interfejsu dla programu ANSYS, wykorzystującego MES, pozwala importować pliki dostępne w formacie \*.ans. W ten sposób można wykorzystać dane tego wielofunkcyjnego programu również podczas analiz prowadzonych w programie RFEM.

### Format Scia \*.xml

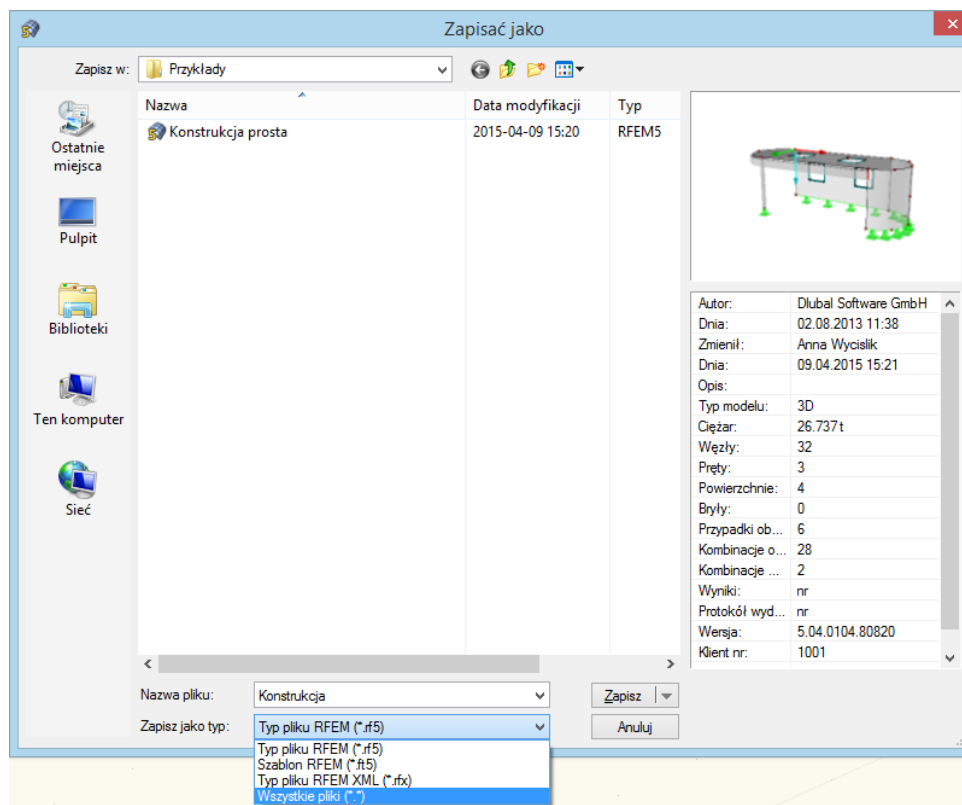
Do programu RFEM również importowanie dane modelu z programu do analizy statyczno-wytrzymałościowej Scia firmy NEMETSCHKEK, pod warunkiem, że dane te są dostępne w formacie \*.xml.

## Ogólne formaty Dlubal \*.xml, \*.ft5

Aby zapisać pliki programu RFEM jako pliki XML lub szablony, należy wybrać polecenie **Zapisać jako** w menu **Plik**.



W oknie dialogowym systemu Windows *Zapisać jako* należy użyć listy, aby ustawić odpowiedni typ pliku w polu dialogowym *Zapisać jako typ*.



Rysunek 12.53: Okno dialogowe *Zapisać jako*

Przy użyciu formatu FT5 zapisuje się model jako szablon, który można zaimportować później podczas tworzenia nowego pliku (zobacz Rysunek 12.23 na stronie 591).

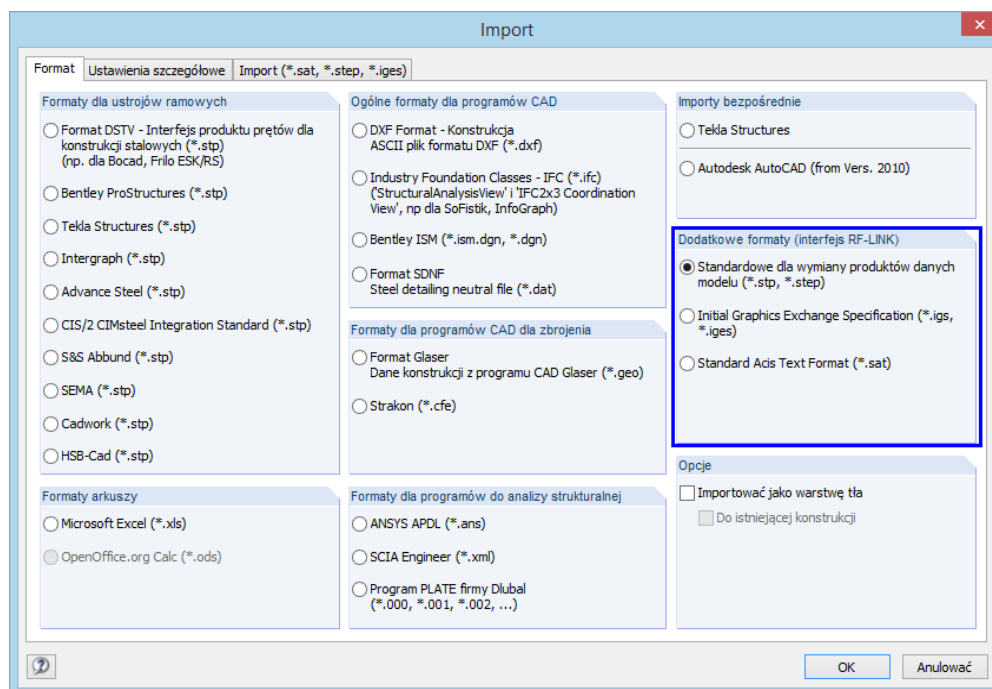
Po zapisaniu modelu jako plik typu RFX, dane tabelaryczne zostaną przekonwertowane do formatu XML. Pozostałe dane zostaną zapisane w formacie binarnym. Dane są przechowywane w skompresowanym pliku, który można otworzyć jako plik archiwum ZIP. Dzięki temu możliwe jest tworzenie plików w programach CAD.

### 12.5.3 Import RX-LINK \*.step, \*.iges, \*.sat

Przy użyciu dodatkowego modułu RX-LINK (który nie znajduje się w pakiecie RFEM) można importować dane w formacie STEP, IGES lub ACIS. Wymienione formaty plików są stosowane głównie w inżynierii mechanicznej i pozwalają na transfer geometrii modelu w postaci linii granicznych i powierzchni.

Aby zaimportować pliki modeli dostępnych w jednym z wyżej wymienionych formatów, należy wybrać polecenie **Importować** w menu **Plik**.



Rysunek 12.54: Okno dialogowe *Import*

W sekcji okna dialogowego *Dodatkowe formaty* w oknie dialogowym *Import* można zdefiniować odpowiedni format pliku:

- *Standardowe dla wymiany produktów danych modelu (\*.stp, \*.step)*
- *Initial Graphics Exchange Specification (\*.iges)*
- *Standard Acis Text format (\*.sat)*

Dostęp do tych opcji jest możliwy tylko w przypadku, gdy w osobnym procesie instalacji został dodatkowo zainstalowany program RX-LINK.

W zakładce okna dialogowego *Import (\*.sat, \*.step, \*.iges)* można określić szczegółowe ustawienia dla jednostek oraz sposobu traktowania linii i powierzchni.

Opcja eksportu plików programu RFEM w formacie STEP, IGES lub SAT nie jest obecnie dostępna.

# A Literatura

- [1] ZIENKIEWICZ, O. C., CHEUNG, Y.K.: The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics, McGraw-Hill, New York, London 1967
- [2] KOLÁR, V. et al.: Berechnung von Flächen- und Raumtragwerken nach den Methode der finiten Elemente (Czech), SMTL Prag 1972
- [3] KOLÁR, V. et al.: Berechnung von Flächen- und Raumtragwerken nach den Methode der finiten Elemente, Springer, Wien-New York 1975
- [4] KOLÁR, V., NEMEC, I.: Modeling of Soil-Structure Interaction, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, co-published with Academica Prague, 1989, second revised edition
- [5] STIGLAT, K., WIPPEL, H.: Massive Platten. In: Betonkalender 1989/I, S. 281 ff, Ernst & Sohn, Berlin 1989
- [6] CZERNY, F.: Tafeln für Rechteckplatten. In: Betonkalender 1990/I, S. 309 ff, Ernst & Sohn, Berlin 1990
- [7] WUNDERLICH, W. et al.: Modellierung und Berechnung von Deckenplatten mit Unterzügen. In: Bauingenieur 69, Heft 10, p. 381-389, Springer-Verlag, 1994
- [8] PASTERNAK, P.L.: Grundlagen einer neuen Methode der Berechnung von Fundamenten mittels zwei Bettungskoeffizienten, Gos. Isd. Stroj. i Arch., Moskau 1954 (Russian)
- [9] KOLÁR, V. et al.: Kurs für Statiker von Gründungsbauwerken und Erdkörpern, S. 146 ff., Haus der Technik, Ostrau 1983 (Czech)
- [10] TIMOSHENKO, S.P., WOJNOWSKI-KRIEGER, S.: Theory of Plates and Shells, 2. Auflage, McGraw-Hill, New York 1959
- [11] GRASSER, E., THIELEN, G.: Heft 240 DAFSt, Ernst & Sohn, Berlin-München-Düsseldorf, 1978, 2. überarbeitete Auflage
- [12] GRASSER, E., KORDINA, K., QUAST, U.: Bemessung von Beton- und Stahlbetonbauteilen nach DIN 1045, DAFStb - Heft 220, Ernst & Sohn, Berlin 1979
- [13] KOLÁR, V. - NEMEC, I.: Contact Stress and Settlement in the Structure-Soil Interface. Study by the Czecho-slovak Academy of Sciences Nr. 16, Academia Praha 1991, 160 pages
- [14] PETERSEN, Chr.: Stahlbau, Vieweg & Sohn, Braunschweig-Wiesbaden 1988
- [15] BARTH, C., RUSTLER, W.: Finite Elemente in der Baustatik-Praxis, Bauwerk, Berlin 2010
- [16] NEMEC, I., KOLÁR, V. et al.: Finite Element Analysis of Structures - Principles and Praxis, Aachen 2010
- [17] KOLÁR, V. et al.: Kurs für Statiker von Gründungsbauwerken und Erdkörpern, Haus der Technik, Ostrau, 1983 (Czech)
- [18] KOLÁR, V. et al.: Bemessung von zwei- und dreidimensionalen Strukturen mit FEM, Springer-Verlag, New York/Wien, 1975, p. 425 ff., chapters 1 (1D element) and 6 (variation principle)
- [19] KOLÁR, V., NEMEC, I.: Finite Element Analysis of Structures. United Nations Development Program, Economic Com. for Europe, Workshop on CAD Techniques, June 1984, Prague-Geneva, Vol. I, 248 pp.
- [20] BERGAN, P. G.: Finite Elements Based on Energy Orthogonal Functions. Int. Journal for Numerical Methods in Engineering, 17 (1981), p. 154-155
- [21] BERGAN, P.G. - NYGARD, M. K.: Finite Elements With Increased Freedom in Choosing Shape Functions. Int. Journal for Num. Meth. in Eng., 20 (1984), p. 643-664, (Free Formulation Concept)
- [22] BERGAN, P.G. - FELIPPA, C. A.: A Triangular Membrane Element With Rotational Degrees of Freedom. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 50 (1985), pp. 25-69

- [23] ZIENKIEWIC, O.C.: The Finite Element Method in Engineering Science, Mc Graw - Hill, London 3<sup>rd</sup> Ed., repr. 1979, 787 pp., chapter 18 - 19 (Nonlinear Problems)
- [24] DVORKIN, E.N. - BATHE, K.-J.: A continuum mechanics based four-node shell element for nonlinear analysis. In: Eng. Comput., 1984, vol. 1, pp. 77-88.
- [25] BATHE, K.J.: Finite Element Procedures, New Jersey, 1996
- [26] BAUMANN, Th.: Zur Frage der Netzbewehrung von Flächentragwerken. In: Der Bauingenieur 47 (1972), pp. 36, Springer-Verlag, Berlin 1972
- [27] SCHLAICH, J., SCHÄFER, K.: Konstruieren im Stahlbetonbau. In: Betonkalender 1993, Teil II, 327 pp., Ernst & Sohn, Berlin 1993
- [28] LEONHARDT, F.: Vorlesungen über Massivbau, Teil 6, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1979
- [29] DIN 1045 (07.88), Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung, Beuth, Berlin-Wien-Zürich 1988
- [30] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Entwurf 12.1998.
- [31] DIN 18800 (11.90) Teil 1, Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion, Beuth, Berlin-Wien-Zürich 1992
- [32] DIN 18800 (11.90) Teil 2, Stahlbauten, Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken, Beuth, Berlin-Wien-Zürich 1992
- [33] Eurocode 2 Teil 1-1 (06.92), Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Beuth, Berlin-Wien-Zürich 1992
- [34] Eurocode 3 Teil 1-1 (04.93), Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Beuth, Berlin-Wien-Zürich 1993
- [35] KLINGMÜLLER, O. LAWOW, M., THIERAUF, G. (1983), Stabtragwerke, Matrizenmethoden der Statik und Dynamik, Teil 2: Dynamik, Fr. Vieweg & Sohn, Braunschweig
- [36] KLOTTER, K. (1981), Technische Schwingungslehre, Bd. 1, Teil A: Lineare Schwingungen, Teil B: Nichtlineare Schwingungen, Bd. 2: Schwinger von mehreren Freiheitsgraden, Springer, Berlin
- [37] KOLOUSEK, V. (1962), Dynamik der Baukonstruktionen, VEB-Verlag f. Bauwesen, Berlin
- [38] KRÄMER, E. (1984), Maschinendynamik, Springer, Berlin
- [39] LEHMANN, T. (1979), Elemente der Mechanik IV: Schwingungen, Variationsprinzip, Fr. Vieweg & Sohn, Braunschweig
- [40] LIPINSKI, J. (1972), Fundamente und Tragkonstruktionen für Maschinen, Bauverlag, Wiesbaden
- [41] LORENZ, H. (1960), Grundbau-Dynamik, Springer, Berlin
- [42] MÜLLER, F. P. (1978), Baudynamik, Betonkalender 1978, Ernst & Sohn, Berlin
- [43] NATKE, H. G. (1989), Baudynamik, B. G. Teubner, Stuttgart
- [44] NOWACKI, W. (1974), Baudynamik, Springer, Berlin
- [45] FLESCH, R. (1993), Baudynamik, praxisgerecht, Bauverlag, Wiesbaden-Berlin
- [46] MESKOURIS, K. (1999), Baudynamik, Modelle Methoden Praxisbeispiele, Ernst & Sohn, Berlin
- [47] BARES, R. A. (1989), Tabellen für die Berechnung von Platten und Wänden STNL, Prague
- [48] ŠEVČÍK, I., 3D Finite Elements with Rotational Degrees of Freedom, FEM Consulting s.r.o., Brno

# B Indeks

## A

Adres firmy .....	421
Aktualny projekt .....	583
Analiza drugiego rzędu.....	286
Analiza dużych deformacji.....	286
Analiza postkrytyczna.....	286, 296
Animacja .....	319, 407
Ansys .....	616
Archiwizowanie .....	590
Asystent pomocy .....	297

## B

Bach .....	354, 363, 367, 368
Belka .....	150
Belka ciągła.....	544
Belka glu-lam.....	120, 123
Belka wynikowa.....	150, 153
Bentley .....	615
Bez rozciągania.....	85
Biblioteka materiałów.....	75
Biblioteka przekrojów.....	130
Biegunowy układ współrzędnych .....	49, 468
Błacha trapezowa.....	124
Blok .....	605, 606
Blokowanie linii pomocniczych.....	484
Bryła.....	538, 539, 541
Bryła gazowa.....	91, 93
Bryła kontaktowa .....	94
Bryła zerowa.....	91
Bryła złożona.....	92
Bryły – węzły ES.....	374

## C

Cadkon.....	616
Ciążar.....	161
Ciążar właściwy.....	65
Ciążar własny.....	187
Ciśnienie gazu .....	369
Cylindryczny układ współrzędnych .....	49
Czcionki .....	427
Częściowa aktywność.....	103, 142
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa .....	65, 206

## D

Dach beczułkowy .....	558
-----------------------	-----

Dach dwuspadowy .....	574, 581
Dach jednospadowy.....	572, 578, 581
Dach jętkowy .....	549
Dach kolebkowy .....	557
Dach korytkowy .....	579
Dach krokwiowy.....	549
Dach płaski.....	572, 577
Dach płatwiowy .....	550
Data .....	420
Definicja osi .....	599
Dennice.....	557
Dicad .....	616
Długość efektywna .....	161
Długość łuku.....	477
Długość pręta.....	160
Dodaj .....	519
Dodatkowe objaśnienia .....	412
Dodatnia strona powierzchni .....	349
Dodawanie przypadku obciążenia .....	189
Drabinka przeciwnięgowa.....	573
Drukarka domyślna.....	409, 430
Drukowanie .....	430
Drukowanie w kolorze .....	439
Dummy .....	150, 157
Dummy Rigid .....	127
Dyskretyzacja .....	178
Dzielenie .....	519
Dzielenie linii.....	503
Dzielenie powierzchni.....	511
Dzielenie pręta .....	503
Dzielenie prętów.....	541
Dźwigar o zmiennym przekroju.....	550

## E

Edytor równań .....	526, 527, 531, 532, 534, 613
Eksport .....	527, 609, 610
Elementy skończone.....	277, 279
Elipsa .....	59, 97, 461
Excel .....	525, 527, 531, 532, 601, 612

## F

Filtr...34, 310, 316, 318, 321, 374, 380, 398, 406, 523	
Format ACIS.....	617
Format IFC.....	615



Format IGES.....617  
 Format RFX.....617  
 Format SDNF.....615  
 Format STEP.....617  
 Funkcja wyboru.....518  
 Funkcje klawiatury.....37  
 Funkcje myszy.....38

**G**

Generator konstrukcji.....543  
 Generator obciążenia.....560  
 Generatory.....535, 560  
 Glaser.....615  
 Główne siły wewnętrzne.....337  
 Graficzny interfejs użytkownika.....15  
 Granica plastyczności.....68  
 Grubość.....86  
 Grubość zmienna.....86, 118  
 Grupa.....27, 221, 400  
 Grupa wartości.....377  
 Grupa widoczności.....403  
 Grupy.....377

**H**

Hala.....551  
 Hiperbola.....59, 555  
 Historia.....589, 602

**I**

Identyczne węzły.....273  
 Imperfekcja.....195, 266  
 Imperfekcja z RF-IMP.....291  
 Import.....526, 610  
 Import folderu projektu.....587  
 Informacje o obiekcie.....381  
 Instalacja.....11  
 Interfejs COM.....609  
 Interfejsy.....609  
 Intergraph.....615  
 Iteracje.....294  
 Izolinie.....374  
 Izopasma.....374  
 Izotropowy.....66, 85, 86

**J**

Jakość wydruku.....439  
 Jednostki.....450  
 Język programu.....446

**K**

Kabel.....150, 152  
 Kabel na kole pasowym.....152  
 Kalkulator.....532  
 KARTEZ.....30, 468  
 Kartezjański układ współrzędnych.....48  
 Kasetony.....124  
 Kąt.....453, 477  
 Kąt obrotu przekroju.....129  
 Kąt osi głównych.....129  
 Kąt pochylenia.....281, 477  
 Kąt widoku.....455  
 Kategoria.....606  
 Kategoria oddziaływań.....186, 191  
 Kierunek obciążenia.....239, 244, 257, 259, 261, 262  
 Kierunek rzutowania przekroju.....386  
 Kierunki osi głównych.....339  
 Kirchhoff.....298  
 Klasyfikacja.....597  
 Kółko myszy.....38  
 Kolor materiału.....457  
 Kolorowe skale referencyjne.....305, 521  
 Kolory w renderowaniu.....401  
 Kombinacja alternatywna.....221  
 Kombinacja dodatkowa.....221  
 Kombinacja obciążeń...209, 210, 212, 214, 216, 599  
 Kombinacja oddziaływań.....201, 204, 206  
 Kombinacja wyników...217, 220, 223, 224, 371, 599  
 Kombinacja wynikowa.....200  
 Kombinacje.....599  
 Komentarz.....451, 479, 602  
 Komórka.....553, 556, 558, 568  
 Konfiguracja.....39  
 Konstrukcja odkształcona.....289  
 Kontakt.....91  
 Kopiowanie modelu.....588  
 Kopiowanie przypadku obciążenia.....189  
 Kopiuj.....492  
 Kosz.....586, 589, 593  
 Kosz Dlubal.....594  
 Kratownica.....150, 547  
 Kratownica (tylko N).....150, 151  
 Kratownica 3D.....552  
 Kryterium.....221  
 Kryterium aktywności.....269

Krytyczne obciążenie wybozczeniowe .....	161	Miejsca dziesiętne .....	450
Krzywa .....	61	Mimośród .....	87
Krzywa łańcuchowa .....	555	Mimośród prętowy .....	144
Krzywa trajektorii .....	62	Mindlin .....	298
Krzyżujące się pręty .....	495, 505	Miniatur .....	605
Kształt zwężenia .....	160	Miniatura .....	583, 592
<b>L</b>		MISES .....	69, 351, 360, 366, 368
Łączenie folderu .....	584	Mnożenie .....	519
Łączenie linii .....	495, 505	Model materiałowy .....	66
Łączenie prętów .....	505, 508	Model podłoża gruntowego .....	111
Łączenie węzłów .....	276	Moduł sztywności Es .....	167
Laminat .....	86	Moduły dodatkowe .....	302
Ława fundamentowa .....	167	Moment .....	233, 236, 243
Linia .....	52, 554	Moment bezwładności .....	128
Linia na powierzchni .....	63	Moment dodatkowy .....	286
Linia pomocnicza .....	472, 480, 483	Moment obliczeniowy .....	341
Linia przecięcia .....	176	Moment skrecający .....	322, 336, 338
Linia równoległa .....	471, 535	Moment zginający .....	322
Linia wirtualna .....	557	Momenty kontaktowe .....	325
Linia wpływu .....	237	Momenty podporowe .....	309, 314
Linia wymiarowa .....	476	Możliwości programu .....	8
Linie graniczne .....	80, 86, 97	Mur .....	74
Lista .....	18	<b>N</b>	
Lista linii .....	243	Nagłówek firmy .....	418
Lista parametrów .....	528, 531, 533	Nagłówek protokołu wydruku .....	421
Logo .....	421	Nagłówek wydruku .....	418
Logo firmy .....	421	Naprężenia .....	347, 374
Łuk .....	56, 59, 512, 555	Naprężenia brył .....	374
Łuk na okręgu .....	556	Naprężenia główne .....	345
<b>M</b>		Naprężenia kontaktowe .....	348
Macierz sztywności .....	122	Naprężenia kontaktowe gruntu .....	348
Marginesy graficzne .....	491	Naprężenia normalne .....	365
Materiał .....	64, 91, 122	Naprężenia osiowe .....	237, 247
Materiał hybrydowy .....	127	Naprężenia podstawowe .....	343, 365
Materiał odniesienia .....	128	Naprężenia równoważne .....	350, 351, 353, 354, 365, 366
Mechanizm kinematyczny .....	289	Naprężenia tnące .....	345, 346, 365, 366
Membrana .....	86	Nawigator .....	24
Menedżer bloków .....	604	Nawigator Dane .....	26
Menedżer konfiguracji .....	39	Nawigator projektu .....	24
Menedżer projektów .....	13, 582	Nawigator Widoki .....	27
Menedżer protokołów wydruku .....	410	Nawigator Wyniki .....	27, 376
Menu kontekstowe .....	16, 411, 447	Nawigator Wyświetl .....	27, 372, 406, 478
Metoda analizy .....	200, 285	Nazwa modelu .....	421
Metoda modułu sztywności .....	111	Nazwa projektu .....	421
MicroStation .....	615	Nemetschek .....	616

Newton-Raphson .....	287	Obroty ...130, 237, 312, 318, 320, 332, 333, 364, 572	
Nieliniowość materiału .....	66, 72, 375	Ocena wyników .....	370
Nieliniowość podpór powierzchniowych .....	116	Odbijanie lustrzane .....	495, 497
Nieliniowość podpory .....	102, 110	Odcinek pręta .....	147
Nieliniowość prętowa .....	168	Oddziaływanie .....	189
Nieliniowości dla zwolnień .....	141	Oddziaływanie alternatywne .....	191
Niestabilność .....	299	Oddziaływanie decydujące .....	200
Norma .....	598	Oddziaływanie główne .....	206
Nośność obciążenia .....	192	Oddziaływanie nieliniowe .....	299
Nowa strona .....	411	Odkształcenia .....	355, 357, 358, 359, 361, 362, 407
Nożyce .....	140	Odkształcenia osiowe .....	253
Numeracja .....	420, 513, 514	Odkształcenia powierzchni .....	330, 333
Numerowanie stron .....	420	Odkształcenia prętów .....	317, 319
NURBS .....	61	Odkształcenia węzłowe .....	311
<b>O</b>		Odkształcenie - renderowanie .....	373
Obciążenie .....	521	Odkształcenie od ścinania .....	129
Obciążenie bryłowe .....	252	Odlączenie folderu .....	585
Obciążenie globalne .....	239, 244, 249	Odległość .....	453, 472
Obciążenie konstrukcji wielowarstwowej .....	250	Odległość skoku .....	468
Obciążenie liniowe .....	242	Odsunięcie .....	404, 466, 477, 479
Obciążenie lodem .....	571	Okno .....	402
Obciążenie lokalne .....	239, 244, 249	Okrąg .....	58, 80, 97, 512, 555
Obciążenie od pokrycia .....	571	Opcje programu .....	297
Obciążenie powierzchniowe .....	246, 564, 568	OpenOffice .....	525, 527, 613
Obciążenie prętowe .....	234	Operacja boolowska .....	92
Obciążenie rozłożone równomiernie .....	238, 243	Opis materiału .....	64
Obciążenie skupione .....	237	Opis projektu .....	587
Obciążenie śniegiem .....	572, 574	Opis przekroju .....	127
Obciążenie stałe .....	221	Orientacja linii .....	505
Obciążenie trapezowe .....	238	Orientacja osi głównych .....	345
Obciążenie węzłowe .....	231, 495	Orientacja pręta .....	505, 507
Obciążenie wiatrem .....	565, 575, 577, 579, 581	Ortotropia .....	91, 125
Obciążenie zastępcze .....	266	Ortotropowy .....	70, 71, 72, 85, 86, 121
Obciążenie zmienne .....	238, 243	Oś obrotu .....	496, 502
Obiekt wizualny .....	487	Oś Z .....	600, 614
Obiekty powiązane .....	463	Osiadanie słupa .....	263
Obiekty zintegrowane .....	87, 97, 277	Osie linii .....	53
Obliczeniowe siły wewnętrzne .....	340	Osie powierzchni .....	249, 349
Obrócone podpory węzłowe .....	310	Osie pręta .....	319, 495
Obrót .....	495, 501	OSKOK .....	30, 469
Obrót linii .....	55	Osobliwość .....	511
Obrót podpory .....	100, 108	Oświetlenie .....	459
Obrót pręta .....	157	Otwieranie modelu .....	587, 595
Obrót przekroju .....	129	Otwory .....	96, 569
Obrót wymuszony .....	264		

<b>P</b>	
Panel sterowania.....	406, 440
Parabola .....	59, 555
Parametry obciążenia powierzchniowego.....	249
Parametry obciążenia prętowego.....	240, 244
Parametry obliczeń.....	283, 294
Parametry siatki ES.....	279
Parametry słupa.....	101
Parametry zagęszczenia .....	182
Pasek narzędzi.....	22
Pasek stanu .....	29
Picard.....	287, 296
Pierścień .....	80
Pierścień kołowy.....	461
Plastyczny .....	66, 68
Płaszczyzna.....	80, 564
Płaszczyzna docelowa .....	499
Płaszczyzna odbicia lustrzanego .....	497
Płaszczyzna przekroju.....	404
Płaszczyzna robocza.....	404, 464
Płaszczyzna rzutowania .....	255, 257, 262
Płaszczyzna trzypunktowa.....	465
Plik ASCII.....	424
Plik ASF .....	616
Plik DXF.....	488, 490
Plik PDF.....	431
Plik RTF.....	424, 430
Plik tekstowy.....	424
Plik XML.....	616
Ploter .....	438
Plotowanie .....	443
Płynięcie .....	171
Płynne przejście kolorów.....	33
Płyta.....	597
Początek.....	464, 466, 475
Podgląd strony.....	412
Podłoże nieefektywne.....	168
Podpora liniowa .....	106, 112
Podpora powierzchniowa.....	110, 348
Podpora węzłowa .....	98, 112
Podpowiedź ekranowa .....	22, 45
Podprojekt.....	584, 585
Podstawowe siły wewnętrzne .....	334
Podział pręta.....	373
Podział siatki ES .....	295
Pokrycie.....	538
Pokrywające się linie.....	275
Pokrywające się powierzchnie .....	275
Pokrywające się pręty.....	274
Połączenie .....	155
Pole.....	456
Pole komentarza .....	451
Pole na ścinanie.....	129
Pole powierzchni .....	456
Pole przekroju.....	129
Pole tytułowe.....	438
Pole wprowadzania .....	18
Pole wyboru .....	18, 19
Polilinia.....	54
Położenie linii.....	54
Położenie pręta .....	158
Położenie żebra.....	164
Poślizg .....	157, 170
Postępowanie wyjątkowe.....	300
Powiązane przypadki obciążeń .....	323
Powierzchnia.....	79
Powierzchnia B-Spline .....	83
Powierzchnia czworoboczna.....	81
Powierzchnia graniczna .....	91
Powierzchnia NURBS.....	83
Powierzchnia obrócona.....	81
Powierzchnia ortotropowa.....	120
Powierzchnia oryginalna.....	176
Powierzchnia rzeczywista .....	249, 259
Powierzchnia sztywne.....	86
Powierzchnia trajektorii.....	84
Powierzchnia zakrzywiona .....	275
Powierzchnia zerowa .....	86
Powłoka .....	597
Pozycja obciążenia.....	255, 257, 259, 262
Pozycja pionowa.....	158, 276
Pozycja pręta.....	161
Prędkość kątowna.....	237, 247, 253, 572
Prefiks .....	421
Preselekcja .....	460
Pręt .....	148, 538
Pręt posadowienia .....	295
Pręt równoległy.....	535
Pręt sztywny .....	150
Pręty podwójne.....	162

Problem z przechowywaniem .....	297	Reakcje podporowe .....	308, 312, 314
Proces deformacji .....	408	Reakcje podporowe jako obciążenie.254, 256, 310, 315	
Profil użytkownika .....	450	Reakcje podporowe linii.....	312
Projekty sieciowe .....	603	Reaktywacja.....	300
Prostopadły.....	470	Redukcja sztywności.....	166, 375
Protokół wydruku .....	409, 415, 432	Redukowanie kombinacji .....	198
Przeciągnij-i-upuść .....	38, 411	Reguła oznaczania.....	319
Przecięcie.....	174, 471, 505	Reguły kombinacji.....	194
Przecinające się pręty .....	274	Relaksacja dynamiczna .....	287, 299
Przegub plastyczny .....	171	Renderowanie.....	319, 373, 457
Przejrzystość .....	403	RF-CONCRETE .....	291, 341
Przekrój.....	126, 386, 389	RF-CONCRETE Members.....	291
Przekrój drewniany.....	135	RF-CONCRETE Surfaces.....	291
Przekrój masywny .....	134	RFEM 4.....	13
Przekrój parametryczny .....	133	RF-IMP.....	291
Przekrój walcowany .....	131	RF-LAMINATE .....	86
Przekrój z programu SHAPE-MASSIVE .....	137	RF-MAT NL.....	66, 375
Przekrój z programu SHAPE-THIN .....	137	RF-SOILIN.....	113
Przekrój zdefiniowany przez użytkownika .....	136	Równanie.....	529, 532, 533
Przekrój złożony .....	132	Równoległobok.....	461
Przemieszczenia ...237, 312, 318, 320, 332, 333, 364		Równowaga momentów .....	560
Przemieszczenie osiowe .....	237	Równowaga wyników.....	305
Przemieszczenie wymuszone .....	264, 265	Rozciąganie.....	150, 151
Przeniesienie .....	492	Rozkład obciążenia237, 243, 248, 253, 259, 261, 375	
Przepływ ścinania.....	337	Rozkład sił wewnętrznych .....	391, 392
Przerwanie .....	171	Różnice .....	374
Przezroczyste wyświetlanie wyników .....	378	Różnice w sztywności.....	129
Przycisk.....	17	Rozpoczynanie obliczeń.....	301
Przyciski domyślne .....	36	Rozszerzanie biblioteki materiałów.....	77
Przypadek obciążenia.....	184, 495	Ruch .....	571
Przyrost obciążenia .....	289, 295	Ruch obrotowy.....	237, 247, 253
Przyspieszenie .....	572	Rura .....	82
Punkt rastru.....	334, 378, 467, 468	RX-LINK.....	617
Punkt widzenia .....	455	Rzeczywista długość pręta .....	240, 244, 257
Punkt wprowadzenia.....	607	Rzut.....	240, 244, 249, 257, 397, 498
Punkt zerowy.....	475		
Punkty podziału.....	472	<b>S</b>	
Punkty siatki ES.....	378	Scalanie linii .....	506
<b>R</b>		Scalanie prętów.....	506
Rama.....	545, 546, 551	Schemat kombinacji .....	227
Rankine.....	353, 362, 367, 368	Schody.....	553
Raster.....	30	Scia.....	616
Raster liniowy .....	473, 485	Ściana.....	575, 581, 597
Raster wynikowy .....	379	Ściana jako podpora .....	108
Reakcje podpór węzłowych.....	307	Ścinanie.....	501

Ściskanie.....	150, 151	Statystyka siatki ES.....	283
Sekcja.....	17	Stężenie.....	556
Siatka ES.....	277, 283	Stosowanie obciążenia.....	564
Sieć.....	13	Strakon.....	616
Siła.....	232, 236, 243, 247	Strona powierzchni.....	89
Siły kontaktowe.....	325	Strona tytułowa.....	427
Siły kontaktowe prętów.....	324	Strona zwolnienia liniowego.....	117
Siły osiowe.....	322	Strop żebrowy.....	123
Siły tnące.....	322, 336	Styczna.....	470, 512
Siły wewnętrzne - renderowanie.....	373, 406	Style.....	24
Siły wewnętrzne powierzchni.....	338, 374	Suma kontrolna.....	306, 310, 314
Siły wewnętrzne prętów.....	320, 373	Superpozycja albo lub.....	221
Siły wewnętrzne w wielu kolorach.....	406	Synchronizacja wyboru.....	24, 522
Siły wewnętrzne żebra.....	384	Szablon.....	426, 600, 616
Skala.....	500	Szablon protokołu wydruku.....	410, 425, 426
Skala szarości.....	439	Szablony nagłówków.....	419
Skalowanie.....	374	Szerokość siatki.....	178
Składnik.....	85	Szkle.....	85
Składnik powierzchni.....	85	Sztywność.....	85, 150, 154
Skok do obiektu.....	468, 480, 487, 490	Sztywność macierzy.....	126
Skręcający moment bezwładności.....	128	Sztywność na zginanie.....	125
Skręcanie.....	240	Sztywność przy ścinaniu.....	125
Skurcz.....	247	Sztywność przy skręcaniu.....	125
Słup.....	100, 384, 548	<b>T</b>	
Smukłość pręta.....	327	Tabele.....	28, 45, 228, 231, 520
Śnieg, nawiew.....	573	Tarcie.....	95
Solwer równań.....	298	Tekstura.....	457
Specjalny wybór.....	453, 463	Temperatura.....	130, 236, 247, 253
Spektrum kolorów.....	406, 440	Teoria zginania płyty.....	298
Spektrum wartości.....	32	Transformowana macierz sztywności.....	125
Spiralne schody.....	554	Tresca.....	352, 361, 367, 368
Sprawdzenie konstrukcji.....	273	Trójwymiarowa komórka.....	553
Sprawdzenie poprawności.....	272	Tryb uchwycenia.....	412
Sprężenie końcowe.....	237	Tryb widoku.....	568
Sprężenie początkowe.....	237	Tryb wyboru.....	412
Sprężyna.....	156, 167	Tsai-Wu.....	72
Sprężyste podłoże prętowe.....	166	Tworzenie modelu.....	596
Sprężystość.....	109, 139	Tworzenie projektu.....	584
Sprężystość podłoża.....	114	Typ bryły.....	91
Środek.....	470	Typ linii.....	53
Środek ciężkości.....	456	Typ linii pomocniczej.....	482
Środek ścinania.....	240	Typ modelu.....	597
Stała sprężystości.....	156	Typ obciążenia.....	236, 243, 247, 253
Stałe gruntowe.....	115, 167	Typ okapu.....	577
Statystyka.....	273	Typ podparcia.....	102, 107, 110, 115

Typ powierzchni .....	80	Widok szczegółowy .....	27
Typ rastru .....	468	Widok wielu okien .....	435
Typ rozkładu obciążenia .....	565	Widoki definiowane przez użytkownika .....	399
Tytuł .....	412	Wielkość grafiki .....	436
<b>U</b>		Wielokolorowe siły wewnętrzne .....	373
Uchwycenie .....	467	Więź .....	123
Ujemna strona powierzchni 342, 344, 346, 356, 358		Wirtualne linie .....	569
Układ .....	427	Wklej .....	517
Układ odniesienia .....	139	Właściwości przekroju idealnego .....	128
Układ osi .....	88, 96	Właściwości wyświetlania .....	447, 448
Układ równań .....	297	Wolne obciążenie kołowe .....	259
Układ współrzędnych .....	48, 96, 473, 475, 495	Wolne obciążenie liniowe .....	256, 570
Ukryte obiekty .....	403	Wolne obciążenie prostokątne .....	257
Ulubione w bibliotece materiałów .....	76	Wolne obciążenie skupione .....	254
Uplastycznienie .....	72	Wolne obciążenie wielokątne .....	261
Ustawianie wartości wyników .....	379	Word .....	601
Ustawienia języka .....	432, 446	Wprowadzanie graficzne .....	41, 228
Ustawienia tabeli .....	520, 522	Wprowadzanie parametryzowane .....	528
Usuwanie modelu .....	589	Wprowadzanie tabelaryczne .....	516
Usuwanie obciążeń .....	277	Wprowadzanie w oknie dialogowym .....	228
Usuwanie projektu .....	585	Współczynnik .....	206, 212, 598
Uszkodzenie fundamentu .....	116, 168	Współczynnik długości efektywnej .....	161
Utwórz .....	519	Współczynnik Poissona .....	65
Użytkownalność .....	193	Współczynnik poprawkowy obciążenia 567, 578, 581	
<b>V</b>		Współczynnik pręta .....	270
VCmaster .....	431	Współczynnik redukcyjny .....	212
von Mises .....	68	Współczynnik redukujący sztywność .....	122, 125
<b>W</b>		Współczynnik rozciągnięcia .....	491
Warstwa .....	488	Współczynnik rozszerzalności cieplnej .....	65
Warstwa tła .....	473, 488, 490, 501, 610	Współczynnik skalowania .....	374, 500
Wartość rastru .....	379	Współczynnik tarcia .....	104
Wartości ekstremalne .....	318, 321, 378, 381, 524	Współrzędne węzła .....	50
Wartości graniczne .....	381	Wstawianie pręta .....	509
Wartości graniczne dla sprężyny .....	157	Wstawianie tekstu .....	423
Wartości wyników .....	377, 384	Wstawianie węzłów .....	508
Wartości wyników ES .....	378	Wyboczenie .....	150, 151, 326
Wektor przemieszczenia .....	493	Wybór .....	460, 518
Węzeł .....	45, 462	Wybór alternatywny .....	460
Węzeł odniesienia .....	48	Wybór dodatkowy .....	460
Węzeł podziału .....	504	Wybór oknem .....	460
Węzeł pośredni .....	504	Wybór w protokole wydruku .....	413, 417, 418
Wideo .....	408	Wyciąganie .....	536, 537
Widoczności .....	398, 400, 401, 403	Wydłużanie linii .....	507
Widoczności definiowane przez użytkownika .....	400	Wydłużanie pręta .....	507
Widok .....	398, 399, 401, 455	Wydruk do pliku .....	430

Wydruk grafiki .....	421, 434	Wyświetlanie wielu okien .....	397
Wydruk zbiorowy .....	436, 441	Wyświetlanie wykresów wyników .....	389
Wygenerowane obciążenia .....	563	Wyświetlanie wyników .....	372
Wygenerowane widoczności .....	401	Wyszukiwanie .....	454, 460, 517
Wygięcie wstępne .....	237, 247, 269	Wytnij.....	517
Wyglądanie .....	384, 389, 392, 395	<b>Z</b>	
Wyglądanie wyników .....	390	Zagęszczenie kołowe .....	179
Wykaz prętów .....	235, 267	Zagęszczenie na linii.....	181
Wykres dla podpory węzłowej .....	104	Zagęszczenie na powierzchni .....	181
Wykres dla zwolnienia.....	143	Zagęszczenie prostokątne.....	180
Wykres konwergencji .....	299, 304	Zagęszczenie siatki ES.....	178, 282, 543
Wykres naprężenie-odkształcenie.....	67	Zakładka.....	17
Wykres temperatury.....	73	Załącznik krajowy .....	598
Wykres zbieżności.....	306	Zapisywanie przekroju.....	134
Wykresy wyników .....	315, 383, 387, 394, 437	Zastąp .....	517
Wymagania systemowe.....	11	Zatrzymanie grafiki .....	422
Wymiarowanie .....	478	Zawartość rury .....	237
Wymiarowanie łańcuchowe.....	477	Zaznaczanie .....	530
Wymiary .....	476	Zaznaczenie.....	518, 519
Wymiary całkowite .....	130	Zbiór prętów .....	20, 171, 328
Wymuszone odkształcenie węzłowe.....	263	Żebro .....	150, 163
Wymuszone przemieszczenie liniowe .....	264	Zmiana nazwy modelu .....	589
Wyniki .....	305	Zmiana numeracji.....	513
Wypadkowa .....	311	Zmiana numeracji przypadków obciążeń.....	515
Wypakowywanie z archiwum .....	591	Zmienianie sztywności .....	289
Wypór.....	253	Znajdź.....	454
Wyrażanie kombinacji .....	192	Znaki sił podporowych .....	314
Wysokość .....	477	Zwężenie .....	546
Wyświetlanie.....	399, 448	Zwolnienia na końcach prętów .....	138
Wyświetlanie łukowe.....	233, 314	Zwolnienie liniowe.....	116
Wyświetlanie przekroju.....	386	Zwolnienie momentowe dla linii .....	118
Wyświetlanie wartości.....	376	Zwolnienie momentowe dla pręta.....	139