

Podręcznik Użytkownika

**Autodesk®
Marzec 2009**

Copyright© 2009 Autodesk, Inc. Wszelkie prawa zastrzeżone

Ta publikacja, ani żadna jej część, nie może być reprodukowana w żadnej formie, żadną metodą i w żadnym celu.

AUTODESK, INC. NIE UDZIELA GWARANCJI ANI RĘKOJMI, W TYM UMOWNYCH ORAZ WSZELKICH WYNIKAJĄCYCH Z OBOWIĄZUJĄCEGO PRAWA NA UDOSTĘPNIONE PRZEZ AUTODESK MATERIAŁY, ZARÓWNO W ODNIESIENIU DO WAD TYCH MATERIAŁÓW, JAK I PRZYDATNOŚCI DO PRZEZNACZONEGO UŻYTKU I UDOSTĘPNIENIA JE WYŁĄCZNIE W TAKIM STANIE, W JAKIM SIĘ ZNAJDUJĄ W CHWILI UDOSTĘPNIENIA.

W ŻADNYM WYPADKU AUTODESK, INC. NIE PONOSI ODPOWIEDZIALNOŚCI WOBEC OSÓB TRZECICH ZA SZKODY POWSTAŁE W ZWIĄZKU Z ZAKUPEM LUB UŻYCIEM UDOSTĘPNIONYCH MATERIAŁÓW, W TYM ZA SZKODY WYNIKŁE POŚREDNIO, BĘDĄCE SKUTKIEM UBOCZNYM ORAZ SZKODY NIEBĘDĄCE ZWYKŁYM NASTĘPSTWEM TAKIEGO ZAKUPU LUB UŻYCIEM. WYŁĄCZNĄ ODPOWIEDZIALNOŚĆ, JAKĄ PRZYJMUJE AUTODESK, INC. NIEZALEŻNIE OD FORMY DZIAŁANIA OGRANICZA SIĘ DO WYSOKOŚCI CENY ZAKUPU MATERIAŁÓW, O KTÓRYCH MOWA POWYŻEJ.

Autodesk, Inc. zastrzega sobie prawo do wprowadzania poprawek i udoskonalania produktów stosownie do potrzeb. Publikacja ta opisuje stan produktu w momencie jego wydania i może odbiegać od późniejszych wersji produktu.

Znaki towarowe firmy Autodesk

Następujące znaki są zarejestrowanymi znakami towarowymi firmy Autodesk, Inc. w USA i/lub w innych krajach: Autodesk Robot Structural Analysis, Autodesk Concrete Building Structures, Spreadsheet Calculator, AutoCAD, Autodesk, Autodesk Inventor, Autodesk (logo) i Autodesk Revit.

Znaki towarowe innych uprawnionych

Wszystkie pozostałe nazwy znaków firmowych, nazwy produktów lub znaki towarowe należą do ich prawnych właścicieli.

Współpraca programistyczna z innymi podmiotami

ACIS Copyright © 1989–2001 Spatial Corp. Częściowo Copyright © 2002 Autodesk, Inc.

Copyright© 1997 Microsoft Corporation. Wszelkie prawa zastrzeżone.

International CorrectSpell™ Spelling Correction System© 1995 to własność Lernout & Hauspie

Speech Products, N.V. Wszelkie prawa zastrzeżone.

InstallShield™ 3.0. Copyright© 1997 InstallShield Software Corporation. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Należy zapoznać się z bieżącą dokumentacją PANTONE Color Publications w celu odszukania dokładnego koloru. PANTONE® oraz inne znaki towarowe Pantone, Inc. są wyłączną własnością Pantone, Inc.© Pantone, Inc., 2002

Częściowo Copyright© 1991–1996 Arthur D. Applegate. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Częściowo oprogramowanie bazuje na współpracy z Independent JPEG Group.

Czcionki z biblioteki czcionek Bitstream® Copyright 1992.

Czcionki z Payne Loving Trust© 1996. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Wydrukowany podręcznik oraz system pomocy powstały przy użyciu programu Idiom WorldServer™.

INSTYTUCJE RZĄDOWE

Używanie, powielanie lub ujawnianie podlega ograniczeniom określonym przez Rząd Stanów Zjednoczonych odpowiednio w FAR 12.212 (Commercial Computer Software-Restricted Rights) i DFAR 227.7202 (Rights in Technical Data and Computer Software).

SPIS TREŚCI

1. INFORMACJE DOTYCZĄCE PROGRAMU AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS	1
1.1. WYMAGANIA SPRZĘTOWE	1
1.2. LICENCJE PROGRAMU AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS	2
2. WPROWADZENIE	3
2.1. OGÓLNY OPIS PROGRAMU	3
2.2. OGÓLNE ZASADY PRACY W SYSTEMIE ROBOT	10
2.2.1. System ekranów	10
2.2.2. Inspektor obiektów	13
2.2.3. Menu, menu kontekstowe, paski narzędziowe	16
2.2.4. Preferencje i Preferencje zadania	18
2.2.5. Selekcja i filtry	21
2.2.6. Wyświetlanie atrybutów konstrukcji i legenda konstrukcji	24
2.2.7. Listy wykorzystywane w programie	27
2.2.8. Cechy wspólne okien dialogowych (kursor graficzny, kalkulator)	28
2.3. KONWENCJA ZNAKOWANIA	29
2.4. LISTA KLAWISZY SKRÓTU	32
2.5. TRYBY KURSORA	33
3. OGÓLNE ZASADY TWORZENIA MODELU KONSTRUKCJI	35
3.1. TYPY KONSTRUKCJI	35
3.2. DEFINICJA OSI KONSTRUKCJI	35
3.3. MODEL KONSTRUKCJI - ELEMENTY PRĘTOWE	39
3.3.1. Węzły, pręty	39
3.3.2. Profile prętów	43
3.3.3. Materiały	55
3.3.4. Definicja profilu pręta wielogałęziowego - przykład	56
3.3.5. Zwolnienia	56
3.3.6. Mimośrodowość	59
3.3.7. Połączenia sztywne	62
3.3.8. Węzły kompatybilne	64
3.3.9. Kable	65
3.3.10. Inne atrybuty elementów prętowych	70
3.4. DEFINICJA MODELU KONSTRUKCJI - POWIERZCHNIOWE ELEMENTY SKOŃCZONE 2D	73
3.4.1. Panele	73
3.4.2. Typy powierzchniowych elementów skończonych	75
3.4.3. Emitery, zagęszczanie, konsolidacja i jakość siatki ES	82
3.4.4. Grubość paneli	85
3.5. DEFINICJA MODELU KONSTRUKCJI - OBJĘTOŚCIOWE ELEMENTY SKOŃCZONE 3D	87
3.5.1. Bryły (konstrukcje objętościowe)	87
3.5.2. Opis objętościowych elementów skończonych	90
3.6. OPERACJE NA OBIEKTACH 2D I 3D	93
3.7. PODPORY	99
3.7.1. Definicja podpory obróconej o kąt	102

3.7.2.	<i>Definicja podpór sprężystych (grunty uwarstwione)</i>	102
3.8.	OBCIĄŻENIA	105
3.8.1.	<i>Kombinacje obciążeń</i>	115
3.8.2.	<i>Kombinacje normowe</i>	116
3.8.3.	<i>Obciążenia ruchome</i>	121

3.9.	OBCIĄŻENIA KLIMATYCZNE	128
3.9.1.	Obciążenia klimatyczne 3D	131
3.9.2.	Obciążenia wiatrem na słupach, masztach	132
3.9.3.	Obciążenia klimatyczne na obiektach 3D	134
3.9.4.	Obciążenia wiatrem dla konstrukcji o podstawie wielokąta (graniastosłup)	136
3.9.5.	Zestawienie obciążeń (obciążenia pobierane z bazy danych)	139
3.9.6.	Automatyczne definiowanie obciążeń pochodzących od parcia gruntu	141
3.10.	NUMERACJA (WĘZŁY, PRĘTY, OBIEKTY)	144
3.11.	OPERACJE EDYCYJNE	146
3.12.	KONSTRUKCJE TYPOWE	147
3.13.	KONSTRUKCJE FAZOWE	149
4.	ANALIZA KONSTRUKCJI	153
4.1.	URUCHOMIENIE OBLICZEŃ KONSTRUKCJI	153
4.2.	DOSTĘPNE TYPY ANALIZY	153
4.2.1.	Tabela wyników analizy dynamicznej	167
4.3.	DEFINICJA NOWEGO PRZYPADKU LUB ZMIANA TYPU ANALIZY	168
4.3.1.	Przykład definicji przypadku analizy modalnej konstrukcji (drżania własne konstrukcji) ..	176
4.3.2.	Przykład definicji przypadku analizy sejsmicznej i spektralnej	176
4.4.	RESTART OBLICZEŃ	178
4.5.	WIZUALIZACJA PROCESU OBLICZENIOWEGO	179
5.	ANALIZA WYNIKÓW	183
5.1.	WYKRESY	184
5.2.	TABELE	189
5.3.	MAPY NA PRĘTACH	192
5.4.	MAPY (PANELE)	194
5.5.	PRZECIĘCIA PANELI	198
5.6.	MAPY NA BRYŁACH	203
5.7.	PRZECIĘCIA PRZEZ BRYŁY	206
5.8.	ANALIZA NAPRĘŻEŃ	210
5.9.	ANALIZA NAPRĘŻEŃ KONSTRUKCJI	212
5.10.	ANALIZA GLOBALNA	215
5.11.	ANALIZA SZCZEGÓŁOWA	217
5.12.	LINIE WPŁYWU	222
5.13.	WYNIKI ZREDUKOWANE DLA PANELI	225
5.14.	WYKRESY I TABELE DLA ANALIZY CZASOWEJ / ANALIZ ZAAWANSOWANYCH	229
6.	WYMIAROWANIE KONSTRUKCJI	233
6.1.	WYMIAROWANIE STALI / ALUMINIUM	233
6.1.1.	Analiza szczegółowa (polska norma stalowa PN 90)	245
6.1.2.	Analiza szczegółowa (norma Eurocode3)	248
6.1.3.	Analiza szczegółowa (francuska norma CM66)	251
6.1.4.	Weryfikacja prętów wielogąteżowych (polska norma stalowa lub Eurocode 3)	253
6.1.5.	Weryfikacja prętów wielogąteżowych (francuska norma stalowa CM66)	257
6.2.	WYMIAROWANIE ELEMENTÓW KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH	260
6.2.1.	Wymiarowanie belek	265
6.2.2.	Definicja belek żelbetowych - tryb interaktywny	270
6.2.3.	Wymiarowanie słupów	273
6.2.4.	Przykład generacji zbrojenia słupa i rysunków zbrojenia (z możliwością wczytania rysunku do programu AutoCAD Structural Detailing-Żelbet)	278
6.2.5.	Wymiarowanie fundamentów	279

6.2.6. Wymiarowanie ław fundamentowych	293
6.2.7. Wymiarowanie belek-ścian	294
6.2.8. Rysunki wykonawcze	296
6.3. WYMIAROWANIE PRĘTÓW ŻELBETOWYCH	300
6.4. WYMIAROWANIE POŁĄCZEŃ	309
6.4.1. Wymiarowanie połączeń - szczegóły dla polskiej normy PN-90/B-03200	318
6.5. WYMIAROWANIE DREWNA	332
6.6. ZBROJENIE PŁYT I POWŁOK	334
7. BAZY PROFILI PRĘTÓW	353
8. WYDRUKI	358
8.1. NOTKI OBLICZENIOWE	358
8.2. KOMPOZYCJA WYDRUKU	358
8.2.1. Zakładka Standard	361
8.2.2. Zakładka Zrzuty ekranu	364
8.2.3. Zakładka Szablony	364
8.2.4. Zakładka Wydruk uproszczony	365
8.3. UKŁAD STRONY	366
9. PRZYKŁADY	369
9.1. PRZYKŁAD PROJEKTOWANIA KONSTRUKCJI PRĘTOWEJ Z WYKORZYSTANIEM EKRANÓW SYSTEMU ROBOT	369
9.1.1. Definicja modelu konstrukcji	370
9.1.2. Analiza konstrukcji	374
9.1.3. Analiza wyników	374
9.1.4. Wymiarowanie stali	375
9.1.5. Wymiarowanie połączeń stalowych	377
9.1.6. Analiza naprężeń	378
9.2. PRZYKŁAD PROJEKTOWANIA KONSTRUKCJI PRĘTOWEJ BEZ WYKORZYSTANIA EKRANÓW SYSTEMU ROBOT	380
9.2.1. Definicja modelu konstrukcji	381
9.2.2. Analiza konstrukcji	389
9.2.3. Analiza wyników	389
9.2.4. Wymiarowanie belek żelbetowych z uwzględnieniem skręcania	391
9.2.5. Wymiarowanie słupów żelbetowych	392
9.2.6. Wymiarowanie prętów żelbetowych	395
9.3. PŁYTA ŻELBETOWA	396
9.3.1. Definicja modelu konstrukcji	396
9.3.2. Analiza konstrukcji i prezentacja wyników obliczeń (mapy na przecięciach paneli)	404
9.3.3. Obliczanie teoretycznych powierzchni zbrojenia	406
9.3.4. Obliczanie rzeczywistych powierzchni zbrojenia	408
9.4. PRZYKŁADY DEFINICJI KONSTRUKCJI (OPCJE WYCIĄGANIA I PRZEKRĘCANIA)	415
9.4.1. Silos	415
9.4.2. Chłodnia kominowa	421
9.4.3. Fragment rurociągu	423
9.4.4. Konstrukcje obrotowo-symetryczne	426
9.5. PRZYKŁAD PROJEKTOWANIA RAMY PŁASKIEJ	431
9.5.1. Definicja modelu konstrukcji	432
9.5.2. Definicja przypadków obciążeniowych i obciążeń	433
9.5.3. Definicja obciążeń klimatycznych	434

9.5.4.	<i>Analiza konstrukcji</i>	436
9.5.5.	<i>Analiza szczegółowa</i>	436
9.5.6.	<i>Wymiarowanie konstrukcji</i>	437
9.5.7.	<i>Analiza globalna</i>	441
9.5.8.	<i>Wymiarowanie połączeń stalowych</i>	442
9.5.9.	<i>Kompozycja wydruku</i>	443
9.6.	PRZYKŁAD DEFINIOWANIA OBCIĄŻEŃ RUCHOMYCH - KONSTRUKCJA PŁASKA (RAMA 2D)	445
9.6.1.	<i>Definicja modelu konstrukcji</i>	446
9.6.2.	<i>Analiza konstrukcji</i>	455
9.6.3.	<i>Prezentacja pojazdu i obciążenia ruchomego</i>	455
9.6.4.	<i>Analiza wyników</i>	456
9.6.5.	<i>Linie wpływu</i>	457
9.7.	HALA PRZEMYSŁOWA (SUWNICA - OBCIĄŻENIE RUCHOME)	459
9.7.1.	<i>Definicja modelu konstrukcji</i>	460
9.7.2.	<i>Analiza konstrukcji</i>	474
9.7.3.	<i>Wymiarowanie konstrukcji</i>	476
9.7.4.	<i>Linia wpływu</i>	480
9.8.	MOST (OBCIĄŻENIE RUCHOME I ANALIZA CZASOWA)	483
9.8.1.	<i>Definicja modelu konstrukcji</i>	485
9.8.2.	<i>Analiza konstrukcji</i>	500
9.8.3.	<i>Prezentacja wyników</i>	500
9.8.4.	<i>Wymiarowanie prętów konstrukcji</i>	502
9.8.5.	<i>Analiza czasowa konstrukcji (całkowanie równań ruchu)</i>	509
9.9.	FUNDAMENT BLOKOWY	514
9.9.1.	<i>Definicja modelu konstrukcji</i>	515
9.9.2.	<i>Analiza konstrukcji</i>	530
9.9.3.	<i>Prezentacja wyników w postaci map</i>	530
9.10.	PRZYKŁAD PROJEKTOWANIA KONSTRUKCJI PRĘTOWEJ WEDŁUG NORMY EUROCODE 3	533
9.10.1.	<i>Definicja modelu konstrukcji</i>	533
9.10.2.	<i>Analiza sprężysto-plastyczna</i>	543
9.11.	PRZYKŁAD PROJEKTOWANIA KONSTRUKCJI DREWNIANEJ (WIEŻBA DACHOWA)	546
9.11.1.	<i>Definicja modelu konstrukcji</i>	548
9.11.2.	<i>Analiza konstrukcji</i>	569
9.11.3.	<i>Definicja kombinacji normowych</i>	570
9.11.4.	<i>Analiza wyników</i>	571
9.11.5.	<i>Wymiarowanie konstrukcji</i>	572
9.11.6.	<i>Analiza naprężeń</i>	580
9.12.	PRZYKŁAD PROJEKTOWANIA KONSTRUKCJI PRĘTOWEJ Z MASAMI DODANYMI	582
9.12.1.	<i>Definicja modelu konstrukcji</i>	583
9.12.2.	<i>Obliczenia i analiza wyników</i>	592
10.	ZAŁĄCZNIKI	595
10.1.	ZAŁĄCZNIK 1 - ELEMENTY PRĘTOWE (NIELINIOWA ANALIZA W PROGRAMIE ROBOT)	595
10.2.	ZAŁĄCZNIK 2 - PRZYKŁADY GENERACJI SIATKI POWIERZCHNIOWYCH ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH (PŁYTY I POWŁOKI)	605
10.3.	ZAŁĄCZNIK 3 - PROJEKTOWANIE PROFILI PRĘTÓW LITYCH/CIENKOŚCIENNYCH	625

1. INFORMACJE DOTYCZĄCE PROGRAMU AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS

1.1. Wymagania sprzętowe

Aby efektywnie pracować w programie **Autodesk Robot Structural Analysis 2009 (Robot)**, należy posiadać:

<u>HARDWARE / SOFTWARE</u>	<u>WYMAGANIA</u>	<u>UWAGI</u>
<i>system operacyjny</i>	32-bitowy : Windows XP Pro (+SP 2) / Vista Windows Vista 64-bitowy i Windows XP Professional x64 są obsługiwane tylko w trybie kompatybilności 32-bitowej	zalecany: Windows XP Pro (+SP 2)
<i>procesor</i>	Intel Pentium IV (lub wyższy) 3 GHz; obsługiwane są wieloprotocowe systemy oraz procesory dwurdzeniowe	
<i>RAM</i>	3 GB pamięci RAM	
<i>HDD</i>	około 5 GB wolnego miejsca na dysku po instalacji	dla zaawansowanych użytkowników zaleca się 10 GB wolnego miejsca na dysku po instalacji
<i>Grafika - rozdzielczość</i>	1280x1024 True Color	zalecana: 1600x1200 lub wyższa
<i>Internet</i>		potrzebny do instalacji aktualizacji programu
<i>DVD</i>		potrzebny jedynie podczas instalacji programu.

Aby poprawnie drukowane były notki obliczeniowe z programu **Robot**, konieczne jest posiadanie zainstalowanego w systemie edytora tekstu umożliwiającego odczyt plików w formacie *.rft (Rich Text Format). Do takich edytorów należy na przykład MS Word w wersji 6.0 (lub wyższej) oraz WordPad, który jest standardowo instalowany razem z systemem Windows.

1.2. Licencje programu Autodesk Robot Structural Analysis

Program **Autodesk Robot Structural Analysis** może zostać uruchomiony z następującymi licencjami:
- standardową - profesjonalną.

Licencja profesjonalna zawiera wszystkie opcje dostępne w programie **Autodesk Robot Structural Analysis**.

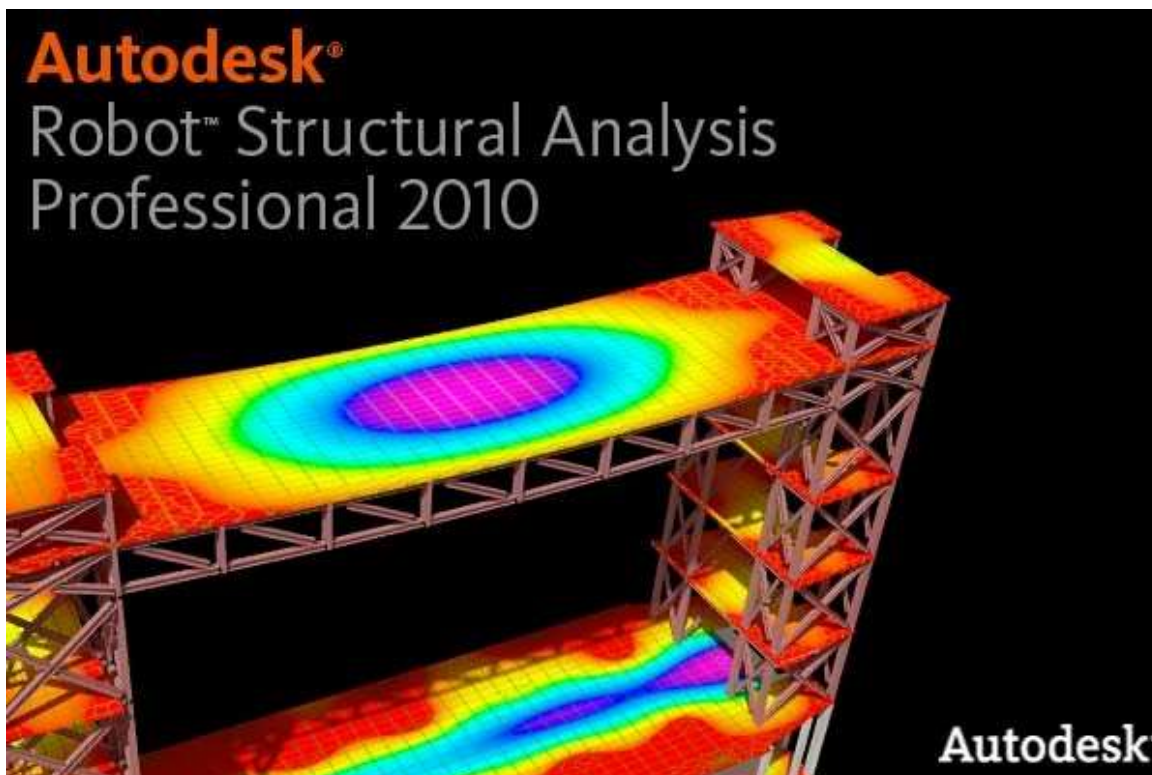
W wersji standardowej (w porównaniu w wersją profesjonalną) przyjęte zostały następujące ograniczenia:

- liczba węzłów / elementów = 7000
- liczba elementów prętowych = 3000
- liczba paneli = 7000
- liczba elementów skończonych (powierzchniowych / objętościowych) = 7000 • niedostępny jest typ konstrukcji - Konstrukcje objętościowe
- niedostępne są następujące typy analizy konstrukcji: - analiza harmoniczna
- analiza całkowanie równań ruchu (liniowa i nieliniowa)
- analiza Push-over
- analiza sprężysto-plastyczna prętów
- analiza Footfall
- analiza FRF (Frequency Response Functions)
- niedostępne są następujące elementy konstrukcji: - elementy kablowe - wykresy zaawansowane.

2. WPROWADZENIE

2.1. Ogólny opis programu

Program **Robot** jest zintegrowanym programem graficznym służącym do modelowania, analizowania i wymiarowania różnych rodzajów konstrukcji. Program pozwala na tworzenie konstrukcji, przeprowadzenie obliczeń statycznych konstrukcji, weryfikację otrzymanych wyników, obliczenia normowe elementów konstrukcji oraz tworzenie dokumentacji dla policzonej i zwymiarowanej konstrukcji.



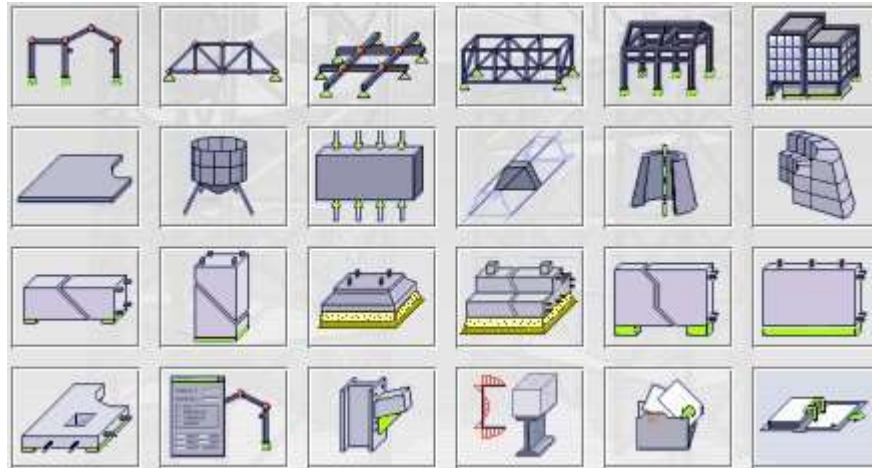
Poniżej wymienione zostały najbardziej istotne cechy programu **Robot**:

- w pełni graficzne definiowanie konstrukcji w edytorze graficznym (dopuszczalne jest również wczytanie do programu pliku np. w formacie DXF zawierającego geometrię konstrukcji przygotowanego w innym programie graficznym)
- możliwość graficznej prezentacji projektowanej konstrukcji oraz przedstawiania na ekranie różnorodnych wyników obliczeń (siły, przemieszczenia, praca jednocześnie w kilku oknach na ekranie itp.)
- możliwość obliczania (wymiarowania) konstrukcji w trakcie projektowania kolejnej konstrukcji (wielowątkowość)
- możliwość prowadzenia analizy statycznej i dynamicznej konstrukcji
- możliwość nadawania typu pręta w trakcie tworzenia modelu konstrukcji, a nie dopiero w modułach normowych
- możliwość dowolnego komponowania wydruku (notki obliczeniowe, zrzuty ekranu, kompozycja wydruku, przenoszenie obiektów do innych programów).

System **Robot** składa się z kilku modułów, które są odpowiedzialne za pewien etap projektowania konstrukcji (tworzenie modelu konstrukcji, obliczenia konstrukcji, wymiarowanie). Moduły pracują w tym samym środowisku.

Po uruchomieniu systemu **Robot** (należy kliknąć w odpowiednią ikonę znajdującą się na pulpicie lub wybrać odpowiednią komendę z paska zadań) na ekranie pojawia się poniższe okno. Pozwala ono na wybór typu konstrukcji, która ma zostać zaprojektowana, wczytanie istniejącej konstrukcji lub przejście do modułu odpowiedzialnego za wymiarowanie konstrukcji.

UWAGA: Podczas pierwszego uruchomienia programu **Robot** generowany jest raport instalacyjny, w którym prezentowane są informacje dotyczące programu **Robot**. Generacja raportu instalacyjnego może trwać pewien czas; po zakończeniu generacji na ekranie pojawi się edytor tekstowy, w którym prezentowany będzie wygenerowany raport.

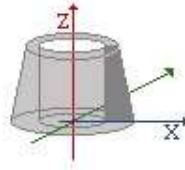


Poszczególne ikony znajdujące się w powyższym oknie oznaczają (UWAGA: gdy kursor jest ustawiony na ikonie, na ekranie pojawia się krótka podpowiedź opisująca przeznaczenie opcji):

- pierwsze dwanaście ikon służy do wyboru typu projektowanej konstrukcji:
- | | | | |
|--|--------------------------|--|---|
| | ramy płaskiej powłoki | | |
| | kratownicy płaskiej | | konstrukcji w płaskim stanie naprężenia |
| | rusztu konstrukcji w | | płaskim stanie odkształcenia |
| | kratownicy przestrzennej | | konstrukcji osiowosymetrycznej |
| | ramy przestrzennej | | konstrukcji objętościowej (bryły) |
| | płyty budynku | | |

Budynek nie jest typem konstrukcji, a jedynie szablonem umożliwiającym łatwiejszą definicję tego rodzaju konstrukcji. Dostępne współrzędne i węzłowe stopnie swobody dla budynku są identyczne jak dla powłok płaskich i zakrzywionych.

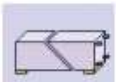
UWAGA: Typ konstrukcji osiowosymetrycznej modeluje bryłę obrotową za pomocą płaskiego, pionowego przekroju przez bryłę (patrz rysunek poniżej). Zakłada się, że globalna oś Z jest osią pionową bryły; definiowana jest połowa przekroju po dodatniej stronie osi X. Aby zaznaczyć położenie osi pionowej przekroju w konstrukcji osiowosymetrycznej, na widoku konstrukcji dodano pomocnicze osie konstrukcyjne o współrzędnych X=0.



UWAGA: Nie jest możliwe łączenie przestrzennych modeli prętowych (typ rama 3D) z następującymi typami konstrukcji: płyta, płaski stan odkształceń i płaski stan naprężeń.

UWAGA: Dla dwóch typów konstrukcji (płaski stan odkształcenia oraz konstrukcja osiowosymetryczna) wymiar poprzeczny jest zawsze przyjmowany jako 1 m, niezależnie od ustawienia jednostki długości w oknie dialogowym **Preferencje zadania**. Oznacza to, że modelujemy wycinek konstrukcji o grubości 1 metra. Wpływa to na interpretację obciążeń i reakcji.

- kolejne siedem ikon służy do wyboru modułów wymiarowania konstrukcji żelbetowych:



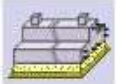
wymiarowanie belek żelbetowych



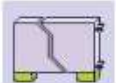
wymiarowanie słupów żelbetowych



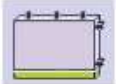
wymiarowanie fundamentów bezpośrednich



wymiarowanie ław fundamentowych



wymiarowanie belek-ścian



wymiarowanie ścian żelbetowych



wymiarowanie płyt żelbetowych

- kolejne trzy ikony służą do:



tworzenia konstrukcji bibliotecznej (proste konstrukcje przygotowane w programie)



wymiarowania połączeń stalowych

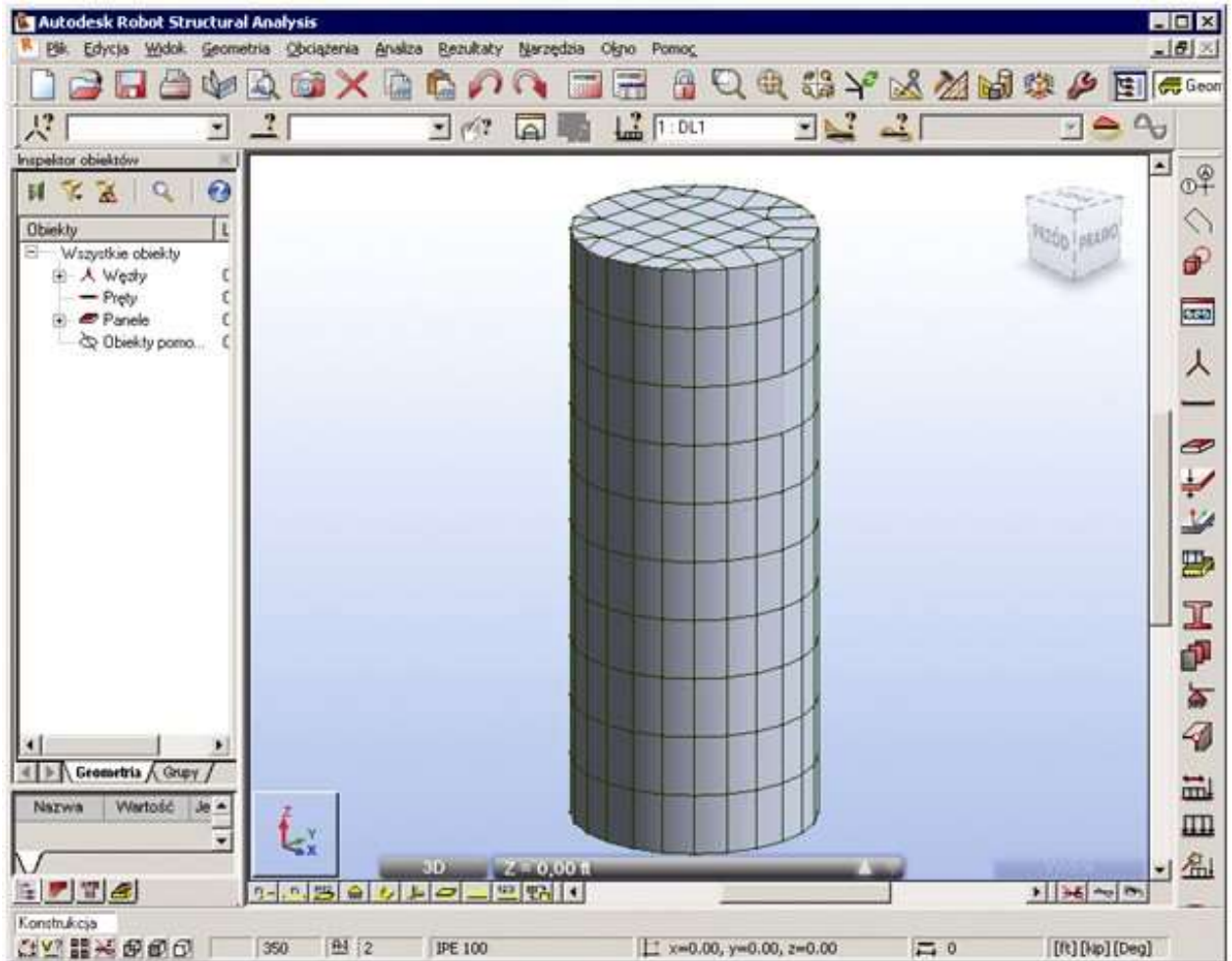


projektowania profili prętów (profile lite lub cienkościenne)

- przedostatnia ikona służy do otwarcia pliku zawierającego wcześniej tworzoną konstrukcję • ostatnia ikona służy do otwarcia nowego projektu.

Po wybraniu jednej z powyżej opisanych opcji parametry systemu **Robot** dostosowywane są do funkcji wybranego modułu normowego lub wybranego typu konstrukcji. Na ekranie pojawia się, w zależności od przeznaczenia i działania modułu, albo okno edycyjne umożliwiające edycję konstrukcji, albo ekran specjalnie dostosowany do funkcji modułu (dotyczy to

modułów normowych). Główne elementy znajdujące się na ekranie w większości modułów systemu pokazano na przykładzie układu ekranu pojawiającego się na początku pracy (rysunek poniżej).



Powyższy ekran może być podzielony na kilka części:

- górna belka na której podawane są podstawowe informacje dotyczące zadania (nazwa projektu, dane dotyczące obliczeń konstrukcji: wyniki aktualne, wyniki nieaktualne, w trakcie obliczeń)
- menu i paski narzędziowe (również pasek narzędziowy po prawej stronie ekranu - znajdują się tam najczęściej używane ikony) i lista wyboru ekranów systemu **Robot**
- listy wyboru następujących wielkości: węzłów, prętów, przypadków obciążenia, postaci drgań własnych
- okno dialogowe **Inspektor obiektów** znajdujące się z lewej strony ekranu (okno to może zostać zamknięte, aby zwiększyć pole graficzne programu służące do definicji konstrukcji) - UWAGA: dla lepszej czytelności powyższego zrzutu na ekranie nie jest pokazane okno dialogowe **Inspektor obiektów**
- pole graficzne (edytor graficzny), które służy do modelowania i wizualizacji konstrukcji
- pasek narzędziowy znajdujący się poniżej pola graficznego, w którym znajdują się ikony pozwalające na wyświetlenie na ekranie: numerów węzłów/prętów, numerów paneli, symboli podpór, szkiców profili, symboli i wartości obciążeń oraz deformacji konstrukcji dla danego przypadku obciążeniowego
- pole na dole ekranu, w którym prezentowane są następujące informacje: nazwy otwartych pól edycyjnych (viewers), współrzędne położenia kursora, używane jednostki oraz kilka opcji których naciśnięcie powoduje otwarcie okien dialogowych (**Wyświetlanie atrybutów**, **Tryb kursora**) lub podanie informacji na temat dostępnych zasobów.

Ikony znajdujące się w lewej, dolnej części ekranu umożliwiają: wybór

trybu pracy kursora otwarcie okna dialogowego **Wyświetlanie**

atrybutów



przywrócenie domyślnych atrybutów konstrukcji prezentowanych na ekranie.

W przypadku definiowania konstrukcji objętościowej w dolnej części ekranu pojawiają się dodatkowo trzy ikony:



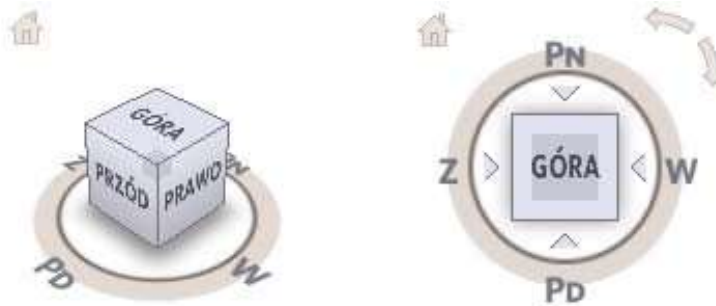
bez przesłaniania cieniowanie



szybkie przesłanianie.



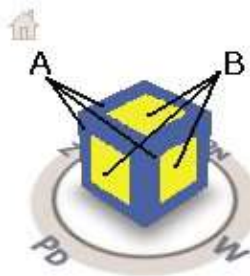
W górnej części ekranu znajduje się narzędzie nawigacyjne ViewCube, służące do obracania i ustawiania bieżącej orientacji modelu konstrukcji. Wskazanie powierzchni, krawędzi lub wierzchołka ViewCube powoduje szybkie przeniesienie modelu do tej predefiniowanej orientacji. Ponadto kliknięcie i przytrzymanie elementu ViewCube pozwala dowolnie obracać model w różnych kierunkach. Opcja ViewCube dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Widok / ViewCube - właściwości*.



Narzędzie ViewCube oferuje 26 zdefiniowanych obszarów, które można kliknąć, aby zmienić bieżący widok modelu. Te 26 zdefiniowanych obszarów podzielono na trzy grupy: narożnik, krawędź i powierzchnia. Z 26 zdefiniowanych obszarów 6 reprezentuje standardowe widoki modelu: góra, dół, przód, tył, lewo i prawo. Widoki te ustawia się, klikając jedną z powierzchni narzędzia ViewCube. Za pomocą pozostałych 20 zdefiniowanych obszarów (8 narożników, 12 krawędzi) można uzyskać dostęp do widoków modelu pod dowolnym kątem.

Na strefach kostki istnieje rozróżnienie pojedynczego i podwójnego kliknięcia (podział na strefy: A i B):

- pojedyncze kliknięcie w strefie B: głęboki rzut odpowiedniej płaszczyzny/widok 2D/3D
- podwójne kliknięcie w strefie B: rzut odpowiedniej płaszczyzny
- pojedyncze/podwójne kliknięcie w strefie A: widok 3D.





Kliknięcie zdefiniowanego obszaru narzędzia ViewCube to nie jest jedyny sposób zmiany widoku modelu za pomocą tego narzędzia. Klikając i przeciągając narzędzie ViewCube, można zmienić widok modelu na rzutnię niestandardową inną niż 26 dostępnych rzutni standardowych.

Gdy model wyświetlany jest w jednym z widoków powierzchni 2D, obok narzędzia ViewCube pojawiają się dodatkowe ikony:



- - strzałki obracania umożliwiają obrót bieżącego widoku o 90 stopni w kierunku dodatnim lub ujemnym wokół środka widoku

-  - trójkąty umieszczone po jednym z każdej strony narzędzia ViewCube, umożliwiają obracanie bieżącego widoku, w celu wyświetlenia widoku jednej z powierzchni przyległych
-  - ikona umożliwiająca powrót do widoku początkowego modelu.

Narzędzie ViewCube wykorzystuje ponadto oznaczenia kompasu do wskazywania kierunku, z którego oglądany jest model. Aby zmienić punkt widoku modelu, należy kliknąć wybrany kierunek znajdujący się na kompasie (PN, W, PD, Z).

W prawym, dolnym rogu ekranu znajdują się opcje służące do sterowania stopniem widoczności konstrukcji. Pozwalają one na wybór fragmentu konstrukcji, który zostanie przedstawiony na ekranie. Możliwe jest również dostosowanie stopnia widoczności pozostałych jej fragmentów.


Aby rozwinąć opcję *Widok*, należy umieścić na niej kursor myszki; wyświetlane zostają wówczas 4 suwaki (patrz poniższy rysunek).

Trzy pierwsze to tzw. *Płaszczyzny tnące*, których kolory oznaczają odpowiednio kierunki układu współrzędnych: • niebieski - oś X

- zielony - oś Y
- czerwony - oś Z.

Każdy z suwaków posiada po dwa przyciski (po prawej i po lewej stronie), które pozwalają na przesuwanie płaszczyzn ograniczających, równoległych do płaszczyzn głównych układu współrzędnych.



W lewej, dolnej części ekranu znajduje się ikona (np. ikona ) prezentująca symbolicznie płaszczyznę, w której przedstawiany jest widok definiowanej konstrukcji. Po naciśnięciu tej ikony otwierane jest okno dialogowe **Widok**.



W powyższym oknie dialogowym wybrana może zostać praca:

- na widoku 2D (klawisz **2D**)
- na widoku 2D w "głębokim" rzucie (klawisz **2D/3D**)
- w przestrzeni trójwymiarowej (klawisz **3D**).

W przypadku naciśnięcia klawiszy **2D** i **2D/3D** dostępna staje się lista wyboru znajdująca się pod tymi klawiszami oraz dwa klawisze: Δ i ∇ (te klawisze znajdują się również na ikonie w prawym dolnym rogu ekranu). Naciśnięcie klawisza Δ (∇) powoduje przejście na kolejny (poprzedni) 'poziom' zdefiniowanych osi konstrukcji ('poziom' oznacza osie konstrukcji zdefiniowane dla dowolnej osi X, Y lub Z). Z listy wyboru można wybrać dowolny, istniejący poziom osi konstrukcji (identyfikacja jest możliwa również po nazwie osi konstrukcji).

Po wybraniu opcji **2D/3D** dostępne stają się klawisze **XY**, **XZ** i **YZ** umożliwiające wybór płaszczyzny pracy. Lista wyboru znajdująca się pod tymi klawiszami zawiera dostępne widoki konstrukcji (z góry, z dołu itp.; widoki SW, SE, NW, NE są widokami izometrycznymi, dla których punkt obserwacji jest ustawiony odpowiednio: z południowego zachodu, z południowego wschodu, z północnego zachodu i z północnego wschodu).

UWAGA: Informacje podawane w polu znajdującym się na dole ekranu zależą od modułu w którym użytkownik pracuje (nieco inne informacje będą podawane np. w modułach do wymiarowania elementów konstrukcji żelbetowych).

Po wybraniu na winietce jednej z ikon symbolizujących moduły normowe (wymiarowanie żelbetu, stali, połączeń stalowych) powoduje uruchomienie zestawu okien i tabel dostosowanych do funkcji modułu. Więcej informacji dotyczących dostępnych w systemie **Robot** ekranów podano w rozdziale 2.2.1.

2.2. Ogólne zasady pracy w systemie **Robot**

Na początku opisu zasad posługiwania się systemem **Robot** podamy kilka ogólnych reguł obowiązujących w systemie:

- Nowe węzły **powstają automatycznie** w trakcie definicji prętów. Jeżeli pręt tworzony jest w oparciu o istniejące węzły - nie zostaną utworzone nowe węzły
- Usunięcie pręta pozostawia jego węzły
- Nadając atrybuty (podpory, profile, obciążenia, grubość panela itp.) można najpierw ustalić ich właściwości, a następnie wskazać kolejne pręty/węzły/panele/bryły, którym mają być przypisane. Czasami wygodniej jest odwrócić ten porządek i najpierw utworzyć selekcję (wybrać listę prętów/węzłów/paneli/brył), a następnie określić atrybut. Zostanie on przypisany aktualnie wybranym prętom/węzłom/panelom/bryłom
- Typ pręta wykorzystywany podczas wymiarowania elementów konstrukcji i zawierający parametry normowe może zostać nadany już w trakcie definiowania konstrukcji
- Niektóre operacje edycyjne nie podlegają działaniu opcji COFNIIJ.

2.2.1. System ekranów

System **Robot** został wyposażony w mechanizm tzw. ekranów (layouts), który ułatwia proces projektowania konstrukcji. Ekran w systemie **Robot** są to specjalnie zaprojektowane układy okien dialogowych, pól edycyjnych i tabel służące do wykonania pewnej ściśle określonej operacji w systemie. Ekran dostępny w systemie **Robot** zostały utworzone, aby ułatwić użytkownikowi wykonywanie kolejnych operacji prowadzących do zdefiniowania, obliczania i zwymiarowania konstrukcji. Aby uniemożliwić zepsucie zdefiniowanych ekranów, okna dialogowe, tabele otwierane po uruchomieniu ekranu nie dają się zamykać. Stan okien w ekranie jest zapamiętywany w momencie jego zamykania; okna w ekranie powinny zostać odtworzone w takiej postaci, w jakiej zostały zamknięte. Ekran dostępny są po wybraniu listy wyboru znajdującej się w górnej części ekranu (rysunek poniżej).

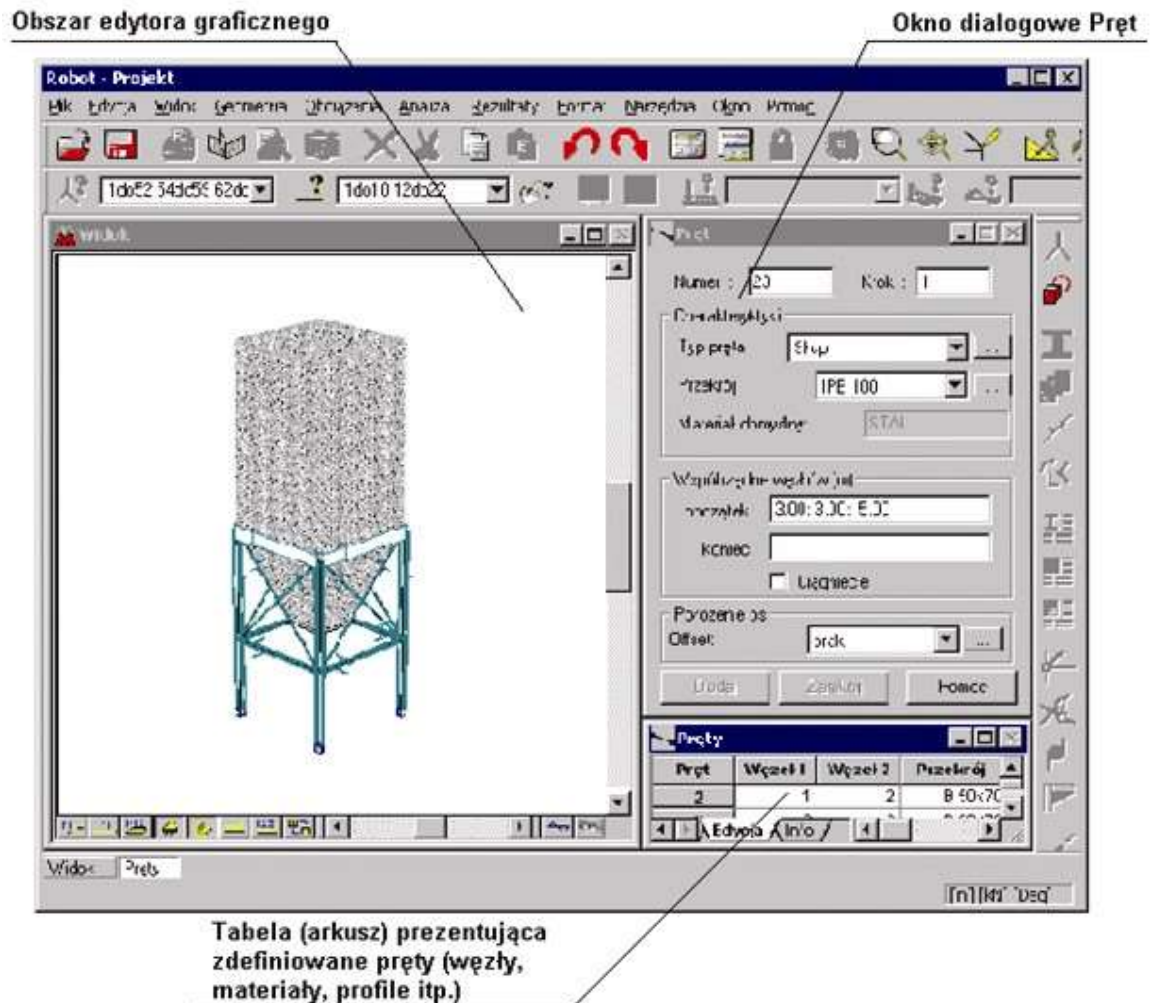


Po kliknięciu w pole umożliwiające wybór ekranu rozwijana jest pokazana poniżej lista. Jest to lista standardowych ekranów dostępnych w systemie **Robot**; nie uwzględnia ona wszystkich ekranów zdefiniowanych w kilku grupach ekranów (są tu pokazywane jedynie ekrany wykorzystywane podczas definicji modelu konstrukcji prętowej).



Układ i kolejność ekranów został tak dobrany, aby sugerować kolejne etapy tworzenia i wymiarowania konstrukcji. Oczywiście nie jest konieczne, aby definiować konstrukcję zgodnie z kolejnością ekranów; można to robić w dowolny sposób. Mechanizm ekranów został wprowadzony w systemie **Robot** po to, aby definiowanie konstrukcji było szybkie i intuicyjne. Oczywiście nie jest też konieczne, aby używać mechanizmu ekranów. Wszystkie operacje w systemie **Robot** można wykonać bez używania zdefiniowanych ekranów.

Jako przykład użyteczności systemu ekranów na poniższym rysunku pokazany został układ ekranu monitora, który otwierany jest po wyborze ekranu **PRĘTY**.



Ekran monitora można podzielić na trzy zasadnicze części:

- pole edytora graficznego, w którym dokonywana jest definicja konstrukcji
- okno dialogowe **Pręt** (w przypadku innego ekranu będzie to inne okno dialogowe) służące do definiowania kolejnych prętów konstrukcji
- tabeli pracującej jak arkusz kalkulacyjny, w której przedstawiane są informacje dotyczące zdefiniowanych prętów (w przypadku innego ekranu będą to informacje dotyczące innych obiektów takich jak: węzły, obciążenia, podpory itp.). Tabela pozwala na edycję wprowadzonych danych. Jest również możliwe skopiowanie zawartości tej tabeli do arkuszy kalkulacyjnych (np. MS Excel).


Wybierając kolejne ekrany zdefiniowane w systemie **Robot** użytkownik w prosty sposób może zdefiniować, obliczyć i zwymiarować konstrukcję. Po zwymiarowaniu konstrukcji może się okazać, że niektóre pręty będą musiały zostać zmodyfikowane (np. poprzez zmianę profilu pręta); pociągnie to za sobą ponowne przeliczenie całej konstrukcji. System ekranów znacznie ułatwia i przyspiesza kolejne etapy projektowania konstrukcji: analizę, wymiarowanie i modyfikację konstrukcji.

2.2.2. Inspektor obiektów

Inspektor jest narzędziem umożliwiającym zarządzanie elementami (obiektami) znajdującymi się w projekcie utworzonym w programie **Robot**. Standardowo okno dialogowe **Inspektora** jest prezentowane w lewej części okna programu obok pola graficznej definicji modelu.

Okno dialogowe **Inspektora** może być wyświetlone na ekranie (oraz zamknięte) po:

- wybraniu opcji menu *Okno / Okno Inspektora*

- naciśnięciu ikony .

Najważniejszymi zadaniami, które są wykonywane w inspektorze, są:

- prezentacja zawartości projektu w odpowiednim porządku (kolejności)
- wybór elementów, które powinny być poddane działaniu wybranej komendy
- prezentacja i modyfikacja właściwości elementów projektu (mogą to być pojedyncze elementy lub całe obiekty)
- filtrowanie elementów (obiektów) modelu
- tworzenie i zarządzanie dokumentacją projektu.

Szerokość okna dialogowego **Inspektor** może zostać dowolnie dopasowana, tak aby pozostawić jak najwięcej miejsca na obszar graficznej definicji modelu konstrukcji.

Okno dialogowe składa się z kilku elementów tematycznych obejmujących całość zagadnień związanych z pracą nad konstrukcją:



- *Inspektor obiektów (zakładka Geometria)*



- *Wymiarowanie połączeń*



- *Inspektor składników konstrukcji żelbetowych*



- *Inspektor - przygotowanie rezultatów.*

Przejęcie pomiędzy zakładkami jest możliwe po naciśnięciu odpowiedniej ikony znajdującej się w dolnej części okna dialogowego.

Zakładka Inspektor obiektów

Zakładka **Inspektor obiektów** służy do globalnych operacji na wyselekcjonowanych obiektach konstrukcji.

Pozwala na definiowanie obiektów oraz grupowanie ich w hierarchii tematycznej. Składa się z dwóch zakładek: *Geometria* i *Grupy*.

Zakładka Geometria

Zakładka składa się z następujących części:

- w górnej części znajdują się pola umożliwiające wizualizację i selekcję obiektów z możliwością filtrowania po typach obiektów
- w dolnej części przedstawiane są właściwości dla obiektów wybranych w górnej części okna dialogowego.





Wizualizacja / selekcja

W górnej części zakładki *Inspektor obiektów* okna Inspektora służącej do wizualizacji i selekcji obiektów znajduje się zakładka *Geometria*.

Zakładka *Geometria* umożliwia przeglądanie wszystkich obiektów konstrukcji pogrupowanych typami (piętra, węzły, pręty, panele, bryły itp.) oraz selekcjonowanie obiektów, dla których w bloku właściwości można wyświetlać wybrane parametry oraz dokonywać ich modyfikacji.

Pod zdefiniowanymi piętrami znajdują się obiekty należące do pięter. Inspektor służy zatem również do łatwej nawigacji po piętrach (ustawianie aktywnego - ograniczanie pracy do konkretnego piętra), edytowaniu parametrów pięter (nazwy, poziomu, wysokości, koloru oraz listy obiektów należących do piętra).

W Inspektorze dostępnych jest kilka operacji na piętrach, ułatwiających pracę nad modelem konstrukcji (Ustaw aktywne piętro, Filtrowanie pięter konstrukcji, Dodaj piętro, Kopiuj piętro, Kopiuj zawartość piętra, Usuń piętro).

Naciśnięcie ikony  pozwala na filtrowanie listy obiektów wyświetlanych w oknie dialogowym Inspektor (węzły, pręty, panele). Naciśnięcie ikony  pozwala na filtrowanie listy obiektów na podstawie dokonanej selekcji obiektów.

Opcje umożliwiające dodanie / usunięcie foldera znajdują się również w menu kontekstowym, które pojawia się na ekranie po naciśnięciu prawego klawisza myszki. Dodatkowo znajdują się w nim opcje pozwalające na sortowanie, filtrowanie, selekcję, szukanie i odświeżanie elementów znajdujących się na zakładce *Geometria*.



Właściwości - dolna część okna *Inspektora*

Blok *Właściwości* pojawia się na wielu zakładkach okna *Inspektora*, a na każdej z nich może funkcjonować niezależnie i pokazywać różne dane w odmienny sposób.

Opcje znajdujące się w tej części okna dialogowego służą do przeglądania i edycji poszczególnych atrybutów obiektów zaznaczonych w górnej części okna dialogowego *Inspektora*. Blok *Właściwości* posiada możliwość grupowania atrybutów wg kategorii, a tym samym, ich ukrywania w poddrzewach.

Nazwa	Wartość	Jednostka
Lista prętów	3	
Charakterystyki		
- Gamma		(Deg)
Gamma	0,0	(Deg)
Material	STAL	
- Przekrój	IFE 100	
- Podstawowe		
AX	10,000	(cm ²)
IY	171,000	(cm ⁴)
IZ	15,900	(cm ⁴)
- Wymiary		

Zakładka *Grupy*

Zakładka *Grupy* pozwala na dowolne grupowanie obiektów konstrukcji (węzły, pręty, panele lub obiekty pomocnicze). W grupie obiektów można tworzyć dowolną hierarchię obiektów, aby ułatwić pracę nad modelem konstrukcji, a następnie wykorzystać grupy do szybkiej selekcji lub łatwego podglądu wybranych grup.

Na grupach można przeprowadzać podstawowe operacje logiczne; dostępne operacje logiczne to:

- suma - selekcja będzie obejmowała elementy z wszystkich wybranych grup; wybranie dodatkowo opcji *Sumuj z istniejącą selekcją* rozszerzy listę selekcji o wcześniej wybrane obiekty
- część wspólna - lista selekcji będzie obejmować część wspólną wybranych grup; jeżeli wybrana jest opcja *Część wspólna grup i bieżącej selekcji*, to wówczas selekcja obejmie elementy występujące w grupach i wcześniej wybranych obiektach
- różnica - działa na zasadzie inwersji: selekcja obejmie obiekty spoza wybranych grup (przy zaznaczonej opcji *Odejmuj od wszystkich elementów*) lub należące do wcześniejszej selekcji, a nie występujące w wybranych grupach (opcja *Odejmuj od bieżącej selekcji*)

Zakładka *Połączenia Stalowe* okna *Inspektora* została opisana w rozdziale 6.4 *Wymiarowanie połączeń stalowych*, natomiast zakładka *Składniki żelbetowe* w rozdziale 6.2 *Wymiarowanie elementów konstrukcji żelbetowych*.

Zakładka *Przygotowanie rezultatów* okna *Inspektora*

Zakładka *Przygotowanie rezultatów* służy do zarządzania przygotowaniem rezultatów dla konstrukcji płytowo-powłokowych i objętościowych.

Składa się z dwóch zakładek: *Szablon* i *Bieżące*.

Zakładka *Szablon*

Zakładka składa się z następujących części:

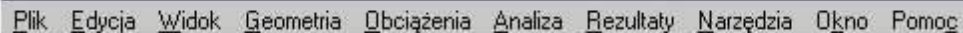
- w górnej części znajduje się tabela zawierające informacje dotyczące przygotowanych rezultatów; w pasku narzędziowym znajdują się opcje pozwalające na uruchomienie / zatrzymanie przygotowania rezultatów oraz włączenie podglądu obliczonych rezultatów; prezentowane są rezultaty wybrane w szablonie wraz z aktualnym statusem obliczeń (gotowe, w trakcie obliczeń lub nie zostało obliczone)
- w dolnej części przedstawiane są właściwości dla pozycji wybranej w tabeli; przedstawiane są informacje dotyczące czasu obliczeń, parametrów i typu wyników.

2.2.3. Menu, menu kontekstowe, paski narzędziowe

W systemie **Robot** główne menu składa się z dwóch części: menu tekstowego i pasków narzędziowych zawierających odpowiednie ikony. Mogą być one wykorzystywane zamiennie w zależności od przyzwyczajeń i preferencji użytkownika.

Obydwa rodzaje menu przedstawiane są na ekranie jako poziomy pasek znajdujący się na samej górze ekranu (dodatkowo w większości ekranów programu **Robot** występuje również dodatkowy pasek narzędziowy z prawej strony ekranu monitora). Zarówno w głównym menu tekstowym jak i pasku narzędziowym przedstawiane są podstawowe opcje dostępne w module. Jakkolwiek układ menu tekstowego i ikonowego zależy od wybranego modułu programu, to podstawowe opcje menu są obecne w każdym z modułów. Obydwa rodzaje menu są pokazane na poniższym rysunku. Jako przykład wybrano menu główne pojawiające się po wywołaniu ekranu **START**.

Menu tekstowe



Pasek narzędziowy



Kliknięcie lewym klawiszem myszki w dowolną komendę znajdującą się w menu tekstowym pokazanym na powyższym rysunku powoduje otwarcie dodatkowego podmenu, w którym umieszczone są opcje szczegółowe. Wszystkie komendy podawane są formie tekstowej (poprzez nazwę komendy).


Pasek narzędziowy jest typem menu, w którym wszystkie opcje są przedstawiane symbolicznie przy pomocy ikon. W menu głównym prezentowane są tylko podstawowe ikony. Kliknięcie lewym klawiszem myszki w część ikon znajdujących się w menu głównym powoduje otwarcie dodatkowego podmenu, w którym znajdują się grupy ikon powodujące podobne działanie w module (definicja konstrukcji, operacje służące do edycji konstrukcji na ekranie, opcje narzędziowe). Kliknięcie w niektóre ikony znajdujące się w głównym menu ikonowym powoduje wykonanie danej operacji (zapis, wydruk, podgląd, kopiowanie, widok początkowy itp.) lub otwarcie okna dialogowego (np. określenie rodzajów analizy konstrukcji).

Menu tekstowe jest zorganizowane w sposób hierarchiczny. Użytkownik wybiera opcję poprzez umieszczenie kursora myszki na wybranej komendzie i kliknięcie lewym klawiszem myszki. Jeśli wybrana komenda jest podświetlona, wybór tej opcji może być również dokonany poprzez naciśnięcie klawisza <Enter>. Opcja może być również wybrana poprzez naciśnięcie litery, która w nazwie komendy jest podkreślona. Użytkownik może poruszać się w menu tekstowym przy użyciu strzałek znajdujących się na klawiaturze. Po wyborze jednej z komend w głównym menu tekstowym na ekranie pojawia się podmenu składające się z opcji zgrupowanych tematycznie. Dla niektórych opcji w podmenu tekstowym istnieje również możliwość otwarcia kolejnego podmenu.

Paski narzędziowe są zorganizowane podobnie jak menu tekstowe. Kliknięcie lewym klawiszem myszki w wybraną ikonę w menu głównym powoduje albo wykonanie operacji, albo otwiera podmenu zawierające grupę ikon. Kliknięcie w dowolną z ikon powoduje wykonanie wybranej operacji.

Przykładowo, aby otworzyć okno dialogowe **Osie konstrukcji** służące do definiowania osi konstrukcyjnych, należy:

- w menu wybrać opcję: *Geometria / Osie konstrukcji*

- w pasku narzędziowym znajdującym się po prawej stronie ekranu **START** wybrać ikonę . Obydwie operacje spowodują otwarcie tego samego okna dialogowego.

UWAGA: W systemie **Robot** menu są dostosowywane do potrzeb poszczególnych modułów (definicja konstrukcji, przeglądanie wyników, wymiarowanie). Menu, które jest w danym momencie prezentowane na ekranie, jest to menu aktywnego (podświetlonego) widoku (edytora graficznego, tabeli, widoku konstrukcji). Aby zmienić menu, należy uaktywnić inny widok konstrukcji, tabelę itp.

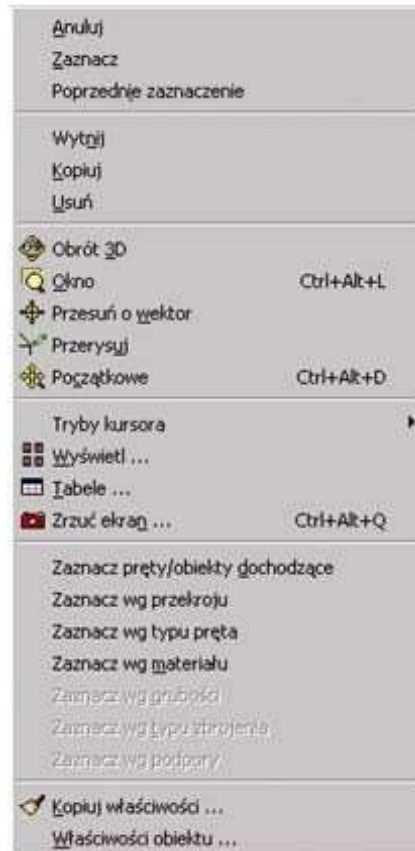
Menu, menu kontekstowe, klawisze skrótu oraz paski narzędziowe zdefiniowane w systemie **Robot** mogą być modyfikowane. Można tego dokonać wybierając odpowiednią komendę z menu: *Narzędzia / Dostosuj*. Otwierane są okna dialogowe pozwalające na dostosowanie menu/menu kontekstowego, klawiszy skrótu i pasków narzędziowych do potrzeb użytkownika.

Podczas pracy w edytorze graficznym lub w tabeli naciśnięcie prawego klawisza myszki powoduje otwarcie dodatkowego menu kontekstowego, w którym znajdują się najczęściej wykorzystywane przez użytkownika opcje. Przykładowo na poniższym rysunku pokazano menu kontekstowe, które zostało otwarte, gdy kursor był umieszczony w polu graficznym ekranu **START** (dla ramy 2D).

UWAGA: Menu kontekstowe pokazane na poniższym rysunku jest wyświetlane w przypadku, gdy nie został podświetlony żaden obiekt w polu graficznym.




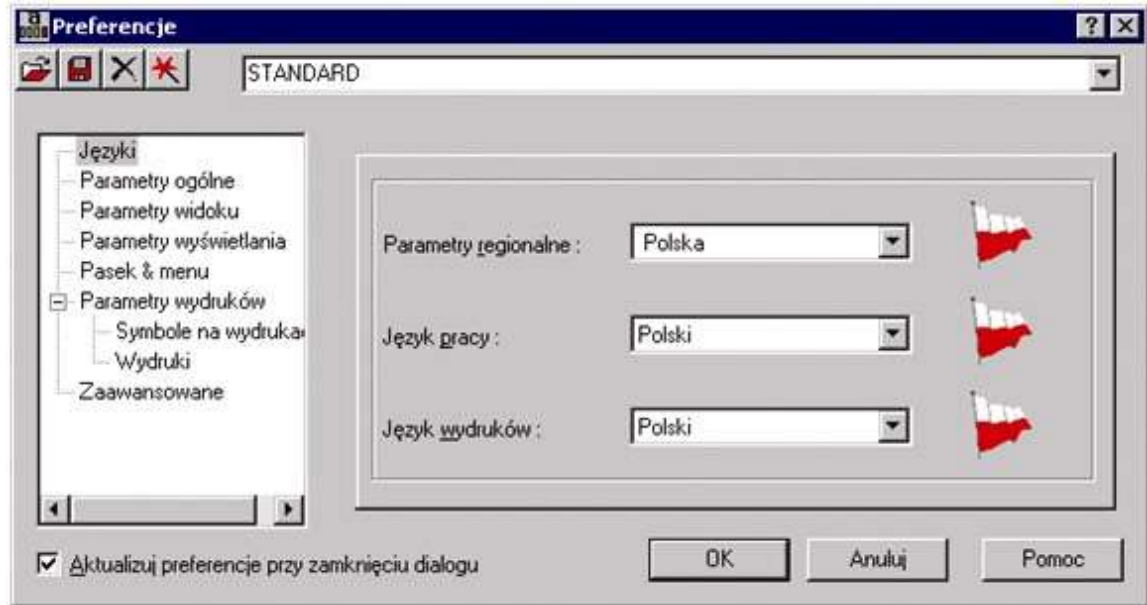
Jeżeli dowolny obiekt został podświetlony (ale nie wybrany) na widoku konstrukcji, to w menu kontekstowym dodanych jest kilka opcji w stosunku do standardowej zawartości menu kontekstowego. Dla obiektów, które można wyselekcjonować, można przeprowadzić standardowe operacje (kopiowanie, wycinanie, wklejanie). W menu kontekstowym znajdują się również opcje pozwalające na zaznaczenie (selekcję) obiektów na podstawie wybranego kryterium (wg typu pręta, wg materiału, wg profilu pręta itp.).



2.2.4. Preferencje i Preferencje zadania

W systemie **Robot** parametry programu mogą zostać ustawione przy pomocy dwóch opcji: *Preferencji* i *Preferencji zadania*. W oknie dialogowym **Preferencji**, które pokazane jest na poniższym rysunku, użytkownik ma możliwość definiowania podstawowych parametrów programu. Okno dialogowe **Preferencje** może być uruchomione na dwa podane poniżej sposoby:


- z menu wybierając komendę: *Narzędzia / Preferencje*
- klikając w ikonę *Preferencje*  znajdującą się w pasku narzędziowym *Narzędzia*.

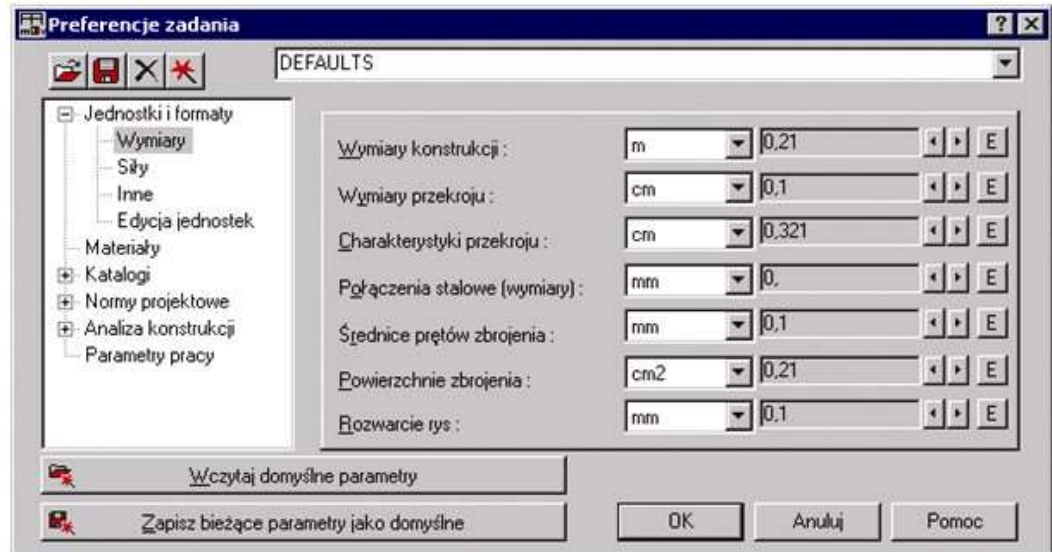


Powyższe okno można podzielić na kilka części, z których wymienimy:





- w górnej części okna znajdują się cztery ikony (opisane dla okna dialogowego **Preferencje zadania**) oraz pole wyboru pliku preferencyjnego.
W polu znajdującym się w prawym, górnym rogu przedstawiana jest nazwa aktualnie używanego pliku preferencyjnego. W tym polu użytkownik może wybrać plik preferencyjny, który został wcześniej utworzony. Można tego dokonać naciskając strzałkę znajdującą się na końcu tego pola; powoduje to otwarcie listy dotychczas utworzonych plików preferencyjnych skąd odpowiedni do potrzeb plik preferencyjny może zostać wybrany
- w lewej części okna znajduje się drzewko, z którego użytkownik przy pomocy myszki wybiera jedną z wymienionych poniżej opcji pliku preferencyjnego systemu **Robot**:
 - * języki; wybór parametrów regionalnych (określenie kraju, którego normy, materiały i regulaminy np. regulaminy kombinacji normowych będą wykorzystywane podczas definiowania, obliczeń i wymiarowania konstrukcji) oraz języka pracy i języka wydruków
 - * parametry ogólne
 - * parametry widoku
 - * parametry wyświetlania (wybór kolorów i czcionek dla elementów ekranu)
 - * pasek i menu (wybór typu menu i rodzajów pasków narzędziowych)
 - * parametry wydruków (wybór kolorów i czcionek wykorzystywanych na wydrukach, symbole, skala, grubości linii)
 - * zaawansowane - opcje służące do przygotowania rezultatów w pamięci operacyjnej i czyszczenia katalogu TEMP na komputerze
- w prawej części okna znajduje się pole, które jest aktualizowane w zależności od wybranej przez użytkownika komendy z drzewka opcji.

W oknie **Preferencji zadania**, które pokazane jest na poniższym rysunku, użytkownik ma możliwość definiowania podstawowych parametrów programu wykorzystywanych w danym zadaniu. Okno dialogowe **Preferencje zadania** może być uruchomione na dwa podane poniżej sposoby:

- z menu wybierając komendę: **Narzędzia / Preferencje zadania**
- klikając w ikonę **Preferencje zadania**  znajdującą się w pasku narzędziowym **Narzędzia**.




Działanie i budowa tego okna dialogowego są podobne do działania i budowy okna **Preferencji**. W górnej części okna znajduje się kilka ikon oraz pole wyboru pliku preferencji zadania. Naciśnięcie ikon powoduje:

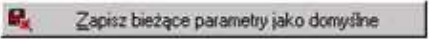
-  - otwarcie okna dialogowego umożliwiającego wczytanie wybranego pliku preferencji zadania
-  - otwarcie okna dialogowego umożliwiającego zapis preferencji zadania we wskazanym pliku
-  - usuwanie aktualnie wykorzystywanych preferencji zadania
-  - przywrócenie domyślnych wartości parametrów opcji preferencji zadania znajdujących się w pliku dostarczonym z programem **Robot**.

W powyższym oknie można wybrać następujące opcje:

- jednostki i formaty liczb (wymiary, siły, możliwość edycji jednostek)
- materiały (wybór zestawu materiałów według listy krajów lub definicja własnego materiału)
- katalogi profili (wybór odpowiedniego katalogu z profilami prętów)
- katalogi pojazdów (wybór odpowiedniego katalogu z pojazdami normowymi)
- katalogi obciążeń (wybór katalogu z obciążeniami służącymi do zestawienia obciążeń na elementy konstrukcji) / katalogi gruntów (wybór katalogu zawierającego listę gruntów)
- katalogi śrub lub śrub kotwiących (wybór katalogu zawierającego listę śrub)
- katalogi prętów zbrojeniowych i siatek zbrojeniowych
- normy (wybór norm według których odbywać się będzie definiowanie i wymiarowanie konstrukcji - norma śniegowa, wiatrowa, wymiarowanie stali, żelbetu, połączeń); w przypadku wyboru norm kombinacji normowych istnieje możliwość uruchomienia edytora regulaminów kombinacji normowych - jest to możliwe po naciśnięciu klawisza (...) znajdującego się po prawej stronie listy wyboru regulaminu kombinacji normowych
- parametry analizy konstrukcji (opcje służące do wyboru sposobu obliczeń statycznych konstrukcji, definicja podstawowych parametrów do obliczeń dynamicznych, nieliniowych i wybór typów analizy, możliwość zapisu wyników dla analizy sejsmicznej - kombinacji przypadków sejsmicznych)
- parametry generacji siatki powierzchniowych/bryłowych elementów skończonych.

W dolnej części okna dialogowego znajdują się dwa klawisze:

 - otwarcie opcji preferencji zadania ustawionych przez użytkownika jako wartości domyślne

 - zapisanie aktualnych ustawień parametrów preferencji zadania jako wartości domyślnych; te ustawienia będą wykorzystywane dla każdego nowego projektu.

2.2.5. Selekcja i filtry

Podczas pracy w różnych modułach programu dość często wykorzystywane są opcje wyboru. Pozwalają one na definiowanie listy węzłów, prętów, paneli, przypadków obciążeniowych, na której dokonywane będą później wybrane przez użytkownika operacje. Proces wyboru zakończony jest utworzeniem zbioru elementów, który jest aktywny do momentu, gdy użytkownik nie wykona następnego wyboru. Selekcja może być dokonana:

- graficznie na ekranie (z menu poprzez wybranie jednej z opcji znajdujących się w podmenu *Edycja / Zaznacz Specjalnie* lub z menu kontekstowego poprzez wybranie opcji *Zaznacz*)
- w oknie dialogowym **Selekcja** (z menu poprzez wybranie opcji *Edycja / Zaznacz*)
- z list węzłów, prętów, obiektów i przypadków obciążeniowych znajdujących się pod menu (można wpisać w tym polu pręty/węzły/panele/przypadki do selekcji, wybrać wszystkie wymienione elementy lub nie wybrać żadnego elementu)
- w tabeli poprzez podświetlenie odpowiednich linii.

Selekcja jest identyczna we wszystkich tabelach i edytorach graficznych. Oznacza to, iż po wybraniu elementu konstrukcji w edytorze graficznym, selekcja zostanie pokazana również w odpowiedniej tabeli (np. prętów, węzłów); podobnie selekcja w tabeli spowoduje podświetlenie tych obiektów w polu edycyjnym. Poniżej pokazano okno dialogowe służące do selekcji (wywołane komendą *Edycja / Zaznacz*).



W tym oknie dialogowym może zostać określona selekcja węzłów, prętów, paneli lub przypadków obciążeniowych konstrukcji. Można tego dokonać wykorzystując klawisze znajdujące się w górnej części okna (**Wszystko**, **Nic**, **Inwersja**, **Poprzednia**) lub opcje znajdujące się na zakładce *Atrybuty*. Wybrane elementy modelu konstrukcji zostaną wpisane w polu znajdującym się w górnej części okna **Selekcja**. W szczególnych sytuacjach powyższe okno dialogowe może być otwarte w szczególnym trybie tzn. wyboru na przykład jedynie prętów. Postać dolnej części okna dialogowego **Selekcja** zależy od wybranego obiektu. Aby dokonać selekcji, należy:

- wybrać obiekt (węzeł, pręt, panel, przypadek obciążeniowy, postać drgań), który podlegał będzie selekcji
- wpisać w odpowiednim polu numery wybranych obiektów lub wykorzystać do tego opcje znajdujące się w dolnej części okna.

Na końcu pola, w którym wpisywana jest lista wyselekcjonowanych węzłów, prętów itp. znajduje się pole wyboru sposobu definiowania selekcji. Może ono być włączone lub wyłączone. Jeżeli pole wyboru jest wyłączone, to pole selekcji np. węzłów, w których znajduje się dowolna podpora zostanie wypełnione numerami węzłów, w których istnieje podpora dowolnego rodzaju (patrz rysunek poniżej).







Jeśli pole wyboru jest włączone, to pole selekcji węzłów, w których znajduje się dowolna podpora zostanie wypełnione tekstem *Podpora=dowolna* (patrz rysunek poniżej).

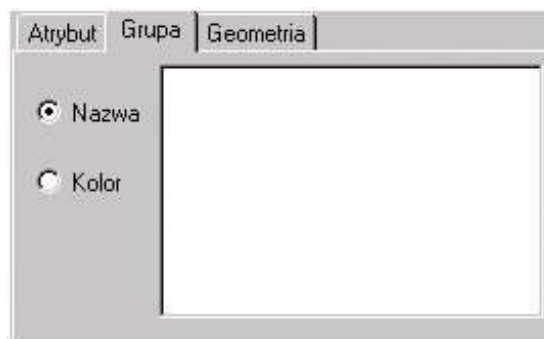



UWAGA: Dla prętów, obiektów i paneli istnieje możliwość selekcji przy pomocy nazwy obiektu.

Różnica w działaniu pomiędzy trzema klawiszami znajdującymi się w oknie dialogowym jest następująca:

- naciśnięcie  ikony powoduje dodanie wybranych obiektów do istniejącej selekcji
- naciśnięcie  ikony powoduje odjęcie wybranych obiektów z istniejącej selekcji
- naciśnięcie ikony  powoduje usunięcie istniejącej selekcji i wpisanie numerów wybranych obiektów
- naciśnięcie ikony  powoduje znalezienie części wspólnej istniejącej selekcji i wybranego atrybutu konstrukcji (np. znalezienie w istniejącej selekcji prętów takich prętów, które mają nadany profil IPE 100).

W oknie dialogowym **Selekcja** zdefiniowana może zostać przez użytkownika grupa węzłów, prętów, obiektów lub przypadków obciążeniowych. Po dokonaniu selekcji w jeden z wymienionych powyżej sposobów należy wybrać zakładkę **Grupa**. Dolna część okna przybiera wtedy pokazaną poniżej postać.



Po dokonaniu selekcji i naciśnięciu klawisza  otwierane jest małe okno dialogowe, w którym należy podać kolor i nazwę grupy. Po naciśnięciu klawisza **Akceptuj** grupa o podanej nazwie i kolorze zostanie dopisana do pola pokazanego na powyższym rysunku.

W oknie dialogowym **Selekcja** zdefiniowana może zostać selekcja niektórych obiektów przy pomocy zdefiniowanej siatki osi konstrukcji. W oknie dialogowym **Selekcja** dostępna jest dodatkowa zakładka **Geometria** pokazana na poniższym rysunku.



W powyższym oknie dialogowym wybrane mogą zostać obiekty znajdujące się na wybranych osiach konstrukcji; podane mogą zostać położenia początkowej i końcowej osi konstrukcji (we wszystkich kierunkach układu współrzędnych), pomiędzy którymi wybrane mają zostać obiekty.

Selekcja elementów konstrukcji przy pomocy osi konstrukcji może być również dokonana po wybraniu komendy znajdującej się w menu: *Edycja / Zaznacz specjalnie / Osiami konstrukcji*.

Selekcję obiektów w programie należy odróżnić od filtra, który określa jakie obiekty (węzły, pręty, przypadki i postacie drgań) mają być wyświetlone. Filtr jest inny dla każdego edytora graficznego czy tabeli. Filtrowanie może być dokonane w tabelach poprzez otwarcie okna dialogowego **Filtry** (komendą *Widok / Filtry*). W edytorze graficznym filtrowaniu mogą podlegać jedynie przypadki obciążenia i postacie drgań własnych. Filtrowanie dla pól edycyjnych może być dokonane poprzez:

- otwarcie okna dialogowego **Selekcja** i wybór przypadków obciążenia lub postaci drgań własnych
- wybór odpowiedniego przypadku obciążenia lub postaci drgań własnych w list przypadków i postaci znajdujących się pod menu.

Istnieje również opcja w programie (*Filtry rezultatów*), która służy do selekcji globalnej wyników otrzymanych dla węzłów, prętów itd. zdefiniowanych w konstrukcji. Opis tej opcji przedstawiono w rozdziale 4.3.

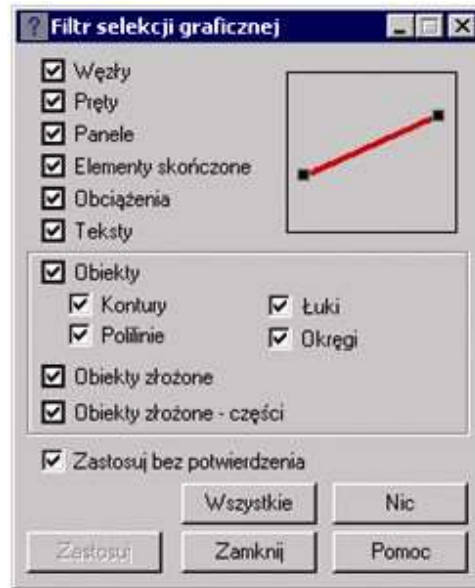
Opis wykorzystywania filtrów w tabelach przedstawiono również w rozdziale 5.2.

Proste, podstawowe czynności umożliwiające dokonanie selekcji omówione zostały na przykładach:

- jeżeli wskazany zostanie dowolny obiekt (węzeł, pręt, panel), jest on wyselekcjonowany
- wskazywanie obiektów myszką z wciśniętym klawiszem **CTRL** lub **SHIFT** powoduje (podobnie jak w systemie operacyjnym Windows) dodawanie lub odejmowanie obiektów wyselekcjonowanych
- powtórne wskazanie wyselekcjonowanego obiektu powoduje przejście w tryb modyfikacji położenia obiektu w konstrukcji (można w ten sposób "przenieść" np. pręt do innego położenia)
- selekcja obiektów może zostać dokonana przy wciśniętym lewym klawiszu myszki i przesuwaniu kursora myszki na ekranie graficznym; istnieje jednak różnica przy wykonywaniu selekcji: jeżeli selekcję oknem rozpoczynamy w lewym górnym rogu, to wyselekcjonowane zostaną tylko te pręty (obiekty), które w całości znajdują się w zdefiniowanym oknie; jeżeli selekcję oknem rozpoczynamy w prawym dolnym rogu, to wyselekcjonowane zostaną wszystkie pręty (obiekty), które choć w części znajdują się w zdefiniowanym oknie; różnica pokazana jest na poniższym rysunku.




Użytkownik ma w programie możliwość wyboru elementów tworzonej konstrukcji, które będą podlegały selekcji graficznej na ekranie graficznym programu. Umożliwia to opcja *Filtr selekcji graficznej*. Okno dialogowe może zostać otwarte po wybraniu komendy z menu tekstowego: *Edycja / Zaznacz specjalnie / Filtr selekcji graficznej*. Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.



W powyższym oknie dialogowym znajdują się opcje pozwalające na wybór elementów konstrukcji, które będą mogły być selekcjonowane na ekranie graficznym. Jeśli ta opcja (element konstrukcji, np. węzły) w oknie dialogowym jest wyłączona, to podczas graficznej selekcji na ekranie graficznym węzły konstrukcji **nie** będą wybierane. Jeśli ta opcja jest włączona (pojawia się symbol \checkmark), to podczas graficznej selekcji na ekranie graficznym węzły konstrukcji będą wybierane.

2.2.6. Wyświetlanie atrybutów konstrukcji i legenda konstrukcji

Okno dialogowe **Wyświetlanie atrybutów** służy do wyboru atrybutów definiowanej konstrukcji, które mają być prezentowane na ekranie. Okno to może być wywołane na ekran po wybraniu komendy *Widok /*






Wyświetl lub po wybraniu ikony  znajduącej się w lewym dolnym rogu ekranu.

Po wyborze komendy *Widok / Wyświetl* na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno.



W części górnej okna dialogowego znajduje się lista wyboru zawierająca dostępne szablony wyświetleń. Wybór szablonu z listy powoduje automatyczną prezentację szablonu w oknie dialogowym.

W górnej części okna dialogowego znajdują się również ikony:

-  - naciśnięcie powoduje wczytanie szablonu z jego ustawieniami
-  - naciśnięcie powoduje otwarcie okna dialogowego zarządzającego szablony wyświetlania
-  - naciśnięcie powoduje zapisanie ustawień w aktualnym wybranym szablonie
-  - naciśnięcie powoduje usunięcie wybranego szablonu z listy
-  - naciśnięcie powoduje otwarcie dodatkowego okna dialogowego, w którym znajdują się opcje pozwalające na:
 - wczytanie domyślnych ustawień
 - przywrócenie oryginalnych ustawień dostarczanych z programem
 - zapisanie aktualnych ustawień jako domyślnych ustawień.





Środkowa część okna jest podzielona na dwa panele: - po lewej stronie znajduje się lista grup głównych (kategorii) - po prawej stronie lista zawierająca grupy i podgrupy.

Linie oznaczone kolorem niebieskim oznaczają pozycje do wyświetlania; linie oznaczone kolorem białym mogą być podgrupami linii niebieskich; UWAGA: linie białe są na sztywno przypisane do linii oznaczonych kolorem niebieskim i nie można ich przenosić do innych grup (można je przenosić w obrębie danej grupy). Kategorie (oznaczone liniami niebieskimi):

1. włączenie / wyłączenie wyłączenie - wyłącza kategorię i wszystkie grupy oznaczone kolorem białym należące do tej kategorii
 - włączenie - automatyczne włączenie wszystkich grup oznaczonych kolorem białych należących bezpośrednio do wybranej kategorii
2. sortowanie
 - Kliknięcie w kolumnę powoduje posortowanie wg danej zawartości kolumny: - alfabetycznie (kolumna *Nazwa*)
 - po zaznaczonych opcja (kolumna *Wyświetl*).
 - Sortowanie po zaznaczonych opcjach jest operacją jednorazową; oznacza to, że po włączeniu / wyłączeniu opcji, należy jeszcze raz dokonać sortowania, klikając w nagłówki kolumny.

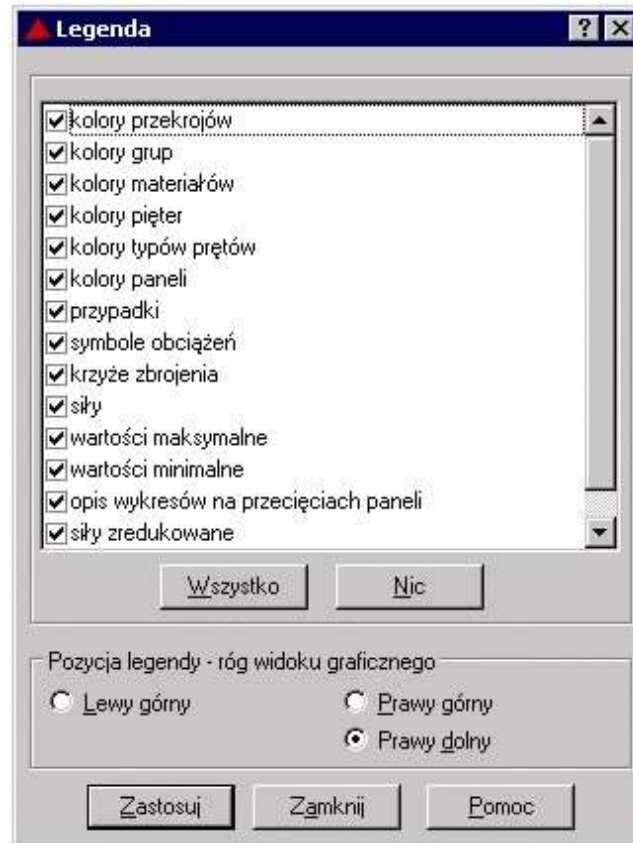
W dolnej części okna dialogowego znajdują się dodatkowe opcje:

- *Wielkość symboli* - opcja umożliwiająca wybór wielkości atrybutów konstrukcji, które mogą być prezentowane na ekranie (skala wielkości: 1-10); domyślnie skala wielkości jest równa 3
- *Wyświetl atrybuty tylko dla wybranych elementów* - włączenie tej opcji powoduje, że zaznaczanie będzie odnosiło się tylko dla wyselekcjonowanych obiektów

- wybieranie elementów do prezentacji:
 -  - wybierz wszystkie we wszystkich kategoriach
 -  - wyłącz wybranie wszystkich we wszystkich kategoriach
 -  - wybierz wszystkie w wybranej kategorii
 -  - wyłącz wybranie wszystkich w wybranej kategorii.

W programie dostępna jest również opcja *Parametry legendy*, która umożliwia wyświetlenie na ekranie legendy dla definiowanej konstrukcji. Legenda zawiera dodatkowe opisy wyświetlane na ekranie; w zależności od włączonych opcji wyświetlania legenda może składać się przykładowo z listy przekrojów, grup lub nazw przypadków. Okno dialogowe **Legenda** może być wywołane na ekranie po wybraniu komendy *Widok / Parametry legendy*.

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno.



W górnej części okna dialogowego znajdują się opcje, które mogą być prezentowane w legendzie dla definiowanej konstrukcji. Możliwy jest wybór następujących opcji:

- kolory przekrojów, grup, materiałów, pięter, typów prętów, paneli - jeżeli te opcje zostaną wybrane, to wyświetlana jest lista kolorów przypisanych do wyświetlonych elementów takich jak przekroje, materiały, piętra, pręty, panele (UWAGA: lista kolorów jest prezentowana w legendzie, jeżeli została włączona odpowiednia opcja widoczności w oknie wyświetlania atrybutów)
- przypadki - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to wyświetlana jest lista lub nazwa przypadku w sytuacji gdy włączona jest wizualizacja rezultatów w postaci wykresów lub map
- symbole obciążeń - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to wyświetlany jest opis typów i jednostki obciążeń (UWAGA: symbole obciążeń są prezentowane w legendzie, jeżeli została włączona odpowiednia opcja widoczności w oknie wyświetlania atrybutów)
- krzyże zbrojenia - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to wyświetlany jest opis skali w sytuacji gdy włączona jest wizualizacja krzyży zbrojenia
- siły - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to wyświetlany jest opis skali i jednostki wykresów sił wewnętrznych
- wartości maksymalne i minimalne - jeżeli te opcje zostaną wybrane, to wyświetlany jest opis wartości ekstremalnych dla włączonych wykresów
- opis wykresów na przecięciach paneli - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to wyświetlany jest opis wykresu zdefiniowanego na przecięciu panela (nazwa przecięcia, wielkość prezentowana na wykresie, wartość całki dla wybranej składowej po długości linii przecięcia)
- siły zredukowane - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to wyświetlane są wartości sił i momentów zastępczych w układzie globalnym zredukowanych do środka ciężkości przecięcia panela; wartości są prezentowane dla pojedynczego przypadku lub kombinacji, a nie dla dla obwiedni przypadków
- uproszczona skala dla map - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to bezpośrednio na widoku jest przedstawiana skala kolorów z opisem wartości (UWAGA: liczba kolorów jest ograniczona do 15 kolorów); opcja dotyczy jedynie prezentacji map na panelach, nie dotyczy map dla prętów.

Poniżej wybrane może zostać położenie generowanej legendy na ekranie; dostępne są następujące położenia:

- lewy, górny róg ekranu

- prawy, górny róg ekranu
- prawy, dolny róg ekranu.

2.2.7. Listy wykorzystywane w programie

Podczas pracy w programie **Robot** w niektórych przypadkach (definicja podpór, nadawanie profili prętom, definicja obciążeń itp.) może się okazać pomocne wykorzystanie list pewnych wielkości. Aby uprościć definiowanie list węzłów, prętów, paneli, obiektów czy przypadków obciążenia, użytkownik może wykorzystać opisane poniżej skrócone opisy list. Użytkownik może definiować listy wymienionych wielkości na kilka opisanych poniżej sposobów:

- podając wszystkie numery należące do listy np.:
2 3 6 7 12 14
- wykorzystując skrócone oznaczenia kolejnych numerów (komendy "DO" i "Krok"):
6DO10 oznacza łańcuch numerów: 6 7 8 9 10
6DO10K2 oznacza łańcuch numerów: 6 8 10
- wykorzystując oznaczenia używając powtórzeń i kroku powtórzenia - komenda "Powtórz":
4P3 oznacza łańcuch: 4 5 6 7 (domyślnym krokiem jest liczba 1)
4P3K2 oznacza łańcuch: 4 6 8 10 (wielkość kroku jest równa 2)
- wyłączając część listy - operacja "BEZ": 1DO58 BEZ 44 49 52 oznacza listę elementów: 1DO43 45DO48 50 51 53DO58 Komenda "BEZ" może być użyta tylko raz w oznaczeniu listy.

W przypadku definiowania list składowych obiektów wygenerowanych przy pomocy opcji **Wyciąganie**, **Przekręcanie**, **Wyciąganie po polilinii** obowiązuje następująca składnia listy:
nrobiektu_częśćobiektu(lista części obiektu)

gdzie:

- nrobiektu - numer obiektu podlegającego operacjom wyciągania lub przekręcania
- częśćobiektu - w obecnej wersji programu dostępne są trzy możliwości: bok, krawędź (kraw) oraz obraz obiektu po modyfikacji (ref)
- lista części obiektu - lista składowych obiektów (listy podlegają regułom przedstawionym powyżej).

Przykładowe składnie operacji na listach obiektów wygenerowanych przy pomocy opcji **Wyciąganie**, **Przekręcanie**, **Wyciąganie po polilinii**:

- 2_ref(1,2,5)
- 1_bok(3do7)
- 4_kraw(5do8,11).

Składnia jest identyczna z opisem składowych obiektu na ekranie graficznym.

2.2.8. Cechy wspólne okien dialogowych (kursor graficzny, kalkulator)

W systemie **Robot** wprowadzono wiele udogodnień, które mają pomóc użytkownikowi podczas definiowania konstrukcji. Kursor myszki może przybierać w programie różne kształty w zależności od wykonywanej operacji:

- będąc w trybie selekcji kursor przybiera kształt "łapki"
- przy definiowaniu węzłów i prętów jest dwoma skrzyżowanymi liniami ("krzyżem celownika")
- przy definiowaniu atrybutów konstrukcji (podpory, profile, zwolnienia itp.) przybiera kształt nadawanego atrybutu.

Tryb obsługi kursora widoku za pomocą trzeciego klawisza (lub kółka) myszki jest identyczny jak w programie AutoCAD ©; dostępne są następujące tryby obsługi kursora:

- obrót kółkiem - powiększanie / pomniejszanie
- obrót kółkiem + klawisz **Ctrl** - przesuwanie w poziomie
- obrót kółkiem + klawisz **Shift** - przesuwanie w pionie

- naciśnięcie trzeciego klawisza - przesuwanie
- dwukrotne naciśnięcie trzeciego klawisza - widok początkowy.

Należy jeszcze zwrócić uwagę na możliwości pracy w widoku 3D jeżeli włączona została opcja *Widok dynamiczny* w menu (*Widok / Widok dynamiczny / Widok dynamiczny*). Widok 3D może pracować w jednym z pięciu trybów:

- cztery tryby proste: obrót, obrót 2D, powiększenie i przesunięcie
- jeden tryb wielofunkcyjny.

Zmiany pomiędzy trybami pracy są możliwe poprzez wybór odpowiedniej opcji w menu *Widok / Widok dynamiczny*, na pasku narzędzi *Widok* oraz menu kontekstowym. Po wybraniu trybu pracy ruch myszy (w przypadku gdy jest naciśnięty jej lewy klawisz) powoduje odpowiednią zmianę widoku 3D:

- Obrót - obrót konstrukcji we wszystkich płaszczyznach
- Obrót 2D - obrót konstrukcji w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny ekranu
- Powiększenie - ruch 'w głąb' widoku - zbliżenie / oddalenie konstrukcji od płaszczyzny ekranu
- Przesunięcie - ruch w płaszczyźnie widoku (przesunięcie konstrukcji względem środka ekranu).

Tryb wielofunkcyjny (Obrót / Powiększenie / Przesunięcie) umożliwia pracę z wszystkimi trybami jednocześnie. Ekran widoku jest podzielony na ćwiartki i do każdej z nich zostaje przypisany jeden z trybów:

-  lewa górna: obrót
-  prawa górna: przesunięcie
-  lewa dolna: powiększenie
-  prawa dolna: obrót 2D.

Po najechaniu kursorem na odpowiednią ćwiartkę ekranu następuje zmiana wyglądu kursora (patrz ikonki powyżej).

Dodatkowo podczas definiowania węzłów/prętów konstrukcji w odpowiednim polu okna dialogowego **Węzły** lub **Pręty** prezentowane są współrzędne położenia kursora w edytorze graficznym. Zmieniają się one wraz ze zmianą położenia kursora.

W oknie dialogowym podświetlane jest aktywne pole. Dla pól przyjmujących jedną wartość liczbową, podświetlenie pola edycyjnego może przyjmować następujące kolory: zielony, żółty i czerwony. Jeśli tło aktywnego jest zielone, to wpisana wartość jest poprawna; jeśli jest żółte lub czerwone, to wartość jest niepoprawna. Kolor żółty oznacza, że wartość wielkości z pola aktywnego jest poza zalecanym zakresem, ale jest jeszcze wartością dopuszczalną; kolor czerwony oznacza, iż wartość jest niedopuszczalna w programie. Wszystkie pola edycyjne w oknach dialogowych przyjmują formaty liczb określone w oknie **Preferencje zadania** (jednostki, postać liczby). W przypadku gdy w polu edycyjnym można wpisać tylko jedną wartość, można ją wprowadzić wraz z dowolną jednostką, co po naciśnięciu klawisza "=" na klawiaturze przeliczane jest automatycznie na domyślne jednostki ustawione w systemie **Robot**. W systemie dostępny jest również kalkulator. Można go uruchomić poprzez komendę *Narzędzia / Kalkulator* lub też poprzez dwukrotne kliknięcie w pole edycyjne w oknie dialogowym (wyłączenie uruchamiania kalkulatora w polach edycyjnych okien dialogowych jest możliwe na zakładce *Zaawansowane* w oknie dialogowym **Preferencje**). W polach edycyjnych działa również kalkulator wyrażań arytmetycznych. Po wpisaniu wyrażenia w polu edycyjnym i naciśnięciu klawisza "=" wyznaczana jest wartość tego wyrażenia.

2.3. Konwencja znakowania

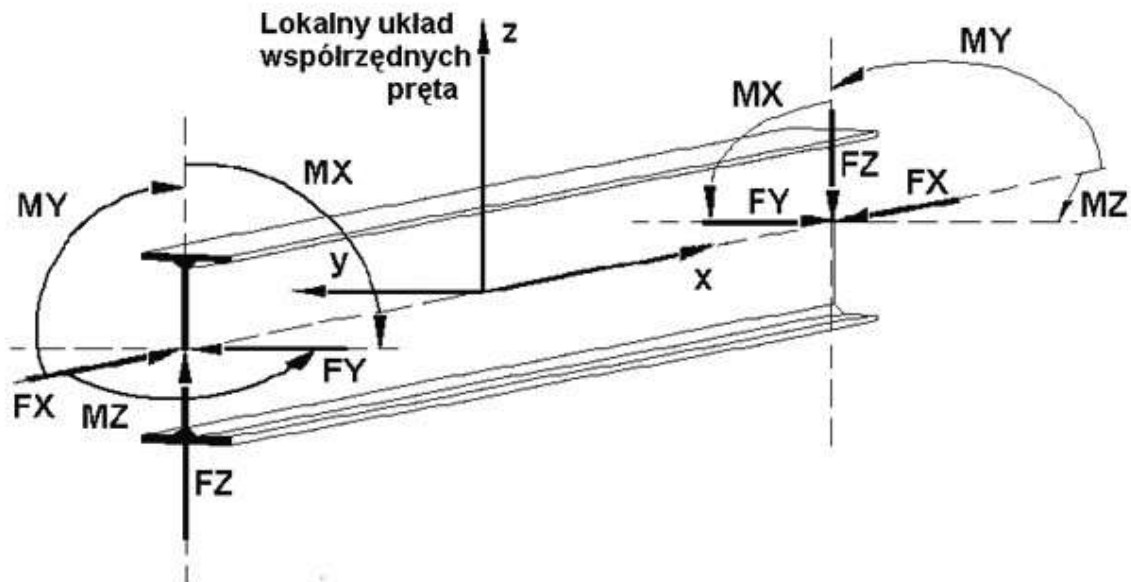
Dodatni kierunek wektorów sił i przemieszczeń jest taki sam jak dodatnie kierunki osi. Dodatnie kierunki kątów, obrotów lub momentów w lokalnym bądź globalnym układzie współrzędnych ustalane są na podstawie reguły śruby prawoskrętnej. Taka konwencja definiuje znaki sił zewnętrznych, sił węzłowych, przemieszczeń i obrotów. Wszystkie te wielkości są używane podczas definicji konstrukcji, w trakcie obliczeń konstrukcji oraz podczas prezentacji wyników. Przy ustalaniu znaków sił wewnętrznych działających wewnątrz każdego elementu przyjęto w programie inną konwencję. Osobno zostaną omówione wykorzystywane w programie konwencje znakowania sił wewnętrznych w elementach prętowych oraz powierzchniowych elementach skończonych.

KONWENCJA ZNAKOWANIA - PRĘTY

W programie konwencja znakowania w elementach prętowych oparta jest na konwencji sił przekrojowych. Zgodnie z tą zasadą siły przekrojowe są tego samego znaku, jeżeli wywołują taki sam efekt na końcu pręta, jak dodatnie siły węzłowe (siły, których kierunek zgadza się z kierunkiem osi lokalnego układu współrzędnych) przyłożone w początkowym węźle pręta. Stąd też siły ściskające są dodatnie, a siły rozciągające ujemne. Dodatnie momenty zginające M_Y powodują rozciąganie tych włókien belki, które znajdują się po ujemnej stronie lokalnej osi współrzędnych "z". Dodatnie momenty zginające M_Z powodują rozciąganie tych włókien belki, które znajdują się po dodatniej stronie lokalnej osi współrzędnych "y". Dodatnie kierunki sił dla opisanej konwencji znakowania przedstawiono schematycznie na poniższym rysunku.

UWAGA:

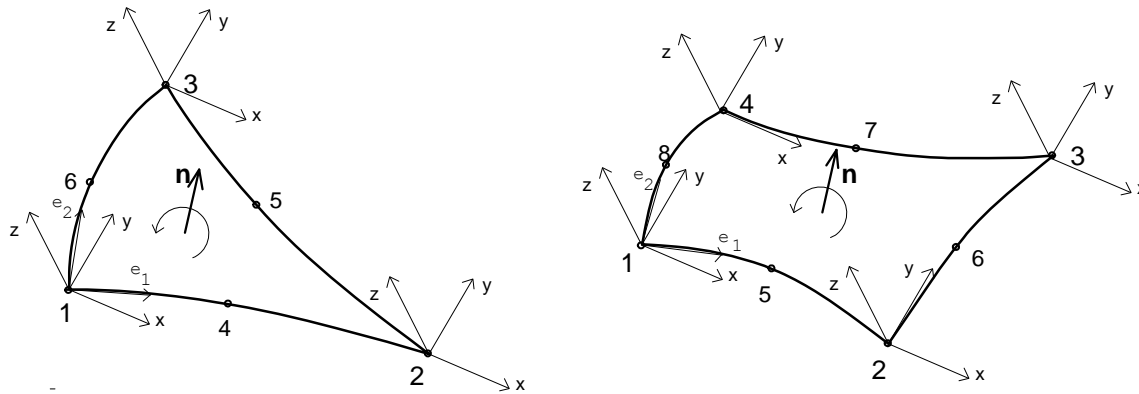
Dla ram płaskich (pręty 2D) znakowanie sił wewnętrznych jest określone względem domyślnego, oryginalnego układu lokalnego pręta. Znakowanie sił NIE zmienia się przy obrocie układu o kąt GAMMA.



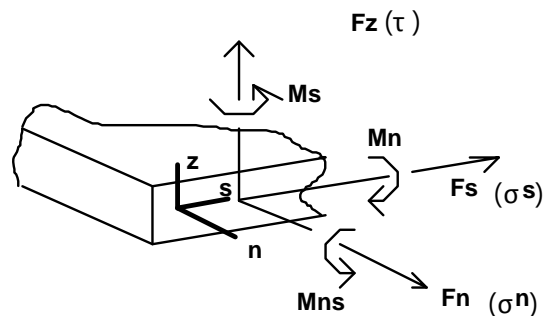
KONWENCJA ZNAKOWANIA - POWIERZCHNIOWE ELEMENTY SKOŃCZONE

Znajomość lokalnego układu współrzędnych dla powierzchniowego elementu skończonego nie jest konieczna, gdyż każdy węzeł takiego elementu posiada własny, lokalny układ współrzędnych. Ważne jest jednak, aby znany był kierunek wektora normalnego do powierzchni elementu skończonego (najlepiej jednakowy dla wszystkich elementów), gdyż w przeciwnym razie definicja obciążenia na elemencie (np. ciśnienia prostopadłego do powierzchni elementu powłokowego) może nie być poprawna.

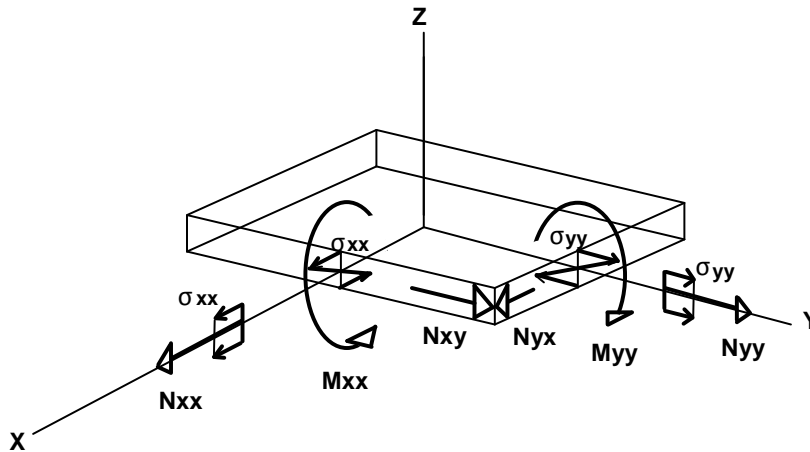
Kierunek wektora normalnego (prostopadłego do powierzchni elementu skończonego) ustalany jest zgodnie z regułą śruby prawoskrętnej (w kierunku od pierwszego do ostatniego węzła elementu). Lokalne układy współrzędnych oraz zwrot wektora normalnego do elementu pokazano na poniższym rysunku; jako przykład wybrano 6-cio i 8-mio węzłowe elementy skończone.



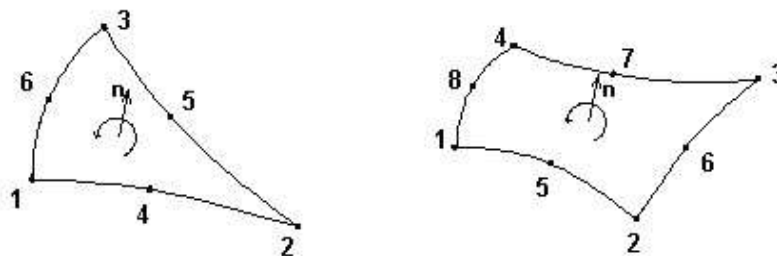
Dla powierzchniowych elementów skończonych uzyskiwane są siły i naprężenia w elemencie. Są one określane na podstawie położenia w stosunku do lokalnego kierunku normalnego i stycznego do przekroju poprzecznego. Jeżeli przyjmujemy następujące oznaczenia: \mathbf{n} - wektor normalny do powierzchni przekroju elementu, \mathbf{s} - wektor styczny do powierzchni przekroju, a \mathbf{z} - normalna zewnętrzna do powierzchni elementu, to te trzy zdefiniowane wektory (\mathbf{n} , \mathbf{s} , \mathbf{z}) tworzą prawoskrętny, kartezjański układ współrzędnych. Dodatkowo kierunki sił, momentów i naprężeń działających w danym przekroju poprzecznym definiowane są zgodnie z kierunkami wektorów \mathbf{n} , \mathbf{s} , \mathbf{z} . Opisana powyżej konwencja jest schematycznie przedstawiona na poniższym rysunku. Siły, momenty oraz naprężenia pokazane na rysunku mają dodatnie znaki.



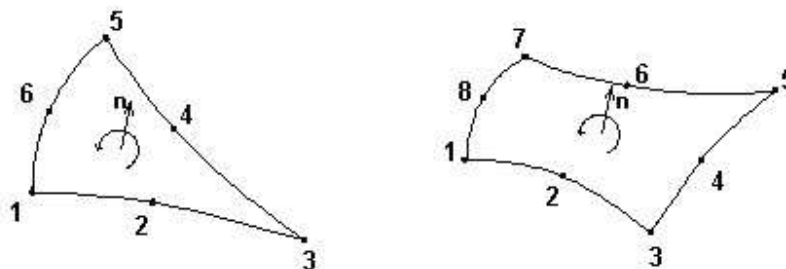
Wyniki otrzymane dla powierzchniowych elementów skończonych są przedstawiane w lokalnych układach współrzędnych, które mogą być definiowane i zmieniane przez użytkownika w dowolnym momencie prezentowania wyników. Przykładowo dodatnie kierunki sił i odpowiadających im naprężeń w węzle przedstawiono poniżej na rysunku dla osi X jako kierunku odniesienia.



W składni pliku tekstowego powierzchniowe elementy skończone 6- i 8-węzłowe są definiowane w następujący sposób: najpierw węzły a potem węzły w środkach poszczególnych krawędzi powierzchniowych elementów skończonych (patrz rysunek poniżej).

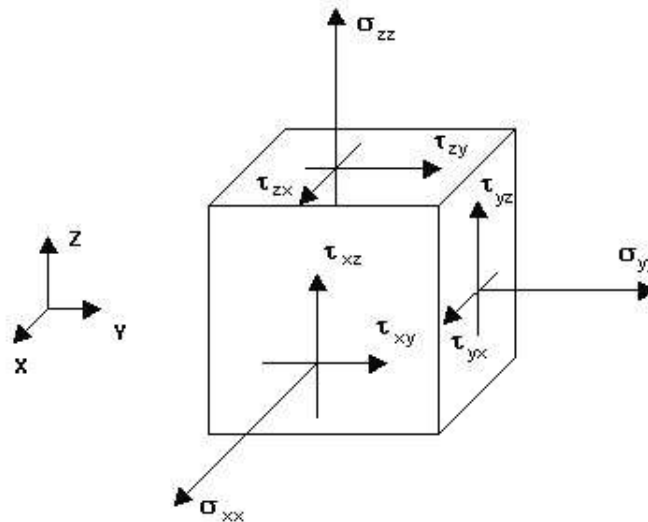


Podczas prezentacji wyników dla powierzchniowych elementów skończonych 6- i 8-węzłowych obowiązuje inna zasada: węzły tworzące element są podawane "po kolei": węzeł, węzeł w środku, węzeł itd. (patrz rysunek poniżej).



KONWENCJA ZNAKOWANIA - OBJĘTOŚCIOWE ELEMENTY SKOŃCZONE

Konstrukcje objętościowe w programie **Robot** są modelowane przy użyciu elementów skończonych objętościowych izoparametrycznych z aproksymacją pola przemieszczeń funkcjami kształtu 1. rzędu. Konwencja znakowania dla elementów objętościowych jest schematycznie przedstawiona na poniższym rysunku. Konwencję pokazano dla naprężeń; naprężenia pokazane na rysunku mają dodatnie znaki.



2.4. Lista klawiszy skrótu

Aby:	Naciśnij:
zaznaczyć wszystko	Ctrl + A
skopiować tekst lub grafikę	Ctrl + C
otworzyć nowy projekt	Ctrl + N
otworzyć istniejący projekt	Ctrl + O
rozpocząć wydruk	Ctrl + P
zapisać projekt	Ctrl + S
wyciąć tekst lub grafikę	Ctrl + X
powtórzyć operację	Ctrl + Y
wkleić tekst lub grafikę	Ctrl + V
cofnąć operację	Ctrl + Z
uzyskać widok aksonometryczny konstrukcji (3D XYZ)	Ctrl + Alt + 0
wykonać rzutowanie konstrukcji na płaszczyznę XZ	Ctrl + Alt + 1
wykonać rzutowanie konstrukcji na płaszczyznę XY	Ctrl + Alt + 2
wykonać rzutowanie konstrukcji na płaszczyznę YZ	Ctrl + Alt + 3
powiększyć widok konstrukcji na ekranie	Ctrl + Alt + A
uzyskać początkowy widok konstrukcji (wykorzystywane są początkowe kąty i skala)	Ctrl + Alt + D
włączyć/wyłączyć rozsunienia elementów w konstrukcji	Ctrl + Alt + E
powiększać / pomniejszać oknem	Ctrl + Alt + L
włączyć/wyłączyć prezentację szkiców profili na ekranie	Ctrl + Alt + P
zrzucić ekran	Ctrl + Alt + Q
pomniejszyć widok konstrukcji na ekranie	Ctrl + Alt + R
włączyć/wyłączyć prezentację symboli profili na ekranie	Ctrl + Alt + S
dokonać ciągłego obrotu konstrukcji wokół osi X	Ctrl + Alt + X
dokonać ciągłego obrotu konstrukcji wokół osi Y	Ctrl + Alt + Y

dokonać ciągłego obrotu konstrukcji wokół osi Z	Ctrl + Alt + Z
wyczyścić tekst lub grafikę	Del
uzyskać pomoc na ekranie do aktywnej opcji w oknie dialogowym	F1
wywołać edytor tekstowy	F9
pomniejszyć atrybuty konstrukcji (podpory, numery węzłów, prętów, obciążenia) prezentowane na ekranie	PgDn
powiększyć atrybuty konstrukcji (podpory, numery węzłów, prętów, obciążenia) prezentowane na ekranie	PgUp

UWAGA: W widoku graficznym służącym do definicji konstrukcji można wykonywać następujące operacje edycyjne przy pomocy klawiszy myszki:

kółko myszki

Shift + kółko myszki

Ctrl + kółko myszki

środkowy klawisz myszki

Shift + prawy klawisz myszki

powiększenie / pomniejszenie

przesunięcie (góra / dół)


przesunięcie (lewo / prawo)

przesunięcie

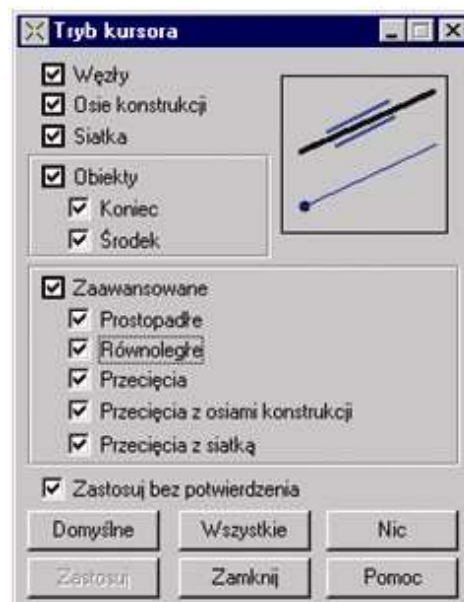
obrót 3D

2.5. Tryby kursora

Ruch kursora myszki na ekranie monitora zależy od wybranego trybu ruchu kursora. Parametry poruszania się kursora na ekranie mogą zostać ustawione w oknie dialogowym **Tryby kursora**. Okno dialogowe może zostać otwarte po wybraniu:

- komendy z menu tekstowego: *Narzędzia / Tryb kursora*
- ikony *Tryb kursora*  znajdującą się w lewym, dolnym rogu ekranu.

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.



W górnej części okna dialogowego znajdują się trzy podstawowe tryby poruszania się kursora:

- **Węzły** - umożliwia użytkownikowi umieszczenie kursora myszki tylko w istniejących już węzłach konstrukcji. Należy tu zaznaczyć, że w tym trybie kursor nie jest "ściągany" do obiektów typu polilinia, kontury, itp. Aby tak było, należy użyć opcji *Obiekty*.
- **Osie konstrukcji** - pozwala użytkownikowi na definiowanie węzłów tylko w punktach przecięć osi konstrukcji zdefiniowanych przez użytkownika (*UWAGA: osie muszą być widoczne na ekranie!*).
- **Siatka** - pozwala użytkownikowi na definiowanie węzłów tylko w punktach siatki prezentowanej na ekranie (*UWAGA: siatka musi być widoczna na ekranie!*). Krok siatki (oczko siatki) prezentowanej na ekranie może być zmienione przez użytkownika w oknie dialogowym **Definicja kroku siatki**. W środkowej części okna dialogowego znajdują się opcje umożliwiające określenie ustawień kursora dla obiektów (włączenie zaczepiania do prętów, linii, polilinii). Istnieją dwa tryby kursora:
 - **koniec** - kursor umieszczany w końcach prętów i odcinków obiektów. Wyłączenie końców powoduje, że opcja *Środek* nie jest dostępna (nie może występować bez ustawienia końców).
 - **środek** - kursor umieszczany w środkach prętów i odcinków obiektów.

Poniżej znajdują się zaawansowane opcje ruchu kursora. Pozwalają one na zaczepianie kursora w punktach przecięć i prostopadłych. Użytecznym efektem tych opcji jest również możliwość prowadzenia linii pionowych i poziomych oraz znajdowanie ich przecięć z prętami lub osiami konstrukcji. Dostępne są następujące tryby:

- **prostopadłe** - wyznacza prostopadłą z punktu startowego do prętów i odcinków obiektów
- **równoległe** - wyznacza równoległą z punktu startowego do prętów i odcinków obiektów
- **przecięcia** - przecięcia prętów i odcinków obiektów oraz końce wzmocnień
- **przecięcia z osiami konstrukcji** - przecięcia z osiami konstrukcji prezentowanymi na ekranie (*UWAGA: osie konstrukcji muszą być widoczne!*)
- **przecięcia z siatką** - przecięcia z siatką prezentowaną na ekranie (*UWAGA: siatka musi być widoczna!*).

W dolnej części znajdują się trzy klawisze:

- **Domyślne** - naciśnięcie tego klawisza powoduje, że na wybrane zostaną podstawowe tryby ruchu kursora. Do podstawowych trybów kursora należą następujące opcje: *Węzły*, *Osie konstrukcji*, *Siatka*, *Obiekty* - *Koniec*, *Zaawansowane* - *Przecięcia*
- **Wszystkie** - naciśnięcie tego klawisza powoduje, że w oknie **Tryby kursora** wybrane zostaną wszystkie opcje
- **Nic** - naciśnięcie tego klawisza powoduje, że w oknie **Tryby kursora** nie zostanie wybrana żadna opcja.

3. OGÓLNE ZASADY TWORZENIA MODELU KONSTRUKCJI

3.1. Typy konstrukcji

W programie **Robot** mogą być używane 2-węzłowe elementy prętowe, powierzchniowe elementy skończone wykorzystywane do generacji siatki elementów dla konstrukcji płytowo-powłokowych oraz elementy objętościowe wykorzystywane podczas generacji siatki dla konstrukcji objętościowych. Użytkownik może definiować konstrukcje, w których będą występowały różne rodzaje wymienionych elementów. Rodzaj elementu zależy od wybranego typu konstrukcji.


W programie **Robot** dostępne są obecnie następujące typy konstrukcji:

- rama płaska (2-węzłowe prętowe elementy skończone)
- kratownica płaska (2-węzłowe prętowe elementy skończone)
- rama przestrzenna (2-węzłowe prętowe elementy skończone)
- kratownica przestrzenna (2-węzłowe prętowe elementy skończone)
- ruszt (2-węzłowe prętowe elementy skończone)
- płyta (powierzchniowe elementy skończone 2D)
- powłoka (powierzchniowe elementy skończone 2D)
- konstrukcja w płaskim stanie naprężenia (powierzchniowe elementy skończone 2D)
- konstrukcja w płaskim stanie odkształcenia (powierzchniowe elementy skończone 2D)
- konstrukcja osiowo-symetryczna (powierzchniowe elementy skończone 2D)
- konstrukcja objętościowa (bryła) - objętościowe elementy skończone 3D.

Należy tu również dodać, iż w programie istnieje duża biblioteka typowych konstrukcji prętowych i płytowo-powłokowych, których tworzenie sprowadza się do podania jedynie kilku charakterystycznych parametrów (rozdział 3.12).

3.2. Definicja osi konstrukcji

Elementem programu znacznie ułatwiającym tworzenie konstrukcji są osie konstrukcji, które dostępne są:

- z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Oś konstrukcji*
- z paska narzędziowego *Narzędzia* poprzez naciśnięcie ikony .

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno.



Osie konstrukcji tworzą dodatkową siatkę, za pomocą której można definiować różne elementy konstrukcji i odnosić się do wybranych składowych konstrukcji (dokonywać ich selekcji). Siatka osi tworzy punkty, w położeniu których można umieszczać cursor(y) przy graficznym definiowaniu konstrukcji.

Osie konstrukcji mają duże znaczenie przy poruszaniu się w modelu konstrukcji. Za ich pomocą można szybko wyświetlić wybraną płaszczyznę pracy (okno dialogowe **Widok**) oraz wyselekcjonować elementy leżące w osiach konstrukcji.

Selekcji osi można dokonać przy użyciu opisów znajdujących się na obu końcach osi konstrukcji. Kliknięcie w opis wybranej osi powoduje selekcję wszystkich elementów konstrukcji leżących na tej osi. Siatka osi konstrukcji może być definiowana jako:

- siatka prostokątna w układzie kartezjańskim (w płaszczyźnie ZX dla konstrukcji płaskich, w płaszczyźnie XY dla konstrukcji przestrzennych z kierunkiem Z jako wysokością konstrukcji). Jeżeli definiujemy poziomy to dla każdego poziomu tworzona jest taka sama siatka osi jak siatka zdefiniowana w płaszczyźnie XY
- siatka w cylindrycznym lub biegunowym układzie współrzędnych
- osie dowolne (proste, półproste i odcinki).

W przypadku osi konstrukcji definiowanych w układzie kartezjańskim dostępne są dwie możliwości definicji współrzędnych (po naciśnięciu klawisza **Parametry zaawansowane** okno dialogowe jest rozwijane i pojawiają się dodatkowe opcje):

- *relatywny* (włączona opcja *Osie relatywne względem punktu*) - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to w oknie dialogowym dostępne staje się pole edycyjne *Punkt wstawienia*; położenie utworzonych osi konstrukcji będzie definiowane w odniesieniu do współrzędnych punktu wstawienia

- *absolutny* (wyłączona opcja *Osie relatywne względem punktu*) - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to osie konstrukcji zostaną utworzone na podstawie rzeczywistych wartości współrzędnych poszczególnych osi konstrukcji (w globalnym układzie współrzędnych).

Dla siatki tworzonej w cylindrycznym lub biegunowym układzie współrzędnych dostępna jest jedynie możliwość definicji w trybie relatywnym, tzn. w odniesieniu do punktu wstawienia (opcja dostępna po naciśnięciu klawisza **Parametry zaawansowane**).

Osie konstrukcyjne w układzie kartezjańskim mogą być obrócone w całości. Aby tego dokonać, należy zaznaczyć opcję *Oś i kąt obrotu*, wybrać oś wokół której będą obrócone osie oraz zdefiniować kąt obrotu. Osie definiowane w sposób relatywny obracane są względem punktu wstawienia.

W górnej części okna dialogowego znajduje się lista zdefiniowanych zestawów osi konstrukcji. Definicję nowego zestawu rozpoczyna podanie nazwy zestawu w polu *Nazwa* (domyślna nazwa zestawu to *Osie konstrukcji*); nazwa nowego zestawu dopisywana jest do listy zdefiniowanych osi konstrukcji.

W dolnej części okna dialogowego znajduje się klawisz **Menedżer osi**. Jego naciśnięcie powoduje otwarcie okna dialogowego **Menedżer osi konstrukcji**. W tej części okna dialogowego znajduje się również klawisz **Nowy**. Jego naciśnięcie umożliwia definicję nazwy nowego zestawu osi konstrukcji.



Opcje znajdujące się w powyższym oknie dialogowym pozwalają na zarządzanie zestawami osi konstrukcyjnych. W górnej części okna dialogowego znajdują się zdefiniowane siatki osi konstrukcyjnych - są identyfikowane poprzez nazwy nadane podczas tworzenia osi konstrukcji.

Po włączeniu zestawu osi konstrukcji (pojawia się symbol \checkmark) i naciśnięciu klawisza **OK**, osie konstrukcji tego zestawu będą widoczne na ekranie. Wyłączenie zestawu osi (znika symbol \checkmark) i naciśnięcie klawisza **OK** powoduje, że osie tego zestawu nie są widoczne na ekranie.

W dolnej części okna dialogowego znajdują się dwa klawisze:

- **Usuń** - naciśnięcie tego klawisza powoduje usunięcie wybranego zestawu osi konstrukcji
- **Usuń wszystkie** - naciśnięcie tego klawisza powoduje usunięcie wszystkich zestawów osi konstrukcji dostępnych w oknie dialogowym.

Ograniczamy się do siatki prostokątnej (w płaszczyźnie ZX dla konstrukcji płaskich, w płaszczyźnie XY dla konstrukcji przestrzennych z kierunkiem Z jako wysokością konstrukcji). Jeżeli definiujemy poziomy to dla każdego poziomu tworzona jest taka sama siatka osi jak siatka zdefiniowana w płaszczyźnie XY.

W oknie dialogowym **Osie konstrukcji** można wyróżnić 3 zakładki, które definiują kolejno:

- osie pionowe (w płaszczyźnie YZ wybór współrzędnych X)
- poziomy (w płaszczyźnie XY wybór współrzędnych Z)
- osie poziome (w płaszczyźnie XZ wybór współrzędnych Y).

W przypadku konstrukcji płaskich (rama 2D i krata 2D) aktywne są tylko dwie pierwsze zakładki, natomiast dla rusztów - pierwsza i trzecia. W przypadku siatek cylindrycznych w górnej części okna dialogowego dostępne są następujące zakładki: *Radialnie*, *Kątowo* i *Z* (ostatnia zakładka jest dostępna tylko dla konstrukcji 3D).

Poszczególne zakładki są identyczne. Proces definiowania poziomów, osi poziomych i pionowych jest identyczny. Użytkownik wypełnia pola edycyjne: POZYCJA, LICZBA POWTÓRZEŃ i ROZSTAW. Aby wygenerować tak zdefiniowane osie/poziomy, należy nacisnąć klawisz **Wstaw**. Utworzone osie/poziomy zostaną dopisane do listy, w której w kolejnych kolumnach będą wpisywane: nazwa osi/poziomu (etykieta) oraz pozycja w globalnym układzie współrzędnych.

W przypadku definicji osi za pomocą opcji *Osie dowolne* należy wybrać typ osi: *odcinek*, *półprosta* lub *prosta*. Następnie należy zdefiniować dwa punkty definiujące oś. Jeżeli punkty są definiowane graficznie za pomocą myszy, to oś jest automatycznie dopisywana do listy utworzonych osi konstrukcji. Jeżeli użytkownik wpisuje współrzędne punktów w oknie dialogowym, to aby oś została dopisana do listy osi, należy nacisnąć klawisz **Wstaw**.

Jeżeli wybrana jest opcja *Osie dowolne*, to w górnej części okna dialogowego znajduje się dodatkowy klawisz **Utwórz osie z wybranych prętów/linii**. Naciśnięcie tego klawisza powoduje utworzenie osi konstrukcji na podstawie wyselekcjonowanych w modelu konstrukcji prętów i linii (krawędzi utworzonych obiektów 2D lub 3D).

Nazwę osi można wybrać w polu *Numeracja*; domyślnie dla osi pionowych nazwy są A,B,C..., a dla poziomów/osi poziomych 1,2,3 Istnieje również możliwość definiowania własnej numeracji poziomów/osi. Aby tego dokonać, należy:

- określić położenie osi/poziomu
- w polu *Numeracja* wybrać opcję *Definiuj*
- w polu znajdującym się w dolnej części okna dialogowego (jest dostępne dopiero po wybraniu opcji *Definiuj*) podać opis definiowanej osi/poziomu; przykładowo po wpisaniu nazwy *Poziom* generowane będą nazwy *Poziom1*, *Poziom2*...
- nacisnąć klawisz **Wstaw**.

Dodatkowo istnieje możliwość nadania nazwy osi konstrukcji (w szczególności nazw osi w kierunku osi Z - kondygnacji konstrukcji) odpowiadającej położeniu osi konstrukcji np. 4.0, 6.5 itp. Aby tego dokonać, należy z listy *Numeracja* wybrać opcję *Wartość*. Zmienna %v, która służy do generacji nazwy osi zależnie od jej położenia, może zostać także użyta w definicji własnej nazwy poziomów.

Aby usunąć dowolną oś/poziom, należy podświetlić wybraną oś/poziom znajdującą się na liście i nacisnąć klawisz **Usuń**. Gdy użytkownik chce usunąć wszystkie osie/poziomy, to powinien kliknąć klawisz **Usuń wszystkie**.

Naciśnięcie klawisza **Wyróżnij** powoduje wyróżnienie (oś przedstawiona jest grubą kreską) wybranej osi na liście zdefiniowanych osi konstrukcji. W tabeli przy wyróżnionej osi pojawia się symbol "X".

Osie znajdujące się na liście są zawsze wyświetlane w porządku alfabetycznym, odpowiadającym narastającej współrzędnej definiującej osie.


Położenie kartezjańskich osi konstrukcyjnych może być modyfikowane wraz ze wszystkimi częściami konstrukcji leżącymi na niej. Aby rozpocząć modyfikację osi konstrukcji, należy umieścić kursor na opisie osi (opis zostanie podświetlony), a następnie po naciśnięciu prawego klawisza myszki wybrać opcję *Właściwości obiektu* z menu kontekstowego.

W programie istnieje również możliwość wyboru elementów konstrukcji przy pomocy zdefiniowanej siatki osi konstrukcji. Opcja służąca temu celowi dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Edycja / Zaznacz specjalnie / Osiami konstrukcji*.

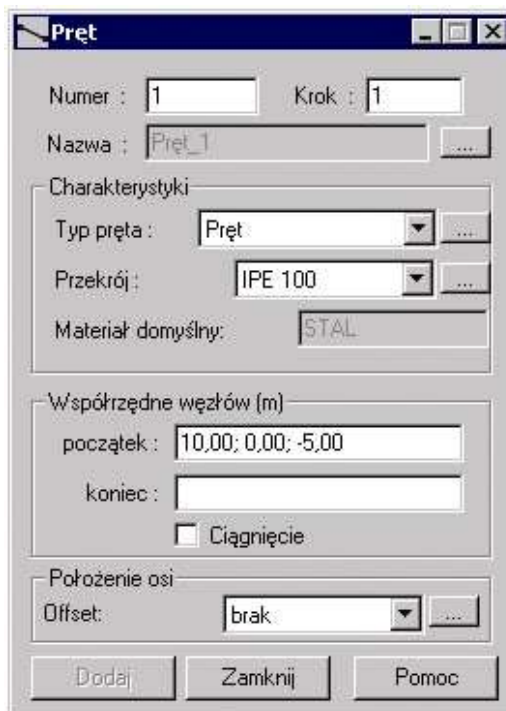
3.3. Model konstrukcji - elementy prętowe

3.3.1. Węzły, pręty

Definicja geometrii modelu konstrukcji prętowej polega na określeniu położenia węzłów i prętów konstrukcji oraz charakterystyk prętów. Oddzielna definicja węzłów nie jest konieczna; definicja pręta powoduje jednocześnie utworzenie początkowego i końcowego węzła pręta. Z tego powodu opisany zostanie sposób definiowania prętów. Można tego dokonać poprzez:

- wybranie komendy menu *Geometria / Pręty*
- naciśnięcie ikony  z paska narzędzi *Definicja konstrukcji*
- wybranie ekranu **PRĘTY** (w przypadku ekranu **WĘZŁY** i **PRĘTY** ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: edytor graficzny umożliwiający definiowanie konstrukcji, okno dialogowe *Węzeł* lub *Pręt* oraz tabela pokazująca zdefiniowane węzły lub pręty konstrukcji).

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno dialogowe.



Okno dialogowe "Pręt" zawiera następujące pola i przyciski:

- Numer : 1 Krok : 1
- Nazwa : Pręt_1
- Charakterystyki:
 - Typ pręta : Pręt
 - Przekrój : IPE 100
 - Materiał domyślny : STAL
- Współrzędne węzłów (m):
 - początek : 10,00; 0,00; -5,00
 - koniec :
 - Ciągnięcie
- Położenie osi:
 - Offset : brak
- Przyciski: Dodaj, Zamknij, Pomoc

Oprócz informacji o numerze, początkowym i końcowym węźle pręta w powyższym oknie dialogowym istnieje możliwość podania następujących, dodatkowych informacji o charakterystyce pręta:

- typ pręta - wykorzystywany podczas obliczeń normowych prętów konstrukcji (wymiarowanie, weryfikacja prętów konstrukcji ze względu na warunki normowe)
- przekrój poprzeczny pręta (profil)
- materiał domyślny (to pole nie jest dostępne; prezentowany jest w nim materiał zdefiniowany dla wybranego profilu pręta).

Dodatkowo w górnej części okna dialogowego znajduje się niedostępne pole *Nazwa* zawierające podgląd nazwy utworzonej zgodnie z wybraną składnią w oknie dialogowym **Nazwy prętów / obiektów**. Domyślnie składnia nazwy pręta jest określona przez zmienne: %t_%n i %t_%s, gdzie: %t - nazwa typu pręta
%n - numer obiektu

%s - nazwa przekroju dla pręta lub grubości dla panela.

Dodatkowo mogą być również wykorzystane następujące zmienne:

%i - numer węzła początkowego pręta

%j - numer węzła końcowego pręta %m -

nazwa materiału dla pręta lub panela.

Naciśnięcie klawisza (...) znajdującego się na prawo od pola *Nazwa* powoduje otwarcie okna dialogowego **Nazwy prętów/obiektów**, w którym zdefiniowana może zostać nowa składnia nazwy prętów.

*UWAGA: W górnej części okna dialogowego znajdują się dwa klawisze (...) (na prawo od pól wyboru: Typ pręta i Przekrój). Ich naciśnięcie powoduje otwarcie odpowiednio okna dialogowego **Nowy typ pręta** lub **Nowy profil**, w których określony może zostać nowy typ pręta lub nowy profil. Zdefiniowane typy pręta lub profili dodawane są odpowiednio do list aktywnych typów prętów lub profili.*

W dolnej części okna dialogowego znajduje się pole *Położenie osi*; znajdująca się w nim lista wyboru *Offset* pozwala na wybór typu offsetu, czyli przesunięcia środka przekroju poprzecznego profilu w stosunku do osi pręta. Należy tu dodać, że jeśli offset zostanie przypisany do pręta, to nie zmieni się on po zmianie profilu pręta. Domyślnie na liście dostępne są następujące typy offsetów: *półka górna* i *półka dolna*. Są one zdefiniowane w układzie lokalnym względem wymiaru przekroju; oznacza to, że przykładowo wybranie offsetu *półka górna* powoduje przesunięcie osi pręta do środka górnej krawędzi profilu, niezależnie od tego jaki będzie przekrój poprzeczny pręta. Naciśnięcie klawisza (...) powoduje otwarcie okna dialogowego **Nowy offset**, w którym określony może zostać nowy typ offsetu.

Zdefiniowany typ offsetu dodawany jest do listy aktywnych typów offsetów.

Definicja elementu prętowego w konstrukcji może odbywać się na kilka wymienionych poniżej sposobów:

1. wpisanie numeru pręta oraz współrzędnych jego początku i końca w oknie dialogowym (ewentualnie wybranie charakterystyk pręta) i naciśnięcie klawisza **Dodaj**
2. kliknięcie lewym klawiszem myszki w pole *Początek*, przejście na ekran graficzny i kliknięcie lewym klawiszem myszki w punkt oznaczający początek elementu prętowego, a następnie w punkt będący końcem elementu prętowego
3. metoda łącząca dwa opisane powyżej podejścia; połączenie sposobu "tekstowego" i "graficznego".

W programie dostępne są również dwie opcje: *Właściwości węzła* i *Właściwości pręta*.

Opcja *Właściwości węzła* służy do prezentacji podstawowych danych oraz rezultatów obliczeń dla pojedynczego węzła konstrukcji. W oknie dialogowym **Właściwości węzła** nie ma możliwości modyfikacji parametrów węzła.

*UWAGA: Prezentacja parametrów jest możliwa tylko dla jednego węzła. Jeżeli na widoku konstrukcji wyselekcjonowanych jest kilka węzłów, to w oknie dialogowym **Właściwości węzła** prezentowane będą informacje dotyczące węzła o najmniejszym numerze.*

Opcja dostępna jest po podświetleniu (selekcji) węzła konstrukcji:

- z menu poprzez wybranie komendy *Rezultaty / Właściwości / Właściwości węzła*
- z menu kontekstowego (otwieranego w oknie graficznym poprzez naciśnięcie prawym klawiszem myszki) poprzez wybranie komendy *Właściwości obiektu*.

Na belce okna dialogowego obok nazwy okna (**Właściwości węzła**) prezentowane są następujące informacje:

- numer wyselekcjonowanego węzła
- numer i nazwa wybranego przypadku obciążeniowego.

Okno dialogowe **Właściwości węzła** składa się z trzech zakładek: *Geometria*, *Przemieszczenia* i *Reakcje*.



Pole edycyjne *Węzeł nr* pozwala na wybranie węzła:

- graficznie poprzez kliknięcie na węzeł konstrukcji
- wpisując numer węzła w polu edycyjnym.

UWAGA: Nie jest możliwa edycja numeru pręta w tym oknie dialogowym.

W dolnej części okna dialogowego oprócz standardowych klawiszy (**Zamknij**, **Pomoc**) znajduje się również klawisz **Wydruk**. Jego naciśnięcie powoduje generację notki obliczeniowej zawierającej informacje o wybranym węźle konstrukcji.

Na zakładce *Geometria* prezentowanej na powyższym rysunku podawane są podstawowe informacje dotyczące wybranego węzła. Na pozostałych zakładkach poza numerem węzła prezentowane są wartości przemieszczeń lub reakcji obliczone dla wybranego węzła i przypadku obciążenia. Przemieszczenia lub reakcje prezentowane są w formie tabelarycznej. Jeżeli aktywna selekcja zawiera więcej niż jeden przypadek, to w tabeli pokazywane są ekstremalne wartości przemieszczeń.

UWAGA: Liczba kolumn w tabeli przemieszczeń lub reakcji jest zależna od liczby węzłowych stopni swobody dla wybranego typu konstrukcji.

Opcja *Właściwości pręta* służy do prezentacji podstawowych danych oraz rezultatów obliczeń dla pojedynczego pręta konstrukcji. W oknie dialogowym prezentującym właściwości pręta istnieje możliwość modyfikacji niektórych charakterystyk pręta (typ, przekrój, materiał).

UWAGA: Prezentacja parametrów jest możliwa tylko dla jednego pręta.

Opcja dostępna jest po podświetleniu (selekcji) pręta:

- z menu poprzez wybranie komendy *Rezultaty / Właściwości / Właściwości pręta*
- z menu kontekstowego (otwieranego w oknie graficznym poprzez naciśnięcie prawym klawiszem myszki) poprzez wybranie komendy *Właściwości obiektu*.

W dolnej części okna dialogowego oprócz standardowych klawiszy (**Zastosuj**, **Zamknij**, **Pomoc**) znajduje się również klawisz **Wydruk**. Jego naciśnięcie powoduje generację notki obliczeniowej zawierającej informacje o wybranym pręcie konstrukcji.

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się okno dialogowe, w którym może znajdować się pięć zakładek: *Geometria*, *Charakterystyki*, *NTM*, *Przemieszczenia* i *Weryfikacja*. Na pierwszych dwóch zakładkach podawane są ogólne informacje dotyczące geometrii pręta i charakterystyk przekroju poprzecznego pręta. Na zakładkach *NTM* i *Przemieszczenia* w górnej części okna dialogowego znajduje się wykres wybranej w polu *Wykres* wielkości. Na wykresie prezentowany może być wykres tylko jednej wielkości. Dostępne są wykresy następujących wielkości: sił FX, FY i FZ, momentów MX, MY, MZ, naprężeń Smax i Smin oraz przemieszczeń. Wykresy zostaną przerysowane, jeżeli zmieniony zostanie przypadek obciążenia konstrukcji.

UWAGA: Liczba dostępnych wielkości jest zależna od typu konstrukcji.

Opcje dostępne na zakładce *Weryfikacja* w oknie dialogowym **Właściwości pręta** służą do szybkiej weryfikacji nośności profilu pręta.

UWAGA: Jeżeli nie zostały wykonane obliczenia konstrukcji (na belce widoku konstrukcji wyświetlana jest informacja: Wyniki MES: brak albo nieaktualne), to zakładka nie jest dostępna.


Zawartość zakładki *Weryfikacja* zależy od typu wybranego pręta: inne wielkości są prezentowane dla pręta stalowego, aluminiowego i drewnianego, a inne dla pręta żelbetowego (obliczanie teoretycznej powierzchni zbrojenia). W tabeli prezentowane mogą być albo wartości wybranej wielkości (np. przemieszczenia), albo wartości ekstremalne wybranej wielkości.

Jeżeli kursor myszki zostanie ustawiony w polu tabeli *w punkcie*, a następnie przemieszczony zostanie na wykres wybranej wielkości znajdujący się w górnej części okna dialogowego, to pojawia się pionowa linia umożliwiającą zdefiniowanie wartości współrzędnej, dla której prezentowane będą wartości w tabeli. Jeżeli kursor myszki zostanie ustawiony w polu tabeli *dla pręta*, a następnie przemieszczony zostanie na widok konstrukcji, to wskazanie kursorem innego pręta powoduje uaktualnienie zawartości okna dialogowego **Właściwości pręta** do aktualnej selekcji.

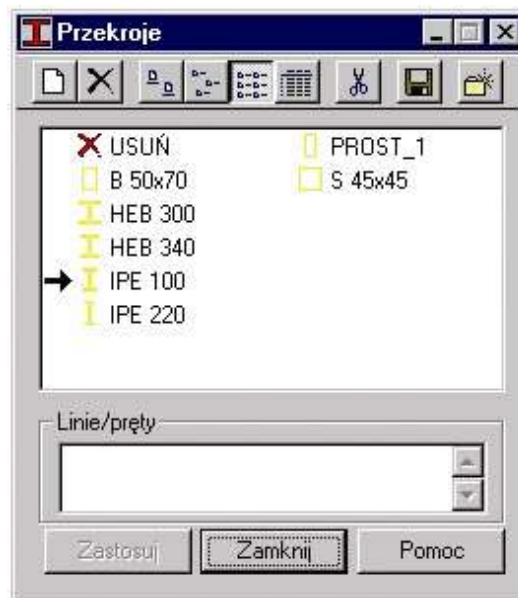
3.3.2. Profile prętów

Po zdefiniowaniu geometrii konstrukcji należy określić profile prętów konstrukcji (jeśli nie zostały jeszcze zdefiniowane przy definicji prętów konstrukcji). Można tego dokonać poprzez:

- wybranie typu profilu w oknie dialogowym **Pręty** w polu *Przekrój*

- wybranie komendy menu *Geometria / Charakterystyki / Profile prętów*
- naciśnięcie ikony 
- wybranie ekranu **PRZEKROJE I MATERIAŁY**.








Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno.



Powyższe okno składa się z trzech zasadniczych części:

- w górnej części okna znajduje się kilka ikon
- poniżej znajduje się pole aktywnej listy profili
- w dolnej części znajduje się pole aktualnej selekcji oraz standardowe klawisze.

W górnej części okna znajdują się następujące ikony:

- =  - umożliwia dodanie nowego typu profilu
- =  - umożliwia wybór profilu z bazy profili
- =  - umożliwia usunięcie z aktywnej listy profili wybranego typu profilu
- =  - umożliwiają wyświetlanie listy aktywnych profili jako: dużych ikon, małych ikon, krótkiej listy oraz pełnej listy
- =  - umożliwia usunięcie z aktywnej listy profili nie występujących w danym przykładzie profili prętów
- =  - umożliwia zapis podświetlonego na aktywnej liście profilu do bazy profili. Na ekranie pojawia się okno dialogowe **Zapis do bazy**, w którym wybrana może zostać przez użytkownika baza danych do której profil zostanie zapisany.
- =  - umożliwia otwarcie okna dialogowego **Biblioteka charakterystyk**.

Przy nadawaniu profili prętom zdefiniowanym w konstrukcji opiszemy ogólną metodę nadawania dowolnych atrybutów w konstrukcji (podpory, offsety, typ pręta itp.). Jest ona taka sama we wszystkich przypadkach. Proces nadawania profili (atrybutów) prętom konstrukcji został podzielony na dwa etapy:

◆ **definiowanie typu profilu (typu atrybutu)**

Jeżeli w aktywnej liście profili nie ma zdefiniowanego żadnego typu profilu lub gdy do istniejącej listy profili dodany ma zostać profil, to należy kliknąć ikonę *Nowy przekrój*. Możliwe są wtedy dwie sytuacje:

- jeżeli nie jest podświetlony żaden typ przekroju, to kliknięcie w ikonę *Nowy przekrój* powoduje otwarcie okna dialogowego służącego do definiowania nowego typu profilu; włączona zostanie pierwsza zakładka, w której pola są wypełnione tak jak podczas ostatniej definicji profilu (oprócz pola *Etykieta*) lub przyjmowane są parametry domyślne,
- jeżeli jakiś profil jest podświetlony, to kliknięcie w ikonę *Nowy przekrój* powoduje otwarcie okna dialogowego służącego do definiowania nowego typu profilu; włączona zostaje zakładka odpowiadająca typowi podświetlonego przekroju. Wszystkie pola edycyjne, oprócz pola *Etykieta*, zostają wypełnione na podstawie podświetlonego typu.

◆ **Nadawanie profilu prętom konstrukcji**

Nadanie profilu prętom konstrukcji może być dokonane na kilka sposobów (przyjęte jest w tym miejscu założenie, że na liście aktywnych typów profili znajduje się co najmniej jeden typ):

- jeżeli przed otwarciem okna **Przekroje** nie dokonano żadnej selekcji, to aby nadać profil, należy podświetlić znajdujący się w aktywnej liście wybrany typ profilu, a następnie przejść z kursorem myszy na ekran graficzny i wskazać pręt (kliknąć lewym klawiszem myszki), któremu ma zostać nadany profil. Po takim kliknięciu profil jest już nadany; nadawany typ profilu jest wyróżniany na liście aktywnej (pojawia się strzałka z lewej strony symbolu profilu); podczas obecności kursora poza obszarem okna dialogowego (na obszarze ekranu graficznego) jego postać zmienia się na kursor z ikoną nadawanego profilu; po przejściu z okna dialogowego na ekran podświetlany również będzie w przypadku profili (ogólnie nadawania dowolnego atrybutu obiektom) pręt konstrukcji, w pobliżu którego umiejscowimy kursor myszy
- jeżeli przed otwarciem okna **Przekroje** dokonano selekcji, to po otwarciu okna dialogowego profili lista z tą selekcją jest wpisywana do pola grupy *Linie/pręty*; aby nadać odpowiedni typ profilu prętom z listy selekcji, należy podświetlić odpowiedni typ profilu znajdujący się w aktywnej liście, a następnie nacisnąć klawisz **ENTER** lub klawisz **Zastosuj**. Po wykonaniu tej operacji profil jest nadany (UWAGA: wyselekcjonowana lista prętów znika z pola edycyjnego *Linie/pręty*),
- jeżeli przed otwarciem okna **Przekroje** nie dokonano żadnej selekcji, natomiast konieczne jest jej dokonanie już z otwartym oknem dialogowym, to najpierw uaktywnione musi zostać pole edycyjne *Linie/pręty* poprzez umieszczenie w nim kursora. Jeżeli kursor myszy zostanie przemieszczony poza obszar okna dialogowego (w obszar ekranu graficznego), to będzie on w trybie selekcji. Użytkownik będzie mógł w tym momencie dokonać selekcji dowolnych prętów wchodzących w skład konstrukcji, a numery wybieranych prętów pojawią się w polu edycyjnym *Linie/pręty*. Aby nadać odpowiedni typ profilu prętom z listy właśnie dokonanej selekcji, podświetlony musi zostać odpowiedni typ profilu znajdujący się w aktywnej liście; następnie należy nacisnąć klawisz **ENTER** lub klawisz **Zastosuj**. Po wykonaniu tej operacji profile zostaną nadane (UWAGA: wyselekcjonowana lista prętów znika z pola edycyjnego *Linie/pręty*).

Aby usunąć profil nadany prętowi konstrukcji, należy użyć tzw. profilu zerowego (ikona USUŃ), który zawsze znajduje się na aktywnej liście profili w oknie dialogowym **Przekroje**. Profilu zerowego nie można modyfikować; sposób nadania jest identyczny z procedurą nadawania profilu prętom konstrukcji.

3.3.2.1. Nowy przekrój

Pokazane poniżej okno dialogowe **Nowy przekrój** jest otwierane na zakładce odpowiadającej typowi profilu wraz z wypełnionymi wszystkimi polami edycyjnymi zgodnie z typem profilu, który wybrał użytkownik. Po dokonaniu odpowiednich modyfikacji parametrów profilu jest on dodawany (uaktualniany) do aktywnej listy poprzez kliknięcie w klawisz **Dodaj** lub naciśnięcie klawisza **Enter**. Jeżeli etykieta nie zostanie zmieniona, to również jak przy tworzeniu nowego profilu, pojawi się ostrzeżenie. Ta opcja w oknie

dialogowym umożliwia łatwą modyfikację przekroju. Okno dialogowe posiada następujących zakładek: *Standardowy*, *Parametryczny*, *O zmiennym przekroju*, *Złożony*, *Specjalny* i *A_x*, *I_y*, *I_z*.

Zakładka *Standardowy* służy do definiowania/wyboru profili z baz danych (standardowych katalogów profili). Zakładka *Parametryczny* służy do definiowania/wyboru profili tworzonych przez użytkownika. Zakładka *O zmiennym przekroju* służy do definiowania/wyboru profili tworzonych przez użytkownika (profile te charakteryzują się zmiennym wzdłuż długości pręta przekrojem).

Zakładka *Złożony* służy do definiowania/wyboru profili złożonych (wielogałęziowych). Przekroje złożone składają się z dwóch lub więcej gałęzi połączonych przewiązkami lub skratowaniem. Przekroje takie wykorzystywane są jako profile trzonu słupów (ceowniki, dwuteowniki, kątowniki) oraz profile prętów kratownic (najczęściej zestawy kątowników). Weryfikacja normowa nośności przekrojów złożonych przebiega analogicznie jak dla profili pełnościennych biorąc pod uwagę zastępczą sztywność. Zastępcza sztywność uwzględnia wpływ przewiązek oraz smukłość pojedynczej gałęzi. Podczas weryfikacji sprawdzona musi również zostać nośność samych przewiązek lub skratowania (patrz rozdział 6.1 - Wymiarowanie stali).

Zakładka *Specjalny* służy do definiowania profili specjalnych (profile o falistym środniku, profile ażurowe). Profile z falistym środnikiem są to dwuteowniki o cienkościennych, faliście wyprofilowanych środnikach:

- z rodziny profili SIN
- o wymiarach zdefiniowanych przez użytkownika.

Profile ażurowe wytwarzane są przez zespawanie rozciętych podłużnie środników profili walcowanych (dwuteowników walcowanych dostępnych w bazach profili). Dostępne są dwa typy profili: - z otworami w kształcie sześciokąta - z otworami okrągłymi.

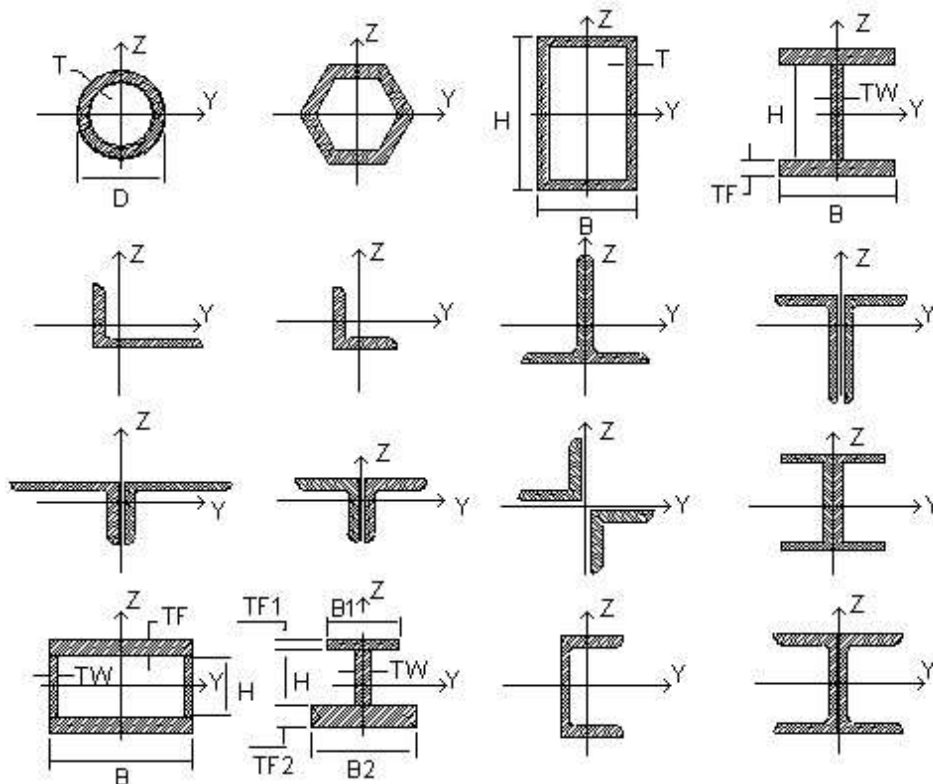
Należy tutaj dodać, że nie wszystkie pręty o profilach specjalnych są wymiarowane w modułach wymiarowania stali/aluminium. Pręty o falistym środniku mogą być wymiarowane jedynie według polskiej normy stalowej, natomiast pręty ażurowe nie są obecnie wymiarowane w modułach programu **Robot**.

Zakładka *A_x*, *I_y*, *I_z* służy do definiowania profili poprzez podanie wartości charakterystycznych wielkości geometrycznych przekroju (powierzchnia przekroju poprzecznego, momenty bezwładności, wskaźniki wytrzymałości itp.).



UWAGA: W oknach dialogowych, w których występuje duża liczba zakładek, dodana jest obsługa zakładek przy pomocy listy dostępnej z boku okna dialogowego (patrz powyższy rysunek).

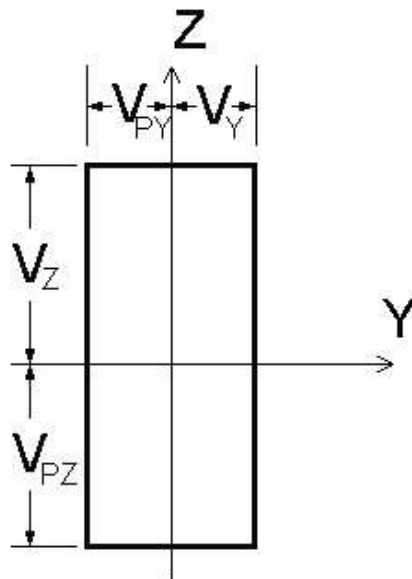
Domyślna orientacja profili standardowych w programie pokazana jest na poniższym rysunku.



Podstawowe charakterystyki geometryczne przekrojów

- AX - pole powierzchni przekroju poprzecznego
- AY - zredukowane pole powierzchni przekroju wzdłuż osi Y (przy uwzględnianiu wpływu sił ścinających)
- AZ - zredukowane pole powierzchni przekroju wzdłuż osi Z (przy uwzględnianiu wpływu sił ścinających)
- IX - moment bezwładności na skręcanie
- IY - moment bezwładności względem osi Y
- Iz - moment bezwładności względem osi Z
- VY - odległość najbardziej oddalonych włókien od osi Z (w kierunku dodatnim osi Y)
- VPY - odległość najbardziej oddalonych włókien od osi Z (w kierunku ujemnym osi Y)
- VZ - odległość najbardziej oddalonych włókien od osi Y (w kierunku dodatnim osi Z)
- VPZ - odległość najbardziej oddalonych włókien od osi Y (w kierunku ujemnym osi Y)
- Wx - wskaźnik wytrzymałości na skręcanie
- WY - wskaźnik wytrzymałości na ścinanie
- Wz - wskaźnik wytrzymałości na ścinanie.

Pozostałe charakterystyki mogą być definiowane, jeżeli wymagają tego warunki projektowania konstrukcji. Przykładowo jeżeli użytkownik chciałby uzyskać naprężenia, to powinien podać parametry VY, VPY, VZ i VPZ. Rysunek poniżej przedstawia graficznie definicję tych parametrów.



UWAGA: Opis przedstawiany poniżej oraz opis wszystkich zakładek dotyczy przekrojów stalowych (podobny wygląd zakładek jest dla profili drewnianych i aluminiowych). Jeżeli wybrany zostanie w oknie dialogowym **Przekroje** typ przekroju betonowy (np. słup żelbetowy lub belka żelbetowa), okno dialogowe **Nowy przekrój** będzie miało inny wygląd (patrz opis dostępny po opisie profili stalowych). Dostępne typy przekrojów poprzecznych:

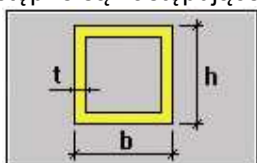
Słupy żelbetowe (typ profilu - belka żelbetowa): prostokątny, teowy, o kształcie L, o kształcie Z, o kształcie wielokąta foremnego, kołowy, 1/2 koła, 1/4 koła
Belki żelbetowe / ławy (typ profilu - belka żelbetowa): prostokątny, teowy, dwuteowy.

PROFILE STALOWE

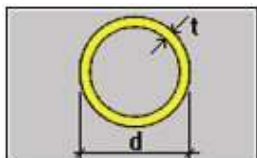
Zakładka *Standardowy* służy do definiowania/wyboru profili z baz danych (standardowych katalogów profili) np. z katalogu Rpln - katalogu polskich profili walcowanych.

Zakładka *Parametryczny* służy do definiowania/wyboru profili tworzonych przez użytkownika.

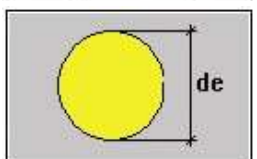
Dostępne są następujące typy profili (wraz z wymiarami, które należy zdefiniować):



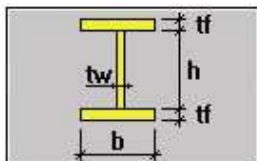
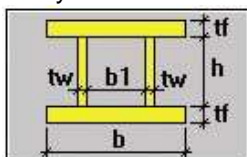
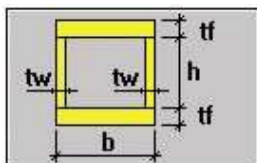
prostokątny



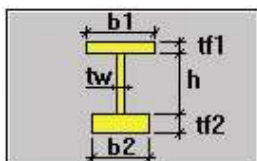
rurowy



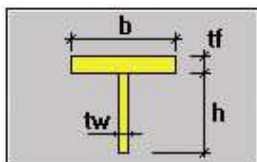
kołowy



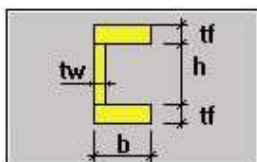
dwuteownik o dwóch osiach symetrii



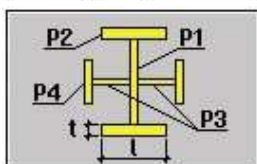
dwuteownik o jednej osi symetrii



teownik

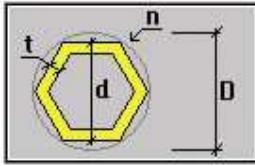


ceownik



przekrój krzyżowy

skrzynkowy (2 typy)



o kształcie wielokąta foremego; należy podać liczbę boków wielokąta oraz wartość średnicy okręgu wpisanego lub opisanego na zewnętrznej konturze wielokąta; zależność pomiędzy średnicami wymienionych okręgów można przedstawić następującym wzorem (patrz również poniższy rysunek): $d = D \cdot \cos(\pi / n)$, gdzie $\alpha = \pi / n$, $R = D / 2$ (promień okręgu opisanego na zewnętrznej konturze wielokąta - średnica zewnętrzna), $r = d / 2$ (promień okręgu wpisanego w zewnętrzny kontur wielokąta - średnica wewnętrzna).

UWAGA: Jeżeli tworzony ma być pełny przekrój okrągły lub prostokątny, to należy przyjąć grubość ścianki $T = 0$.

Zakładka *O zmiennym przekroju* służy do definiowania/wyboru profili tworzonych przez użytkownika (profile te charakteryzują się zmiennym wzdłuż długości pręta przekrojem).

Dostępne te same typy profili co na zakładce *Parametryczny* oprócz profilu kołowego i krzyżowego. Wymiary przekroju są definiowane dla punktu początkowego i końcowego profilu.

Zakładka *Złożony* służy do definiowania/wyboru profili złożonych (wielogałęziowych). Przekroje złożone składają się z dwóch lub więcej gałęzi połączonych przewiązkami lub skratowaniem. Dostępne są następujące typy profili (wraz z wymiarami, które należy zdefiniować):

UWAGA: Profile mogą być łączone ze sobą: przewiązkami lub za pomocą spoin.

Dwa ceowniki zestawione:

	Połączenie przewiązkami	Połączenie spoinami
półkami:		
plecami:		

Dwa dwuteowniki:

Połączenie przewiązkami	Połączenie spoinami

Ceownik i dwuteownik zestawione:

Połączenie przewiązkami	Połączenie spoinami

półkami:		
plecami:		

Dwuteownik i dwa kątowniki:

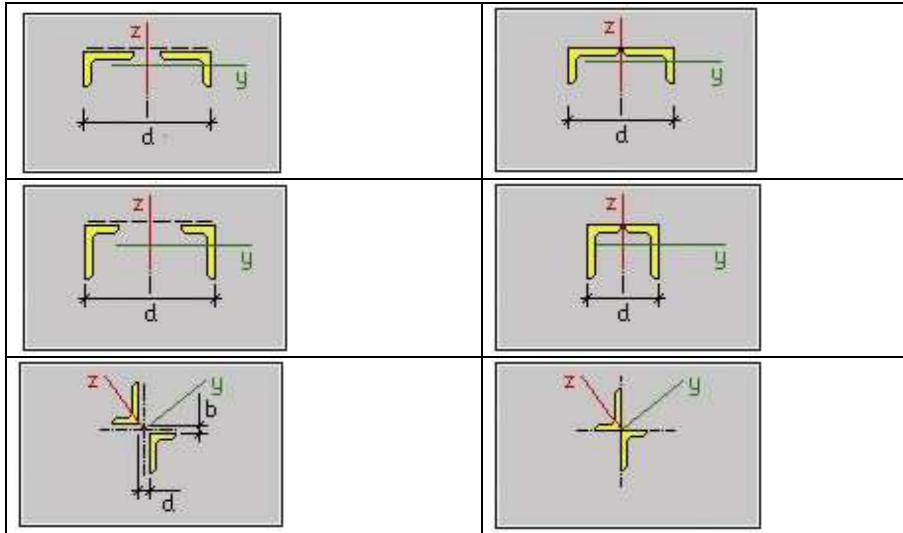
Połączenie przewiązkami	Połączenie spoinami

Cztery kątowniki:

Połączenie przewiązkami	Połączenie spoinami

Dwa kątowniki:

Połączenie przewiązkami	Połączenie spoinami



Zakładka *Specjalny* służy do definiowania profili specjalnych (profile o falistym środniku, profile ażurowe, profile spawane: SFB, IFBA i IFBB).

Profile z falistym środnikiem są to dwuteowniki o cienkościennych, faliście wyprofilowanych środnikach:
 - z rodziny profili SIN
 - o wymiarach zdefiniowanych przez użytkownika.

Dla profilu z falistym środnikiem można określić: - z bazy: standardowe profile, o jednakowych pasach ($b_1=b_2$, $tf_1= tf_2$) i następujących symbolach grubości środnika:

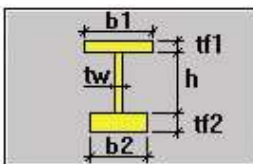
A - 2 mm (standardowa etykieta profilu: WTA ...)

B - 2,5mm (standardowa etykieta profilu: WTB ...)

C - 3 mm (standardowa etykieta profilu: WTC ...)

Wszystkie wymiary są wymiarami z rodziny profili SIN, dlatego też pola edycyjne do definicji wymiarów nie są dostępne

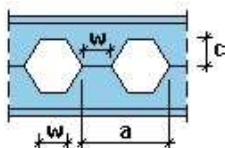
- o wartościach zdefiniowanych przez użytkownika:



S (standardowa etykieta profilu: WTS ...) tw - grubość środnika h - wysokość środnika b_1 - szerokość pasa górnego tf_1 - grubość półki górnej b_2 - szerokość półki dolnej tf_2 - grubość półki dolnej dodatkowo przy obliczeniach charakterystyk profilu wykorzystywane są zmienne: f - amplituda fali m - długość rzutu fali
 s - długość rozwinięcia fali

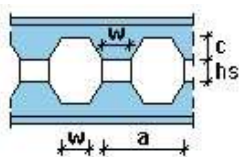
Profile ażurowe wytwarzane są przez zespawanie rozciętych podłużnie środników profili walcowanych (dwuteowników walcowanych dostępnych w bazach profili). Dostępne są dwa typy profili: - z otworami w kształcie sześciokąta - z otworami okrągłymi.

Dostępne są następujące typy profili:



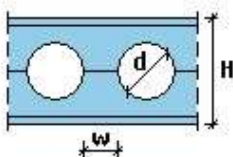
otwory

sześciokątne: c - podwyższenie przekroju w - odstęp między otworami a - rozstaw otworów



otwory sześciokątne z dodatkowym podwyższeniem:

c - podwyższenie przekroju w - odstęp między otworami h_s - wysokość dodatkowej wkładki a - rozstaw otworów



otwory kołowe:

d - średnica otworów w - odstęp między otworami H - wysokość przekroju.



Profile SFB składają się z dwuteownika wybranego z bazy profili i blachy o następujących wymiarach:

- szerokość blachy b - grubość blachy t .



Profile IFBA składają się z części dwuteownika wybranego z bazy profili i blachy stanowiącej półkę dolną profilu o następujących wymiarach:

- szerokość blachy b_p - grubość blachy t_p .



Profile IFBB składają się z części dwuteownika wybranego z bazy profili i blachy stanowiącej półkę górną profilu o następujących wymiarach:

- szerokość blachy b_p - grubość blachy t_p .

Pręty o profilach SFB, IFBA i IFBB nie są obecnie wymiarowane w modułach programu **Robot**.

Zakładka A_x , I_y , I_z służy do definiowania profili poprzez podanie wartości charakterystycznych wielkości geometrycznych przekroju (powierzchnia przekroju poprzecznego, momenty bezwładności, itp.).

PROFILE BETONOWE

Przykładowo dla belki żelbetowej okno dialogowe **Nowy przekrój** przybiera postać pokazaną na poniższym rysunku.



W przedstawionym powyżej oknie użytkownik może:

- wybrać typu przekroju belki (prostokątny, teowy, dwuteowy, teowy z obniżonymi półkami) i określić wymiary przekroju
- podać nazwę przekroju; domyślnie wpisywana jest nazwa przekroju złożona z kilku liter oznaczających typ przekroju oraz wymiarów przekroju poprzecznego
- wybrać kolor przekroju.

Użytkownik ma do wyboru jeden z czterech typów przekroju belki/ławy: prostokątny, teowy, dwuteowy oraz teowy z obniżonymi półkami. W zależności od wyboru przekroju, w oknie dialogowym prezentowane są parametry określające wybrany typ przekroju. Okno dialogowe prezentowane powyżej określa parametry dla przekroju prostokątnego. Podobne opcje znajdują się w oknie, gdy wybrany zostanie przekrój teowy. Po wybraniu przekroju teowego z obniżonymi półkami w oknie dialogowym pojawiają się dodatkowe zakładki: *Płyty* i *Wcięcia*.

Włączenie opcji *Zastosuj zmienny przekrój* daje możliwość nadania liniowo zmiennego przekroju poprzecznego belki poprzez podanie w polu h_2 - wartości będącej odpowiednikiem wysokości prawego końca wybranego segmentu.

Opcja *Redukcja mom. bezwładności* pozwala na określenie współczynników redukujących momenty bezwładności przekroju I_y lub I_z w definicji przekroju (belka żelbetowa i słup żelbetowy). Redukcja jest związana z charakterystyką danego przekroju, a nie jest globalnym parametrem analizy. Zredukowane momenty bezwładności są widoczne (w tabelach lub oknach dialogowych) jako aktualne charakterystyki przekrojów. Zredukowane charakterystyki są brane pod uwagę w czasie obliczeń statycznych oraz są przekazywane do modułów wymiarujących.

Redukcja momentów bezwładności dla przekrojów żelbetowych jest stosowana w obliczeniach statycznych w celu uwzględnienia wpływu zarysowania przekrojów. Metoda taka jest dopuszczona m.in. przez normy USA (UBC 1997 punkt 1910.11.1 lub ACI 318-95 p.10.11.1).

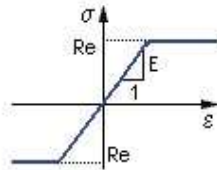
DODATKOWE OPCJE DOSTĘPNE DLA PROFILI STALOWYCH

W oknie dialogowym **Nowy przekrój** znajduje się klawisz **Analiza sprężysto-plastyczna** (klawisz jest dostępny na zakładkach: *Standardowy* i *Parametryczny*). Opcje znajdujące się w oknie dialogowym otwieranym po naciśnięciu tego klawisza pozwalają na definicję parametrów dla analizy sprężystoplastycznej pręta o wybranym profilu.

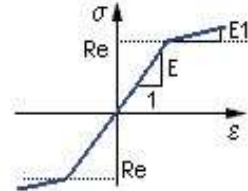
Dla wybranego typu profilu (np. dwuteownika) określony może zostać podział przekroju. Podział zależy od typu profilu; zazwyczaj określony jest za pomocą liczby podziału po długości średnika i półek. Zakłada się, że dla profili standardowych nie ma podziału po grubości ścianek. W obecnej wersji programu dostępne są następujące typy materiału: sprężysty - idealnie plastyczny oraz sprężysto-plastyczny ze wzmocnieniem. Charakterystyki naprężenie - odkształcenie dla wymienionych typów materiału pokazane są na rysunkach poniżej. Wartość granicznego naprężenia sprężystego przyjęta została na podstawie wytrzymałości obliczeniowej R_e danego materiału określonej w bazie materiałów.

Model materiału:

sprężysto-idealnie plastyczny

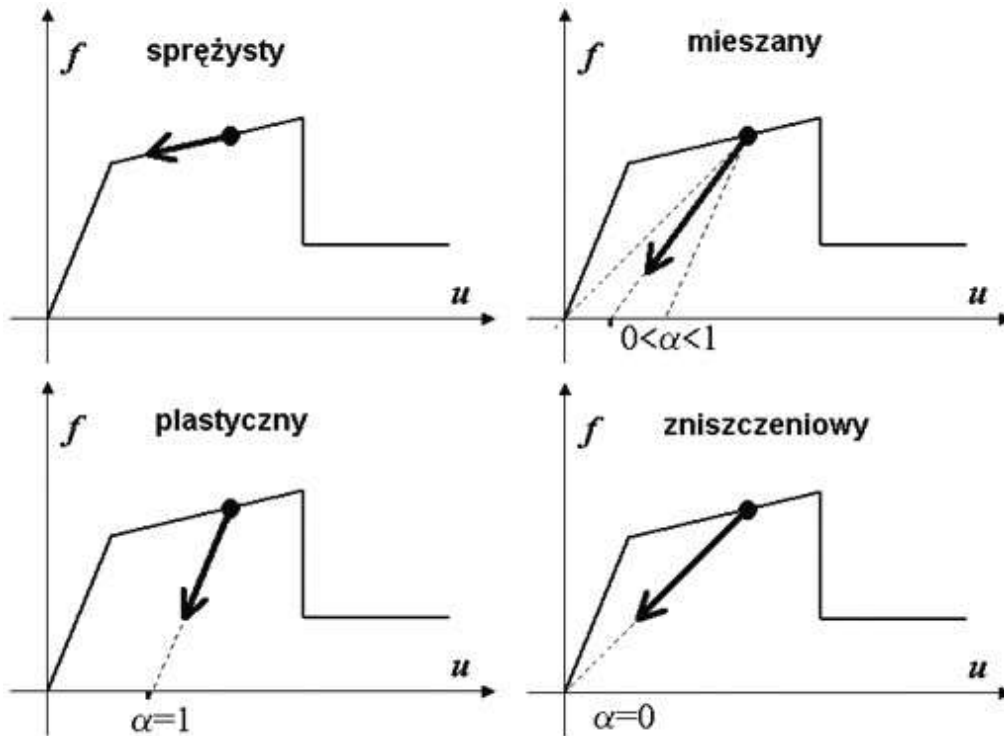


sprężysto-plastyczny ze wzmocnieniem




Jeżeli wybrany został model sprężysto-plastyczny ze wzmocnieniem, to dostępne staje się pole edycyjne $E/E1$, w którym podana może zostać wartość parametru wzmocnienia plastycznego definiowana jako iloraz wartości sztywności materiału (modułu Younga E) w zakresie sprężystym do sztywności w zakresie plastycznym (przyjmuje się w tym zakresie liniowy model materiału). Dostępne są cztery sposoby odciążania:

- sprężysty
- plastyczny
- zniszczeniowy
- mieszany; po wyborze tego typu odciążania dostępne staje się pole edycyjne do definicji parametru α ; $0 < \alpha < 1$.





3.3.3. Materiały

Na ekranie **PRZEKROJE I MATERIAŁY** pojawia się dodatkowo okno dialogowe **Materiał**. Jest ono również dostępne po wybraniu opcji w menu (*Geometria / Materiały*) lub naciśnięcie ikony . W górnej części okna **Materiał** znajduje się lista dostępnych w programie materiałów. Poniżej prezentowana jest lista profili składająca się z dwóch kolumn: pierwsza kolumna zawiera etykiety zdefiniowanych profili, a druga przypisane im materiały domyślne. Lista w oknie **Materiał** jest identyczna z listą aktywnych profili prezentowanych w oknie **Przekroje**.



W górnej części okna dialogowego **Materiał** znajdują się ikony:

-  - jej naciśnięcie umożliwi otwarcie okna dialogowego **Zapis do bazy danych**, w którym zapisane mogą zostać materiały do bieżącej bazy materiałów; w środkowej części okna dialogowego **Zapis do bazy danych** znajduje się lista materiałów zdefiniowanych w programie; po otwarciu tego okna dialogowego podświetlane są wszystkie materiały, które nie są zapisane w bazie.
-  - jej naciśnięcie powoduje usunięcie wszystkich materiałów oraz wszystkich atrybutów (profile, grubości) zawierających materiały, które nie występują w projektowanej konstrukcji.

UWAGA: Jeżeli użytkownik zdefiniował materiał o nazwie istniejącej w bazie materiałów i zapisał ten materiał w pliku *.RTD, to po otwarciu takiego pliku w programie **Robot** parametry materiału będą odczytywane z pliku *.RTD, a nie z bazy materiałów (parametry materiału będą miały wartości określone przez użytkownika).



Aby danemu profilowi przypisać materiał domyślny, należy:

- podświetlić wybrany profil (klikając weń lewym klawiszem myszki)
- wybrać odpowiedni materiał z listy dostępnych materiałów
- nacisnąć klawisz **Zastosuj**.




Nadając prętom konstrukcji profile przypisywany jest im jednocześnie materiał zdefiniowany dla danego profilu.

3.3.4. Definicja profilu pręta wielogałęziowego - przykład

W programie istnieje możliwość definicji profilu pręta wielogałęziowego. Poniżej pokazana zostanie definicja profilu słupa wielogałęziowego. Aby rozpocząć definicję profilu pręta wielogałęziowego, należy:

- otworzyć okno dialogowe **Przekroje** (komenda menu *Geometria / Charakterystyki / Profile prętów* lub nacisnąć ikonę )
- w oknie dialogowym **Przekroje** nacisnąć ikonę **Nowy** 
- w oknie dialogowym **Nowy przekrój** przejść na zakładkę **Złożony**
- określić następujące parametry profilu słupa złożonego:
Etykieta: Słup 2 C 100
Kolor: Auto
Przekrój: C 100
Rozstaw: 12 cm
Ceowniki zestawione: półkami
Kąt Gamma = 0
Typ profilu: Stalowy
- w oknie dialogowym **Nowy przekrój** nacisnąć klawisze **Dodaj i Zamknij**
- w oknie dialogowym **Przekroje** nacisnąć klawisz **Zamknij**.

Po zdefiniowaniu profilu pręta złożonego należy również określić parametry normowe słupa złożonego:


- otworzyć okno dialogowe **Typ pręta** (komenda menu *Geometria / Parametry normowe / Typ pręta* )  stalowego/aluminiowego lub nacisnąć ikonę 
- w oknie dialogowym **Typ pręta** nacisnąć ikonę **Nowy**
- w oknie dialogowym **Definicja pręta - parametry** nacisnąć klawisz **Przekrój złożony**
- w oknie dialogowym **Przekrój złożony** włączyć opcję **Pręty złożone** i określić parametry skratowania
- nacisnąć klawisz **OK** w oknie dialogowym **Przekrój złożony**

- w oknie dialogowym **Definicja pręta - parametry** wpisać nazwę typu pręta (pole edycyjne *Typ pręta*): np. *Słup wielogałęziowy*
- nacisnąć klawisze **Zapisz** i **Zamknij** w oknie dialogowym **Definicja pręta - parametry**

Zdefiniowany typ parametrów normowych słupa wielogałęziowego zostać dopisany do listy typów parametrów normowych; może być wykorzystywany podczas definicji prętów konstrukcji.

3.3.5. Zwolnienia

Pręty konstrukcji są sztywno połączone w węzłach, tzn. że zapewniona jest kompatybilność przemieszczeń i obrotów dla wszystkich prętów zbiegających się w danym węźle (jedynymi wyjątkami są pręty konstrukcji kratowych i elementy kablowe w konstrukcjach ramowych, w których używane są połączenia przegubowe: zapewniają one takie same przemieszczenia w węzłach, ale pozwalają na dowolny obrót końców elementów). Sztywne połączenia prętów mogą być w miarę potrzeby zwolnione.

Opcja *Zwolnienia* dostępna w menu (*Geometria / Zwolnienia*) lub poprzez naciśnięcie ikony  umożliwia zwolnienie wybranych stopni swobody w wyselekcjonowanym węźle konstrukcji.



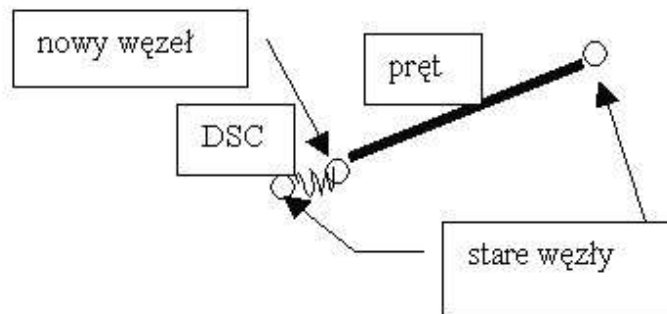
W programie zdefiniowane mogą zostać następujące rodzaje węzłów kompatybilnych: sztywne, sprężyste, z tłumieniem, jednostronne oraz nieliniowe.

W programie wprowadzony został nowy algorytm umożliwiający obliczenia konstrukcji, w której zdefiniowane zostały zwolnienia (opcja *Algorytm DSC* znajdująca się w oknie dialogowym **Preferencje zadania / Analiza konstrukcji**). Dla dowolnego pręta, dla którego został zdefiniowany dowolny typ analizy, z następującymi zwolnieniami:

- zwykłymi (wybór zwolnionych stopni swobody na początku oraz końcu elementu prętowego)
- jednostronnymi (wybór zwolnionych stopni swobody na początku albo końcu elementu prętowego)
- sprężystymi (wybór zwolnionych stopni swobody na początku oraz końcu elementu prętowego i określenie wartości współczynników sprężystości)
- z tłumieniem (wybór zwolnionych stopni swobody na początku oraz końcu elementu prętowego i określenie wartości współczynników tłumienia); zwolnienia z tłumieniem mogą być wykorzystywane w programie **Robot** podczas całkowania równań ruchu (brane są pod uwagę wartości współczynników

CX, CY, CZ, CRX, CRY, CRZ) lub analizy modalnej konstrukcji, gdy włączona jest opcja *Uwzględnij tłumienie (wg PS92)* w oknie dialogowym **Parametry analizy modalnej**

- sprężystymi i jednostronnymi
- nieliniowymi (możliwa definicja krzywej określającej nieliniowy charakter zwolnienia) wykonywane są następujące operacje:
- w konstrukcji generowany jest nowy węzeł (podczas przygotowywania konstrukcji)
- modyfikowany jest wyjściowy element ze zwolnieniem w taki sposób, że ten nowy węzeł zastępuje stary w tym elemencie (stary węzeł pozostaje w innych elementach konstrukcji)
- pomiędzy starym węzłem i nowo utworzonym tworzony jest tak zwany element DSC (*Discontinuity*) - patrz rysunek poniżej.



Element DSC jest dwuwęzłowym elementem, w którym siły węzłowe generowane są wg wzoru: $\mathbf{f}_1 = -\mathbf{T}\mathbf{k}\mathbf{T}^T(\mathbf{u}_2 - \mathbf{u}_1)$

$\mathbf{f}_2 = \mathbf{T}\mathbf{k}\mathbf{T}^T(\mathbf{u}_2 - \mathbf{u}_1)$ gdzie $\mathbf{k} = [k_i]; i = 1, Ndl$ jest wektorem sztywności przypisanych do poszczególnych stopni swobody.

Macierz sztywności elementu posiada następującą strukturę

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{T}\text{diag}(\mathbf{k})\mathbf{T}^T & -\mathbf{T}\text{diag}(\mathbf{k})\mathbf{T}^T \\ -\mathbf{T}\text{diag}(\mathbf{k})\mathbf{T}^T & \mathbf{T}\text{diag}(\mathbf{k})\mathbf{T}^T \end{bmatrix},$$

gdzie \mathbf{T} jest macierzą transformacji z bazy lokalnej do globalnej dziedziczoną z elementu prętowego, a $\text{diag}(\mathbf{k})$ macierzą diagonalną utworzoną z wektora \mathbf{k} .

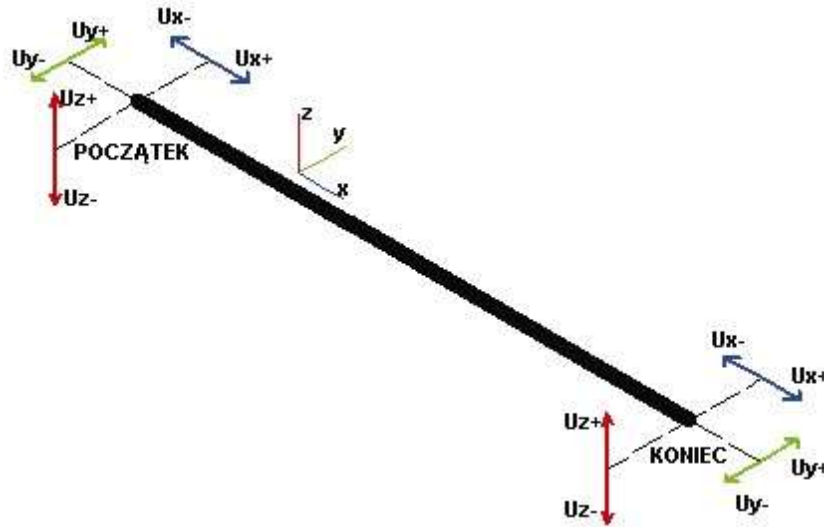
Wprowadzenie elementu DSC umożliwia definicję zwolnień sprężystych w elemencie prętowym, co w dotychczasowym podejściu nie było możliwe.

Zwolnienie jednostronne - kierunki zwolnień dla początku i końca pręta

Poniższe rysunki pokazują kierunki zwolnień dla jednostronnych zwolnień definiowanych na początku lub końcu pręta:

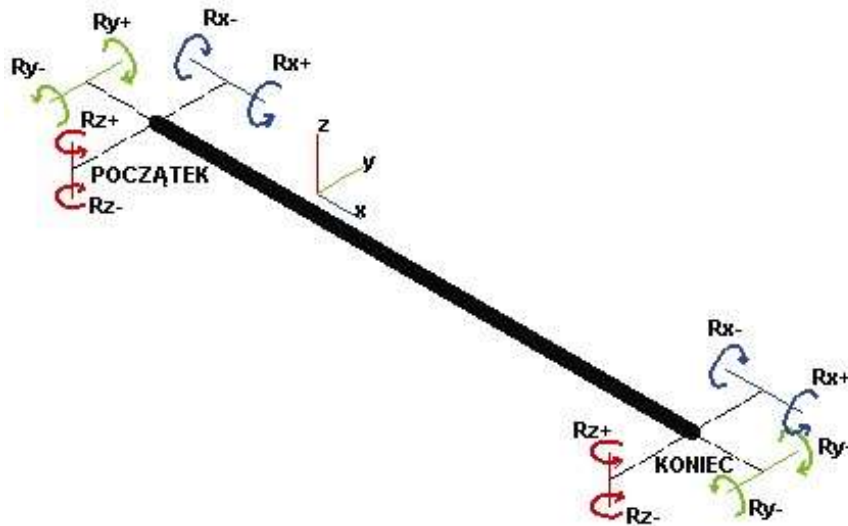
przemieszczenia:

(Ux, Uy lub Uz) "+" lub "-" - wybranie tej opcji powoduje, że w węzle początkowym lub końcowym wyselekcjonowanego elementu prętowego zwolnione zostanie przemieszczenie Ux, Uy lub Uz w kierunku zgodnym ("+") lub przeciwnym ("-") do osi lokalnego układu współrzędnych pręta; na poniższym rysunku przedstawiono możliwe kierunki zwolnień




obroty:

(Rx, Ry lub Rz) "+" lub "-" - wybranie tej opcji powoduje, że w węzle początkowym lub końcowym wyselekcjonowanego elementu prętowego zwolniony zostanie obrót Rx, Ry lub Rz w kierunku zgodnym ("+") lub przeciwnym ("-") do osi lokalnego układu współrzędnych pręta (obowiązuje zasada śruby prawoskrętnej); na poniższym rysunku przedstawiono możliwe zwolnienia obrotów.



3.3.6. Mimośrodody

Niektóre elementy konstrukcji mogą wymagać modelowania offsetów tzn. definiowania mimośrodowego (nie osiowego) połączenia prętów konstrukcji. Służy temu opcja znajdująca się w menu *Geometria* /

Cechy dodatkowe / *Offsety* lub ikona  z paska narzędziowego. Istnieje możliwość automatycznej definicji offsetu dla prętów konstrukcji; offset określany jest wówczas za pomocą przesunięcia osi pręta do skrajnych wymiarów przekroju. Wybór położenia osi następuje poprzez kliknięcie w odpowiedni klawisz wyboru znajdujący się na szkicu profilu; pojawia się opis położenia profilu pręta tzn. *Przesunięcie osi* oraz

charakterystyka położenia profilu opisująca wartość przesunięcia osi w układzie lokalnym np. $-V_{py}$, V_z (przesunięcie osi: górny, lewy róg).

Poniżej przedstawiono podstawowe informacje dotyczące definicji offsetów w konstrukcji:

- offsety mogą być używane TYLKO dla zginanych elementów prętowych
- pozwalają na definicję prętów poprzez odniesienie do istniejących węzłów **BEZ** potrzeby definiowania dodatkowych węzłów (UWAGA: offset zdefiniowany dla pręta jest widoczny dopiero po wybraniu odpowiedniej opcji w oknie dialogowym **Wizualizacja**)
- offsety mogą być definiowane poprzez wartości względne tzn. zachowują właściwości przy zmianie geometrii konstrukcji (zmianie profili)
- działanie offsetów jest **IDENTYCZNE** z działaniem 'pełnego' połączenia sztywnego
- offsety mogą być używane TYLKO w konstrukcjach z obrotowymi stopniami swobody.

UWAGA: Pręty, w których zdefiniowane zostały offsety, są połączone z innymi elementami konstrukcji lub podłożem (podpory) w węzłach definiujących te pręty, a nie w węzłach przesuniętych o wartość offsetu; dla słupów poziomo przesuniętych względem podpór lub dla belek pionowo przesuniętych względem słupów siły występujące (działające) w węzłach (np. podpory) oddziałują mimośrodowo na pręty, w których został zdefiniowany offset.



3.3.6.1 Nowy typ mimośrodru

Okno dialogowe **Nowy offset** składa się z dwóch zakładek: - *Absolutny* - *Względny*.

Na zakładce *Absolutny* wartość offsetu jest definiowana poprzez podanie wartości przesunięcia w kierunku wybranych osi. Wartość offsetu zdefiniowanego w taki sposób nie zmienia się bez względu na to, jaką operację wykonuje się na elementach, na których offset został nadany.

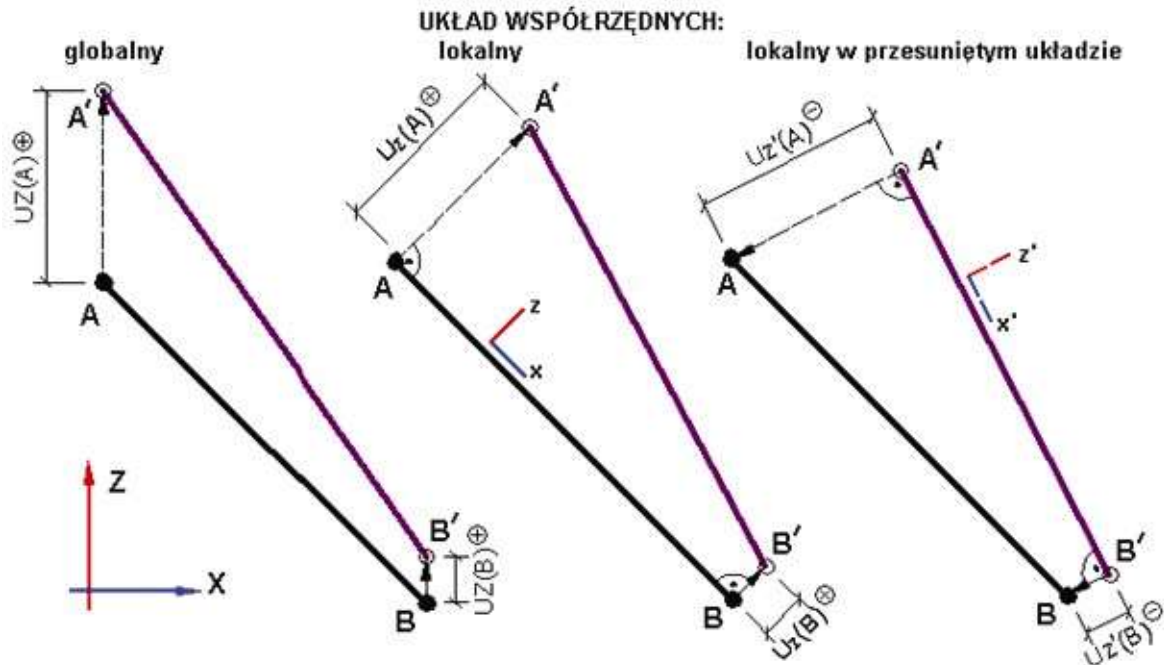
Na zakładce *Względny* wartość offsetu jest definiowana w odniesieniu do innych istniejących obiektów; podstawową cechą tego typu offsetu jest automatyczne dopasowywanie się obiektu do już istniejących obiektów (dopasowanie długości wybranego obiektu do innych zdefiniowanych obiektów, tzn. skrócenie lub wydłużenie oraz zmianę położenia jednego obiektu względem drugiego).

UWAGA: Przy dowolnej operacji wykonywanej na elementach, do których offset względny się odnosi (np. zmiana wymiaru słupa, do którego dochodzi belka, której przypisano względny offset), wartość offsetu będzie się zmieniała w taki sposób, aby elementy się do siebie dopasowały.

Mimośród absolutny

Aby zdefiniować nowy typ mimośrodów absolutnych, należy:

- podać nazwę typu offsetu
- wybrać typ układu współrzędnych, w którym definiowany będzie offset (patrz poniższy rysunek) -
- podać wartości offsetu dla początkowego / końcowego węzła pręta.



W dolnej części okna dialogowego podawana jest informacja dotycząca wartości offsetów względnych (offsetów zdefiniowanych na zakładce *Względny*).

Mimośród względny

Aby zdefiniować nowy typ mimośrodu względnego, należy:

- podać nazwę typu offsetu
- określić położenie profilu lub odsunięcie osi:

Położenie profilu

Jest to możliwość automatycznej definicji offsetu dla prętów konstrukcji; offset określany jest za pomocą przesunięcia osi pręta do skrajnych wymiarów przekroju (tylko). Definicja automatycznego offsetu dokonywana jest w oknie dialogowym **Pozycja względem profilu**, który może zostać otwarty po naciśnięciu klawisza **Położenie profilu**.

Poniżej tego klawisza są wyświetlane informacje dotyczące przesunięcia profilu względem osi ($v_z, v_{pz}, v_y, v_{py}, 0$).

Odsunięcie osi

Jest to możliwość automatycznej definicji offsetu dla prętów konstrukcji; offset określany jest poprzez wskazanie obiektu, do którego się będzie dodatkowo offset odnosił; obiektem tym może być zarówno pręt, jak i panel zdefiniowany w konstrukcji. Definicja tego typu offsetu dokonywana jest w oknie dialogowym **Położenie osi względem profilu**, który może zostać otwarty po naciśnięciu klawisza **Położenie osi**.

Dla tego typu offsetu należy podać numer obiektu odniesienia; numer obiektu (pręta lub panela) można wpisać w polu edycyjnym lub graficznie wskazać wybrany obiekt.

Poniżej tego klawisza są wyświetlane informacje dotyczące obiektu odniesienia (profil) i wartość odsunięcia: vy, vpy, vz, vpz, 0.

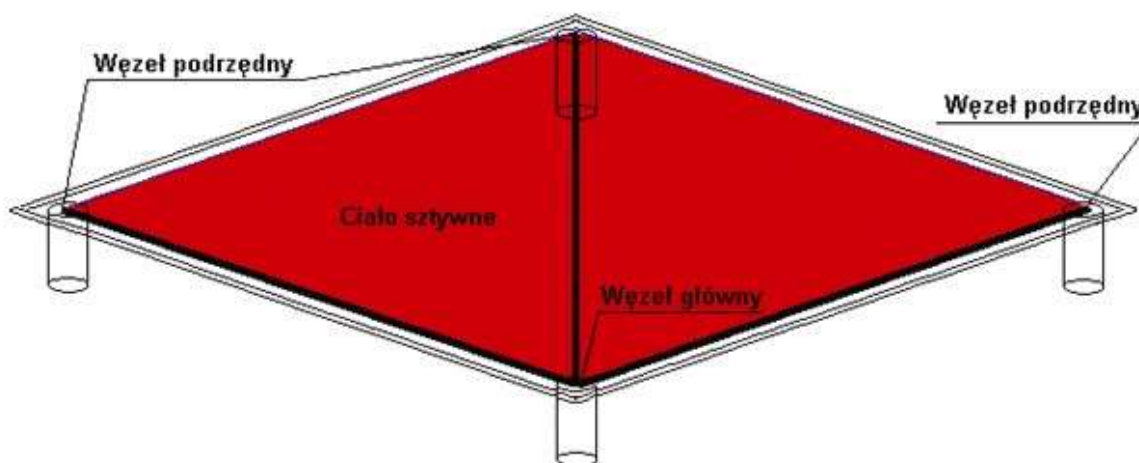
- podać informacje dotyczące długości pręta (skrócenia/wydłużenia początku lub końca pręta).

3.3.7. Połączenia sztywne

Połączenie sztywne jest używane do modelowania idealnie sztywnych części konstrukcji sprężystych (definiowanie ciała sztywnego w konstrukcji). Przeszczenia i obroty zdefiniowane dla sztywnego połączenia mogą być ograniczone do pewnych wybranych stopni swobody. Przykładowo, liniowe przesunięcia mogą być zablokowane, a obroty swobodne. Pierwszy węzeł jest nazywany węzłem głównym (MASTER), a pozostałe węzłami podrzędnymi (węzły typu SLAVE). Opcja znajduje się w menu *Geometria / Cechy dodatkowe / Połączenia sztywne*.

Podstawowe informacje dotyczące definicji połączeń sztywnych w konstrukcji:

- wymagają definicji **DODATKOWYCH** węzłów (ale dzięki temu zawsze widoczne jest rzeczywiste położenie elementów, bez względu na wybrane opcje w oknie dialogowym **Wizualizacja**)
- działają pomiędzy węzłami, stąd mogą łączyć dowolne typy elementów skończonych (elementy prętowe, elementy powłokowe)
- połączenia sztywne mogą być używane TYLKO w konstrukcjach z obrotowymi stopniami swobody.




Zdefiniowanie połączenia sztywnego pomiędzy węzłami jest równoważne wprowadzeniu warunków sztywnej kompatybilności na wszystkie przemieszczenia w tych węzłach. Wszystkie węzły połączone z węzłem głównym tworzą grupę węzłów porównywalną z ciałem sztywnym (nieodkształcalnym).

UWAGA: Należy pamiętać, że wybór stopni swobody dotyczy jedynie węzłów podrzędnych połączenia sztywnego (połączenie węzła głównego z 'ciałem sztywnym' wykorzystuje wszystkie stopnie swobody).

Opcja *Połączenie sztywne* dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Geometria/Cechy dodatkowe/Połączenia sztywne*

- z paska narzędziowego Definicja konstrukcji poprzez wybranie ikony .



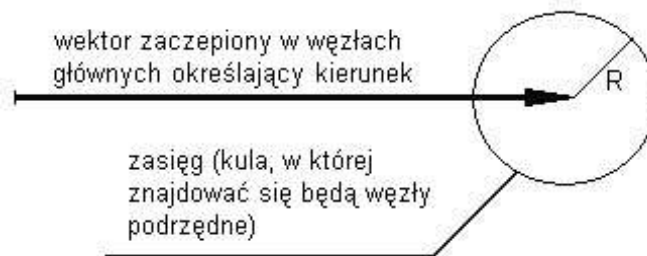
Aby dokonać definicji połączenia sztywnego w konstrukcji, należy:

Ręczny tryb definicji


- wybrać typ połączenia sztywnego z listy dostępnych typów połączeń sztywnych
- określić węzeł główny (MASTER) - graficznie wskazując jeden węzeł lub wpisując numer węzła w pole *Węzeł główny*
- określić węzeł (węzły) podrzędny - graficznie wybierając węzły na ekranie graficznym lub wpisując numery węzłów w pole *Selekcja węzłów podrzędnych*.

Tryb definicji według listy

- wybrać typ połączenia sztywnego z listy dostępnych typów połączeń sztywnych
- określić węzły główne (MASTER) - graficznie wskazując węzeł (lub węzły) lub wpisując numery węzłów w pole *Selekcja węzłów głównych*
- określić parametry dla węzłów podrzędnych: wektor połączenia (określający kierunek, zwrot i długość) i zasięg (promień kuli R) - patrz poniższy rysunek; wszystkie węzły znajdujące się w zdefiniowanym zasięgu będą węzłami podrzędnymi połączenia sztywnego.



3.3.8. Węzły kompatybilne

Dla konstrukcji prętowych, w których pręty przecinają się, użytkownik może otrzymać te same wartości przemieszczeń dla prętów w ich punkcie przecięcia. Temu celowi służy opcja *Węzły kompatybilne*. Zdefiniowanych musi zostać tak dużo węzłów o tych samych współrzędnych jak dużo jest prętów. Każdy węzeł należy do innego pręta. Opcja dostępna jest w menu *Geometria / Cechy dodatkowe / Węzły kompatybilne* lub pasku narzędziowym . W programie zdefiniowane mogą zostać następujące rodzaje węzłów kompatybilnych: sztywne, sprężyste, z tłumieniem oraz nieliniowe.



Węzły kompatybilne mogą zostać zdefiniowane w konstrukcji na kilka sposobów:

Tryb nadawania - ręczny

- w polu aktywnych typów kompatybilności należy wybrać (podświetlić) typ kompatybilności, a następnie przejść na ekran graficzny i wskazać węzeł konstrukcji. Kompatybilność została zdefiniowana w tym węźle, w polu *Numer węzła kompatybilnego* wpisany zostanie pierwszy wolny numer węzła dla konstrukcji. W polu znajdującym się w prawej części okna dialogowego pokazane zostaną pręty zbiegające się w wybranym węźle; należy wybrać pręt, który ma mieć koniec w utworzonym węźle kompatybilnym
- w polu aktywnych typów kompatybilności należy wybrać (podświetlić) typ kompatybilności, a następnie w polu *Numer węzła* wpisać numer węzła w konstrukcji (można to zrobić również w trybie graficznym; umieściwszy kursor w tym polu wskazać na ekranie graficznym wybrany węzeł). W polu znajdującym się w prawej części okna dialogowego pokazane zostaną pręty zbiegające się w wybranym węźle, a w polu *Numer węzła kompatybilnego* wpisany zostanie pierwszy wolny numer węzła dla konstrukcji. Należy wybrać pręt, który ma mieć koniec w utworzonym węźle kompatybilnym

Tryb nadawania - automatyczny


- jeżeli przed wybraniem opcji "Węzły kompatybilne" dokonano selekcji węzłów, to po otwarciu okna dialogowego **Węzły kompatybilne** lista z wybranymi węzłami jest wpisywana do pola Aktywna selekcja. Aby nadać odpowiedni typ kompatybilności węzłom z listy selekcji, należy podświetlić odpowiedni typ kompatybilności znajdujący się w aktywnej liście, a następnie nacisnąć klawisz **Zastosuj** (lub klawisz <Enter> na klawiaturze). Spowoduje to wygenerowanie nowego węzła kompatybilnego (numer węzła kompatybilnego - pierwszy wolny numer węzła w konstrukcji)

- jeżeli przed wybraniem opcji "Węzły kompatybilne" nie dokonano żadnej selekcji (a powinna zostać wykonana już przy otwartym oknie dialogowym), to należy umieścić kursor w polu Aktywna selekcja. Gdy kursor myszy zostanie przemieszczony poza obszar okna dialogowego (do obszaru pola edycyjnego), to będzie się znajdował w trybie selekcji; selekcja dowolnych elementów konstrukcji będzie mogła zostać dokonana, a numery wybieranych obiektów pojawią się w polu edycyjnym grupy *Aktywna selekcja*. Aby nadać odpowiedni typ kompatybilności węzłom z listy selekcji, należy podświetlić odpowiedni typ kompatybilności znajdujący się w aktywnej liście, a następnie nacisnąć klawisz **Zastosuj** (lub klawisz <Enter> na klawiaturze). Spowoduje to wygenerowanie nowego węzła kompatybilnego (numer węzła kompatybilnego - pierwszy wolny numer węzła w konstrukcji).

3.3.9. Kable

W programie **Robot** istnieje możliwość definiowania konstrukcji ciągnowych (konstrukcje, w których ciągnio stanowi główny element nośny). Ciągnem nazywamy zaś element, w którym jeden z głównych wymiarów ciągnia jest wielokrotnie większy od dwóch pozostałych wymiarów, a sztywność poprzeczna na zginanie i skręcanie jest niewielka w porównaniu ze sztywnością podłużną na rozciąganie.

Prostym wnioskiem z podanej definicji ciągnia jest fakt, iż ciągnio przenosi jedynie siły rozciągające; w niektórych przypadkach może jednakże przenosić niewielkie momenty zginające lub skręcające oraz siły poprzeczne. Opcja służąca do definiowania w konstrukcji elementów kablowych dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Charakterystyki / Kable*
- z paska narzędziowego *Definicja konstrukcji* poprzez naciśnięcie ikony .

Sposób definiowania kabla w konstrukcji jest podobny do nadawania prętowi profilu lub węzłowi podpory. Dla elementów kablowych zdefiniowane mogą zostać następujące parametry kabla: nazwa, kolor, przekrój (określa pole przekroju kabla), materiał (wybór materiału, z którego wykonany będzie kabel) oraz parametry montażowe kabla:

- naprężenie - wybranie tej opcji powoduje, że definiowanym parametrem kabla dla przypadku montażowego będzie naprężenie normalne (liczone w odniesieniu do cięciwy ciągnia), które ma być osiągnięte dla obciążeń przypadku montażowego
- siła - wybranie tej opcji powoduje, że definiowanym parametrem kabla dla przypadku montażowego będzie siła naciągu (liczona w odniesieniu do cięciwy ciągnia), która ma być osiągnięta dla obciążeń przypadku montażowego
- długość - wybranie tej opcji powoduje, że definiowanym parametrem kabla dla przypadku montażowego będzie długość ciągnia w stanie nieobciążonym
- dylatacja - wybranie tej opcji powoduje, że definiowanym parametrem kabla dla przypadku montażowego będzie dylatacja lub dylatacja względna (jeżeli włączona zostanie opcja *Relatywna*). Dylatacja jest to różnica długości ciągnia w stanie nieobciążonym i odległości węzłów pomiędzy którymi ciągnio jest zamocowane. Jeśli dylatacja jest wartością dodatnią, to długość ciągnia jest większa od odległości między węzłami, a jeśli ujemną, to odległość między węzłami jest większa od długości ciągnia.

UWAGA: *Opcje Naprężenie, Siła, Długość i Dylatacja wzajemnie się wykluczają i nie są obowiązkowe (jeżeli użytkownik nie poda żadnego z tych parametrów, to długość nieobciążonego ciągnia jest równa odległości pomiędzy węzłami).*

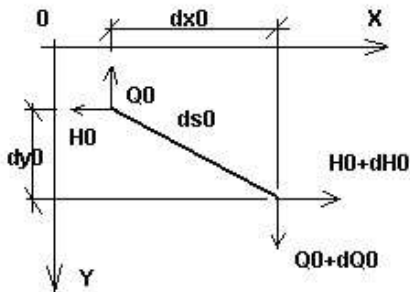
W teorii konstrukcji kablowych przyjmowane są następujące założenia:

- obciążenia i inne oddziaływania zewnętrzne mają charakter quasi-statyczny i nie zmieniają się w czasie,
- dla ciągnien wiotkich brak jest momentów zginających i sił poprzecznych,
- elementy kablowe pracują w zakresie sprężystym (moduł Younga $E = \text{const}$),
- ciągnia mogą być obciążone dowolnym obciążeniem z wyjątkiem obciążenia momentem,

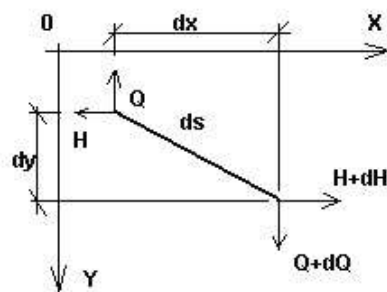
- dopuszczalne są duże przemieszczenia \underline{u} , ale małe gradienty $\frac{du}{dx}$,
- powierzchnia przekroju kabla A nie zmienia się ($A=\text{const}$),
- długość kabla nieobciążonego = l .

Równania rządzące problemem

Rozpatrzmy wiotkie cięgno o małym zwisie (tzn. takie dla którego kąt między styczną w dowolnym punkcie cięgna i prostą łączącą jego końce jest mały), które zostało obciążone dowolnie rozłożonym obciążeniem w jego płaszczyźnie. W tym cięgnie wydzielimy nieskończenie mały element, który w stanie wyjściowym (pierwszym, montażowym etapie) charakteryzuje się obciążeniem q_0 , temperaturą T_0 i naciągiem H_0 ; długość tego elementu równa jest ds_0 (rys.1a). Po obciążeniu cięgna (drugi, końcowy stan cięgna) przy obciążeniu q , temperaturze T i naciągu H długość elementarnego odcinka cięgna wynosi ds (rys.1b). Obydwa etapy razem z obciążeniami w obu płaszczyznach (xy i xz) przedstawiono również na rysunku 2.

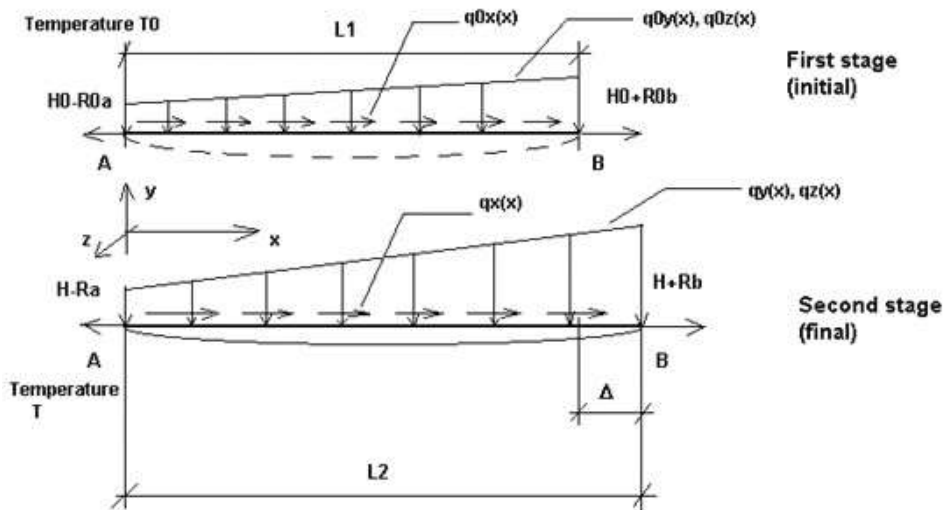


Rysunek 1a



Rysunek 1b

Wykorzystując założenie o małym zwisie cięgna oraz uwzględniając, że całkowita siła w cięgnie musi być skierowana wzdłuż stycznej do cięgna, można wyznaczyć odpowiednie wydłużenie elementarnego odcinka cięgna w funkcji jedynie wielkości statycznych. Po scałkowaniu tej wielkości wzdłuż całej długości cięgna otrzymamy znaną postać równania wiotkiego cięgna o małym zwisie (1) określającą wielkość wydłużenia cięciwy cięgna Δ .

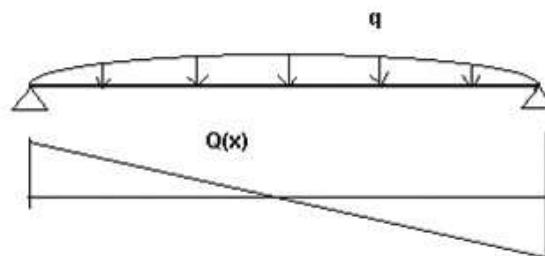


Rys. 2

$$L2 - L1 = \Delta = \frac{Hl}{EA} - \frac{H0l}{EA} + \alpha \Delta T + \delta - \frac{1}{2} \left(\int_0^l \frac{[Q_y(x)] + [Q_z(x)]}{[H + N(x)]} dx - \int_0^l \frac{[Q_y^0(x)] + [Q_z^0(x)]}{[H0 + N0(x)]} dx \right) \quad (1)$$

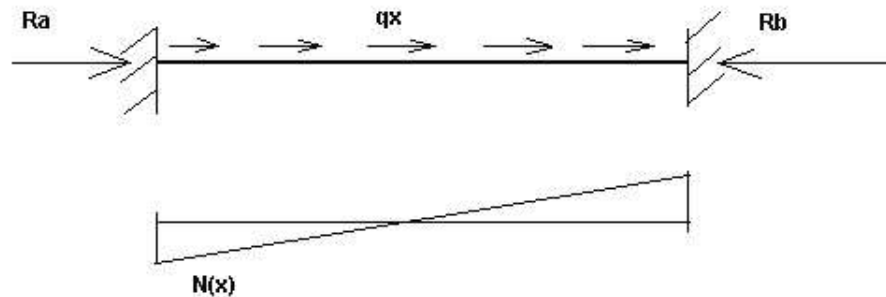
W powyższym równaniu przyjęto następujące oznaczenia:

- A, B - początkowy i końcowy węzeł cięgna,
- EA - sztywność cięgna na rozciąganie (E jest modułem Younga, a A przekrojem cięgna),
- α - współczynnik rozszerzalności termicznej,
- l - początkowa długość cięgna (dla cięgna nieobciążonego),
- Δ - zmiana odległości pomiędzy podporami,
- δ - wstępne, wewnętrzne skrócenie/wydłużenie kabla (regulacja),
- ΔT - zmiana temperatury,
- $Q(x)$ - funkcja zmiany siły poprzecznej jak dla swobodnie podpartej belki (w zależności od indeksów: odpowiednio w kierunku osi y i z oraz dla etapu początkowego lub końcowego) - schematyczny rysunek poniżej (rys. 3a),



Rysunek 3a

$N(x)$ - funkcja zmiany siły osiowej spowodowanej obciążeniem stycznym dla belki obustronnie utwierdzonej (dla etapu początkowego lub końcowego) - schematyczny rysunek poniżej (rys. 3b).



Rysunek 3b

Na zakończenie rozważań teoretycznych można jeszcze zauważyć, że w równaniu cięgna (1) w odróżnieniu od tradycyjnych rozwiązań stosowanych przy obliczeniach cięgien uwzględniono zmienność siły podłużnej na długości cięgna (w mianownikach obu funkcji podcałkowych w równaniu (1) występują składniki funkcyjne: $[H+N(x)]^2$ i $[H_0+N_0(x)]^2$). Dzięki temu uzyskuje się bardziej dokładne wyniki.

Kable w programie

Teoria elementu kablowego stosowanego w systemie **Robot** jest oparta na ogólnej teorii wiotkiego cięgna rozciągliwego o małym zwisie. Zgodnie z tą teorią sztywność cięgna jest uwikłaną funkcją następujących parametrów: sztywności na rozciąganie ($E \cdot A$), naciągu cięgna, przemieszczeń jego podpór, obciążenia poprzecznego w obu kierunkach (p_y , p_z).

Należy zwrócić uwagę, że zdefiniowanie kabli w konstrukcji ze względu na nieliniowy charakter ich pracy powoduje konieczność wykorzystywania iteracyjnych metod analizy konstrukcji.

Możliwości stosowania kabli w systemie **Robot**:

- Kable mogą być stosowane razem z elementami następujących typów konstrukcji: RAMA PŁASKA, RAMA PRZESTRZENNA, POWŁOKA
- Dopuszczalne są wszystkie standardowe typy analizy konstrukcji: liniowa (w rzeczywistości jest to analiza nieliniowa, z tym jednak, że nie są uwzględniane żadne inne efekty nieliniowe oprócz nieliniowości samych elementów kablowych), nieliniowa (uwzględnianie efektu stress-stiffening), PDelta, przyrostowa, wyboczeniowa, dynamiczna, harmoniczna, sejsmiczna; należy tu jednak zwrócić uwagę na fakt, iż zadania dynamiczne będą formułowane jako liniowe przy uwzględnieniu aktualnej sztywności
- Dopuszcza się stosowanie mimośrodków (offsetów)
- Materiał definiuje się tak jak dla pręta (wymagane jest podanie tylko modułu Younga E ; w przypadku definiowania obciążenia ciężarem własnym kabla należy podać dodatkowo ciężar właściwy CW , a w przypadku definiowania obciążenia termicznego współczynnik rozszerzalności termicznej $ALFA$)
- Kąty $GAMMA$ definiuje się tak jak dla prętów (jest to istotne tylko przy opisie obciążenia).

Ograniczenia stosowanie elementów kablowych:

- Dla elementów kablowych nie jest możliwe definiowanie zwolnień ze względu na to, że nie posiadają one sztywności na zginanie i skręcanie.

Obciążenia kabli

Do elementów kablowych można przykładać następujące rodzaje obciążeń:

- obciążenia węzłowe
- obciążenie ciężarem własnym

- obciążenie liniowe (stałe lub liniowo zmienne)
- wstępne skrócenie/wydłużenie (dodatkowe obciążenie poza tymi określonymi podczas fazy montażowej)
- obciążenie polem temperatury
- obciążenie siłami skupionymi na długości elementów.

Nie są dozwolone następujące rodzaje obciążenia elementów kablowych:

- obciążenie momentem skupionym
- obciążenie momentem rozłożonym.

SKŁADNIA (dane wpisywane przez użytkownika w pliku tekstowym)

CHARakterystyki

(<lista elementów>) KABLE SX=<pole powierzchni przekroju> (E=<moduł Younga>)

(CW=<ciężar właściwy>) [NAPrężenie=<s>|SIŁa=<h>|DŁUgość=<l>|[[DYLatacja=<d> (WZGłędna)]] gdzie:
NAPrężenie - naprężenie normalne (liczone w odniesieniu do ciężkiw cięgna), które ma być osiągnięte dla obciążeń przypadku montażowego

SIŁa - siła naciągu (liczona w odniesieniu do ciężkiw cięgna), która ma być osiągnięta dla obciążeń przypadku montażowego

DŁUgość - długość cięgna w stanie nieobciążonym

DYLatacja - różnica długości cięgna w stanie nieobciążonym i odległości węzłów pomiędzy którymi cięgno jest zamocowane (jeśli jest to wartość dodatnia, to długość cięgna jest większa od odległości między węzłami, a jeśli ujemna, to odległość między węzłami jest większa od długości cięgna)

DYLatacja WZGłędna - stosunek różnicy długości cięgna w stanie nieobciążonym i odległości węzłów pomiędzy którymi cięgno jest zamocowane do odległości węzłów pomiędzy którymi cięgno jest zamocowane (jeśli jest to wartość dodatnia, to długość cięgna jest większa od odległości między węzłami, a jeśli ujemna, to odległość między węzłami jest większa od długości cięgna).

Montażowy przypadek obciążenia cięgna

W programie **Robot** wyróżnia się stan montażowy konstrukcji (program zawsze proponuje, aby był to pierwszy przypadek obciążenia). Poniżej podano składnię tego przypadku obciążenia:

PRZYpadek

MONtaż

[opis obciążeń]

Dla tego przypadku obciążenia:

- we wskazanych prętach panują siły wstępnego naciągu o wartości określonej przez użytkownika poprzez podanie jednej z dwóch poniższych wartości w składni pliku tekstowego (komenda CHARakterystyki):

NAPrężenie = s0 (wstępne naprężenie kabla) lub

SIŁa = t0 (wstępna siła naciągu w kablu),

- można określić początkową długość cięgna nie napiętego i nie obciążonego podając DłUgość = l₀, jeśli ma być ona różna od przyjmowanej domyślnie wartości LONG =

$$\sqrt{\frac{(x_B - x_A)^2}{2} + \frac{(y_B - y_A)^2}{2} + \frac{(z_B - z_A)^2}{2}}$$

równej odległości pomiędzy węzłami,

- można określić wstępne skrócenie/wydłużenie kabla przy pomocy komendy DYLatacja (WZGłędna)
- jeśli nie występuje słowo kluczowe WZGłędna, DYLatacja jest podawana w wartościach bezwzględnych
- jeśli występuje słowo kluczowe WZGłędna, wstępne wydłużenie podawane jest w postaci względnej, tzn. końcowa długość cięgna będzie równa $L = \text{LONG} (1 + \text{DYL})$,

- działają wszystkie zdefiniowane przez użytkownika obciążenia (np. ciężar własny, dodatkowe masy),
- można zdefiniować temperaturę TX dla kabli będących w fazie montażu,
- przemieszczenia wyznaczone dla tego przypadku obciążenia określają wyjściową geometrię dla pozostałych przypadków analizy konstrukcji.

Podczas analizy kolejnych przypadków obciążenia konstrukcji w warunkach równowagi uwzględniane są obciążenia przyłożone w przypadku montażowym. Przemieszczenia wyznaczone dla tego przypadku traktowane są jako wyjściowe. Siły naciągu, które wstępnie zostały zdefiniowane, ulegają zmianie (oznacza to, że po montażu cięgna zostają zakotwione).

Przypadki obciążenia ciągna po jego zamocowaniu

Po zakończeniu obliczeń konstrukcji wyniki otrzymywane dla elementów kablowych są podobne do tych uzyskiwanych dla elementów prętowych; istnieją jednak różnice pomiędzy tymi dwoma typami wyników. Poniżej omówiono te różnice:

- dla elementów kablowych nie można uzyskać wykresów momentów i sił poprzecznych,
- dla elementów kablowych otrzymuje się: deformację uproszczoną wyznaczoną jak dla pręta kratownicy lub dokładną określoną na podstawie równania różniczkowego krzywej zwisu,
- dla elementów kablowych pojawiają się dodatkowe wyniki wynikające ze stanu montażowego:
- w kablach, gdzie wymagany jest żądany naciąg (w składni systemu **Robot**: NAPrężenie lub SIŁa), wyznaczana jest wielkość regulacji [m] niezbędnej do uzyskania wymaganego naciągu,
- w pozostałych typach kabli wyznaczana jest siła niezbędna do realizacji montażu.
- Rezultaty te są bardzo przyteczne przy projektowaniu etapu montażowego.
- siła osiowa (rozciągająca) jest wyznaczana ze wzoru:

$$N = \sqrt{FX^2 + FY^2 + FZ^2}$$

gdzie:

N - siła działająca wzdłuż stycznej do cięgna,

FX, FY, FZ - siły składowe siły N rzutowane na kierunki poszczególnych osi lokalnego układu współrzędnych cięgna.

3.3.10. Inne atrybuty elementów prętowych

W programie istnieje możliwość definiowania podłoża sprężystego dla prętów konstrukcji. Służy temu opcja *Geometria / Cechy dodatkowe / Podłoże sprężyste prętów*. Obliczenia dla prętów ze zdefiniowanym typem podłoża sprężystego dokonywane są na podstawie klasycznego algorytmu podłoża sprężystego Winklera (możliwa jest definicja jednostronnego odrywania).

UWAGA: Podłoże sprężyste może być definiowane tylko dla niektórych typów konstrukcji. Poniżej przedstawiono dostępne kierunki podłoża sprężystego w zależności od przyjętego typu konstrukcji (stopni swobody dopuszczalnych dla wybranego typu konstrukcji):

RAMA PŁASKA	KZ
RAMA PRZESTRZENNA	KY, KZ, HX
RUSZT	KZ, HX PŁYTA KZ, HX POWŁOKA KY, KZ, HX
KRATOWNICA PŁASKA	definicja nie jest możliwa KRATOWNICA
PRZESTRZENNA	definicja nie jest możliwa

W przypadku konstrukcji płytowo-powłokowych jest również możliwość definicji współczynnika sprężystości podłoża, jednakże wartość takiego współczynnika jest określana w oknie dialogowym do definicji grubości płyty lub powłoki (patrz rozdział 3.4.4).

W niektórych węzłach konstrukcji prętowych może istnieć konieczność definiowania wzmocnień przywęzłowych. Opcja dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Cechy dodatkowe / Wzmocnienia*. Wzmocnienia przywęzłowe są używane w konstrukcji, aby polepszyć charakterystyki

przekrojowe prętów w strefach przywęzłowych. Umożliwiają one przeniesienie większych momentów i sił poprzecznych w tych strefach wykorzystując mniejsze profile na całym pręcie. Wzmocnienia mogą być nadawane tylko na profile dwuteowe. Są dwa rodzaje wzmocnień:

- blachy o określonych wymiarach
- przycięty w odpowiedni sposób profil danego pręta.

Definicja wzmocnienia odbywa się poprzez podanie typu wzmocnienia i jego wymiarów oraz określenie rodzaju wzmocnienia (górne, dolne, obustronne). Wzmocnienia dla danego pręta wprowadza się osobno dla każdego z końców pręta. Wzmocnienia uwzględniane są na kolejnych etapach obliczeń w następujący sposób:

- podczas obliczeń statycznych - na części pręta ze wzmocnieniem przyjmowany jest przekrój o zmiennej bezwładności o wymiarach wynikających z definicji wzmocnienia
- podczas wymiarowania połączeń - przy definicji połączenia stalowego wymiary wzmocnienia są automatycznie przenoszone do modułu połączeń. Ich modyfikacja powoduje konieczność uaktualnienia wymiarów zdefiniowanego wzmocnienia lub stworzenia nowego.
- podczas obliczeń normowych - w trakcie normowej weryfikacji prętów ze wzmocnieniami przyjmowane są pewne założenia odnośnie zastępczych parametrów przekroju dla pręta jako całości. Moment bezwładności pręta zastępczego liczony jest na podstawie długości i bezwładności poszczególnych elementów składowych pręta tzn. odcinków ze wzmocnieniami i bez. Zastępcze charakterystyki służą do obliczeń stateczności ogólnej pręta. Naprężenia sprawdzane są w poszczególnych punktach pręta z uwzględnieniem rzeczywistych charakterystyk przekrojowych. Wymiarowanie, czyli znajdowanie optymalnych przekrojów pręta, odbywa się również z uwzględnieniem wzmocnień.

Opcja *Imperfekcje geometryczne* (dostępna z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Cechy dodatkowe / Imperfekcje geometryczne*) umożliwia definicję wstępnych imperfekcji geometrycznych. Imperfekcje geometryczne mogą być nadawane na pojedyncze pręty lub na grupę współliniowych prętów (tzw. superprętów). Imperfekcje nie powodują wstępnych sił, naprężeń w konstrukcji; uwzględnienie imperfekcji powoduje jedynie zmianę geometrii struktury. Przy wykorzystywaniu tej opcji należy pamiętać o przyjętych założeniach:

- imperfekcje nadawane mogą być tylko na elementy prętowe
- imperfekcje nadawane są w połowie długości pojedynczego pręta (grupy prętów współliniowych)
- imperfekcje powodują zmianę geometrii pręta lub grupy prętów, natomiast zmiana geometrii realizowana jest poprzez utworzenie elementów obliczeniowych odwzorowujących zdeformowany kształt
- wszystkie rezultaty obliczeń konstrukcji wyświetlane są na konstrukcji zdeformowanej (tzn. uwzględniającej imperfekcje geometryczne); przemieszczenia węzłów są podawane w stosunku do początkowej geometrii zdefiniowanej przez użytkownika.

W programie istnieje również możliwość definicji przegubów nieliniowych, które mogą być wykorzystywane w analizie zniszczenia konstrukcji (Pushover analysis). Analiza zniszczenia konstrukcji jest statyczną, nieliniową analizą, w której wielkość obciążenia konstrukcji jest zwiększana przyrostowo zgodnie z przyjętym schematem obciążania. Zwiększanie wartości obciążenia umożliwia znalezienie słabych części konstrukcji oraz postaci zniszczenia konstrukcji. Analiza zniszczenia jest próbą oszacowania rzeczywistej wytrzymałości konstrukcji. Opcja dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Cechy dodatkowe / Przeguby nieliniowe*. W oknie dialogowym **Definicja modelu przegubu nieliniowego** znajdują się opcje umożliwiające definicję przebiegu krzywej analizy zniszczenia (PushOver) i jej parametrów. W tym oknie dialogowym dostępne są trzy typy przegubu nieliniowego: typ siła-przemieszczenie, typ moment-rotacja i typu naprężenie-odkształcenie.

W programie **Robot** istnieje możliwość zdefiniowania prętów, które mogą pracować jedynie na ściskanie bądź rozciąganie, prętów kratownicowych (opcja służy do definicji prętów typu kratownicowego w konstrukcjach ramowych; taka definicja nie powoduje nadania zwolnień w elemencie ramowym, ale zmienia typ elementu skończonego z belkowego na kratownicowy) oraz prętów, dla których uwzględniany

będzie wpływ ścinania na deformację konstrukcji. Opcja dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Cechy dodatkowe / Charakterystyki zaawansowane prętów*. W oknie dialogowym **Charakterystyki zaawansowane** należy zdefiniować w odpowiednim polu edycyjnym (wpisując numery prętów z klawiatury) lub graficznie na ekranie pręty pracujące na tylko ściskanie/rozciąganie, pręty kratownicowe lub pręty, dla których uwzględniany będzie wpływ ścinania na deformację konstrukcji.

Typ pręta stalowego/drewnianego jest nadawany podczas definiowania prętów konstrukcji. Nie jest on konieczny podczas analizy konstrukcji; jest on wykorzystywany w trakcie wymiarowania poszczególnych prętów stalowych/drewnianych konstrukcji (słupów, belek itp.). Typ pręta zawiera w sobie wszystkie parametry niezbędne do wymiarowania elementów konstrukcji stalowej/drewnianej takie jak: długości wyboczeniowe, typ zwiczerzenia itp.

Sposób definiowania wymienionych atrybutów konstrukcji jest identyczny z tym prezentowanym dla nadawania profili prętom konstrukcji.

Podczas pracy w programie **Robot** tworzonych jest wiele charakterystyk opisujących parametry prętów, paneli lub brył; są to różne zestawy parametrów służące do określenia właściwości fizycznych, mechanicznych lub służących do wymiarowania elementów konstrukcji. Przykładem takich charakterystyk są: profile prętów, grubości płyt, zestawy parametrów służących do wymiarowania elementów konstrukcji stalowych lub służących do obliczenia zbrojenia w elementach konstrukcji żelbetowych, definicje podpór, przegubów itp.

Opcja *Biblioteka charakterystyk* dostępna z menu poprzez wybranie komendy *Narzędzia / Biblioteka charakterystyk* umożliwia przeprowadzenie następujących operacji związanych z dostępem do charakterystyk:

- zapis charakterystyk z aktualnego zadania do bazy
- odczyt charakterystyk z bazy do aktualnego zadania
- przeglądanie zawartości definicji charakterystyk
- przeniesienie zdefiniowanych charakterystyk pomiędzy kolejnymi instalacjami lub stanowiskami programu.


Należy tu jednak pamiętać, że charakterystyki normowe prętów (tj. typ pręta stalowego lub aluminiowego, typ pręta drewnianego, typ pręta betonowego) są konwertowane do aktualnej normy wymiarowania konstrukcji stalowych, drewnianych lub żelbetowych (zbrojenie teoretyczne); dlatego też typy pręta zdefiniowane dla jednej normy nie powinny być używane dla innych norm, ponieważ może to prowadzić do utraty definicji pewnych specyficznych parametrów. Wymiarowanie wszystkich prętów w danym zadaniu jest prowadzone według wybranej aktualnie normy. Natomiast charakterystyka zbrojenia płyt i powłok jest zapisywana dla określonej normy wymiarowania konstrukcji żelbetowych (zbrojenie teoretyczne). Charakterystyki typu zbrojenia paneli można więc używać pomiędzy zadaniami niezależnie od wybranej domyślnie normy wymiarowania.

3.4. Definicja modelu konstrukcji - powierzchniowe elementy skończone 2D

3.4.1. Panele

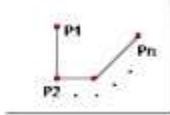
Siatka powierzchniowych elementów skończonych dla konstrukcji płytowo-powłokowych jest definiowana w dwóch etapach. W pierwszym kroku użytkownik definiuje obszary, w których generowane będą siatki elementów skończonych. Obszary są tworzone przez podanie ich brzegów (definiowanie konturów obszaru przy pomocy opcji *Pollinia - kontury*). Na wybranych obszarach (konturach) definiowane są panele modelujące stropy, ściany w budynkach. Podczas definiowania panelu przypisywane są mu pewne właściwości (grubość, typ zbrojenia). W drugim kroku (po zdefiniowaniu panela i rozpoczęciu obliczeń

konstrukcji) siatka powierzchniowych elementów skończonych generowana jest automatycznie na podstawie opcji wybranych w **Preferencjach zadania** (*Opcje siatkowania*). Kontury konstrukcji płytowo-powłokowych można definiować przy pomocy opcji *Polilinia - Kontury*. Opcja dostępna jest dla trzech typów konstrukcji (płyta, powłoka lub bryła):

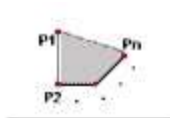
- z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Obiekty / Polilinia - Kontur*
- z paska narzędziowego *Definicja konstrukcji* poprzez naciśnięcie ikony .

W części okna dialogowego **Polilinia - kontur** nazwanej *Metoda tworzenia* znajdują się opcje umożliwiające wybór metody definiowania linii; metoda zależy od wyboru odpowiedniej opcji. Poniżej pokazano rysunki schematycznie przedstawiające metody definiowania linii.

Linia będzie definiowana przy pomocy dwóch punktów: początku i końca linii.




Definicja linii łamanej (polilinii). Łamana określana będzie poprzez podanie ciągu punktów należących do linii łamanej.



Definicja konturu; będzie on określany poprzez podanie ciągu punktów należących do konturu.

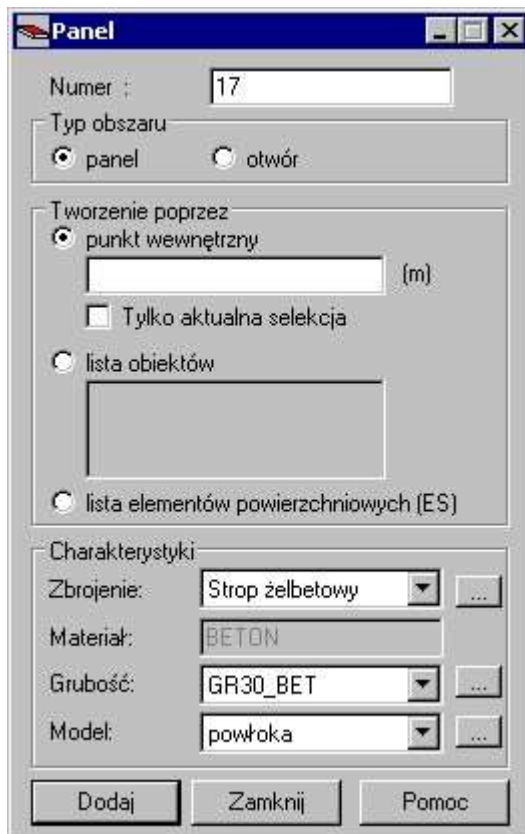
Po zdefiniowaniu konturów należy określić panele znajdujące się w konstrukcji. Służy do tego opcja dostępna:

- z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Panele*
- z paska narzędziowego *Definicja konstrukcji* poprzez naciśnięcie ikony .

Zdefiniowanie panelu polega na podaniu:

- numeru panela
- brzegów (konturu) panela i, jeśli są zdefiniowane, brzegów (konturów) otworów znajdujących się w zdefiniowanym panelu oraz brzegów boków (ścianek). Jest to możliwe na trzy sposoby:
 - poprzez podanie punktu wewnętrznego panela/otworu
 - poprzez wskazanie numeru obiektu
 - poprzez podanie listy powierzchniowych elementów skończonych
- typu zbrojenia panela
- materiału (to pole nie jest dostępne; prezentowany jest w nim materiał zdefiniowany dla wybranego typu grubości panela)
- grubości panela
- modelu obliczeniowego panela; pozwala zdefiniować, w jaki sposób zostanie otrzymane rozwiązanie dla przemieszczeń i sił wewnętrznych panela oraz podpierających go obiektów.

Jeżeli wybrana została opcja *Bok* w polu *Typ obszaru*, to niedostępne stają się wszystkie opcje w polu *Charakterystyki* znajdującym się w dolnej części okna dialogowego. Wybranie tej opcji powoduje, iż tworzony obiekt będzie definiowany jako ścianka (bez nadania własności takich jak typ zbrojenia i grubość); taki obiekt będzie mógł być wykorzystany przy tworzeniu konstrukcji objętościowej (bryły) - stanowić może ściankę takiego obiektu objętościowego.



UWAGA: W dolnej części okna dialogowego znajdują się klawisze (...) (na prawo od pól: Zbrojenie, Grubość i Model). Ich naciśnięcie powoduje otwarcie odpowiednio okna dialogowego **Nowy typ zbrojenia**, **Nowa grubość** lub **Model obliczeniowy panela**, w których określone mogą zostać nowe typy grubości / zbrojenia płyt i powłok / modele obliczeniowe panela. Zdefiniowane typy grubości / zbrojenia / modele dodawane są odpowiednio do list typów grubości / typów zbrojenia płyt/powłok / modeli.

Po zdefiniowaniu paneli i rozpoczęciu obliczeń konstrukcji tworzona jest siatka powierzchniowych elementów skończonych zgodnie z parametrami wybranymi w oknie dialogowym **Preferencje zadania** (Opcje siatkowania). Siatka powierzchniowych elementów skończonych jest widoczna dopiero, gdy włączona jest opcja **Siatka ES** w oknie dialogowym **Wyświetlanie atrybutów**.

Procedura tworzenia siatki elementów dla danego konturu może być wielokrotnie powtórzona; należy zwrócić tu jednak uwagę, że "nowa" siatka elementów powierzchniowych wymaże siatkę "starą". W programie dostępne są dwa rodzaje powierzchniowych elementów skończonych:

- elementy trójkątne (3- lub 6-węzłowe),
- elementy czworokątne (4- lub 8-węzłowe).

W programie **Robot** zalecane jest używanie 3- i 4-węzłowych elementów powierzchniowych. W przypadku użycia 6- i 8-węzłowych elementów powierzchniowych do generacji siatki następujące opcje mogą nie działać poprawnie:

- zwolnienia liniowe
- operacje Boolowskie (odcinanie)
- uzgadnianie siatek pomiędzy panelami oraz pomiędzy panelami i prętami.

Funkcje wykorzystywane podczas tworzenia siatki elementów skończonych tworzą najpierw węzły wewnątrz wybranego obszaru, a następnie przypisują utworzone węzły do odpowiednich elementów

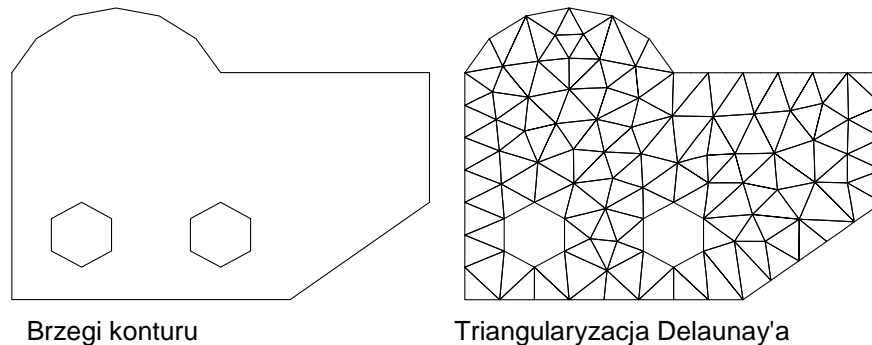
skończonych. Węzły wewnątrz obszaru (konturu) mogą być tworzone przy pomocy algorytmu triangulacji Delaunay'a lub metody Coons'a.

UWAGA: Przykłady generacji siatki elementów skończonych dla konstrukcji płytowo-powłokowych przedstawiono w załącznikach znajdujących się na końcu podręcznika.

3.4.2. Typy powierzchniowych elementów skończonych

Metoda triangulacji Delaunay'a

Metoda triangulacji Delaunay'a może być stosowana do tworzenia siatki elementów skończonych dla dowolnej powierzchni płaskiej. Jeżeli w obszarze występują otwory, użytkownik powinien zdefiniować je jako brzeg konturu. Nie będą one wtedy brane pod uwagę podczas tworzenia siatki elementów skończonych. Przykładowa siatka elementów skończonych utworzona przy pomocy metody Delaunay'a jest pokazana na poniższym rysunku.



Następujące parametry mogą być definiowane dla metody Delaunay'a:

- metoda generacji siatki: sama metoda Delaunay'a lub metoda generacji dodatkowych węzłów (metoda Kanga - emitery).

Emitery są węzłami definiowanymi przez użytkownika, w których pobliżu siatka elementów skończonych będzie zagęszczana. Parametry zagęszczania podawane są jako parametry Kanga.

= parametr H_0 określający długość pierwszej fali

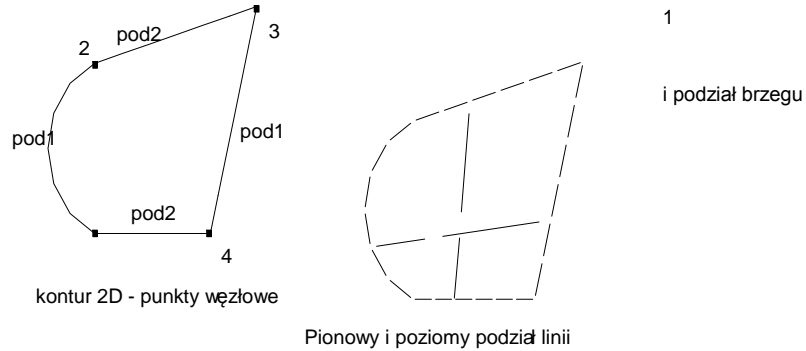
= parametry Kanga (H_{max} , Q)

Poszczególne parametry metody Kanga oznaczają:

1. H_{max} - długość przedostatniej fali przed zakończeniem rozgęszczania siatki
2. Q - stosunek długości fali następnej do poprzedniej.

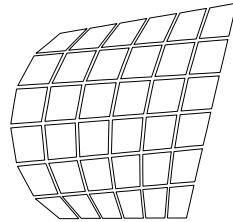
Metoda Coons'a

Powierzchnie Coons'a są powierzchniami 3D rozciągającymi się nad czworokątnymi lub trójkątnymi konturami, których przeciwległe brzegi są podzielone na taką samą liczbę odcinków. Kształty tworzonych elementów odpowiadają kształtowi obszaru, na którym tworzona jest siatka. Ogólna koncepcja tej metody polega na połączeniu prostymi wszystkich punktów utworzonych na wybranym brzegu konturu z punktami leżącymi na przeciwległym brzegu konturu. Linie 'pionowe' i 'poziome' tworzą dwa zbiory punktów. Punkt przecięcia każdej pary linii 'poziomych' i 'pionowych' wyznacza końcowe położenie węzła wewnątrz obszaru (patrz poniższy rysunek).



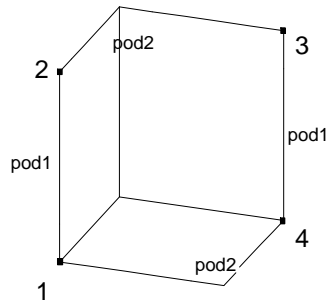
kontur 2D - punkty węzłowe

Pionowy i poziomy podział linii



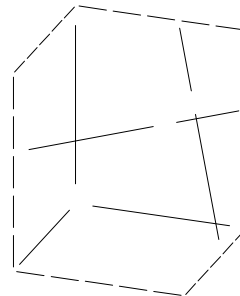
Siatka Coons'a

Po wskazaniu użytkownik powinien metody Coons'a, które elementów skończonych mieszany typ parametry podziału: Parametry podziału elementów, które zostaną utworzone na pierwszym (pomiędzy pierwszym i drugim wierzchołkiem konturu) i drugim (pomiędzy drugim i trzecim wierzchołkiem konturu) brzegu konturu. Brzegi konturu przeciwległe do wymienionych boków konturu zostaną automatycznie podzielone w taki sposób, aby podział odpowiadał temu przyjętemu na pierwszym i drugim brzegu konturu. Dla obszarów trójkątnych podział brzegu pomiędzy trzecim, pomiędzy drugim podział pomiędzy jak pomiędzy pomiędzy drugim pomiędzy drugim trzecim a pierwszym a użytkownika - wierzchołkiem zwiększony.



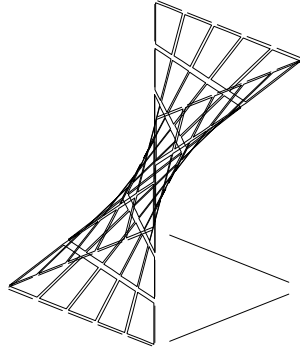
kontur 3D - punkty węzłowe i podział brzegu

wybranego konturu zdefiniować parametry określają kształt siatki (trójkąty, czworokąty, elementów) oraz podział 1 i podział 2. określają liczbę elementów, które zostaną utworzone na pierwszym (pomiędzy pierwszym i drugim wierzchołkiem konturu) i drugim (pomiędzy drugim i trzecim wierzchołkiem konturu) brzegu konturu. Brzegi konturu przeciwległe do wymienionych boków konturu zostaną automatycznie podzielone w taki sposób, aby podział odpowiadał temu przyjętemu na pierwszym i drugim brzegu konturu. Dla obszarów trójkątnych podział brzegu pomiędzy trzecim a pierwszym wierzchołkiem konturu jest taki sam jak a trzecim wierzchołkiem. W obszarach czworokątnych trzecim a czwartym wierzchołkiem konturu jest taki sam pierwszym a drugim wierzchołkiem, natomiast podział czwartym a pierwszym wierzchołkiem jest taki sam jak a trzecim wierzchołkiem. Jeżeli podział np. pomiędzy czwartym wierzchołkiem konturu jest większy niż między drugim wierzchołkiem, to wstępny - podany przez podział brzegu konturu pomiędzy pierwszym a drugim zostanie automatycznie



Pionowe i poziome linie


tworzenia siatki elementów są zdefiniowane w trójwymiarowych 3D (poniżej).



siatka 3D

Następujące parametry mogą być definiowane dla metody Coons'a:
= typ siatki elementów skończonych (topologie Coons'a)
= parametry tworzenia siatki (podział1 i podział2) omówione wcześniej.

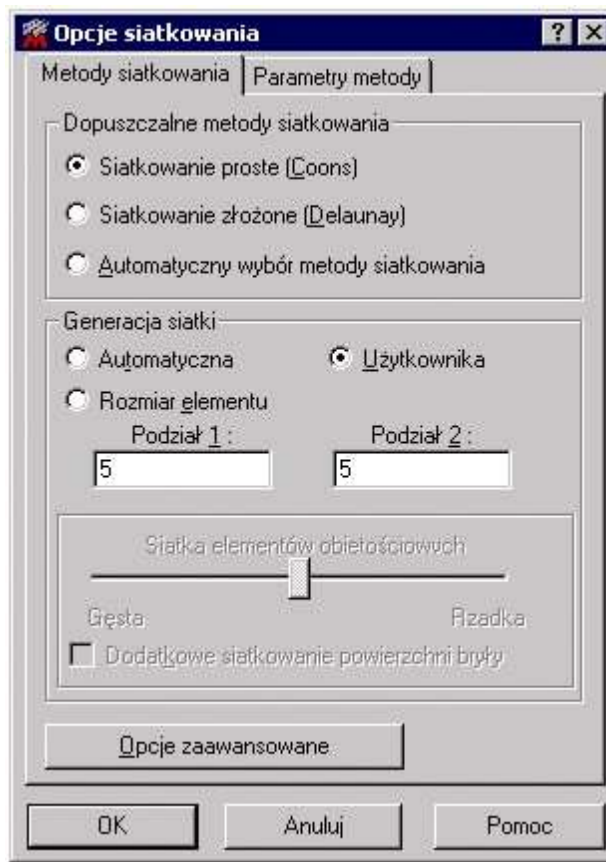
W programie znajduje się opcja *Punkty bazowe siatki* służąca do określenia punktów panela, które będą podstawą do generacji siatki elementów skończonych przy użyciu metody Coons'a. Opcja jest dostępna:

- z menu poprzez wybranie komendy *Analiza / Model obliczeniowy / Punkty bazowe siatki*
- z paska narzędziowego poprzez naciśnięcie ikony .

Parametry generacji siatki powierzchniowych elementów skończonych

Naciśnięcie klawisza **Modyfikacja** znajdującego się w oknie dialogowym **Preferencje zadania** (opcja *Opcje siatkowania* - patrz rozdział 2.2.3 tego podręcznika) lub wybranie komendy *Analiza / Model obliczeniowy / Opcje siatkowania* znajdującej się w menu (wybrany musi być panel) powoduje, że na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.

UWAGA: Komenda *Analiza / Model obliczeniowy / Opcje siatkowania* jest dostępna w menu dla następujących typów konstrukcji: *plyta, powłoka i konstrukcje objętościowe*.



W górnej części okna dialogowego w polu *Dopuszczalne metody siatkowania* dokonany może zostać wybór metody generacji siatki elementów skończonych:

- *Siatkowanie proste (metoda Coons'a)*
- *Siatkowanie złożone (metoda Delaunay'a)*
- *Automatyczny wybór metody siatkowania* (domyślne ustawienie).

Pole *Generacja siatki* służy definicji rodzaju siatkowania. Dostępne są tu trzy opcje:

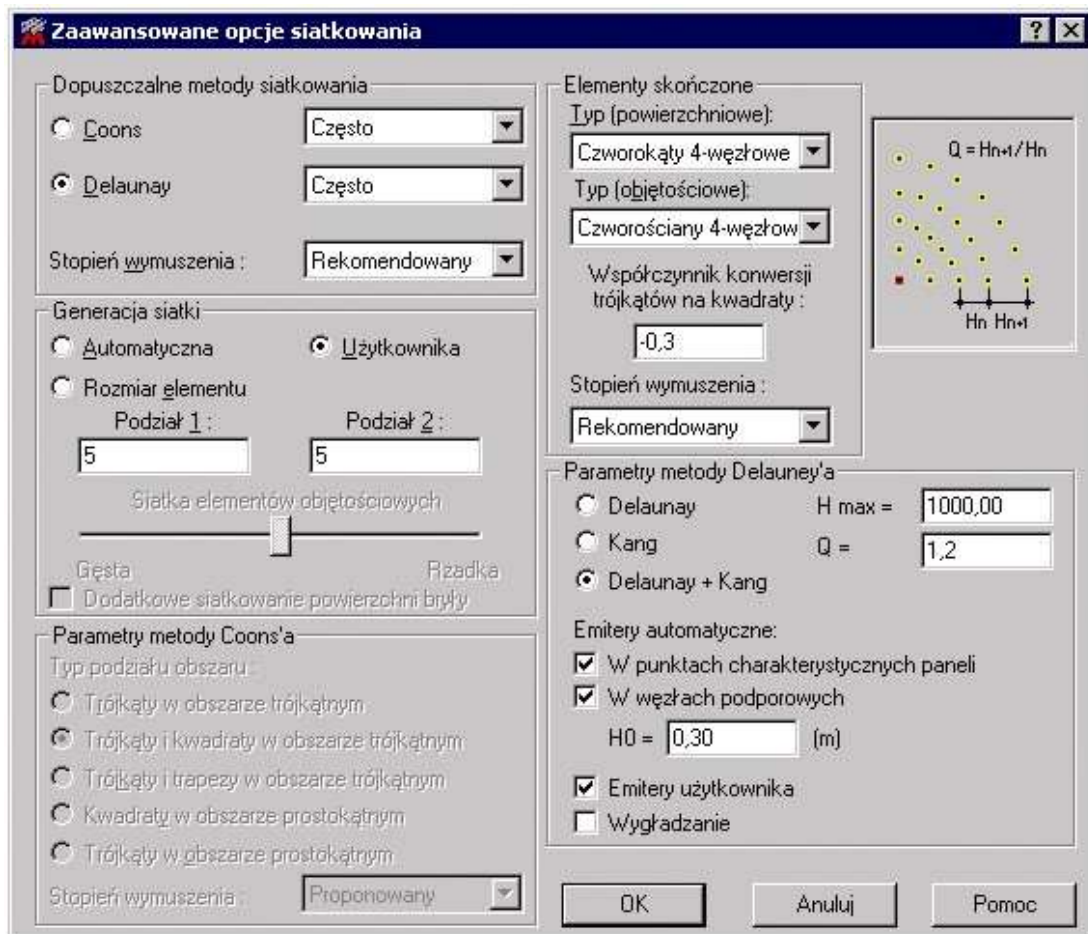
- *Automatyczna*
- *Użytkownika* - dla metody Coonsa zdefiniowane mogą tu zostać dwa parametry: *podział 1* i *podział 2*
- *Rozmiar elementu* - w przypadku wybrania tej opcji dostępne staje się pole edycyjne, w którym określony może zostać charakterystyczny wymiar elementu siatki elementów skończonych; przyjęcie rozmiaru elementu równego np. 0.5 m oznacza, że w przypadku:
 - siatki powierzchniowych elementów skończonych (czworokątów) generowana będzie siatka elementów zbliżonych do kwadratu o boku 0.5 m
 - siatki powierzchniowych elementów skończonych (trójkątów) generowana będzie siatka elementów zbliżonych do trójkąta równobocznego o boku 0.5 m
 - siatki objętościowych elementów skończonych generowana będzie siatka elementów zbliżonych do sześcianu o boku 0.5 m.

W polu tym znajduje się również opcja umożliwiająca określenie, jaka siatka objętościowych elementów skończonych ma być generowana: suwak pozwala na wybór od siatki rzadkiej do gęstej. Poniżej znajduje się opcja *Dodatkowe siatkowanie powierzchni bryły*. Jej włączenie powoduje, iż podczas tworzenia siatki objętościowych elementów skończonych przeprowadzana będzie dodatkowa generacja siatki na powierzchni (konturze) bryły, która będzie miała wpływ na gęstość siatki elementów objętościowych wewnątrz bryły. Należy tu zwrócić uwagę na fakt, że włączenie tej opcji powoduje zwiększenie gęstości siatki elementów objętościowych.

UWAGA: Opcja *Dodatkowe siatkowanie powierzchni bryły* nie powinna być stosowana dla takiej powierzchni, która jest powierzchnią kontaktu boków dwóch brył.

W dolnej części zakładki *Metody siatkowania* znajduje się klawisz **Opcje zaawansowane**; jego naciśnięcie powoduje otwarcie okna dialogowego **Zaawansowane opcje siatkowania** pokazanego na rysunku poniżej.

Po wybraniu w górnej części zakładki *Metody siatkowania* opcji *Siatkowanie proste (Coons)* lub *Siatkowanie złożone (Delaunay)*, w oknie dialogowym pojawia się druga zakładka *Parametry metody*; na której określone mogą zostać parametry wybranej metody siatkowania. Parametry te omówione zostały poniżej przy omawianiu okna dialogowego **Zaawansowane opcje siatkowania**.



W powyższym oknie dialogowym wybrane mogą zostać parametry tworzonej siatki powierzchniowych elementów skończonych. W polu *Dopuszczalne metody siatkowania* można wybrać jedną z wymienionych metod generacji siatki: metodę Delaunay'a lub Coons'a.

Dla każdej z metod określony może zostać stopień wykorzystania metody podczas generacji siatki: nigdy, rzadko lub często. Dodatkowo w tym polu określony może zostać stopień wymuszenia wybranej metody generacji siatki powierzchniowych elementów skończonych. Jeżeli na przykład wybrana została metoda Coons'a, jej wymuszenie: często oraz stopień wymuszenia metod siatkowania *narzucony*, to oznacza to, iż algorytm generacji siatki wymuszał będzie tworzenie siatki w wybranym obszarze metodą Coons'a.

W polu *Elementy skończone* można wybrać typ elementów skończonych wykorzystywanych podczas generacji siatki elementów: trójkąty 3-węzłowe, trójkąty 6-węzłowe, czworokąty 4-węzłowe, czworokąty 8-węzłowe (patrz rysunek poniżej).



Trójkątne 3 i 6 węzłowe



Czworokątne 4 i 8 węzłowe

W programie **Robot** zalecane jest używanie 3- i 4-węzłowych elementów powierzchniowych. W przypadku użycia 6- i 8-węzłowych elementów powierzchniowych do generacji siatki następujące opcje mogą nie działać poprawnie:

- zwolnienia liniowe
- operacje Boolowskie (odcinanie)
- uzgadnianie siatek pomiędzy panelami oraz pomiędzy panelami i prętami.

Ponadto w tym polu określony może zostać stopień wymuszenia wybranego typu powierzchniowych elementów skończonych. Jeżeli na przykład wybrane zostaną trójkąty 3-węzłowe oraz stopień wymuszenia *dowolny*, to oznacza to, iż algorytm generacji siatki będzie wykorzystywał podczas tworzenia siatki dowolny typ powierzchniowych elementów skończonych.

W polu *Generacja siatki* wybrany może zostać rodzaj siatkowania: automatyczny lub definiowany przez użytkownika. Dla metody Coons'a zdefiniowane mogą zostać dwa parametry:

- podział 1 - parametr określający liczbę elementów, które zostaną utworzone na pierwszym brzegu konturu (pomiędzy pierwszym i drugim wierzchołkiem konturu). Brzeg konturu przeciwny do wymienionego boku konturu zostanie automatycznie podzielony w taki sposób, aby podział odpowiadał temu przyjętemu na pierwszym brzegu konturu
- podział 2 - parametr określający liczbę elementów, które zostaną utworzone na drugim brzegu konturu (pomiędzy drugim i trzecim wierzchołkiem konturu). Brzeg konturu przeciwny do wymienionego boku konturu zostanie automatycznie podzielony w taki sposób, aby podział odpowiadał temu przyjętemu na drugim brzegu konturu.

Możliwe jest również podanie wartości rozmiaru elementów skończonych tworzonych podczas generacji siatki. Umożliwia to opcja *Rozmiar elementu*.

Dodatkowo w tym polu znajduje się opcja umożliwiająca określenie, jaka siatka objętościowych elementów skończonych ma być generowana: suwak pozwala na wybór od siatki rzadkiej do gęstej. W polu *Parametry metody Coons'a* wybrany może zostać jeden z następujących typów podziału obszaru: • trójkąty w obszarze trójkątnym

- trójkąty i kwadraty w obszarze trójkątnym
- trójkąty i romby w obszarze trójkątnym • kwadraty w obszarze prostokątnym
- trójkąty w obszarze prostokątnym.

Dodatkowo w tym polu określony może zostać stopień wymuszenia wybranego typu podziału obszaru dla metody Coons'a generacji siatki powierzchniowych elementów skończonych.

W polu *Parametry metody Delaunay'a* wybrana może zostać metoda generacji siatki:


- sama metoda Delaunay'a - wybór tej opcji oznacza, że siatka będzie tworzona jedynie metodą Delaunay'a
- metoda Kanga - wybór tej metody oznacza, że siatka elementów skończonych zostanie wygenerowana jedynie na obszarze w pobliżu emiterów zgodnie z przyjętymi parametrami metody Kanga (H_0 , H_{max} i Q)
- metoda Delaunay'a i Kanga - wybór tej metody oznacza, że w pobliżu emiterów tworzenie siatki elementów odbywać się będzie przy pomocy metody Kanga a poza tymi obszarami metodą Delaunay'a.

Emitery są węzłami, w których pobliżu siatka elementów skończonych będzie zagęszczana. Dostępne są dwa rodzaje emiterów:

- *Domyślne* - tworzone automatycznie przez program w miejscach charakterystycznych (w punktach charakterystycznych paneli: w narożach paneli, przy otworach oraz w węzłach podporowych) - ustawienie tych opcji następuje w oknie dialogowym **Zaawansowane opcje siatkowania**
- *Użytkownika* - wskazywane przez użytkownika, definiowane w oknie dialogowym **Emitery**, dostępnym po wybraniu opcji menu *Analiza / Model obliczeniowy / Emitery*.











Jeżeli włączona jest opcja *Wygladzanie*, to podczas tworzenia siatki wykorzystywany będzie również algorytm wygladzania wygenerowanej siatki elementów skończonych.

Opcje służące do generacji i modyfikacji siatki elementów skończonych

Opcje dostępne są po kliknięciu w ikonę *Opcje generacji siatki ES*  znajdującą się w górnym pasku narzędziowym. Powoduje to otwarcie się paska narzędziowego pokazanego na poniższym rysunku.



w którym znajdują się ikony umożliwiające:

-  - generację modelu obliczeniowego, czyli utworzenie siatek elementów skończonych
-  - określenie punktów, które będą podstawą do generacji siatki przy użyciu metody Coons'a
-  - otwarcie okna dialogowego **Opcje siatkowania** dla wybranego panelu
-  - zamrożenie siatki dla danego panelu - wybranie tej opcji oznacza, iż w trakcie generacji modelu obliczeniowego siatka nie będzie modyfikowana na takim panelu
-  - odmrożenie siatki na panelu - wybranie tej opcji oznacza, iż panel będzie brany pod uwagę w czasie generacji siatki elementów skończonych
-  - lokalną generację siatki - siatka zostanie wygenerowana tylko dla wybranych paneli (*UWAGA: użycie tej opcji powoduje zamrożenie siatki*)
-  - usunięcie siatki na wybranym panelu
-  - zdefiniowanie emiterów użytkownika
-  - konsolidację siatki - opcja umożliwia dokonanie konwersji elementów trójkątnych na czworokątne dla wybranych elementów skończonych
-  - zagęszczanie siatki - opcja umożliwia dokonanie konwersji elementów trójkątnych na trójkątne lub czworokątne dla wybranych elementów skończonych.




- jakość siatki - opcja umożliwi dokonanie jakościowej oceny siatki elementów skończonych dla wybranych paneli.

UWAGA: Przykłady generacji siatki elementów skończonych dla konstrukcji płytowo-powłokowych przedstawiono w załącznikach znajdujących się na końcu podręcznika.

3.4.3. Emitery, zagęszczanie, konsolidacja i jakość siatki ES

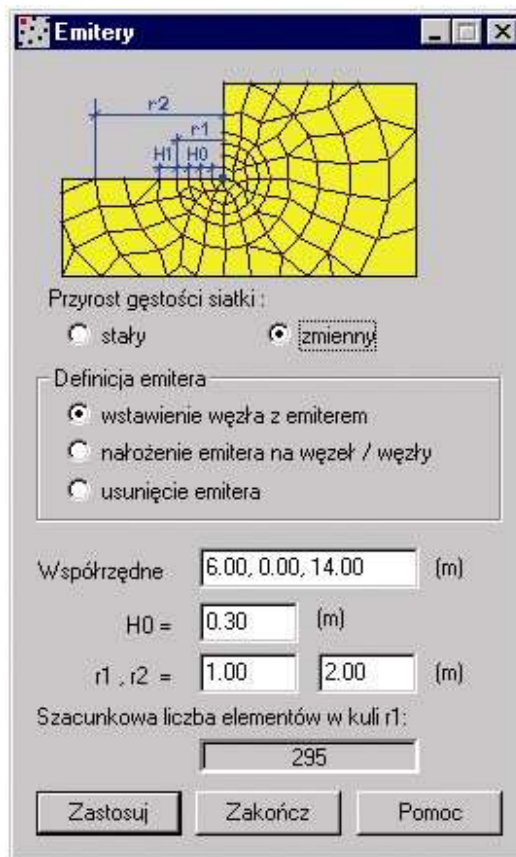
Emitery są węzłami definiowanymi przez użytkownika, w których pobliżu siatka elementów skończonych będzie zagęszczana. Jest to ważna opcja podczas obliczeń płyty/powłoki lub konstrukcji objętościowej, kiedy użytkownik chce uzyskać jak najdokładniejsze wyniki obliczeń w punktach charakterystycznych konstrukcji (podpory, punkty przyłożenia sił itp.). Opcja jest dostępna:

- z menu poprzez wybranie komendy *Analiza / Model obliczeniowy / Emitery*
- z paska narzędziowego poprzez naciśnięcie ikony .

Istnieją dwa sposoby definicji emiterów. Zależą od sposobu przyrostu siatki elementów skończonych:

- *stały przyrost* - metodę stosuje się dla konstrukcji płytowych lub powłokowych
- *zmienny przyrost* - metodę stosuje się dla konstrukcji objętościowych.

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno (pokazane po wyborze opcji *Zmienny przyrost*).



W powyższym oknie dialogowym wybrana może zostać jedna z trzech opcji:

- wstawienie węzła z emiterym - zdefiniowane przez użytkownika węzła, w którym będzie się znajdował emitery o podanych przez użytkownika współrzędnych
- nadanie emiterya w istniejącym węźle/węzłach - określenie numeru węzła/węzłów, w którym będzie się znajdował emitery
- usunięcie emiterya - określenie numeru węzła/węzłów, z których usuwany będzie emitery.

Wymienione powyżej opcje posiadają następujące parametry:

- wstawienie węzła z emiterym:
H0 - początkowa długość fali siatki (inne parametry tworzenia siatki elementów wokół emiterya można zdefiniować w oknie dialogowym **Opcje generacji siatki elementów skończonych**)
współrzędne - współrzędne położenia definiowanego węzła z emiterym o określonym parametrze H0
- nadanie emiterya w istniejącym węźle/węzłach:
H0 - początkowa długość fali siatki (inne parametry tworzenia siatki elementów wokół emiterya można zdefiniować w oknie dialogowym **Opcje generacji siatki elementów skończonych**) lista węzłów - lista numerów węzłów, w których będzie się znajdował emitery o określonym parametrze H0
- usunięcie emiterya:
lista węzłów - lista numerów węzłów, z których usuwany będzie emitery.

Po wybraniu opcji *Zmienny przyrost* dostępne są wszystkie opcje, które omówione zostały dla stałego przyrostu siatki, a dodatkowo dostępne są następujące pola edycyjne:

- *r1* - promień kuli, w której siatka będzie charakteryzowała się początkową długością fali H0
- *r2* - promień kuli, do którego następowało będzie rozgęszczenie siatki (tzn. rozgęszczenie siatki będzie miało miejsce w pasie pomiędzy promieniem *r1* a *r2*)
- *szacunkowa liczba elementów w kuli o promieniu r1* - pole nie jest dostępne; program wyznacza liczbę elementów po podaniu współrzędnych emiterya oraz wartości H0, *r1* i *r2*.

Podczas tworzenia siatki powierzchniowych elementów skończonych wykorzystywane mogą być również opcje: *Konsolidacja* i *Zagęszczanie siatki*.

Stosowanie opcji KONSOLIDACJA powoduje zamianę wybranych elementów trójkątnych na elementy czworokątne (zmniejsza się liczba elementów). Zaleca się wykorzystywanie opcji KONSOLIDACJA po utworzeniu siatki elementów skończonych przy pomocy metody triangularyzacji Delaunay'a. Powoduje to zamianę elementów trójkątnych na czworokąty, dla których zazwyczaj otrzymuje się dokładniejsze wyniki obliczeń. Przed rozpoczęciem działania opcji KONSOLIDACJA użytkownik musi podać: • parametr (współczynnik konwersji) należący do przedziału: [-1, +1]

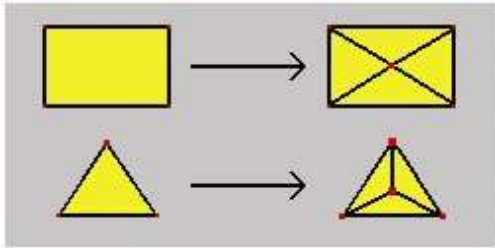
- listę elementów, dla których wykonana zostanie konsolidacja.

Przyjęcie wartości współczynnika konwersji równej "+1" oznacza, że tworzone czworokąty będą tworzone z elementów trójkątnych we wszystkich możliwych miejscach wybranego obszaru (może to jednak prowadzić do wygenerowania czworokątów o niepoprawnych kształtach, a w konsekwencji do złego uwarunkowania układu równań). Przyjęcie wartości "-1" parametru wagowego oznacza, iż w trójkątnej siatce elementów skończonych zamieniane będą tylko te elementy trójkątne, które utworzą elementy o kształcie kwadratu.

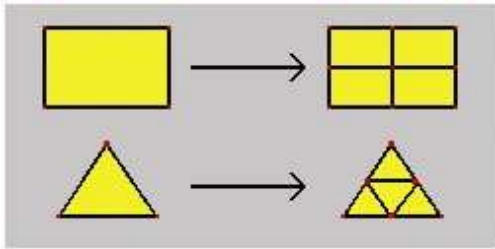
Stosowanie opcji ZAGĘSZCZANIE powoduje wzrost gęstości siatki elementów skończonych w wybranym przez użytkownika obszarze. Utworzona siatka elementów czworokątnych jest dzielona na mniejsze elementy trójkątne lub czworokątne w zależności od przyjętych parametrów. Aby dokonać zagęszczenia siatki elementów skończonych, należy:

- typ zagęszczenia
- listę elementów, dla których wykonane zostanie zagęszczenie.

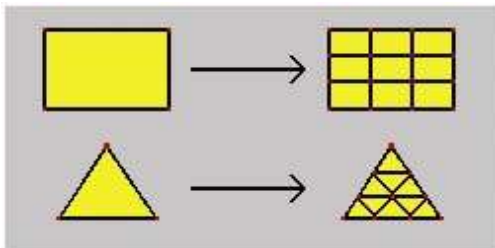
W programie dostępne są trzy typy zagęszczenia:



Prosty - krawędzie elementów skończonych nie będą dzielone




Podwójny - każda krawędź elementu skończonego będzie dzielona na dwie części



Potrójny - każda krawędź elementu skończonego będzie dzielona na trzy części.

W tych oknach dialogowych znajduje się opcja *Zamrożenie siatki ES*. Umożliwia ona (jeżeli zostanie włączona) zamrożenie wygenerowanej siatki elementów skończonych dla wybranych paneli. Oznacza to, że podczas przygotowywania konstrukcji do obliczeń (generacja modelu obliczeniowego konstrukcji) siatka elementów skończonych nie zostanie zmieniona.

Wyłączona opcja oznacza, że podczas przygotowywania konstrukcji do obliczeń siatka elementów skończonych może zostać zmieniona dla wybranego panelu; przyjęte zostaną parametry generacji siatki określone w oknie dialogowym **Opcje siatkowania**.

Naciśnięcie ikony *Jakość siatki*  pozwala na ocenę jakościową siatki elementów skończonych dla wybranych paneli.

Każdy element posiada pewien współczynnik proporcjonalności określający jakość jego geometrii, tzn. czy element jest dobrze uwarunkowany, czy nie. Współczynnik zawiera się w przedziale (0,1), gdzie 1 opisuje element będący kwadratem lub trójkątem równobocznym. Wartości mniejsze przyjmują elementy gorzej uwarunkowane, tzn. takie których geometria odbiega od kwadratu lub trójkąta równobocznego. Dla wyselekcjonowanych paneli sprawdzane są globalnie dwa współczynniki:


- Q1 - współczynnik ważony biorący pod uwagę ważność elementów ze względu na ich powierzchnię, tzn. im powierzchnia elementu jest większa tym waga jego jakości we współczynniku rośnie
- Q2 - bierze pod uwagę ilościowo obecność "złych" i "dobrych" elementów bez uwzględniania ich wagi powierzchniowej.

Wartości obydwu elementów zawierają się w przedziale (0,1). Gdy współczynnik dąży do wartości 1, to oznacza, że jakość siatki jest dobra, gdy dąży do wartości 0, to siatka jest niezadowolająca. Niski współczynnik Q1 oznacza, że w siatce znajdują się duże powierzchniowo elementy będące źle uwarunkowane. Natomiast niski współczynnik Q2 mówi nam, iż takich elementów (źle uwarunkowanych) jest dużo w porównaniu z całkowitą ilością elementów. Równocześnie mamy możliwość znalezienia elementów, których współczynnik proporcjonalności jest niższy niż pewna wartość (pole *Precyzja* w oknie dialogowym **Jakość siatki**).

UWAGA: Przykłady generacji siatki elementów skończonych dla konstrukcji płytowo-powłokowych z uwzględnieniem operacji konsolidacji i zagęszczania siatki przedstawiono w załącznikach znajdujących się na końcu podręcznika.

3.4.4. Grubości paneli

Nadanie grubości panelom może zostać dokonane poprzez:

- wybranie typu grubości w oknie dialogowym **Panel** w polu *Charakterystyki*
- wybranie komendy menu *Geometria / Charakterystyki / Grubość*
- naciśnięcie ikony 
- wybranie ekranu **WŁAŚCIWOŚCI** - ekran ten jest dostępny dla następujących typów konstrukcji: płyta i powłoka oraz konstrukcja objętościowa.

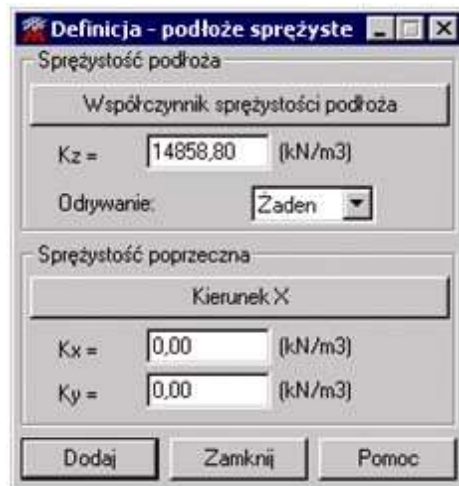
Okno dialogowe **Nowa grubość** składa się z dwóch zakładek: *Jednorodne* i *Ortotropowe*. Na zakładce *Jednorodne* zdefiniowane mogą zostać następujące parametry:

- grubość:
 - stała o wartości podawanej w polu *Gr*
 - zmienna; zmiana grubości następuje wzdłuż zdefiniowanej linii (parametry definiowane są w odpowiednich polach dla punktów P1 i P2)
 - zmienna; zmiana grubości następuje wzdłuż zdefiniowanej płaszczyzny (parametry definiowane są w odpowiednich polach dla punktów P1, P2 i P3)
- parametry sprężystości podłoża (wartość współczynnika podparcia sprężystego KZ); naciśnięcie klawisza **Parametry sprężystości podłoża** powoduje otwarcie okna dialogowego **Definicja - podłoże sprężyste** (patrz rysunek poniżej)
- materiał.

W dolnej części okna dialogowego może znajdować się dla niektórych norm żelbetowych opcja *Redukcja momentu bezwładności*; jej włączenie pozwala na redukcję elementów macierzy bezwładności na zginanie. UWAGA: Redukcja nie ma wpływu na sztywność tarczową (ściskanie, rozciąganie) oraz na siły poprzeczne. Elementy macierzy zginania dla elementów skończonych są mnożone przez podaną wartość współczynnika redukcji.

Redukcja momentów bezwładności dla przekrojów żelbetowych jest stosowana w obliczeniach statycznych w celu uwzględnienia wpływu zarysowania przekrojów. Metoda taka jest dopuszczona m.in. przez normy USA (UBC 1997 punkt 1910.11.1 lub ACI 318-95 p.10.11.1). Przykładowe wartości redukcji sztywności wg ACI:

- ściany niezarysowane 0,70*
- lg - ściany zarysowane 0,35*
- lg - płaskie płyty 0,25* lg.



W powyższym oknie dialogowym określona może zostać wartość współczynnika K_z (współczynnika podparcia sprężystego); można tego dokonać na dwa sposoby:

- wpisując wartość współczynnika w polu edycyjnym K_z
- nacisnąc klawisz **Współczynnik sprężystości podłoża**; powoduje to otwarcie okna dialogowego **Grunty budowlane - obliczanie współczynnika K** służącego jako kalkulator do wyznaczania wartości współczynnika sprężystości podłoża K dla gruntu uwarstwionego.

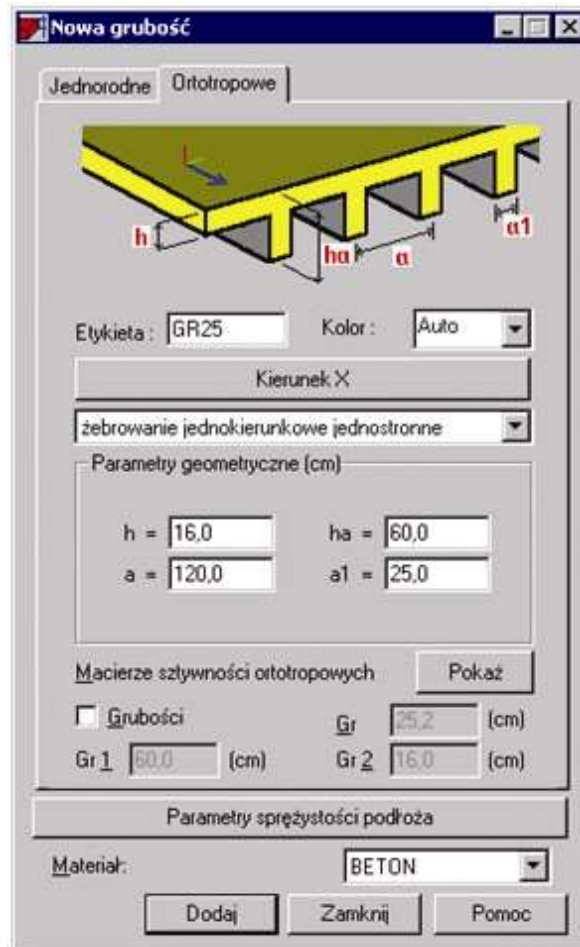
Dodatkowo dla każdego kierunku może zostać zdefiniowane odrywanie płyty/powłoki od podłoża. Opcja jest dostępna jedynie wtedy, gdy zdefiniowany został współczynnik sprężystości podłoża. Istnieją trzy możliwości:

- Żaden - odrywanie nie będzie miało miejsca
- "+" - odrywanie będzie w kierunku zgodnym z kierunkiem osi (np. $UX+$)
- "-" - odrywanie będzie w kierunku przeciwnym do kierunku osi (np. $UZ-$).

W dolnej części okna dialogowego znajduje się pole *Sprężystość poprzeczna*; opcje znajdujące się w tym polu pozwalają na podanie wartości współczynników sprężystości poprzecznej K_x i K_y określonych względem przyjętego głównego układu współrzędnych ortotropii.

Opcje znajdującej się na zakładce *Ortotropowe* służą do uwzględnienia ortotropii strukturalnej płyt i powłok. Ortotropia strukturalna oznacza niejednorodność sztywności płyt w różnych kierunkach, która może być spowodowana na przykład uźebrowaniem płyty. Ortotropia uwzględnia różnice sztywności w kierunkach wzajemnie prostopadłych, a nie uwzględnia niejednorodności materiału. Wszelkie niejednorodności geometryczne są uwzględniane jedynie w macierzach sztywności elementów. Płytę o tak zadanej grubości należy traktować jako konstrukcję o zastępczej grubości z różną sztywnością w kierunkach prostopadłych.

UWAGA: Nie jest uwzględniana lokalna zmiana sztywności dla żeber; dokładna geometria płyty nie jest wizualizowana i nie jest uwzględniana podczas obliczeń zbrojenia.



W oknie dialogowym do definicji ortotropowego typu grubości znajdują się następujące opcje:

- klawisz **Kierunek** - jego naciśnięcie powoduje otwarcie okna dialogowego **Kierunek ortotropii**, w którym zdefiniowany może zostać główny kierunek ortotropii
- lista rozwijalna z dostępnymi rodzajami predefiniowanych geometrii płyty (uzębrowanie, strop skrzynkowy, ruszt, ortotropia materiałowa, blacha trapezowa, blacha falista, płyta zespolona z blachą trapezową); istnieje również możliwość definicji macierzy ortotropii przez użytkownika; po wybraniu rodzaju geometrii płyty dostępne są odpowiednie pola edycyjne, w których podane mogą zostać wymiary płyty
- klawisz **Pokaż** lub **Definiuj**, którego naciśnięcie powoduje otwarcie okna dialogowego **Macierze sztywności**
- opcja *Zastępcza grubość* - po jej włączeniu dostępne są pola edycyjne umożliwiające określenie grubości Gr , Gr_1 , Gr_2 . Zastępcza grubość Gr służy do obliczenia ciężaru własnego płyty. Grubości Gr_1 i Gr_2 służą do określenia zastępczych grubości służących do obliczeń w przypadku obciążeń gradientem temperatury. Grubości te są obliczane automatycznie na podstawie parametrów geometrycznych płyty
- parametry sprężystości podłoża (wartość współczynnika podparcia sprężystego KZ); naciśnięcie klawisza **Parametry sprężystości podłoża** powoduje otwarcie okna dialogowego **Definicja - podłoże sprężyste** (patrz rysunek poniżej)
- materiał.

UWAGA: Obliczanie zbrojenia dla tego typu płyt nie będzie dawać poprawnych wyników. Należałoby wprowadzić algorytm zbrojenia płyt biorący pod uwagę przekrój teowy lub dwuteowy. W

związku z tym obliczenia zbrojenia dla tego typu płyt przeprowadzane będą jak dla płyty jednorodnej o stałym przekroju.

Naciśnięcie klawisza **Sprężystość podłoża** powoduje otwarcie okna dialogowego **Grunty budowlane - obliczanie współczynnika K**, służącego jako kalkulator do wyznaczania wartości współczynnika sprężystości podłoża K dla gruntu uwarstwionego.

Podobnie jak podczas definiowania profili prętów czy podpór konstrukcji, proces nadawania grubości wybranym panelom zdefiniowanym w konstrukcji został podzielony na dwa etapy:

- definiowanie typu grubości powierzchniowego elementu konstrukcji (panela)


- nadawanie grubości panelom.

Aby usunąć typ grubości nadany elementowi zdefiniowanemu w konstrukcji, należy użyć tzw. grubości zerowej (ikona USUN), która zawsze znajduje się na liście aktywnej w oknie dialogowym **Grubości ES**. Grubości zerowej nie można modyfikować; sposób jej nadawania jest identyczny z procedurą nadawania grubości panelom wygenerowanym w konstrukcji. Po nadaniu grubości jej symbol jest rysowany na ekranie graficznym.

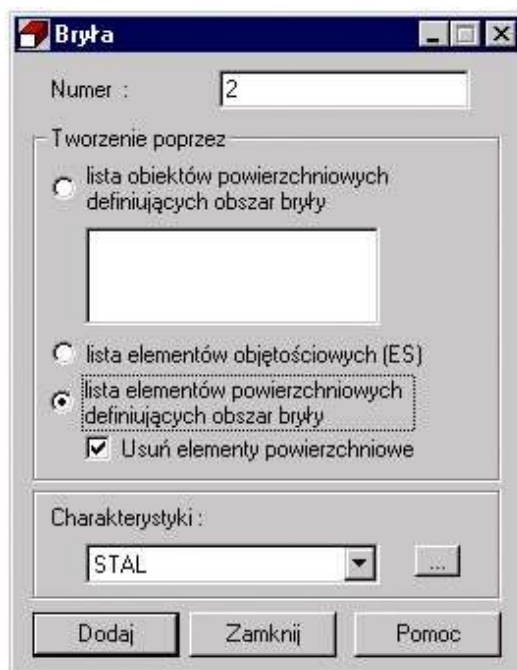
3.5. Definicja modelu konstrukcji - objętościowe elementy skończone 3D

3.5.1. Bryły (konstrukcje objętościowe)

Opcja służy do tworzenia obiektów objętościowych (brył). Opcja dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Bryły*
- z paska narzędziowego *Definicja konstrukcji* poprzez naciśnięcie ikony .

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno.



Zdefiniowanie bryły polega na podaniu: •
numeru bryły

- brzegów (konturu) bryły; jest to możliwe na trzy sposoby:
 - ⇒ poprzez wskazanie obiektów powierzchniowych, które określają obszar bryły
 - ⇒ poprzez podanie listy objętościowych elementów skończonych
 - ⇒ poprzez wskazanie listy elementów powierzchniowych, które określają obszar bryły; jeżeli włączona jest opcja *Usuń elementy powierzchniowe*, to z konstrukcji objętościowej usuwane będą elementy powierzchniowe definiujące kontur bryły
- charakterystyk bryły.

*UWAGA: W dolnej części okna dialogowego znajduje się klawisz (...) (na prawo od pola Charakterystyki). Jego naciśnięcie powoduje otwarcie okna dialogowego **Definicja charakterystyk brył**, w którym określone mogą zostać charakterystyki fizyczne brył. Zdefiniowane typy charakterystyk brył dodawane są do listy aktywnych charakterystyk.*


Obszary brył są tworzone przez podanie ich brzegów (definiowanie konturów obszaru). Definicja bryły może odbywać się na jeden z dwóch podanych poniżej sposobów:

- poprzez podanie listy obiektów powierzchniowych tworzących powierzchnię zewnętrzną bryły
- poprzez podanie numerów wygenerowanych objętościowych elementów skończonych; wykorzystanie tej opcji jest możliwe po utworzeniu siatki elementów skończonych.

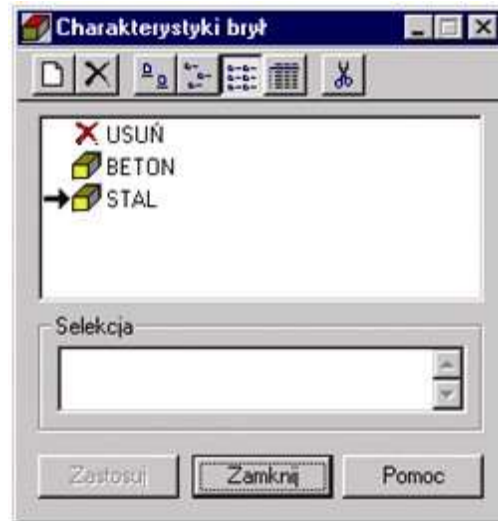
UWAGA: Jeżeli tworzony jest obiekt typu bryła przy użyciu opcji Tworzenie brył poprzez podanie listy elementów objętościowych, to wybrane elementy skończone nie mogą zawierać inkluzji (czyli nie może być otworów w bryle). Rozwiązaniem tego problemu jest stworzenie dwóch brył nie zawierających całkowicie w sobie otworu.

UWAGA: Jeżeli w konstrukcji zdefiniowany jest pręt, którego węzeł dochodzi do węzła elementu objętościowego, to pręt pracuje w konstrukcji w taki sposób, jak gdyby w węźle łączącym pręt z elementem objętościowym znajdował się przegub.

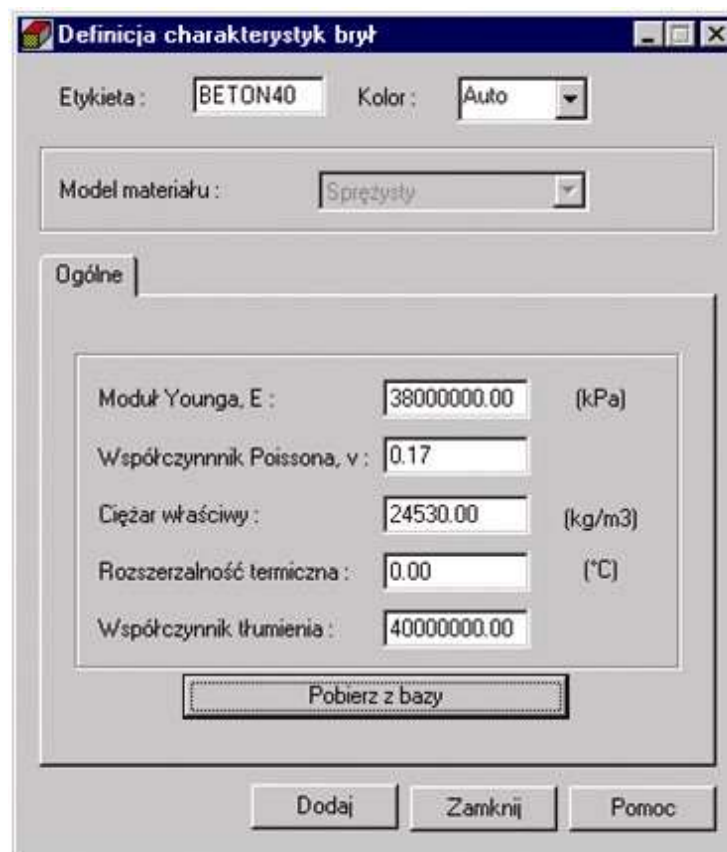
Opcja *Charakterystyki brył* służy do definiowania własności elementów objętościowych i nadawania charakterystyk objętościowym elementom konstrukcji (bryłom). Opcja dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Charakterystyki / Charakterystyki brył*
- z paska narzędziowego *Definicja konstrukcji* poprzez naciśnięcie ikony 
- po wybraniu ekranu **WŁAŚCIWOŚCI** - ekran ten jest dostępny dla konstrukcji bryłowych.

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno.



Po naciśnięciu ikony *Definicja charakterystyki bryły* w powyższym oknie dialogowym na ekranie pojawia się pokazane na poniższym rysunku okno dialogowe.



Aby zdefiniować nowy typ charakterystyk brył, należy:

- wpisać etykietę definiowanego typu charakterystyki
- wybrać kolor dla definiowanego typu charakterystyki
- wpisać model materiału (w obecnej wersji dostępny jest materiał sprężysty)
- określić parametry charakteryzujące model materiału.

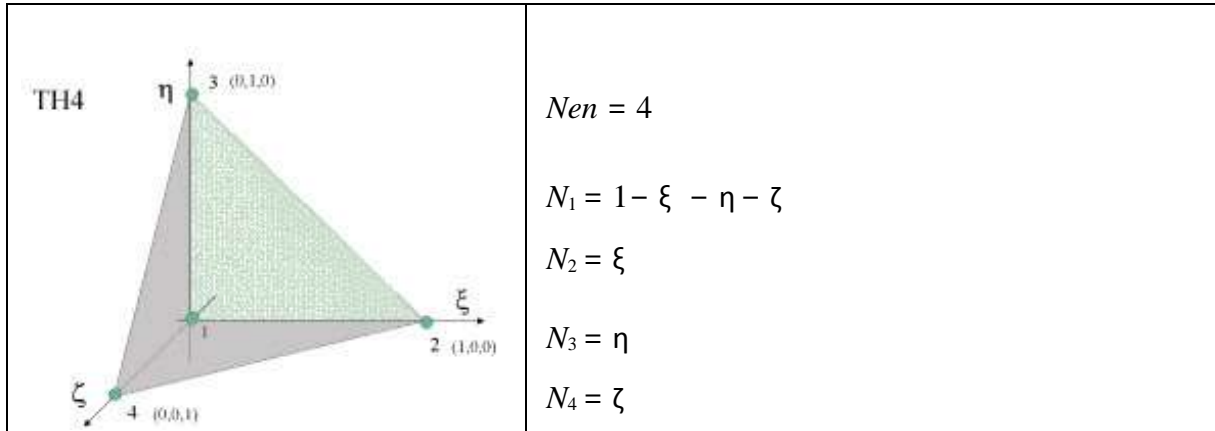
Naciśnięcie klawisza **Pobierz z bazy** powoduje otwarcie dodatkowego okna dialogowego, w którym wybrany może zostać materiał dostępny w bazach materiałowych. Po wybraniu takiego materiału parametry są wpisywane w odpowiednie pola w oknie dialogowym **Definicja charakterystyk brył**.

Po określeniu powyższych parametrów i naciśnięciu klawisza **Dodaj** zdefiniowany typ charakterystyk zostanie dopisany do listy aktywnych typów charakterystyk brył.

3.5.2. Opis objętościowych elementów skończonych

Konstrukcje objętościowe w programie **Robot** są modelowane przy użyciu elementów skończonych objętościowych izoparametrycznych z aproksymacją pola przemieszczeń funkcjami kształtu 1. rzędu. Dostępne są następujące typy elementów: prostopadłościan B8, klin W6 oraz czworościan T4. Funkcje kształtu wraz z numeracją węzłów określoną na elementach wzorcowych 3D są podane w poniższej tabeli.

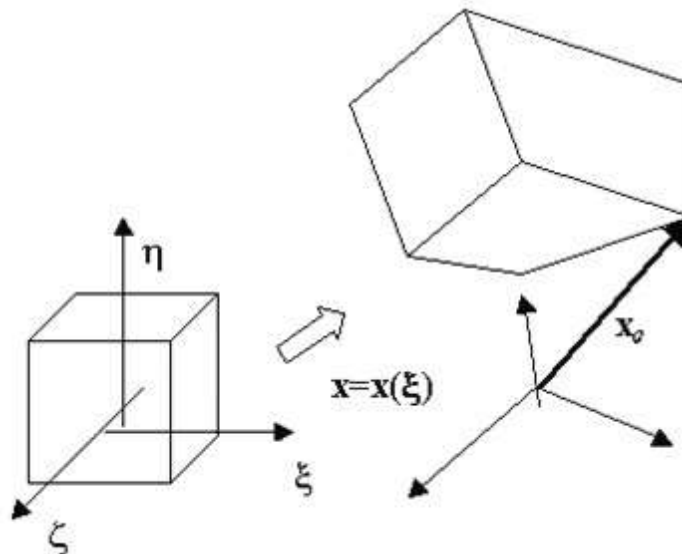
Element wzorcowy	Funkcje kształtu $N_i = N_i(\xi, \eta, \zeta)$ for 3D elements $i = 1, \dots, Nen$
<p>B8</p>	$Nen = 8$ $N_i = \frac{1}{8} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (1 + \zeta_i \zeta)$
<p>W6</p>	$Nen = 6$ $N_i = \frac{1}{6} (1 + \zeta_i \zeta) \cdot N_{k(i)}^{T6}(\xi, \eta)$ <p>where $k(i) = ((i - 1) \bmod 3) + 1$</p> $N_1^{T6} = 1 - \xi - \eta$ $N_2^{T6} = \xi$ $N_3^{T6} = \eta$



Opis geometrii elementu, wyznaczenie odkształceń, naprężeń, macierzy sztywności i mas oraz wektora sił elementowych dla wszystkich wymienionych typów elementów przebiega w następujący sposób:

• **Geometria elementu**

Geometria elementu jest określona poprzez odwzorowanie izoparametryczne elementu wzorcowego na element dowolny



$$\mathbf{x}(\xi) = \sum_{a=1, Nen} \mathbf{x}_a N_a(\xi)$$

• **Pole przemieszczeń wewnątrz elementu**

$$\mathbf{u} = [u \ v \ w, \]^T$$

$$\mathbf{u}(\xi) = \sum_{a=1, Nen} \mathbf{u}_a N_a(\xi)$$

- Wyznaczenie odkształceń** $\boldsymbol{\varepsilon} = [\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}, \gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}]^T$ $\boldsymbol{\varepsilon}(\boldsymbol{\xi}) = \mathbf{B}(\boldsymbol{\xi})\boldsymbol{\xi}$

$$\mathbf{u} = \sum_{a=1, Nen} \mathbf{B}_a(\boldsymbol{\xi}) \boldsymbol{\xi} \mathbf{u}_a,$$

gdzie macierze \mathbf{B} są wyznaczone jako:

$$\mathbf{B} = [\mathbf{B}_a], \quad \mathbf{B}_a = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_a}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_a}{\partial y} & 0 \\ \frac{\partial N_a}{\partial z} & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad a = 1, Nen$$

Pochodne funkcji kształtu występujące w elementach macierzy \mathbf{B} wyznaczone są jako:

$$\frac{\partial N_a}{\partial \mathbf{x}} = (\mathbf{J}^{-1})^T \frac{\partial N_a}{\partial \boldsymbol{\xi}}, \quad \mathbf{J} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial x}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial z}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{bmatrix}$$

- Naprężenia (sprężystość liniowa)** $\boldsymbol{\sigma} = [\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}, \sigma_{yz}]^T$,

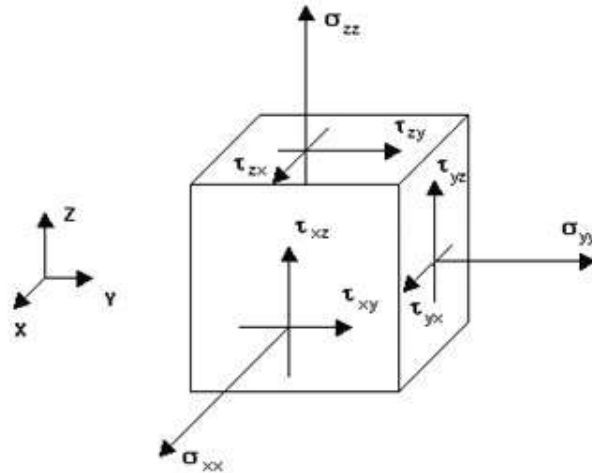
$$\sigma = \mathbf{D} \mathbf{B} \mathbf{u}(-\epsilon^o),$$

gdzie ϵ^o są odkształceniami narzuconymi (wpływy termiczne, skurczowe), a \mathbf{D} jest macierzą konstytutywną; macierz konstytutywna \mathbf{D} (materiał liniowo - sprężysty, izotropowy) pokazano poniżej

$$\mathbf{D} = \frac{E(1-\nu)}{2(1-\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1 & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1-\nu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1-\nu \end{bmatrix}$$


Konwencja znakowania

Konstrukcje objętościowe w programie **Robot** są modelowane przy użyciu elementów skończonych objętościowych izoparametrycznych z aproksymacją pola przemieszczeń funkcjami kształtu 1. rzędu. Konwencja znakowania dla elementów objętościowych jest schematycznie przedstawiona na poniższym rysunku. Konwencję pokazano dla naprężeń; naprężenia pokazane na rysunku mają dodatnie znaki.



3.6. Operacje na obiektach 2D (wyciąganie, przekręcanie, łączenie) i 3D (zaokrąglanie, fazowanie)

Program **Robot** jest wyposażony w opcje służące do tworzenia prostych elementów brylowych poprzez ciągnięcie lub przekręcanie zdefiniowanych wcześniej obiektów dwuwymiarowych. Opcja *Wyciąganie* dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Obiekty / Wyciąganie*
- z paska narzędziowego poprzez naciśnięcie ikony *Wyciąganie* 
- z okna dialogowego **Modyfikacja obiektu** poprzez naciśnięcie klawisza **Wyciąganie** (wcześniej wybrany musi zostać zdefiniowany obiekt).

UWAGA: Opcja jest dostępna tylko dla następujących typów konstrukcji: płyta, powłoka, konstrukcja objętościowa.

Istnieją dwa sposoby definiowania operacji ciągnięcia obiektu dwuwymiarowego lub trójwymiarowego (bryły):

- pierwszym jest podanie wektora o trzech współrzędnych określającego kierunek i długość ciągnięcia
- drugim sposobem definiowania operacji wyciągania jest metoda poprzez podanie osi globalnego układu współrzędnych, która określi kierunek wyciągania obiektu i długości ciągnięcia obiektu.

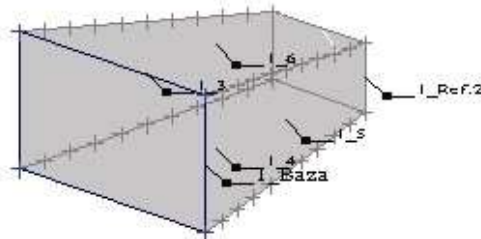
Aby przeprowadzić operację wyciągania metodą definicji wektora, należy:

1. mieć zdefiniowany obiekt dwuwymiarowy np. prostokąt (patrz rysunek poniżej)




2. wyselekcjonować ten obiekt
3. otworzyć okno dialogowe **Wyciąganie**

- zdefiniować parametry operacji wyciągania; dla zdefiniowanego prostokąta przyjmujemy następujące parametry: Wyciąganie na podstawie zdefiniowanego wektora (0,10,0), liczba podziałów równa 10, wyłączone opcje przykrycie i dno, skala równa 0.5, wyłączona opcja nowy obiekt
- nacisnąć klawisz **Zastosuj**, aby dokonać operacji wyciągania dla zdefiniowanego prostokąta. Efektem operacji jest obiekt przedstawiony na poniższym rysunku.



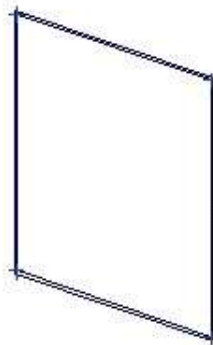
Podobnie działa opcja przekręcania, która służy do tworzenia prostych elementów powierzchniowych lub bryłowych poprzez obrót zdefiniowanych wcześniej obiektów dwuwymiarowych wokół wybranej osi. Opcja dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Obiekty / Przekręcanie*
- z paska narzędziowego poprzez naciśnięcie ikony *Przekręcanie* 
- z okna dialogowego **Modyfikacja obiektu** poprzez naciśnięcie klawisza **Przekręcanie** (wcześniej wybrany musi zostać zdefiniowany obiekt).

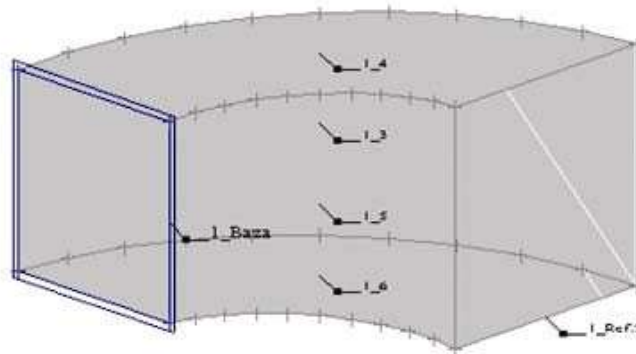
Aby przeprowadzić operację przekręcania (obrotu) zdefiniowanego obiektu dwuwymiarowego, należy zdefiniować kilka parametrów takich jak: definicja osi obrotu (początek osi i koniec osi), wartość kąta obrotu, liczba podziału, przykrycie, dno, skala i nowy obiekt. Przykładowa definicja operacji przekręcania (obrotu) kwadratu zostanie przedstawiona poniżej.

Aby przeprowadzić operację przekręcania kwadratu, należy:

- mieć zdefiniowany obiekt dwuwymiarowy np. kwadrat (patrz rysunek poniżej) o wierzchołkach (0,0,6), (0,0,0), (6,0,0), (6,0,-6)



- wyselekcjonować ten obiekt
- otworzyć okno dialogowe **Przekręcanie**
- zdefiniować parametry operacji przekręcania; dla zdefiniowanego kwadratu przyjmujemy następujące parametry: początek osi (12,0,0), koniec osi (12,0,-6), kąt równy -90, liczba podziałów równa 10, wyłączone opcje przykrycie i dno, skala równa 1.2, wyłączona opcja nowy obiekt
- nacisnąć klawisz **Zastosuj**, aby dokonać operacji przekręcania dla zdefiniowanego kwadratu. Efektem operacji jest obiekt przedstawiony na poniższym rysunku.



Podczas generacji obiektów przy pomocy opisanych opcji tworzone są elementy składowe obiektu (bok, podstawa, krawędź). Są one oznaczane w odpowiedni sposób. Składnię list dla utworzonych w taki sposób składowych obiektów przedstawiono w rozdziale 2.2.6.

Do edycji i modyfikacji obiektów zdefiniowanych przy pomocy opcji wyciągania i przekręcania może służyć również opcja *Operacje i modyfikacje na obiektach*. Opcja dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Edycja / Modyfikacja podkonstrukcji / Modyfikacja obiektów*.

Okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku zostało podzielone na cztery części:

- pole *Obiekt*, w którym podawany jest numer lub identyfikator tworzonego/wybranego obiektu
- część okna nazwana *Geometria / Podobiektu*
- część okna nazwana *Modyfikacje obiektu*
- część okna nazwana *Operacje na modyfikacji obiektu*.



Naciśnięcie klawisza **Geometria/Podobiektu** powoduje otwarcie okna dialogowego **Polilinia-kontur**. W tym oknie dialogowym zdefiniowany może zostać obiekt, który podlegać będzie modyfikacjom i/lub operacjom na określonych modyfikacjach.


W części okna dialogowego nazwanej *Modyfikacje obiektu* znajdują się opcje umożliwiające wybór modyfikacji obiektu oraz definiowanie parametrów modyfikacji. W programie dostępne są trzy typy modyfikacji obiektu: **Wyciąganie**, **Przekręcanie** i **Wyciąganie po polilinii**. Po naciśnięciu jednego z klawiszy znajdujących się w części okna **Dodaj modyfikację** wybrana modyfikacja jest dopisywana do listy określającej kolejne etapy modyfikacji zdefiniowanego obiektu dwuwymiarowego. Operacje modyfikacji na zdefiniowanym obiekcie można usuwać. Po wybraniu modyfikacji obiektu z listy i naciśnięciu klawisza **Usuń** znajdującego się obok listy *Lista modyfikacji obiektu* wybrana modyfikacja jest usuwana z listy. Po wybraniu modyfikacji obiektu i naciśnięciu klawisza **Parametry modyfikacji obiektu** okno dialogowe **Obiekty-modyfikacje/operacje** jest rozwijane i prezentowane są parametry wybranej modyfikacji obiektu (*Wyciąganie*, *Przekręcanie* lub *Wyciąganie po polilinii*). Parametry wymienionych modyfikacji obiektu opisano podczas omawiania operacji wyciągania i przekręcania.

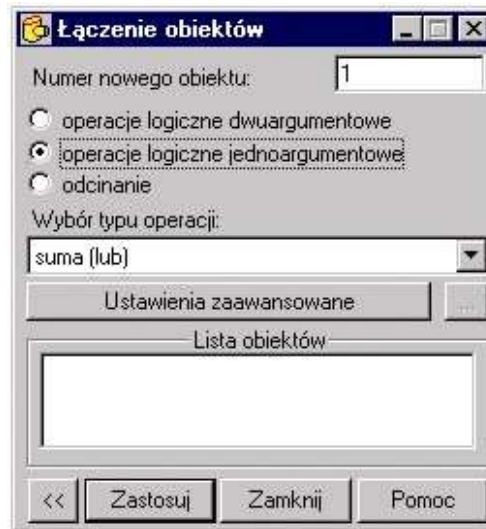
Naciśnięcie klawisza **Zastosuj** po zdefiniowaniu modyfikacji obiektu powoduje wykonanie operacji modyfikacji obiektu zgodnie z przyjętymi parametrami zdefiniowanych modyfikacji.

W części okna dialogowego nazwanej *Operacje na modyfikacjach obiektu* znajdują się opcje umożliwiające wybór operacji przeprowadzanych na zdefiniowanych we górnej części okna modyfikacjach obiektu. Pozwalają one również na określenie parametrów operacji na modyfikacji. W programie dostępne są cztery typy modyfikacji obiektu: **Translacja**, **Rotacja**, **Skalowanie** i **Deformacja**. Po naciśnięciu jednego z klawiszy znajdujących się w części okna **Dodaj operację** operacja na wybranej w górnej części okna dialogowego modyfikacji jest dopisywana do listy określającej kolejne operacje na modyfikacji zdefiniowanego obiektu dwuwymiarowego. Operacje na modyfikacji obiektu można usuwać. Po wybraniu operacji na modyfikacji obiektu z listy i naciśnięciu klawisza **Usuń** znajdującego się obok listy *Lista operacji na modyfikacji obiektu* wybrana operacja na modyfikacji obiektu jest usuwana z listy. Po wybraniu operacji na modyfikacji obiektu i naciśnięciu klawisza **Parametry operacji** okno dialogowe **Obiektymodyfikacje/operacje** jest rozwijane i prezentowane są parametry wybranej operacji na modyfikacji obiektu (*Translacja*, *Rotacja*, *Skalowanie* i *Deformacja*).

Parametry translacji i rotacji są takie same jak parametry wyciągania i przekręcania. Operacja skalowania pozwala na określenie współczynnika/-ów skali obiektu dla poszczególnych osi układu. Wartość skali większa od 1.0 oznacza, że obiekt będzie powiększany w podanym kierunku, zaś wartość mniejsza od 1.0, że obiekt będzie pomniejszany w podanym kierunku. Operacja deformacji umożliwia dokonanie translacji charakterystycznych punktów obiektu (np. w przypadku obiektu o kształcie prostokąta przesunięcie jego wierzchołków) w trakcie modyfikacji obiektu. Innymi słowy jeżeli wyjściowym obiektem do ciągnięcia był kwadrat, to po odpowiednim dobraniu parametrów operacji deformacji na ciągnięciu można uzyskać np. trapez.

Naciśnięcie klawisza **Zastosuj** po zdefiniowaniu modyfikacji obiektu i operacji na modyfikacji obiektów powoduje wykonanie zdefiniowanych operacji i modyfikacji obiektu zgodnie z przyjętymi parametrami.

Opcja **Łączenie obiektów** służy do tworzenia złożonych obiektów na podstawie zdefiniowanych wcześniej obiektów dwuwymiarowych. Opcja dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Obiekty / Łączenie obiektów* lub naciśnięcie ikony . Opcja jest dostępna tylko dla konstrukcji płytowopowłokowych oraz konstrukcji objętościowych. Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno.



Opcje zawarte w powyższym oknie dialogowym umożliwiają łączenie zdefiniowanych obiektów dwuwymiarowych (powierzchnie rur, prostopadłościanów, łuków itp.) i obiektów objętościowych w obiekty złożone. Dla obiektów dwuwymiarowych operacje przeprowadzane będą dla powierzchni, a nie dla obiektów objętościowych (3D).

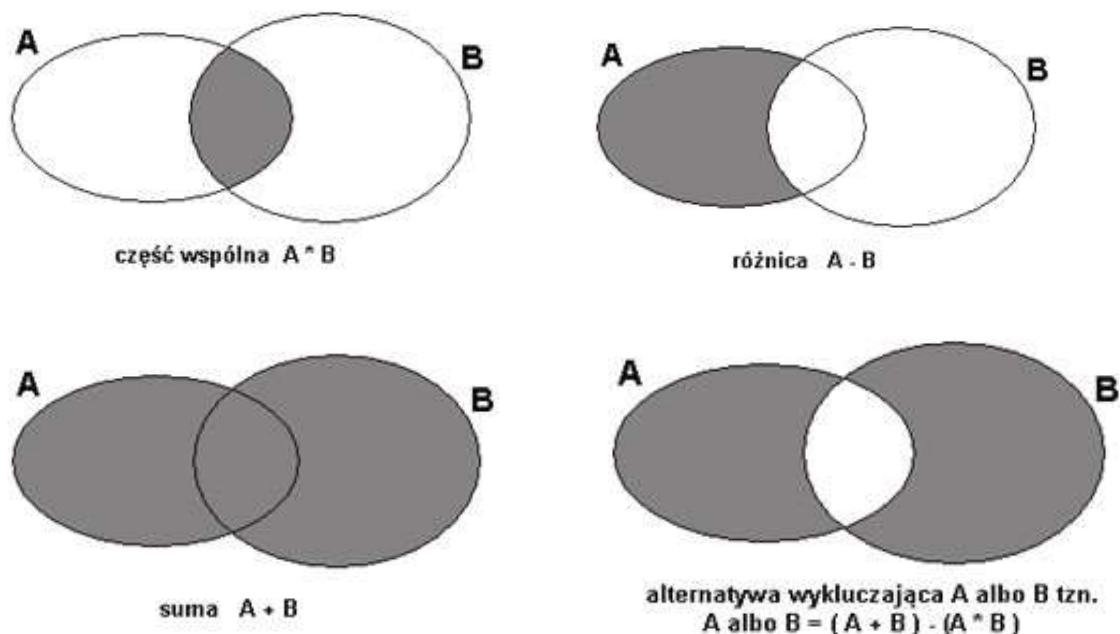
W programie dostępne są następujące operacje na zdefiniowanych obiektach:

- operacje logiczne (algebra Boole'a) dwuargumentowe - suma, różnica (oddzielnie dla konstrukcji powierzchniowych, a oddzielnie dla konstrukcji objętościowych), część wspólna, alternatywa wykluczająca
- operacje logiczne (algebra Boole'a) jednoargumentowe - suma, część wspólna, alternatywa wykluczająca
- odcinanie.
- Wymienione operacje logiczne dostępne są przy wykorzystywaniu mechanizmów wewnętrznych programu **Robot**.

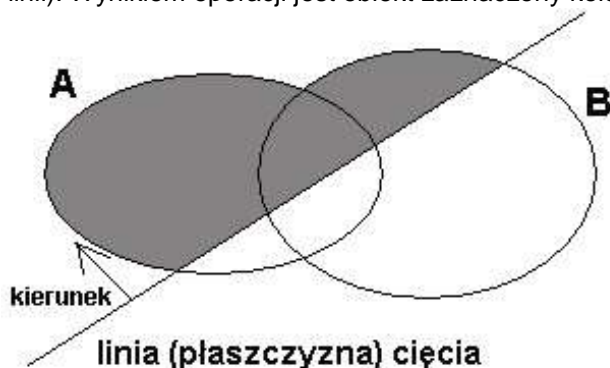
UWAGA: W przypadku operacji łączenia obiektów powierzchniowych (typu płyta lub powłoka) nie należy stosować siatkowania metodą Coons'a; dla tego typu obiektów trzeba użyć metody Delaunay'a.

Aby wykonać operacje logiczne (jedno- lub dwuargumentowe), należy:

- określić numer złożonego obiektu, który tworzony będzie z wybranych obiektów
- wybrać operację jedno- lub dwuargumentową
- wybrać typ operacji logicznej (suma, różnica, część wspólna, alternatywa wykluczająca) - patrz rysunki poniżej
- określić listę obiektów, które brane będą pod uwagę podczas tworzenia obiektu złożonego
- nacisnąć klawisz **Zastosuj**.




Opcja odcinania pozwala na wyznaczenie części powierzchni wybranych obiektów, która znajduje się po jednej ze stron zdefiniowanej płaszczyzny. Wynikiem tej operacji jest obiekt "odcięty" z wybranych obiektów poprzez zdefiniowaną płaszczyznę; określenie kierunku pozwala określić, która część wybranych obiektów zostanie "odcięta". Przykład tej operacji pokazano na poniższym rysunku. Dwa obiekty A i B podlegają będą operacji odcinania. Zdefiniowana została linia (płaszczyzna) cięcia oraz wybrany został kierunek (dowolny punkt po jednej ze stron linii). Wynikiem operacji jest obiekt zaznaczony kolorem szarym.



3.7. Podpory

Nadanie podpór w węzłach podporowych konstrukcji może zostać dokonane poprzez:

- wybranie komendy *Geometria / Podpory* z menu
- naciśnięcie ikony  z paska narzędziowego *Definicja konstrukcji*
- wybranie ekranu **PODPORY**.

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno.



Okno dialogowe **Podpory** składa się z trzech zakładek, które pozwalają następującym typom obiektów nadać wybrany typ podpory:

- zakładka **Węzłowe**: podpora w węźle konstrukcji (punkcie)
- zakładka **Liniowe**: podpora określona na linii (odcinku) np. na brzegu płyty lub krawędzi konstrukcji objętościowej (dostępna dla konstrukcji typu: płyta, powłoka, konstrukcja objętościowa) - UWAGA: przy pomocy tej opcji nie można nadać podpory na elemencie prętowym
- zakładka **Powierzchniowe**: podpora określona na powierzchni (dostępna dla konstrukcji płytowych, powłokowych i objętościowych).

Podpora powierzchniowa może być definiowana w globalnym lub lokalnym (zgodnym z układem panela) układzie współrzędnych; w lokalnym układzie współrzędnych definicja zostanie uwzględniona jedynie dla powierzchni (np. boków konstrukcji bryłowej). Definicja podpór w układzie lokalnym nie ma zastosowania dla podpór zadanych na węzłach lub krawędziach.

UWAGA: *Jeżeli w węźle konstrukcji została zdefiniowana zarówno podpora liniowa, jak i powierzchniowa, to dla takiego węzła należącego do kilku podpartych krawędzi lub powierzchni, tworzone są nowe podpory o charakterystyce złożonej z sumy podpartych stopni swobody (włącznie z dodawaniem wartości współczynników sprężystości podpór). Taka sama sytuacja ma również miejsce, gdy dwie identycznie zdefiniowane podpory (w oparciu o tę samą etykiętę,) zdefiniowane są w układach lokalnych linii lub powierzchni.*

*Jeżeli w węźle zdefiniowana jest podpora liniowa i powierzchniowa, to parametry podpory liniowej nadpisują parametry podpory powierzchniowej; jeżeli w węźle zdefiniowana jest podpora węzłowa i liniowa, to parametry podpory węzłowej nadpisują parametry podpory liniowej. Algorytm sumowania parametrów podpór jest opisany w pomocy programu **Robot**.*

Podobnie jak oknie dialogowym służącym do definiowania innych atrybutów konstrukcji, proces definiowania podpory w konstrukcji został podzielony na dwa etapy:

♦ **definiowanie typu podpory**

Jeżeli w aktywnej liście podpór nie ma zdefiniowanego żadnego typu podpory lub gdy do istniejącej listy podpór dodany ma zostać nowy typ podpory, to należy kliknąć ikonę *Definicja podpory*. Możliwe są wtedy dwie sytuacje:

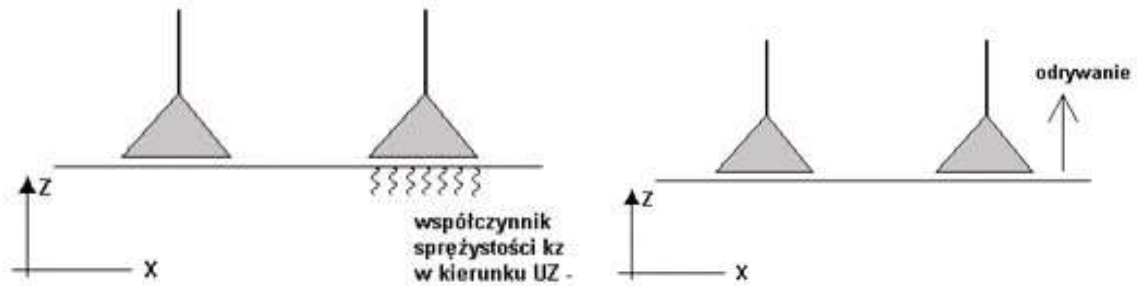
- jeżeli nie jest podświetlony żaden typ podpory, to kliknięcie w ikonę *Nowy typ podpory* powoduje otwarcie okna dialogowego służącego do definiowania nowego typu podpory; pola zostaną wypełnione tak jak podczas ostatniej definicji podpory (oprócz pola *Etykieta*) lub przyjęte zostaną

- parametry domyślne; dostępne są następujące typy podpór: = podpora sztywna (z możliwością modelowania odrywania podpory)
- = podpora sprężysta
 - = podpora z tarciem
 - = podpora z tłumieniem
 - = podpora nieliniowa.

Definicja nowego typu podpory polega na wyborze zablokowanych stopni swobody w węźle (UX, UY, UZ, RX, RY, RZ) z ewentualną możliwością wybrania kierunku odrywania podpory, podaniu wartości współczynników sprężystości podłoża w odpowiednim kierunku (w przypadku podpory sprężystej), podaniu wartości współczynnika tarcia i kohezji (w przypadku podpory uwzględniającej tarcie), podaniu wartości współczynników tłumienia (w przypadku podpory z tłumieniem) lub podpory o zdefiniowanym modelu nieliniowości. Podpory mogą być definiowane w globalnym lub lokalnym układzie współrzędnych. Pod schematycznym rysunkiem podpory w oknie dialogowym **Nowa podpora** znajduje się klawisz **Kierunek**; jego naciśnięcie powoduje otwarcie okna dialogowego **Kierunek podpory**, w którym zdefiniowany może zostać kierunek lokalnej osi x podpory (poprzez skierowanie go do punktu, węzła lub obrócenie podpory względem dowolnej osi globalnego układu współrzędnych).

UWAGA: Podpora z tłumieniem może być wykorzystywana w programie **Robot** podczas całkowania równań ruchu (brane są pod uwagę wartości współczynników CX, CY, CZ, CRX, CRY, CRZ) lub analizy modalnej konstrukcji, gdy włączona jest opcja *Uwzględnij tłumienie (wg PS92)* w oknie dialogowym **Parametry analizy modalnej**. Uwzględniana jest interakcja konstrukcji z podłożem, a przez to jego wpływ na wartość tłumienia strukturalnego konstrukcji. W programie dostępna jest opcja umożliwiająca definicję nieliniowego zachowania podpór, zwolnień oraz węzłów kompatybilnych. Może być wykorzystywana we wszystkich typach konstrukcji. Opcja może zostać uruchomiona na zakładkach *Nieliniowe* w oknach dialogowych do definicji podpór, zwolnień i węzłów kompatybilnych. Zdefiniowana może zostać nieliniowa zależność siła (moment)-przeszyczenie (obrót) dla wybranych kierunków (stopni swobody). Zależności te mogą być określane dla poszczególnych kierunków w sposób niezależny od siebie (brak interakcji). W obecnej wersji programu dostępne są następujące typy nieliniowości: liniowy, biliniowy, paraboliczny, paraboliczny według EC2, idealna plastyczność, plastyczność ze wzmocnieniem, bufor/hak oraz model definiowany poprzez podanie funkcji.

Dodatkowo dla każdego kierunku może zostać zdefiniowane odrywanie podpory. Istnieją trzy możliwości: Żaden (odrywanie nie będzie miało miejsca), "+" - odrywanie będzie w kierunku zgodnym z kierunkiem osi (np. UX+), "-" - odrywanie będzie w kierunku przeciwnym do kierunku osi (np. UZ-). Jeżeli w podporze zdefiniowane zostanie odrywanie (np. odrywanie będzie możliwe w kierunku zgodnym ze zwrotem osi Z tzn. UZ+), to istnieje również możliwość określenia np. współczynnika podłoża sprężystego KZ dla takiej podpory; należy jednak pamiętać, że współczynnik sprężystości podłoża sprężystego będzie określany wtedy jedynie dla zwrotu przeciwnego do określonego zwrotu odrywania (tzn. dla UZ-) - patrz schematyczne rysunki poniżej.



W oknie dialogowym **Nowa podpora** znajduje się klawisz **Zaawansowane** (dostępny dla podpór węzłowych i liniowych, natomiast dla podpór powierzchniowych nie jest dostępny). Po jego naciśnięciu otwierane jest okno dialogowe, w którym znajdują się opcje służące do:

- modelowania podpór w miejscach, w których dochodzi do obiektu słup lub ściana (parametry zdefiniowane w tym oknie dialogowym są wykorzystywane podczas wyznaczania teoretycznych powierzchni zbrojenia elementów żelbetowych) - definicji zastępczej sprężystości podpory.

Podpora może być definiowana w zależności od typu podpory jako:

- podpora zdefiniowana w węźle (jest to domyślny typ podpory)
- podpora zdefiniowana poprzez podanie wymiarów słupa; istnieją dwie możliwości: słup prostokątny - wymagane jest podanie szerokości i wysokości przekroju poprzecznego słupa (wymiary b i h) - dla podpór węzłowych słup okrągły - wymagane jest podanie średnicy przekroju poprzecznego słupa d - dla podpór węzłowych
- podpora zdefiniowana poprzez podanie wymiarów ściany; wymagane jest podanie szerokości ściany b . Dodatkowo obok opcji *Ściana*, znajduje się również lista rozwijalna, na której znajdują się dostępne typy ścian (cegłana, betonowa). Lista dostępna jest po wyborze opcji *Ściana*. Zdefiniowany typ ściany jest brany pod uwagę jedynie podczas wymiarowania zbrojenia płyt i powłok za pomocą prętów zbrojeniowych lub siatek zbrojeniowych; nie wpływa na parametry obliczeniowe modelu - dla podpór liniowych.

W dolnej części okna dialogowego znajduje się opcja *Sprężystość zastępcza podpory*; jej włączenie pozwala na obliczanie zastępczej sprężystości podpór na podstawie charakterystyk i geometrii słupów (w przypadku podpór węzłowych) lub ścian (w przypadku podpór liniowych).

Na zakładce *Sprężyste* znajduje się klawisz **Współczynniki sprężystości**; jego naciśnięcie powoduje otwarcie okna dialogowego **Grunty budowlane - obliczanie współczynnika K** , służącego jako kalkulator do wyznaczania wartości współczynnika sprężystości podłoża K dla gruntu uwarstwionego.

- jeżeli jakaś podpora jest podświetlona, to kliknięcie w ikonę *Nowy typ podpory* powoduje otwarcie okna dialogowego służącego do definiowania nowego typu podpory; wszystkie pola edycyjne, oprócz pola *Etykieta*, zostają wypełnione na podstawie podświetlonego typu.

Otworzenie okna do definicji nowej podpory jest także możliwe poprzez dwukrotne kliknięcie (tzw. double-click) w element znajdujący się na liście aktywnych podpór. W oknie dialogowym **Definicja podpory** aktywne są jedynie opcje dostępne dla typu podpory (w zależności od wyboru zakładki *Węzłowe*, *Liniowe* lub *Powierzchniowe*) oraz dla wybranego typu konstrukcji.



Powoduje to otwarcie okna dialogowego **Definicja podpory** z wypełnionymi wszystkimi polami edycyjnymi zgodnie z typem podpory, który wybrał użytkownik. Po dokonaniu odpowiednich modyfikacji parametrów podpory jest ona dodawana (uaktualniana) do aktywnej listy poprzez kliknięcie w klawisz **Dodaj** lub naciśnięcie klawisza **ENTER**. Jeżeli etykieta nie zostanie zmieniona, to również jak przy tworzeniu nowej podpory, pojawi się ostrzeżenie. Ta opcja w oknie dialogowym umożliwia łatwą modyfikację podpory.

◆ **nadawanie podpory w węzłach konstrukcji - operacja podobna do nadawania profili prętom.**

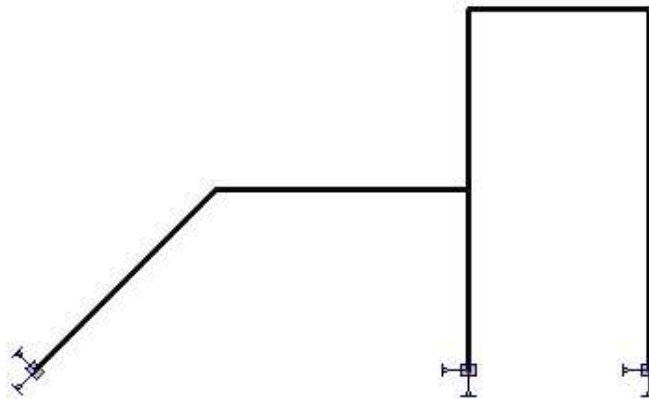
Aby usunąć podporę zdefiniowaną w konstrukcji, należy użyć tzw. podpory zerowej (ikona USUŃ), która zawsze znajduje się na liście aktywnej. Tego typu podpory nie można modyfikować; sposób jej nadania jest identyczny z procedurą nadawania podpory w konstrukcji. Po nadaniu podpory jej symbol jest rysowany na ekranie graficznym.

3.7.1. Definicja podpory obróconej o kąt

W programie istnieje możliwość definicji różnych typów podpór. Poniżej pokazany zostanie przykład definicji podpory utwierdzonej obróconej o podany kąt. Aby rozpocząć definicję typu podpory, należy:

- otworzyć okno dialogowe **Podpory** (komenda menu *Geometria / Podpory* lub naciśnięcie ikony )
- w oknie dialogowym **Podpory** wybrać zakładkę *Węzłowe*
- w oknie dialogowym **Podpory** naciśnięcie ikony *Nowa* 
- w oknie dialogowym **Definicja podpory** na zakładce *Sztywne* podać parametry typu podpory:
Etykieta: np. *Utwardzenie_obrót_kąt_45* *W układzie*: globalnym
 Zablokować wszystkie kierunki (UX, UY, UZ, RX, RY, RZ)
 Naciśnięcie klawisz **Kierunek**
 W oknie dialogowym **Kierunek podpory** zdefiniować *Kąt beta* (obrót wokół osi Y) = 45
 Naciśnięcie klawisz **OK** w oknie dialogowym **Kierunek podpory**
- naciśnięcie klawisze **Dodaj** i **Zamknij** w oknie dialogowym **Definicja podpory**.

Zdefiniowany typ podpory może zostać nadany w dowolnym węźle konstrukcji (przykładowo lewa podpora na rysunku poniżej).



3.7.2. Definicja podpór sprężystych (grunty uwarstwione)

W programie **Robot** istnieje możliwość wyznaczenia wartości zastępczego współczynnika sprężystości gruntu uwarstwowanego. Podczas instalacji programu **Robot** na dysku instalowany jest również kalkulator gruntów pozwalający na obliczenie zastępczego współczynnika dla gruntu uwarstwowanego. Współczynnik sprężystości może być użyty w definicji:

- podpory sprężyste • podłoża sprężystego prętów
- podłoża sprężystego paneli.


Kalkulator pozwala na obliczanie współczynnika sprężystości bezpośrednio na podstawie zdefiniowanego profilu geotechnicznego gruntu uwarstwowanego. Kalkulator umożliwia:

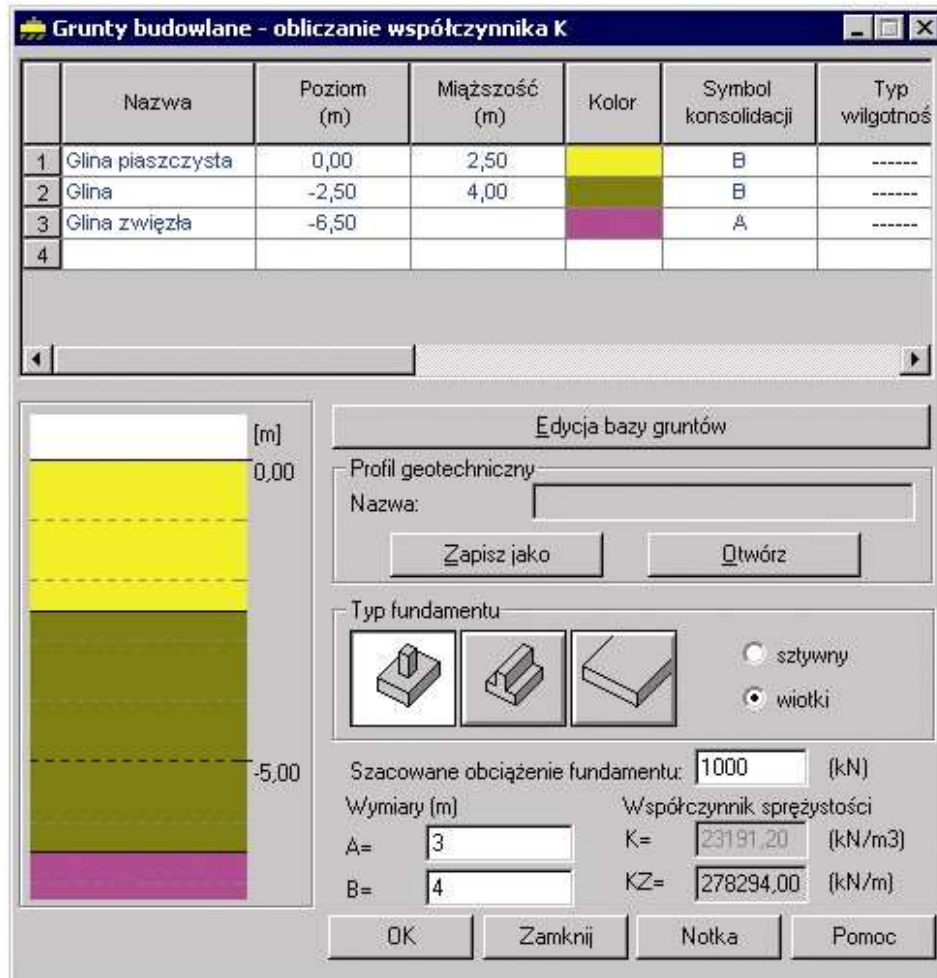
- definicję profilu gruntowego z wykorzystaniem dostępnej bazy gruntów zawierającej charakterystyki gruntów
- zapis i odczyt pełnego profilu geotechnicznego zdefiniowanego przez użytkownika
- obliczanie współczynnika sprężystości dla zdefiniowanego profilu
- przekazanie obliczonej wartości do okien dialogowych definicji podpory lub podłoża.

Opcja działa jako niezależne narzędzie, w którym można obliczyć współczynnik oporu gruntu dla zdefiniowanego fundamentu i profilu gruntowego. Zapisany profil gruntowy może być użyty w kalkulatorach żelbetu oraz kalkulatorze ław fundamentowych. Podczas tworzenia kalkulatora przyjęto następujące założenia:

- grunt w zadanym zakresie sił pracuje w stanie sprężystym; odpowiada to stanowi SGN w dostępnych normach; pozwala to na przyjęcie zasad liniowej teorii sprężystości
- ośrodek gruntowy jest nieskończoną półprzestrzenią sprężystą, w której zmiany parametrów materiałowych zachodzą jedynie w płaszczyznach równoległych do powierzchni
- obliczenia dotyczą prostokątnego fundamentu o nieskończonej sztywności
- model gruntu jest modelem dyskretnym - warstwowym, o stałej grubości warstwy.

Uruchomienie kalkulatora jest możliwe poprzez:

- wybranie z menu komendy *Narzędzia / Grunty budowlane*
 - naciśnięcie ikony  *Grunty budowlane* znajdującej się w pasku narzędzi *Narzędzia*
 - naciśnięcie ikony kalkulatora znajdującej się na pulpicie komputera
 - wybranie opcji *Grunty budowlane - obliczanie współczynnika K* znajdującej się w grupie utworzonej podczas instalacji programu **Robot**
 - naciśnięcie klawisza **Współczynnik sprężystości** znajdującego się w kilku oknach dialogowych programu **Robot** (okno dialogowe **Nowa podpora**, **Nowy typ podłoża sprężystego**, **Nowa grubość**).
- Po uruchomieniu kalkulatora na ekranie pojawia się okno dialogowe (moduł) pokazane na poniższym rysunku służące do obliczeń zastępczego współczynnika.



W kalkulatorze współczynnik K obliczany jest na podstawie wartości średnich naprężeń pod fundamentem dla jednostkowej powierzchni. Wyznaczany jest także zastępczy współczynnik KZ dla fundamentu o podanych wymiarach.

Aby wyznaczyć zastępczy współczynnik K dla gruntu uwarstwionego, należy:

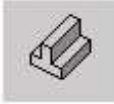
- w tabeli znajdującej się w górnej części okna dialogowego zdefiniować parametry kolejnych warstw gruntu (dostępne są grunty z bazy gruntów wybranej w oknie dialogowym **Preferencji zadania** programu **Robot**) - kolejne warstwy gruntu będą schematycznie przedstawiane w lewej, dolnej części okna dialogowego

Po wybraniu typu gruntu z listy rozwijalnej znajdującej się w kolumnie *Nazwa*, należy określić poziom danej warstwy gruntu; definiują to dwie wielkości: *Poziom* lub *Mięszczość*; pozostałe parametry są odczytywane z bazy gruntów

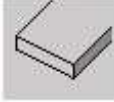
- wybrać typ fundamentu:



stopa fundamentowa o wymiarach $A \times B$; jednostką współczynnika KZ jest (siła/długość); obliczona wartość $KZ = K \cdot A \cdot B$ może być wykorzystana podczas definicji współczynnika sprężystości w oknie dialogowym służącym do definicji podpór



ława fundamentowa o wymiarach: A (długość ławy) i B (szerokość ławy); jednostką współczynnika KZ jest $(\text{siła}/\text{długość}^2)$; obliczona wartość $KZ = K * B$ może być wykorzystana podczas definicji współczynnika sprężystości w oknie dialogowym służącym do definicji typu podłoża sprężystego



płyta fundamentowa o wymiarach $A \times B$ jednostką współczynnika KZ jest $(\text{siła}/\text{długość}^3)$; obliczona wartość $KZ = K$ może być wykorzystana podczas definicji współczynnika sprężystości w oknie dialogowym służącym do definicji typu grubości panela

- wybrać rodzaj fundamentu: fundament sztywny lub wiotki
- pozwała to przyjmować średnie naprężenie pod fundamentem z rozwiązania zagadnienia 'stempla' (fundament sztywny) lub półprzestrzeni sprężystej obciążonej równomiernie na obszarze wyznaczonym przez obrys fundamentu (przypadek fundamentu wiotkiego, czyli obciążenia przyłożonego w rzeczywistości bezpośrednio na grunt); różnice w wartościach naprężeń wpływają na różne wartości osiadań sprężystych, a to przekłada się na wartość numeryczną sztywności sprężystej podłoża; rozkład naprężeń pod rzeczywistymi konstrukcjami jest bliższy przypadkowi fundamentu sztywnego niż wiotkiego
- określić szacowane obciążenie fundamentu - wartość ta służy jedynie do ograniczenia zasięgu obliczeń naprężeń w gruncie
 - określić wymiary wybranego typu fundamentu
 - po zdefiniowaniu wymiarów nacisnąć klawisz **Tab** lub **OK** - w polu K = podana zostanie wartość zastępczego współczynnika dla gruntu uwarstwionego.

Naciśnięcie klawisza **OK** powoduje przekazanie obliczonej wartości współczynnika KZ do pola edycyjnego znajdującego się oknie dialogowym **Nowa podpora**, **Nowy typ podłoża sprężystego** lub **Nowa grubość** (o ile odpowiednie okno dialogowe jest otwarte i dostępne jest pole edycyjne do definicji współczynnika sprężystości).

UWAGA: Przekazywanie wartości współczynnika K jest dopuszczalne tylko do pól edycyjnych KY , KZ w wymienionych oknach dialogowych. Należy pamiętać, aby wartości współczynnika sprężystości były przekazywane do odpowiedniego okna dialogowego, zależnie od wybranego typu fundamentu.

Zdefiniowany profil geotechniczny może zostać zapisany na dysku; naciśnięcie klawisza **Zapisz jako** pozwala na zapis profilu w pliku o rozszerzeniu *.mdb (baza danych). W polu *Nazwa* prezentowana jest nazwa bieżącego profilu geotechnicznego z pełną ścieżką dostępu. Naciśnięcie klawisza **Otwórz** pozwala na wczytanie pliku ze zdefiniowanymi parametrami profilu geotechnicznego.

3.8. Obciążenia

Aby zdefiniować obciążenia w konstrukcji, najlepiej jest wybrać ekran **OBCIĄŻENIA** programu **Robot**. Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: edytor graficzny umożliwiający definiowanie konstrukcji, okno dialogowe **Przypadki obciążeń** (pokazane poniżej) oraz tabelę umożliwiającą definiowanie obciążeń dla utworzonych przypadków obciążeniowych.



W powyższym oknie dialogowym użytkownik powinien zdefiniować przypadki obciążeniowe dla tworzonej konstrukcji. Dla każdego przypadku należy podać naturę przypadku, jego numer i nazwę (program proponuje domyślną nazwę przypadku obciążeniowego). Dodatkowo, możliwa jest definicja etykiety przypadku; przypadki w nazwie kombinacji mogą być bowiem przedstawiane nie tylko poprzez numer, ale także przez skróconą nazwę przypadku (etykieta); domyślnie w polu *Etykieta* wpisywana jest skrócona nazwa przypadku obciążeniowego. Po naciśnięciu klawisza **Nowy** przypadek zostanie zdefiniowany i dodany do listy zdefiniowanych przypadków znajdującej się w dolnej części okna **Przypadki obciążeń**. Parametry zdefiniowanego wcześniej przypadku obciążeniowego mogą również zostać zmienione. Służy temu klawisz **Modyfikuj**. Aby zmienić parametry przypadku obciążeniowego konstrukcji, należy:

- wybrać na liście zdefiniowanych przypadków przypadek obciążeniowy, którego parametry będą zmieniane
- zmienić numer, nazwę lub naturę przypadku obciążeniowego
- nacisnąć klawisz **Modyfikuj**.

W programie **Robot** można zdefiniować następujące natury przypadków obciążenia: ciężar własny, stałe, eksploatacyjne, wiatr, śnieg, temperatura, wyjątkowe i sejsmiczne.

Po zdefiniowaniu przypadków obciążeniowych należy zdefiniować obciążenia działające w utworzonych przypadkach obciążeniowych. Można to zrobić na dwa sposoby:

- przejść do tabeli znajdującej się w dolnej części ekranu **OBCIĄŻENIA**, która służy do definiowania obciążeń konstrukcji działających w zdefiniowanych przypadkach obciążenia.

Przypadek	Typ obciążenia	Lista						
1	obciąż. jednorodne	5Do7	PX=0.0	PZ=-5.00	globalny	nierzutowane	BE=0.0	
2	obciążenie trapezowe	1	X1=0.0	PX1=0.0	PZ1=0.0	X2=1.00	PX2=0.0	PZ2=0.0
2	obciążenie trapezowe	6	X1=0.0	PX1=0.0	PZ1=-1.00	X2=0.0	PX2=0.0	PZ2=-2.00

Aby zdefiniować obciążenia działające w jednym z utworzonych przypadków obciążenia, należy wykonać następujące operacje:

- * kliknąć lewym klawiszem myszki w pole **Przypadek** i wybrać z prezentowanej listy przypadek obciążenia, który został zdefiniowany w oknie **Przypadki obciążenia**
- * dla wybranego przypadku obciążenia należy określić typ przykładanego do konstrukcji obciążenia. Po kliknięciu w pole w kolumnie **Typ obciążenia** pojawia się lista dostępnych w systemie typów obciążenia. Następujące typy obciążenia są dostępne w programie **Robot**: dla konstrukcji prętowych: ciężar własny, siły węzłowe, obciążenia jednorodne, obciążenie trapezowe, siły prętowe, temperatura, przemieszczenia wymuszone, dylatacja i moment rozłożony dla konstrukcji płytowo-powłokowych: ciężar własny, obciążenie jednorodne, obciążenie liniowe, obciążenie zmienne (na trzech punktach), obciążenie ciśnieniem, temperatura, obciążenie jednorodne na konturze i obciążenie zmienne (na trzech punktach) na konturze
- * aby wybrać pręty/węzły konstrukcji, do których przykładane będzie obciążenie, należy kliknąć w pole znajdujące się w kolumnie **Lista**, a następnie wyselekcjonować (graficznie w edytorze graficznym lub przy pomocy opcji **Zaznacz** z menu kontekstowego edytora graficznego) odpowiednie węzły/pręty konstrukcji.

Po wybraniu typu przykładanego obciążenia wiersz tabeli obciążeń zostanie dostosowany do wybranego typu obciążenia tzn. pojawią się w nim tylko te kolumny, które są potrzebne do definicji wybranego typu obciążenia np. dla obciążenia jednorodnego ramy płaskiej będą to: kolumny umożliwiające zdefiniowanie obciążenia w kierunku x i z (odpowiednio wartości p_x i p_z) oraz kolumny pozwalające na zdecydowanie czy obciążenie ma być przyłożone w lokalnym czy globalnym układzie współrzędnych oraz czy obciążenie ma być rzutowane czy nie.

- otworzyć okno dialogowe **Obciążenie** umożliwiające definiowanie obciążeń dla utworzonych przypadków obciążenia. Opcja dostępna jest menu poprzez wybranie komendy **Obciążenia / Definicja**

obciążeń lub naciśnięcie ikony **Definicja obciążeń** .

UWAGA: Komenda menu **Definicja obciążeń** nie jest aktywna do momentu, gdy nie zostanie zdefiniowany choć jeden przypadek obciążenia.

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno.



W oknie znajdują się cztery zakładki: *Węzeł*, *Pręt*, *Powierzchnia* i *Ciężar i masy*.

Po wybraniu zakładki *Węzeł* w oknie dialogowym pojawiają się pokazane poniżej ikony, które umożliwiają:



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać wartości sił węzłowych

- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać wartości przemieszczeń wymuszonych węzłów podporowych; w przypadku analizy całkowanie równań ruchu obciążenia to może być traktowane jako: przemieszczenie, prędkość lub przyspieszenie

- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać wartości sił w punkcie na konstrukcji (opcja dostępna dla konstrukcji płytowo-powłokowych)

- usunięcie wybranego rodzaju obciążenia węzłowego. Aby usunąć obciążenie w konstrukcji, należy wybrać rodzaj obciążenia, który na zostać usunięty, a następnie wskazać węzły w których usuwane będzie obciążenie.

Po wybraniu zakładki *Pręt* w oknie dialogowym pojawiają się pokazane poniżej ikony pozwalające na:



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać wartości obciążenia jednorodnego



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać wartości obciążenia trapezowego (określonego na dwóch, trzech lub czterech punktach)



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać wartości momentu rozłożonego na długości pręta



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać wartości obciążenia skupionego przyłożonego na długości pręta



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać wartości dylatacji



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać wartości obciążenia temperaturą



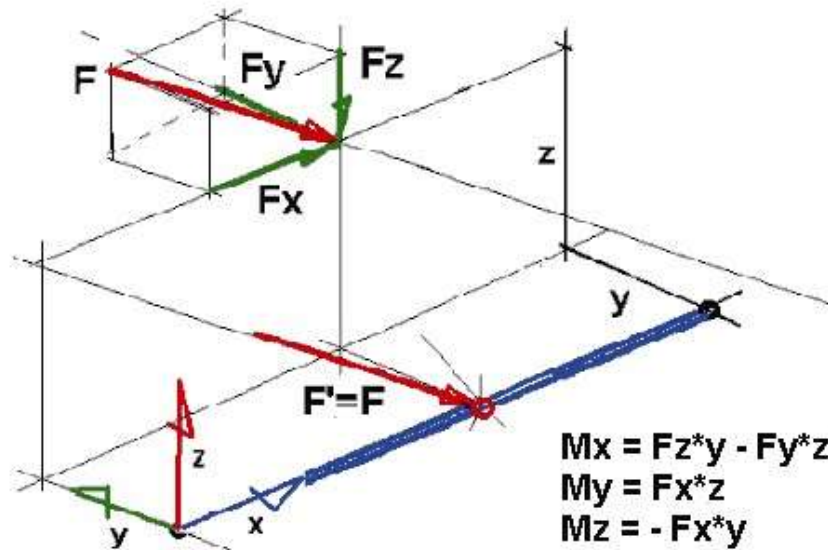
- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać wartości obciążenia powierzchniowego przekazywanego na pręty konstrukcji



- usunięcie wybranego rodzaju obciążenia prętowego. Aby usunąć obciążenie w konstrukcji, należy wybrać rodzaj obciążenia, który ma zostać usunięty, a następnie wskazać pręty dla których usuwane będzie obciążenie.

W programie istnieje możliwość uwzględniania obciążenia, które nie jest przyłożone w osi pręta. Jeżeli występują takie geometryczne offseety osi pręta, to punkt przyłożenia siły zdefiniowany jest względem przesuniętego układu lokalnego elementu. Obciążenia przykładane do prętów działające na pewnym mimośrodku pozwalają zdefiniować siły przyłożone do pręta w pewnej odległości od osi podłużnej pręta. Przesunięcie (odległość siły od osi podłużnej pręta) jest definiowane w lokalnym układzie pręta.

Obciążenia na mimośrodku mogą być definiowane dla dwóch rodzajów obciążeń: siła i moment skupiony działający w punkcie na długości pręta (siła prętowa), obciążenie jednorodne na pręcie. Opcja dostępna jest poprzez naciśnięcie klawisza **Obciążenie na mimośrodku** w oknach dialogowych służących do definicji wymienionych rodzajów obciążeń. Obciążenia zdefiniowane na mimośrodku redukowane są do osi pręta (patrz poniższy rysunek przedstawiający obciążenie siłą skupioną): siłę skupioną należy rozłożyć na składowe, w kierunku lokalnego układu osi elementu F_x , F_y , F_z , a następnie obliczone mogą zostać dodatkowe momenty w układzie lokalnym: $M_x = F_z \cdot y - F_y \cdot z$, $M_y = F_x \cdot z$ i $M_z = - F_x \cdot y$.



Po wybraniu zakładki *Powierzchnia* w oknie dialogowym pojawiają się pokazane poniżej ikony, które umożliwiają:



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane może zostać obciążenie jednorodne działające na całej powierzchni panela



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane może zostać obciążenie liniowe działające wzdłuż zdefiniowanej linii



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane może zostać obciążenie zmienne (na trzech punktach) działające na całej powierzchni panela



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane może zostać obciążenie ciśnieniem działające na powierzchniowych elementach skończonych



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane może zostać obciążenie jednorodne działające na zdefiniowanym konturze (na fragmencie wybranego panela)



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane może zostać obciążenie powierzchniowe zmienne (na trzech punktach) działające na zdefiniowanym konturze (na fragmencie wybranego panela)



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane może zostać obciążenie termiczne działające na powierzchniowych elementach skończonych



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane może zostać obciążenie liniowe na krawędziach

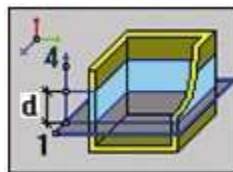


- usunięcie wybranego rodzaju obciążenia działającego na powierzchniowych elementach skończonych. Aby usunąć obciążenie w konstrukcji, należy wybrać rodzaj obciążenia, który na zostać usunięty, a następnie wskazać elementy dla których usuwane będzie obciążenie.

UWAGA: W przypadku konstrukcji objętościowych (bryły) w dolnej części okna dialogowego pojawia się opcja *Obciążenia brył*. Jej włączenie oznacza, że definiowane obciążenia określone będą dla konstrukcji objętościowych.

W programie istnieje możliwość definiowania niektórych typów obciążenia na części paneli. Służy temu opcja *Ograniczenia geometryczne*. Opcja dostępna jest poprzez naciśnięcie klawisza **Ograniczenia geometryczne** znajdującego się w oknach dialogowych służących do definiowania obciążenia powierzchniowego jednorodnego, obciążenia powierzchniowego na trzech punktach, obciążenia ciśnieniem jednorodnym i hydrostatycznym oraz obciążenia temperaturą na elementach powierzchniowych. Opcja jest również dostępna w tabeli obciążeń (po naciśnięciu klawisza **Ograniczenia**), jeżeli wybrany został jeden z typów obciążeń wymienionych powyżej.

Po zdefiniowaniu płaszczyzny określona może zostać półprzestrzeń lub warstwa panela (objektu), do którego przykładane będzie definiowane obciążenie. Na poniższym rysunku pokazano taką warstwę o grubości d , do której przyłożone będzie obciążenie.



Po wybraniu zakładki *Ciążar i masa* w oknie dialogowym pojawiają się pokazane poniżej ikony, które umożliwiają:



- automatyczne przypisanie ciężaru własnego do wszystkich elementów konstrukcji. Obciążenie ciężarem własnym będzie wtedy działało w kierunku osi Z globalnego układu współrzędnych, a jego zwrot będzie przeciwny do tej osi



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowany może zostać kierunek działania ciężaru własnego



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać siły bezwładnościowe



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać siły w ruchu obrotowym

- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać wartości mas (ciężarów) węzłowych



- otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać wartości mas (ciężarów) prętowych

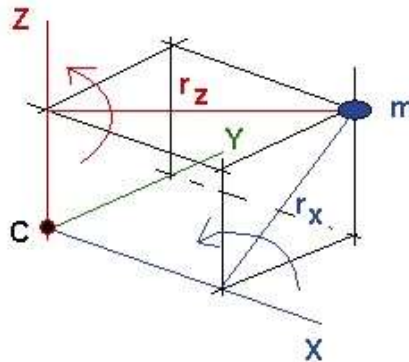


- usunięcie obciążenia ciężarem własnym. Aby usunąć obciążenie w konstrukcji, należy wskazać elementy dla których usuwane będzie obciążenie.

Nowe typy obciążeń umożliwiające definicję sił bezwładności i sił w ruchu obrotowym pozwalają na analizę i wymiarowanie konstrukcji przemysłu morskiego (konstrukcje związane z przemysłem wydobywania ropy naftowej z dna morskiego np. konstrukcje wyposażenia platform wiertniczych). Wymienione obciążenia są obciążeniami generującymi siły od bezwładności konstrukcji spowodowanymi nadaną prędkością lub przyspieszeniem. Obciążenia tego typu mają zastosowanie dla konstrukcji morskich, w których obciążenia transportowe mogą mieć duże znaczenie (przykładowo konstrukcja jest podnoszona za pomocą dźwigu lub umieszczona na statku). Obciążenia tego typu nie rozwiązują w pełni problemów modelizacji konstrukcji morskich, ale w dużym stopniu je ułatwiają.

Obciążenie siłami bezwładności jest obciążeniem statycznym biorącym pod uwagę masy dodane. Obciążenie to generuje siły od masy elementów oraz mas dodanych w węzłach lub elementach dla danego przyspieszenia o wartości a . Wartość wygenerowanej siły jest równa $F = m \cdot a$. Siły w ruchu obrotowym są obciążeniem statycznym, które pozwala uwzględniać masy dodane. Obciążenie to generuje siły od masy elementów oraz mas dodanych w węzłach lub elementach w ruchu obrotowym; generowane są następujące siły:

- siła odśrodkowa dla danej prędkości kątowej V : $F_r = m \cdot v^2 \cdot r$
- siła styczna do kierunku ruchu w punkcie danego przyspieszenia kątowego a : $F_t = m \cdot a \cdot r$, gdzie r jest odlegością danego węzła masy od osi układu współrzędnych umieszczonego w punkcie środkowym obrotu (patrz poniższy rysunek).



W programie **Robot** dostępna jest definicja mas dodanych (ciężarów) do węzłów i prętów oraz konwersja obciążeń na masy. Masy dodane są przede wszystkim uwzględniane w analizach dynamicznych (dynamika, harmoniczna, spektralna, sejsmiczna i czasowa), ale muszą być brane pod uwagę do obliczeń statycznych dla ciężaru własnego. Z tego powodu w obecnej wersji programu:

- tabela mas dodanych jest dostępna, jeżeli zdefiniowany został dowolny przypadek obciążeniowy
- opcje mas dodanych (węzłowych i prętowych) są zawsze dostępne w oknie dialogowym
- w tabeli mas oraz w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe** na zakładce **Konwersja obciążeń** znajduje się pełna lista przypadków prostych.

Wpływ dodanej masy w danym przypadku obciążeniowym występuje wtedy, gdy jest zdefiniowane jedno z wymienionych poniżej obciążeń, które generuje siły od mas dodanych:

- ciężar własny
- siły bezwładności
- siły w ruchu obrotowym.

Często zdarza się, że ciężar własny jest nadawany na pręty/panele konstrukcji jeszcze przed zdefiniowaniem wszystkich prętów/paneli występujących w konstrukcji. Konsekwencją tego jest fakt, że ciężar własny nie jest nadawany na te pręty/panele, które zdefiniowane zostały po przyłożeniu ciężaru

własnego; w obliczeniach przyjmowana jest zatem konstrukcja nie w pełni obciążona ciężarem własnym. Podobny problem może powstać również, gdy wykonywana jest operacja edycyjna (translacja, obrót itp.) z włączoną opcją *Ciągnięcie*; te pręty, które powstały w wyniku takiej operacji, również nie są automatycznie obciążane ciężarem własnym.

Aby ułatwić uwzględnianie ciężaru własnego dla całej konstrukcji, do rekordu obciążeniowego z przypadkiem obciążeniowym zawierającym ciężar własny dodane są następujące atrybuty: *Cała konstrukcja* i *Część konstrukcji*. Jeśli w tabeli będzie występowała opcja *Cała konstrukcja*, to przy generacji danych do obliczeń do wszystkich prętów/paneli konstrukcji zostanie automatycznie przyłożony ich ciężar własny.

Atrybut *Cała konstrukcja* może być zdefiniowany na dwa sposoby:

- w oknie dialogowym **Ciężar własny** konstrukcji: naciśnięcie ikony służącej do nadania ciężaru własnego dla całej konstrukcji (wszystkich prętów/paneli) oznacza, że ciężar własny będzie automatycznie nadany na całej konstrukcji
- w tabeli obciążeń: wybierając opcję *Cała konstrukcja* w linii definiującej przypadek obciążenia ciężarem własnym (jest to domyślna wartość atrybutu).

W programie **Robot** istnieje możliwość generacji obciążeń pochodzących od sprężenia w elementach betonowych (beton sprężony). Obliczenia strat w elementach wstępnie sprężonych może być przeprowadzone zgodnie z następującymi normami:

- polską normą PN-B-03264:1999
- normą EuroCode 2 (ENV 1992-1: 1999) - amerykańską normą ACI 318-99 - francuską normą BAEL 91.

Po wybraniu jednej z wymienionych norm (opcja *Preferencje zadania / Normy*), wybraniu elementu konstrukcji betonowej i wybraniu opcji *Analiza / Analiza elementów wstępnie sprężonych* z menu uruchamiany jest odpowiedni arkusz programu **Spreadsheet Calculator** umożliwiający obliczanie i generację obciążenia od sprężenia. Do arkusza są przekazywane dane z wybranego elementu konstrukcji (długość elementu oraz wymiary przekroju); po obliczeniach w arkuszu programu **Spreadsheet Calculator** następuje modyfikacja konstrukcji (dodanie przypadków obciążeniowych).

UWAGA: Aby działało połączenie pomiędzy programami **Robot** i **Spreadsheet Calculator**, obydwa programy muszą być zainstalowane na dysku. Jeżeli program **Spreadsheet Calculator** nie jest dostępny przy próbie uruchomienia opcji *Analiza / Analiza elementów wstępnie sprężonych*, pojawia się komunikat informujący o tym, że program **Spreadsheet Calculator** musi być zainstalowany.

Obecnie dostępne są trzy arkusze dotyczące konstrukcji sprężonych (kablobetonowych). Arkusze te obejmują obliczanie i generowanie obciążeń od sprężenia z uwzględnieniem strat natychmiastowych wywołanych:

- tarciem kabla o ścianki kanału
- poślizgiem kabla w zakotwieniu - sprężystym odkształceniem betonu.










Szczegóły działania wymienionych arkuszy można znaleźć w opisach tych arkuszy (pomocy) znajdujących się w programie **Spreadsheet Calculator**.

W górnej części okna podawane są dwie informacje: wybrany przypadek obciążenia (numer i nazwa), dla którego definiowane będzie obciążenie oraz wybrany rodzaj obciążenia, który będzie nadawany węzłom/prętom/panelom konstrukcji.

Po zdefiniowaniu rodzaju obciążenia istnieją trzy metody nadania obciążenia węzłom/prętom konstrukcji:

1. wpisać numery węzłów/prętów/paneli w polu *Zastosuj do* i nacisnąć klawisz **Zastosuj**
2. nadawać zdefiniowane obciążenie do poszczególnych węzłów/prętów/paneli konstrukcji (kursor zmienia swój kształt na symbol obciążenia)
3. wybrać graficznie węzły/pręty/panele konstrukcji i nacisnąć klawisz **Zastosuj**.

Jeżeli obciążenia są definiowane na ekranie **OBCIĄŻENIA** programu **Robot**, to w prawym dolnym rogu ekranu graficznego, na którym prezentowana jest konstrukcja, przedstawiana jest legenda definiowanych rodzajów obciążenia dotychczas zdefiniowanych w konstrukcji. Legenda zawiera (wielkość opisu symboli zależy od wybranej wielkości czcionki): symbol obciążenia i jednostki używane podczas definicji obciążenia. W poniższej tabeli przedstawiono symbole używane do oznaczenia poszczególnych rodzajów obciążenia:

SYMBOL	RODZAJ OBCIĄŻENIA
	ciężar własny (w tym wypadku jest to ciężar w kierunku osi Z - zwrot przeciwny do zwrotu osi)
	obciążenie jednorodne
	siła skupiona
	moment
	przemieszczenie wymuszone, dylatacja
	obciążenie temperaturą
	obciążenie powierzchniowe
	obciążenie ruchome
	masy (ciężary).

UWAGA: Symbole zdefiniowanych rodzajów obciążeń mogą być również prezentowane na ekranie graficznym (w dowolnym ekranie programu **Robot**), jeżeli włączona zostanie opcja *Symbole na zakładce Obciążenia okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów*.

Na końcu każdego rekordu obciążeniowego w tabeli obciążeń znajduje się pole MEMO. Umożliwia ono dodanie opisu do każdego obciążenia (użytkownik ma możliwość dodatkowego opisu działającego obciążenia np. *obciążenie przekazywane na belkę z konstrukcji dachowej*).

W programie **Robot** w następujący sposób wyznaczone jest położenie środka ciężkości i środka geometrycznego konstrukcji:

Środek geometryczny

$$X_{\text{GeomCentr}}[i] = \frac{\sum_{\text{nodes}=1}^{\text{nodes}} X[i]}{\text{nodes}}$$

i = x,y,z

Środek ciężkości

Dla konstrukcji 3D:

obciążenie stałe działa w kierunku Z

$$Xc[0] = \text{Sum}(My(0,0,0))/\text{Sum}(Pz)$$

obciążenie stałe działa w kierunku Z

$$Xc[1] = -\text{Sum}(Mx(0,0,0))/\text{Sum}(Pz)$$

obciążenie stałe działa w kierunku X

$$Xc[2] = -\text{Sum}(My(0,0,0))/\text{Sum}(Px)$$

Dla płyt i rusztów:

obciążenie stałe działa w kierunku Z

$$Xc[0] = \text{Sum}(My(0,0,0))/\text{Sum}(Pz)$$

obciążenie stałe działa w kierunku Z

$$Xc[1] = -\text{Sum}(Mx(0,0,0))/\text{Sum}(Pz)$$

$$Xc[2] = 0$$

Dla ram i kratownic 2D Dla konstrukcji w płaskim stanie naprężenia / odkształcenia

obciążenie stałe działa w kierunku Z

$$Xc[0] = \text{Sum}(My(0,0,0))/\text{Sum}(Pz)$$

$$Xc[1] = 0$$

obciążenie stałe działa w kierunku X

$$Xc[2] = -\text{Sum}(My(0,0,0))/\text{Sum}(Px)$$

Dla konstrukcji osiowosymetrycznych

d obciążenie stałe działa w kierunku Y

$$Xc[0] = 0$$

$$Xc[1] = 0$$

obciążenie stałe działa w kierunku X

$$Xc[2] = -\text{Sum}(My(0,0,0))/\text{Sum}(Px)$$


3.8.1. Kombinacje obciążeń

W programie **Robot** możliwa jest również definicja kombinacji utworzonych przypadków obciążenia. Istnieją dwie możliwości tworzenia kombinacji przypadków obciążeniowych:

- ręczna, poprzez podanie listy przypadków obciążeniowych wchodzących w skład kombinacji (z odpowiednimi współczynnikami zależnymi od natury przypadku obciążeniowego)
- automatyczna, po uruchomieniu opcji *Kombinacje automatyczne*; dla wybranego regulaminu normowego tworzona będzie lista wszystkich możliwych kombinacji przypadków obciążeniowych.


Poniżej omówiony zostanie sposób definicji kombinacji ręcznych; w następnym rozdziale omówione zostaną kombinacje normowe.

Aby to zrobić, należy wybrać komendę *Obciążenia / Kombinacje ręczne* lub nacisnąć ikonę *Kombinacje*

. Po wybraniu typu kombinacji (SGN, SGU, wyjątkowy) oraz natury kombinacji, należy podać nazwę kombinacji i zdefiniować działające w kombinacji przypadki obciążenia wraz z ich współczynnikami. Po wybraniu ogólnego typu kombinacji na ekranie pojawia się okno dialogowe **Kombinacje** pokazane na poniższym rysunku.



W polu znajdującym się w lewej części okna dialogowego prezentowane są wszystkie zdefiniowane przypadki obciążenia. Aby utworzyć dla nich kombinację obciążeń, należy podświetlić odpowiednie

przypadki obciążenia, a następnie nacisnąć klawisz . Wybrane przypadki obciążenia z odpowiednimi współczynnikami zapisanymi dla natury obciążenia (współczynnik można również wpisać ręcznie w polu *Współczynnik*) zostaną dodane do pola znajdującego się w prawej części okna dialogowego definiując tym samym kombinację. Utworzenie nowej kombinacji obciążenia może nastąpić po naciśnięciu klawisza **Nowa**. Istnieje możliwość modyfikacji już istniejącej kombinacji obciążeń; aby to zrobić, należy nacisnąć klawisz **Zmień**. Modyfikacja jest dokonywana w taki sam sposób jak definicja kombinacji.

W obecnej wersji programu istnieje możliwość tworzenia kombinacji zawierających przypadki obciążenia ruchomego. Opcja ta związana jest jednak z następującymi ograniczeniami:


- po utworzeniu kombinacji liniowej zawierającej przypadki ruchome definiowane są trzy dodatkowe przypadki pomocnicze (tak jak dla kombinacji normowych); te przypadki są dostępne na liście wyboru przypadków obciążeniowych; utworzona przez użytkownika kombinacja jest dostępna tylko w oknie dialogowym i tabeli kombinacji; nie można zażądać dla niej rezultatów, uzyskuje się bowiem rezultaty

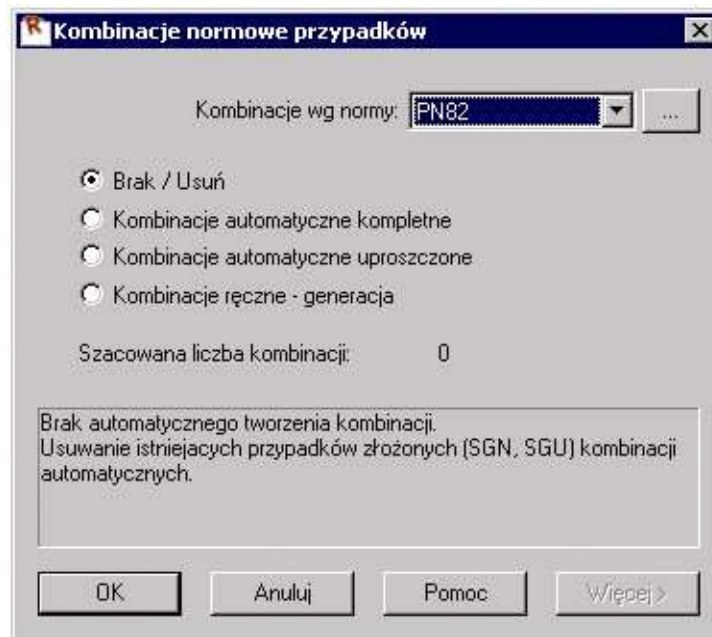
dla wszystkich składowych (kombinacja zdefiniowana z przypadkami ruchomymi zawiera bowiem przypadki składowe podobnie jak kombinacja normowa)

- kombinacje kwadratowe (COMB QUA) nie mogą zawierać przypadków obciążenia ruchomego lub kombinacji, które takie przypadki zawierają; dla kombinacji kwadratowych zawierających przypadki obciążeń ruchomych wyniki nie są dostępne
- kombinacje liniowe mogą zawierać kilka przypadków obciążenia ruchomego (przypadki ruchome mogą być zagnieżdżane); istnieje możliwość wykorzystania kombinacji kwadratowych w kombinacjach liniowych, które zawierają przypadki ruchome.

3.8.2. Kombinacje normowe

W programie **Robot** dostępna jest opcja umożliwiająca tworzenie kombinacji przypadków obciążeniowych określonych przez wybraną normę (norma powinna zostać wybrana w **Preferencjach zadania**: opcja *Normy / Kombinacje normowe*). Opcja dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Obciążenia /*

Kombinacje automatyczne lub naciśnięcie ikony *Kombinacje automatyczne* . Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno.



Opcje znajdujące się w powyższym oknie dialogowym mają ułatwić proces definicji kombinacji automatycznych:

- lista wyboru *Kombinacje wg normy* jest to ta sama lista wyboru, która znajduje się w oknie dialogowym **Preferencje zadania**; jeśli w powyższym oknie dialogowym zmieniona zostanie norma, na podstawie której generowane są kombinacje (zmiana musi zostać zaakceptowana naciśnięciem klawisza **OK**), to zmieniony zostanie również aktualny regulamin w oknie dialogowym **Preferencje zadania**.

Naciśnięcie klawisza (...) znajdującego się po prawej stronie listy wyboru regulaminu kombinacji normowych powoduje uruchomienie edytora regulaminów kombinacji normowych Ponededit. W tym edytorze prezentowany jest zestaw współczynników i przepis tworzenia kombinacji dla wybranej normy

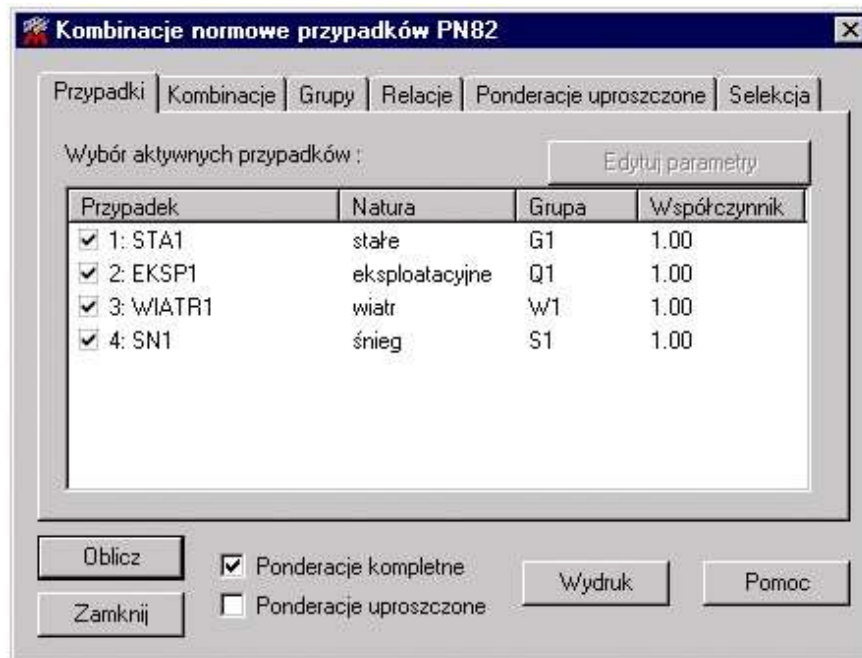
- opcja *Kombinacje automatyczne kompletne*

wybranie tej opcji i naciśnięcie klawisza **OK** powoduje generację pełnych kombinacji normowych po obliczeniach statycznych konstrukcji.

Użytkownik nie musi określać parametrów generacji kombinacji; jeśli jednak zachodzi potrzeba zmiany parametrów generacji kombinacji (np. definicje grup, relacji itp.), to należy nacisnąć klawisz **Więcej**; powoduje to otwarcie okna dialogowego **Kombinacje normowe** z włączoną opcją **Kombinacje automatyczne kompletne**

- opcja **Kombinacje automatyczne uproszczone** wybranie tej opcji i naciśnięcie klawisza **OK** powoduje generację uproszczonych kombinacji normowych po obliczeniach statycznych konstrukcji. Użytkownik nie musi określać parametrów generacji kombinacji; jeśli jednak zachodzi potrzeba zmiany parametrów generacji kombinacji (np. definicje grup, relacji itp.), to należy nacisnąć klawisz **Więcej**; powoduje to otwarcie okna dialogowego **Kombinacje normowe** z włączoną opcją **Kombinacje automatyczne uproszczone**
- opcja **Kombinacje ręczne - generacja** wybranie tej opcji umożliwia rozpoczęcie generacji kombinacji ręcznych; aby kontynuować, należy nacisnąć klawisz **Więcej** (klawisz **OK** nie jest dostępny); otwierane jest okno dialogowe **Kombinacje normowe przypadków**.

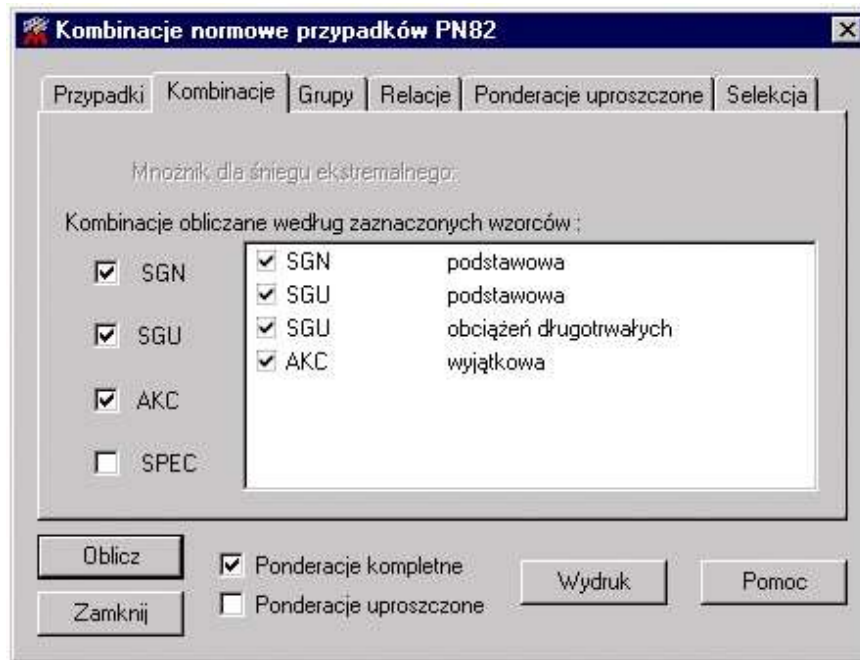
Automatyczne kombinacje normowe (ponderacje) w systemie **Robot** mają zapewnić użytkownikowi łatwy sposób definicji i obliczeń wybranych kombinacji. Okno dialogowe do definicji kombinacji normowych składa się z sześciu zakładek: *Przypadki*, *Kombinacje*, *Grupy*, *Relacje*, *Ponderacje uproszczone* i *Selekcja*. Po określeniu parametrów tworzenia kombinacji normowych (przypadki obciążeniowe, wzorce kombinacji, ewentualnie dodatkowe relacje itp.) należy nacisnąć klawisz **Oblicz**. Aktualne obliczenia kombinacji normowych polegają na wyznaczeniu wszystkich możliwych (teoretycznie dopuszczalnych) kombinacji przypadków. Dla potrzeb szczegółowej analizy kombinacji normowych powstają przypadki SGU (SGN, wyjątkowy), pozwalające oglądać wyniki dla każdej z utworzonych kombinacji z osobna (kombinacji składowych), jak również same kombinacje składowe. Te przypadki są wykorzystywane do obliczeń normowych. Dla prezentacji tabelarycznej maksimów i minimów tworzone są przypadki oznaczane jako SGU+, SGU- (SGN+, SGN-, SGW+, SGW-). Pozwalają one na wyświetlenie odpowiednich wartości ekstremalnych. Dla prezentacji graficznej (wykresy) nie ma znaczenia wybranie przypadku SGU, SGU+, SGU-.



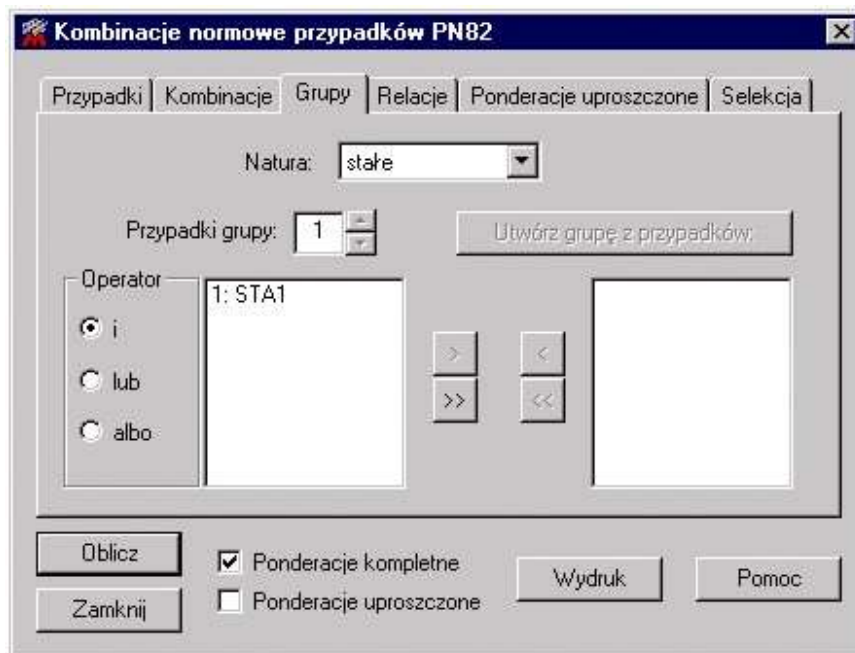
Zakładka *Przypadki* służy do wyboru przypadków obciążeniowych zdefiniowanych dla konstrukcji, które będą uwzględniane podczas tworzenia kombinacji normowych. W polu *Wybór aktywnych przypadków*

znajduje się lista zdefiniowanych przypadków obciążeniowych z określonymi dla nich naturami. Dla każdego przypadku obciążeniowego określonego wybraną naturą zdefiniowane są odpowiednie współczynniki wykorzystywane podczas tworzenia kombinacji. Domyślnie wszystkie przypadki są wybrane w polu *Wybór aktywnych przypadków* (przy nazwie i numerze przypadku pojawia się symbol \checkmark), tzn. wszystkie będą brane pod uwagę podczas tworzenia kombinacji normowych. Jeżeli któryś z przypadków obciążeniowych ma nie być uwzględniany podczas tworzenia kombinacji normowych, należy kliknąć lewym klawiszem myszki w odpowiedni przypadek.

Zakładka *Kombinacje* służy do określenia jakie rodzaje kombinacji normowych będą tworzone.



Procedury numeryczne zezwalają na obliczanie wielu rodzajów kombinacji (wzorców) opisanych w plikach regulaminowych. W zależności od sposobu kombinacji, liczby współczynników przepisy te łączone są we wzorce, które używane są w różnych normach według zasady: przepis kombinacji obciążeń stałych, zmiennych, wyjątkowych i sejsmicznych. To, które z przepisów program ma uwzględniać, określa plik regulaminowy. UWAGA: w obecnej wersji programu **Robot** istnieje dodatkowa aplikacja **PondEdit** (w katalogu *SYSTEM/EXE* programu **Robot**) umożliwiająca edycję istniejących plików regulaminowych lub tworzenie nowych regulaminów. Podobnie jak to miało miejsce przy ustalaniu liczby aktywnych przypadków, użytkownik może zdecydować przed obliczeniem kombinacji normowych, które z proponowanych zestawów odrzucić. Pozostawienie wszystkich aktywnych utworzy pełną listę kombinacji według każdego z zaznaczonych wzorców. Zakładka *Grupy* służy do definicji/wizualizacji grup, czyli zestawu przypadków obciążeniowych połączonych relacjami.



W obecnej wersji programu wszystkie obciążenia stałe łączone są w jedną grupę obciążeń «łącznych» (działających równocześnie). Obciążenia śniegiem i wiatrem tworzą osobne grupy obciążeń «wykluczających się», dla których wystąpienie jednego przypadku wyklucza wystąpienie innego. Wszystkie pozostałe obciążenia zmienne występują jako obciążenia, dla których brak jest zależności między poszczególnymi obciążeniami.

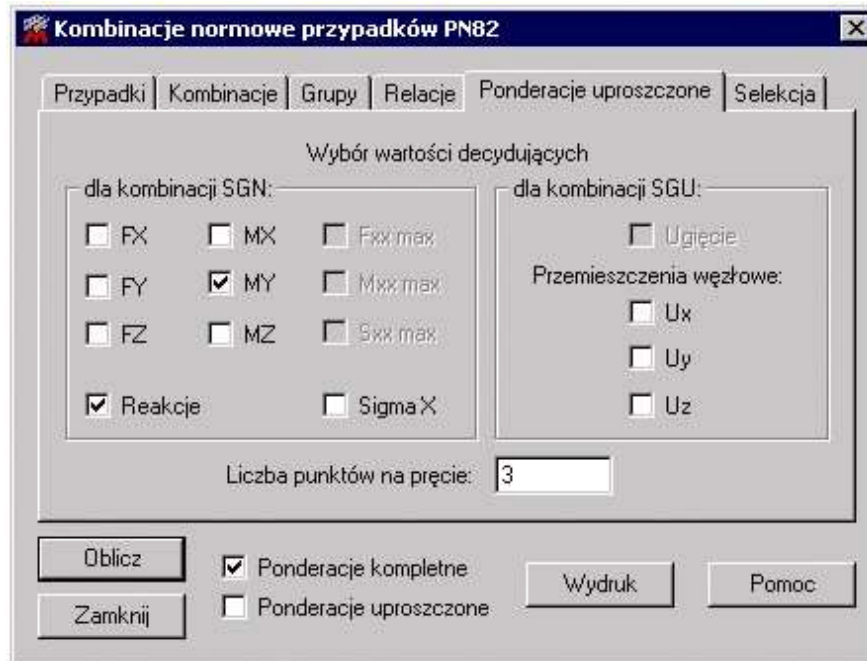
Program tworzy wspomniane grupy i relacje w sposób automatyczny. Takie podejście automatycznie rozwiązuje problem podstawowych kombinacji. Dla bardziej zaawansowanych kombinacji wykorzystywane mogą zostać opcje znajdujące się na zakładce *Relacje*. Umożliwiają one na tworzenie logicznych operacji na grupach przypadków wewnątrz natur. Operatorami logicznymi będą operatory 'I', 'LUB' oraz 'ALBO'. Podczas tworzenia operacji użytkownik może wykorzystywać nawiasy łącząc lub wykluczając wybrane grupy przypadków. Działanie poszczególnych operatorów wyjaśnione zostanie na krótkim przykładzie. Załóżmy, że w konstrukcji zdefiniowane są trzy grupy przypadków obciążenia: G1, G2 i G3. Działanie operatorów logicznych jest następujące:

- I - wybranie tego operatora spowoduje, że wszystkie obciążenia będą działały równocześnie (konstrukcja obciążona będzie równocześnie obciążeniami z grupy przypadków G1, G2 i G3); symbolicznie można to przedstawić jako G1 G2 G3
- ALBO - wybranie tego operatora spowoduje, że działania obciążeń z poszczególnych grup przypadków będą się wykluczały (konstrukcja obciążona będzie albo obciążeniami z grupy przypadku G1, albo G2, albo G3); symbolicznie można to przedstawić jako:
G1
G2
G3
- LUB - wybranie tego operatora spowoduje, że dopuszczalne będą wszystkie możliwe kombinacje pomiędzy grupami przypadków obciążeniowych; symbolicznie można to przedstawić jako:
G1
G2
G3
G1 G2
G1 G3

G2 G3 G1
G2 G3.



Dla bardziej rozbudowanych zadań (więcej niż 10 przypadków obciążeniowych dla których tworzone są kombinacje normowe) tworzenie kombinacji normowych może być bardzo czasochłonne. Dlatego przewidziany został mechanizm określania uproszczonych kombinacji normowych, generujących kombinacje ekstremalne z uwagi na konkretny wynik lub ich kombinację. Służą do tego opcje znajdujące się na zakładce *Ponderacje uproszczone*. W takiej sytuacji użytkownik musi podać liczbę punktów i określić jaka wartość (wskazana siła, moment, naprężenie) jest dla niego decydująca. Program określi, które z kombinacji dostarczają takich wartości i tylko te kombinacje zostaną zapisane jako kombinacje normowe dla wybranego pręta. W przypadku podania interakcji dwóch wybranych wielkości, system będzie próbował określić obwiednie takich zmiennych.




Dla bardziej złożonych zadań tworzenie uproszczonych kombinacji normowych może być przeprowadzone również dla wybranych węzłów i/lub prętów konstrukcji. Do tego celu służą opcje znajdujące się na zakładce *Selekcja*:

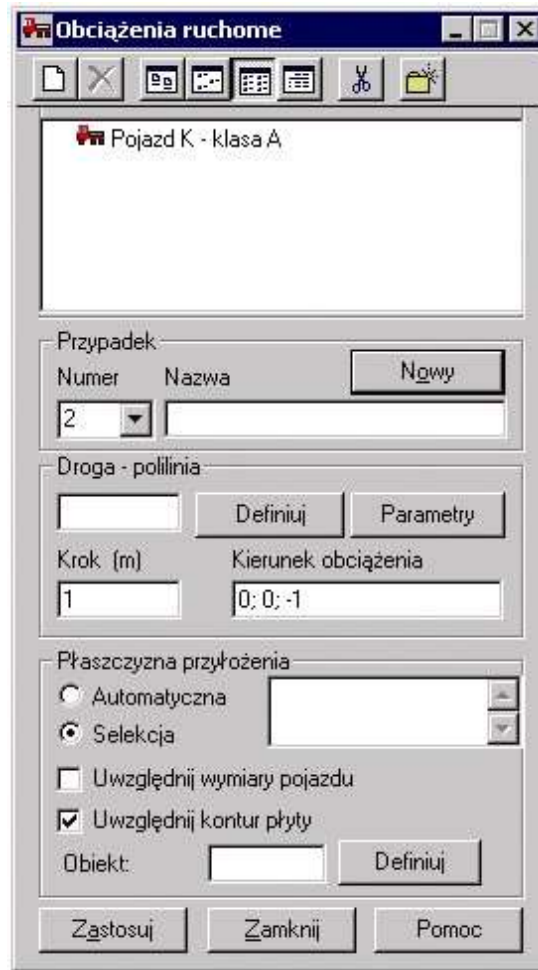
- wszystkie pręty (wartości wybrane na zakładce *Ponderacje uproszczone* będą sprawdzane dla wszystkich prętów konstrukcji) lub pręty z podanej listy (wartości wybrane na zakładce *Ponderacje uproszczone* będą sprawdzane dla wybranych przez użytkownika prętów konstrukcji - lista wybranych prętów powinna zostać wpisana w odpowiednie pole)
- wszystkie węzły (wartości wybrane na zakładce *Ponderacje uproszczone* będą sprawdzane dla wszystkich węzłów konstrukcji) lub węzły z podanej listy (wartości wybrane na zakładce *Ponderacje uproszczone* będą sprawdzane dla wybranych przez użytkownika węzłów konstrukcji - lista wybranych węzłów powinna zostać wpisana w odpowiednie pole).

3.8.3. Obciążenia ruchome

Opcja definicji obciążenia ruchomego pozwala użytkownikowi na analizę konstrukcji poddanej obciążeniu pojazdem opisanym dowolną kombinacją sił (w definicji obciążeń pojazdem mogą występować siły skupione, obciążenie liniowe lub powierzchniowe) poruszającym się po określonej trasie. Opcja dostępna jest:


- z menu poprzez wybranie komendy *Obciążenia / Obciążenia specjalne / Ruchome*
- z paska narzędziowego przez naciśnięcie ikony *Obciążenia ruchome* .


Na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.





Obciążenia ruchome są zdefiniowane poprzez podanie pojazdu i jego drogi na konstrukcji. Pojazd jest zbiorem sił o zadanym kierunku, wielkości i położeniu. W każdym kroku pojazd jest przesuwany z jednego położenia do następnego; zbiór sił przyłożony do elementów jest tworzony dla każdego położenia. Stąd przypadek obciążenia ruchomego jest traktowany jako zbiór kilku statycznych przypadków obciążenia (kolejny przypadek obciążenia dla następnego położenia pojazdu).

W górnej części powyższego okna dialogowego znajdują się następujące ikony:

=  - umożliwia dodanie nowego typu pojazdu

=  - umożliwia usunięcie wybranego typu pojazdu z listy aktywnej

=  - umożliwiają wyświetlanie listy aktywnych pojazdów jako: dużych ikon, małych ikon, krótkiej listy oraz pełnej listy

=  - umożliwia usunięcie z listy aktywnej wszystkich typów pojazdów, które nie są używane w projektowanej konstrukcji.

Proces definiowania przypadku obciążenia ruchomego w konstrukcji można podzielić na kilka etapów:

- definicja nowego pojazdu i wybór pojazdu, który poruszał się będzie po konstrukcji; aby wybrać pojazd, należy podświetlić go na liście aktywnych typów pojazdów
- definicja przypadku obciążenia ruchomego

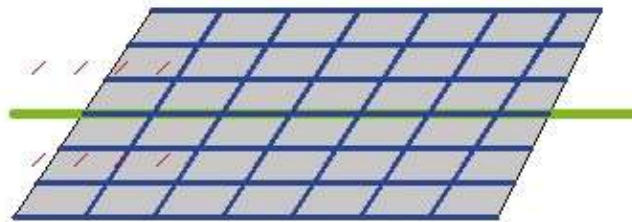
aby zdefiniować przypadek obciążenia ruchomego, należy wpisać numer i nazwę tego obciążenia; naciśnięcie klawisza **Nowy** powoduje utworzenie nowego (następnego) przypadku obciążenia ruchomego

- definicja drogi (trasy), po której poruszał się będzie wybrany pojazd
Aby zdefiniować drogę po której poruszał się będzie pojazd, należy nacisnąć klawisz **Definiuj**. Spowoduje to otwarcie okna dialogowego **Polilinia - kontur**. Naciśnięcie klawisza **Parametry** powoduje otwarcie dodatkowego okna dialogowego, w którym zdefiniowane mogą zostać parametry drogi (mnożniki obciążeń przypadku obciążenia ruchomego itp.) Dwa podstawowe parametry definiujące obciążenie ruchome to: *krok* - wielkość kroku, z którym porusza się pojazd (krok określający kolejne położenia pojazdu) *kierunek obciążenia* - kierunek sił definiujących obciążenie pojazdem.
- określenie płaszczyzny przyłożenia obciążenia; ta opcja opisuje metodę redystrybucji sił definiujących pojazd w konstrukcji. Istnieją dwie możliwości:

Automatycznie - siły rozmieszczone są automatycznie na najbliższych elementach branych ze wszystkich elementów konstrukcji

Selekcja - siły będą przykładane do najbliższych elementów lub węzłów należących do tych elementów z <listy_elementów> dostępnej w prawej, dolnej części okna dialogowego; jeśli opcja *Uwzględnij wymiary pojazdu* jest włączona, to określana jest selekcja prętów, na których zostanie wygenerowane obciążenie od sił pojazdu; selekcja ta jest określona przez wymiary obrysu pojazdu: *b* - szerokość, *d1* i *d2* - zwis przedni i tylny (parametry obrysu pojazdu definiowane są dla każdego pojazdu wraz definicją zestawu obciążeń w oknie dialogowym definicji pojazdu).

w dolnej części okna dialogowego znajduje się opcja *Uwzględnij kontur płyty*; umożliwia ona uwzględnienie założonego przez użytkownika rozkładu sił od pojazdu w analizie obciążeń ruchomych na pręty dla niektórych typów konstrukcji (dotyczy to obciążeń od części pojazdu, który wychodzi poza obrys konturu przenoszącego obciążenie) - typowym przykładem jest obciążenie rusztu płyty mostowej (patrz rysunek poniżej)



Jeżeli opcja *Uwzględnij kontur płyty* jest wyłączona, to pełny zestaw sił pojazdu będzie przykładany do prętów począwszy od pierwszego położenia pojazdu; jeśli opcja *Uwzględnij kontur płyty* jest włączona, to można zdefiniować geometryczne ograniczenie określające, które ze składowych sił pojazdu mają być przykładane do prętów - ograniczenie takie może być zdefiniowane za pomocą obiektu - 'boku' panela bez grubości. Generacja obciążeń na pręty uwzględnia położenie każdej ze składowej sił; jeżeli siła znajduje się poza obrysem konturu płyty, to nie jest ona przykładana do prętów.

Pole edycyjne służy do definicji numeru obiektu opisującego kontur płyty; naciśnięcie klawisza **Definiuj** powoduje otwarcie okna dialogowego służącego do definicji polilinii-konturu z wybraną opcją *Bok*.

W czasie generacji obciążeń na pręty od obciążenia pojazdem brane są pod uwagę wszystkie pręty lub ich selekcja określona na liście *Płaszczyzna przyłożenia - selekcja*. Pręty te rzutowane są na płaszczyznę utworzoną z odcinka polilinii drogi i wektora prostopadłego definiowanego przez użytkownika jako *Kierunek obciążenia*. Jeżeli zostanie włączona opcja *Uwzględnij wymiary pojazdu*, to na płaszczyźnie rzutowania określany jest obrys pojazdu i selekcja na rzucie prętów jest zawężana do tych prętów, które zawierają się lub są przecięte przez obrys pojazdu. Tego typu ograniczenie selekcji prętów, na których są generowane obciążenia od pojazdu, może pomóc w przypadkach kiedy automatyczne wyszukiwanie prętów mogło sprawić pewne problemy.

Naciśnięcie klawisza **Zastosuj** powoduje utworzenie nowego przypadku obciążenia ruchomego o parametrach zdefiniowanych w powyższym oknie dialogowym.

Trasa pojazdu, pojazd, elementy obciążone pojazdem oraz zestaw obciążeń będzie mógł być wizualizowany po obliczeniach konstrukcji (opcja *Wizualizacja / Obciążenie*).

Wyniki otrzymane dla przypadku obciążenia ruchomego mogą być prezentowane w dwojaki sposób. Pierwszą metodą jest przedstawienie wyników przypadku statycznego dla wybranego przez użytkownika położenia obciążenia ruchomego. Dostępne są opcje umożliwiające zmianę położenia obciążenia ruchomego. Użytkownik może przesuwać obciążenie krok po kroku lub wykorzystać animację pojazdu oraz wyników dla obciążenia ruchomego. Drugą metodą jest prezentowanie zmian wartości wybranej wielkości w wybranym punkcie w trakcie poruszania się obciążenia po konstrukcji, czyli przedstawienie linii wpływu wybranej wielkości (patrz rozdział 5.11).

UWAGI DOTYCZĄCE WYKORZYSTYWANIA OBCIĄŻEŃ RUCHOMYCH DLA RÓŻNYCH TYPÓW KONSTRUKCJI

Konstrukcje prętowe

Dla konstrukcji typu prętowego (RAMA, KRATOWNICA, RUSZT) możliwe jest przykładanie obciążeń pojazdem zdefiniowanym za pomocą sił skupionych i liniowych. Siły skupione przykładane są jako obciążenie prętowe. W przypadku gdy siła skupiona nie "trafia" bezpośrednio na pręt, stosowany jest algorytm rozkładający siłę na najbliższe pręty. Siła liniowa zastępowana jest przez 10 sił skupionych na długości obciążenia liniowego.

Dla konstrukcji typu prętowego nie można używać pojazdów zdefiniowanych przy pomocy obciążeń powierzchniowych.

Konstrukcje płytowo-powłokowe

Dla konstrukcji typu powierzchniowego (PŁYTA, POWŁOKA) możliwe jest używanie wszystkich typów pojazdów (przy pomocy sił skupionych, liniowych i powierzchniowych). Siła skupiona przykładana jest jako obciążenie punktowe geometryczne na elementy powierzchniowe oraz rozkładana na elementy prętowe. Siła liniowa przykładana jest jako obciążenie liniowe geometryczne na elementy powierzchniowe. Nie jest ona przykładana na pręty. Siła powierzchniowa przykładana jest jako obciążenie konturowe geometryczne na elementy powierzchniowe. Wykorzystując ten typ obciążenia należy zwrócić uwagę na to, w którym miejscu zostanie przyłożone obciążenie konturowe; jest ono bowiem generowane na każdym panelu, który znajduje się w obrębie rzutu konturu. Aby ten typ obciążenia przyłożony został tylko na wybrane panele, należy wykorzystać opcje selekcji w definicji przypadku obciążenia ruchomego. W przypadku konstrukcji mieszanych (prętowo-powłokowych) obciążenia liniowe i powierzchniowe są przykładane tylko na elementy powierzchniowe. Aby obciążenie pojazdem zostało przyłożone bezpośrednio na pręty, należy wykorzystywać siły skupione w definicji pojazdu.

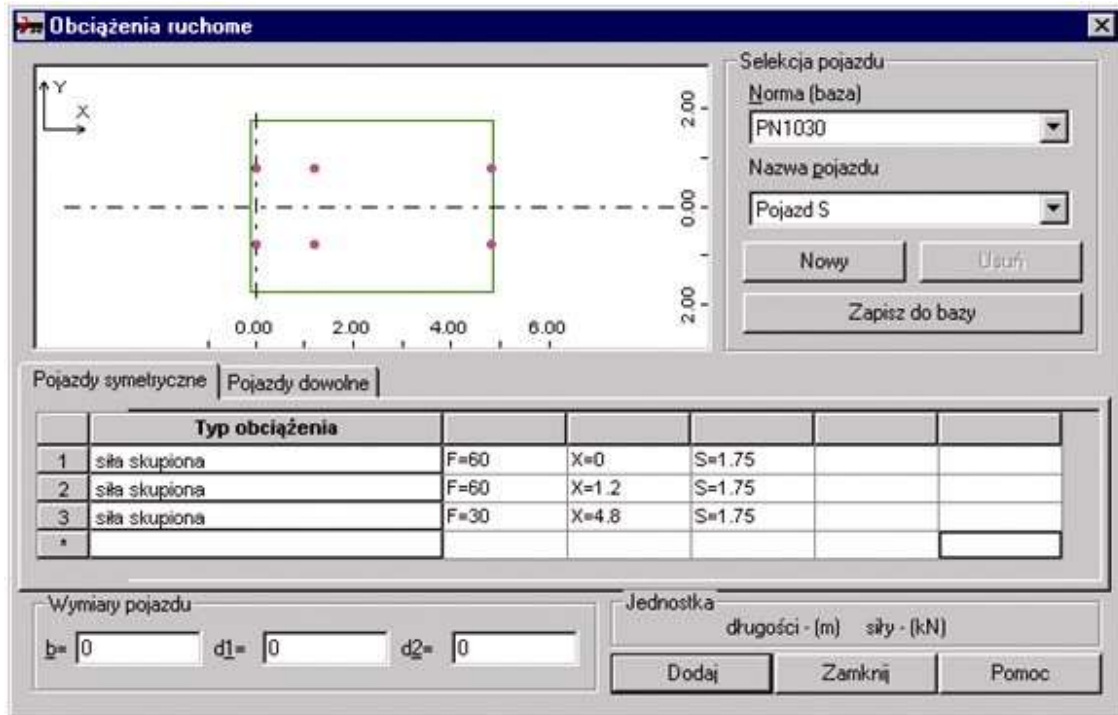
DEFINICJA NOWEGO POJAZDU

Pojazdem nazywamy zestaw sił, który stanowi obciążenie w przypadku ruchomym. Pojazd jest przesuwany wzdłuż zdefiniowanej trasy o odległość zadaną jako krok drogi przypadku ruchomego.

Każde pojedyncze położenie pojazdu zapisywane jest w kolejnej składowej przypadku.

Na definicję pojazdu mogą się składać siły skupione, liniowe lub powierzchniowe o prostokątnym konturze.

Po naciśnięciu ikony *Nowy pojazd* w oknie dialogowym **Obciążenia ruchome** na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.



W powyższym oknie dialogowym wybrany może zostać pojazd, który dodany zostanie do aktywnej listy pojazdów znajdujących się w oknie dialogowym **Obciążenie ruchome**. Okno dialogowe zostało podzielone na kilka części. Dostępne są dwa typy pojazdu:

- **pojazdy symetryczne** - obciążenia definiowane są jako pary sił o zadanym rozstawie symetrycznie względem osi pojazdu w dowolnym punkcie na długości osi; siły definiowane są jako obciążenia pionowe (ewentualne siły poziome od hamowania można uzyskać definiując wartości współczynników drogi); pojazdy tego typu służą na przykład do modelowania obciążeń mostowych
- **pojazdy dowolne** - obciążenia definiowane są jako siły w dowolnym punkcie na długości i odległości od osi pojazdu; siły skupione mogą być definiowane w kierunku X, Y, Z lokalnego układu pojazdu; współczynniki drogi nie mają zastosowania do tego typu pojazdu; pojazdy tego typu służą na przykład do modelowania obciążeń od suwnic.

W prawym górnym rogu okna dialogowego pole *Selekcja pojazdu*, w którym znajdują się dwa pola wyboru: *Norma (baza)* oraz *Nazwa pojazdu*. Ponadto znajdują się trzy klawisze:

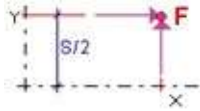
- **Nowy** - umożliwia definicję nowego pojazdu; naciśnięcie tego klawisza powoduje otwarcie dodatkowego okna dialogowego, w którym podana może zostać nazwa nowego pojazdu. Możliwe są dwie sytuacje: jeśli po zdefiniowaniu obciążeń dla nowego pojazdu użytkownik naciśnie klawisz **Dodaj**, pojazd zostanie dopisany tylko do listy aktywnych pojazdów w oknie dialogowym **Obciążenia ruchome**; jeśli po zdefiniowaniu obciążeń dla nowego pojazdu użytkownik naciśnie klawisz **Zapisz do bazy**, to na ekranie pojawi się okno dialogowe, w którym wybrana może zostać baza (katalog) pojazdów, do której nowy pojazd ma zostać zapisany
- **Zapisz do bazy** - umożliwia zapis nowego pojazdu do wybranego katalogu pojazdów; naciśnięcie tego klawisza powoduje otwarcie okna dialogowego, w którym wybrana może zostać baza (katalog) pojazdów, do której nowy pojazd ma zostać zapisany
- **Usuń** - umożliwia usunięcie wybranego pojazdu z katalogu pojazdów.

*UWAGA: Użytkownik może zdefiniować swój katalog pojazdów (katalog użytkownika). Jest to możliwe w oknie dialogowym **Preferencje zadania** (opcja **Katalog pojazdów**).*

W górnej części okna dialogowego przedstawiany jest schematyczny rysunek wybranego pojazdu.

W środkowej części okna dialogowego znajduje się tabela, w której prezentowany jest opis obciążeń dla wybranego pojazdu. W programie dostępne są trzy typy obciążeń: siła skupiona, obciążenie liniowe i obciążenie powierzchniowe. Każdy z parametrów obciążenia dla wybranego pojazdu może być edytowany (zmieniany).

Następujące parametry muszą być zdefiniowane dla poszczególnych typów obciążenia (schematycznie przedstawiono wymiary na załączonych rysunkach dla typów obciążenia):



siła skupiona Pojazdy symetryczne:

F- wartość siły skupionej (jednostka: siła)

X - wartość współrzędnej punktu przyłożenia siły (wzdłuż osi pojazdu)

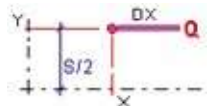
S - szerokość rozstawu sił

Pojazdy niesymetryczne:

FX, FY, FZ - wartości siły skupionej

X - wartość współrzędnej punktu przyłożenia siły (wzdłuż osi pojazdu)

Y - wartość współrzędnej punktu przyłożenia siły (prostopadle do osi pojazdu)



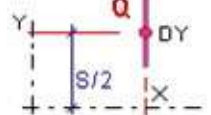
obciążenie liniowe Pojazdy symetryczne:

Q- wartość obciążenia liniowego (jednostka: siła/długość)

X - wartość współrzędnej linii przyłożenia siły (wzdłuż osi pojazdu) S - szerokość rozstawu obciążenia liniowego (tylko w kierunku osi Y)

Dx - długość odcinka na którym działa obciążenie (wzdłuż osi pojazdu)

Dy - długość odcinka na którym działa obciążenie (prostopadle do osi pojazdu)

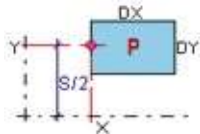


obciążenie Pojazdy symetryczne:

powierzchniowe P- wartość obciążenia powierzchniowego (jednostka: siła/długość²)

zamiast wartości S pojawia się

Y - wartość współrzędnej punktu przyłożenia siły (prostopadle do osi pojazdu)



X - wartość współrzędnej linii przyłożenia siły (wzdłuż osi pojazdu)

S - szerokość rozstawu obciążenia powierzchniowego (tylko w kierunku osi Y)

Dx - długość boku prostokąta na którym działa obciążenie (wzdłuż osi pojazdu)

Dy - długość boku prostokąta na którym działa obciążenie (prostopadle do osi pojazdu)

Pojazdy niesymetryczne:

W stosunku do pojazdów symetrycznych zamiast wartości S pojawia się

Y - wartość współrzędnej punktu przyłożenia siły (prostopadle do osi pojazdu)

Pojazdy
niesymetryczne:
W stosunku do
pojazdów
symetrycznych

W dolnej części okna dialogowego znajdują się dwa pola:

- **Wymiary pojazdu:**
 - b - szerokość pojazdu
 - d1 - odległość obciążenia od obrysu pojazdu (z przodu pojazdu) d2 - odległość obciążenia od obrysu pojazdu (z tyłu pojazdu)
- **Jednostki:** siły - prezentacja jednostki, w których podawane są wartości sił (można ją zmienić w oknie dialogowym **Preferencje zadania**) długości - prezentacja jednostki, w których podawane są wartości długości (można ją zmienić w oknie dialogowym **Preferencje zadania**).

UWAGA: Jednostki siły i długości określają także jednostkę obciążenia liniowego i powierzchniowego: jednostka obciążenia liniowego

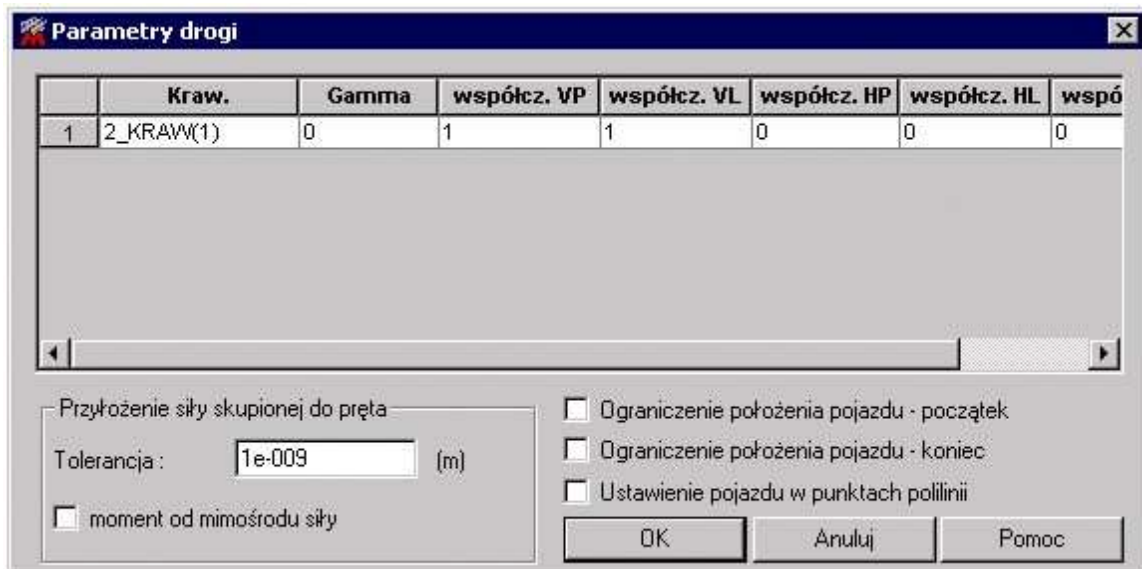
wyrażona jest przez jednostkę siły na długość, a jednostka obciążenia powierzchniowego wyrażona jest przez jednostkę siły na powierzchnię (długość do kwadratu).

PARAMETRY DROGI

Opcja służąca do określania współczynników skalujących umożliwiającą uzyskanie wartości rzeczywistej (obliczeniową) obciążenia pojazdem. Opcja dostępna jest poprzez naciśnięcie klawisza **Parametry** znajdującego się w oknie dialogowym **Obciążenia ruchome**.

UWAGA: Aby otwarte zostało okno do definicji współczynników, wybrana musi być polilinia, dla której definiowane będą mnożniki wartości obciążenia.

Po naciśnięciu klawisza **Parametry** w oknie dialogowym **Obciążenia ruchome** na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.



W powyższym oknie dialogowym znajduje się tabela, w której prezentowane są następujące parametry drogi (polilinii):

- kolumna *Kraw.* - numer i nazwa polilinii określającej trasę pojazdu
- kolumna *Gamma* - pojazd może być obracany wokół osi pionowej; powoduje to zmianę położenia sił (nie zmienia się natomiast ich kierunek); obrót jest określany poprzez podanie kąta Gamma, którego definicja jest taka sama jak w przypadku określania kąta Gamma przy opisywaniu charakterystyk elementów prętowych
- kolumna *współcz. VL* - współczynnik skalujący siły pionowej (V) z lewej strony; pozwala na przemnożenie wartości obciążenia (np. siły skupionej), tak aby można było uzyskać wartość rzeczywistą (obliczeniową) obciążenia
- kolumna *współcz. VP* - współczynnik skalujący siły pionowej (V) z prawej strony; pozwala na przemnożenie wartości obciążenia (np. siły skupionej), tak aby można było uzyskać wartość rzeczywistą (obliczeniową) obciążenia
- kolumna *współcz. HL* - współczynnik skalujący siły poziomej poprzecznej (H) z lewej strony; pozwala na przemnożenie wartości obciążenia (np. siły skupionej), tak aby można było uzyskać wartość rzeczywistą (obliczeniową) obciążenia (obciążenie poziome prostopadłe do kierunku drogi)
- kolumna *współcz. HP* - współczynnik skalujący siły poziomej poprzecznej (H) z prawej strony; pozwala na przemnożenie wartości obciążenia (np. siły skupionej), tak aby można było uzyskać wartość rzeczywistą (obliczeniową) obciążenia (obciążenie poziome prostopadłe do kierunku drogi)

- kolumna *współcz. LL* - współczynnik skalujący siły poziomej podłużnej (L) z lewej strony; pozwala na przemnożenie wartości obciążenia (np. siły skupionej), tak aby można było uzyskać wartość rzeczywistą (obliczeniową) obciążenia (obciążenie poziome równoległe do kierunku drogi)
- kolumna *współcz. LP* - współczynnik skalujący siły poziomej podłużnej (L) z prawej strony; pozwala na przemnożenie wartości obciążenia (np. siły skupionej), tak aby można było uzyskać wartość rzeczywistą (obliczeniową) obciążenia (obciążenie poziome równoległe do kierunku drogi).

Jeżeli współczynniki z prawej i lewej strony mają różne wartości, to współczynniki pośrednie, wewnątrz szerokości pojazdu, będą interpolowane w zależności od jego szerokości.

Dodatkowo mogą zostać wybrane opcje służące do ograniczenia położenia pojazdów na konstrukcji: *Ograniczenie położenia pojazdu - początek* i *Ograniczenie położenia pojazdu - koniec*. Jeżeli te opcje są włączone, to na początku/końcu zdefiniowanej drogi (trasy) pojazdu uwzględniany będzie efekt, który uwzględnia zabezpieczenie, by koła pojazdu nie "wychodziły" poza zdefiniowaną drogę (np. koła suwnicy nie mogą się znaleźć poza belką suwnicową).


W dolnej części okna dialogowego znajduje się pole edycyjne *Tolerancja*. Jest to parametr przypisany do zdefiniowanego przypadku analizy obciążeń ruchomych. Tolerancja określa warunki generacji obciążeń na prętach od zdefiniowanego pojazdu. Tolerancja dla obciążenia ruchomego jest parametrem przypisanym do zdefiniowanego przypadku analizy obciążeń ruchomych. Tolerancja definiuje maksymalną odległość od pręta, dla której siła skupiona określona w definicji pojazdu będzie przyłożona bezpośrednio do pręta bez stosowania rozkładu sił na pręty.

Włączenie opcji *Moment od mimośrodu siły* powoduje generację obciążenia momentem skupionym od siły skupionej, przykładanej na pręcie z uwzględnieniem mimośrodu.

W dolnej części okna dialogowego znajduje się również opcja *Ustawienie pojazdu w punktach polilinii*, której głównym zadaniem jest pozycjonowanie obciążenia pojazdem na drodze obciążenia ruchomego w punktach polilinii (punktach charakterystycznych znajdujących się na drodze pojazdu). Przy włączonej opcji obciążenie pochodzące od pojazdu będzie przykładane na końcu każdego odcinka, z którego składa się polilinia. Należy pamiętać, że położenie pojazdu jest określone standardowo za pomocą kroku przesuwania pojazdu, zatem korzystając z tej opcji można zapewnić ustawienie obciążenia pojazdem w pewnych ustalonych punktach (np. podpory).

3.9. Obciążenia klimatyczne

Generacja obciążeń klimatycznych może zostać rozpoczęta po:

- wybraniu komendy *Obciążenia / Obciążenia specjalne / Wiatr\Śnieg 2D/3D* z menu.
- naciśnięciu ikony *Obciążenia klimatyczne 2D/3D* .

Na ekranie pojawia się wtedy pokazane poniżej okno. Opcje znajdujące się w tym oknie pozwalają na utworzenie obciążeń klimatycznych zgodnie z polską normą PN-80\B-02010, normą Eurocode 1 (EN 1991-1-3:2003 - wiatr i EN 1991-1-4:2005 - śnieg oraz kilka norm dla poszczególnych krajów europejskich - patrz lista poniżej), francuskimi normami NV 65/N84 Mod.96 lub NV65+Carte96, normą hiszpańską NBE-AE 88, normą włoską DM 16/1/96, normą amerykańską ASCE 7-02, normą indyjską IS: 875, normą rumuńską 10101/20-90/21-92, normą rosyjską SNiP 2.01.07-85, normą marokańską NV 65 Maroko oraz normą algierską DTR C2-47/NV99.

Norma Eurocode 1 jest dostępna z dokumentami aplikacji narodowych dla następujących krajów europejskich: Austria, Belgia, Dania, Finlandia, Francja (EN 1991-1-3/NA maj 2007 i EN 1991-1-4/NA marzec 2008), Hiszpania, Niemcy, Grecja, Islandia, Irlandia, Włochy, Luksemburg, Holandia, Norwegia, Portugalia, Hiszpania, Szwecja, Szwajcaria, Wielka Brytania. Dodatkowo dostępna jest norma polska PNEN 1991-1-3/4:2005; norma obciążenia śniegiem PN-EN 1991-1-3:2005 jest normą obowiązującą,

natomiast norma obciążenia wiatrem EN 1991-1-4:2005 nie jest normą obowiązującą (obciążenia wiatrem należy generować zgodnie z polską normą PN-80/B-02010).



UWAGA: Opcja "Obciążenia klimatyczne" jest dostępna tylko dla dwóch typów konstrukcji: RAMA PŁASKA i KRATA PŁASKA. Dla innych typów konstrukcji nie jest możliwe automatyczne zdefiniowanie obciążeń klimatycznych. Opcja nie jest również dostępna, gdy użytkownik nie zdefiniował żadnej konstrukcji.

W oknie dialogowym **Obciążenia klimatyczne** wyświetlone są podstawowe dane dotyczące konstrukcji dla której generowane będą obciążenia wiatrem i śniegiem:

Obwiednia - jest to opcja, która umożliwi określenie tych elementów konstrukcji, na których generowane będą obciążenia od wiatru lub śniegu. Obwiednię stanowią numery WEZŁÓW wybranych prętów

Auto - rozpoczęcie automatycznej generacji obwiedni; parametry generacji są przyjmowane zgodnie z wybranymi przez użytkownika opcjami automatycznego tworzenia (rozpoznawania) obwiedni; numery węzłów są wpisywane do pola edycyjnego **Obwiednia**

Bez wystających części - jest to wariant automatycznej generacji obwiedni, podczas której nie są uwzględniane wystające części budynków.

Głębokość - opcja umożliwiająca użytkownikowi definiowanie głębokości (długości) konstrukcji. Wymiar ten jest konieczny do określenia globalnych współczynników klimatycznych dla konstrukcji.

Rozstaw - opcja umożliwiająca użytkownikowi definiowanie rozstawu elementów nośnych na długości konstrukcji. Wymiar ten jest konieczny do zbierania obciążeń klimatycznych z odpowiednich powierzchni ścian bocznych.

UWAGA: Opcja **Wiatry** jest dostępna jedynie dla norm francuskich.

Aby poprawnie zdefiniować obciążenia klimatyczne, należy określić obwiednię oraz dwa podstawowe parametry budynku: głębokość i rozstaw.

W prawej, dolnej części okna dialogowego znajdują się dwie opcje:

- **Wiatr** - włączenie tej opcji powoduje, że podczas generacji obciążeń klimatycznych tworzone będą przypadki obciążenia konstrukcji wiatrem; wyłączenie tej opcji powoduje, że przypadki obciążenia konstrukcji wiatrem nie będą tworzone

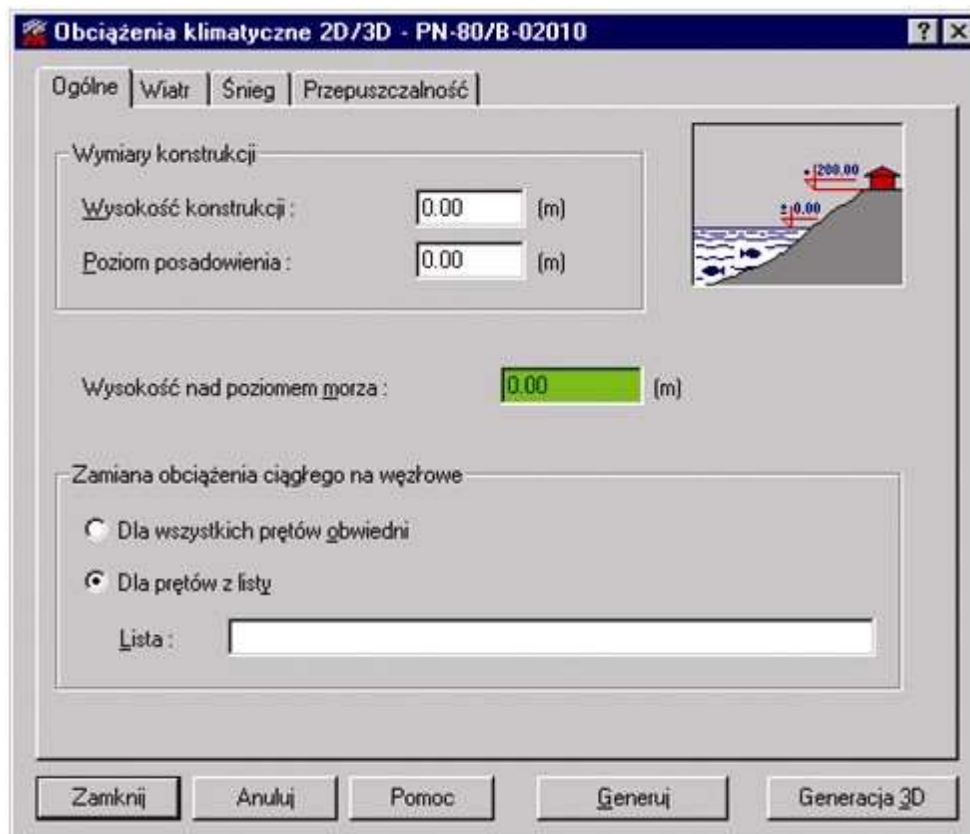
- *Śnieg* - włączenie tej opcji powoduje, że podczas generacji obciążeń klimatycznych tworzone będą przypadki obciążenia konstrukcji śniegiem; wyłączenie tej opcji powoduje, że przypadki obciążenia konstrukcji śniegiem nie będą tworzone.

Poniżej znajduje się opcja *Wyświetl notkę po generacji obciążeń*.

Jeżeli ta opcja jest włączona, to po generacji przypadków obciążenia śniegiem/wiatrem, uruchomiony zostanie edytor tekstowy, w którym prezentowane będą wartości obciążeń obliczone dla poszczególnych przypadków obciążenia śniegiem/wiatrem.

Jeżeli ta opcja jest wyłączona, generowane są przypadki obciążenia śniegiem i wiatrem. Na ekranie nie będzie uruchamiany edytor tekstowy z wartościami obciążeń dla przypadków obciążenia śniegiem/wiatrem. Pliki zawierające notki obliczeniowe dla obciążenia śniegiem/wiatrem zostaną zapisane w katalogu *Robot Office Project / Output*.

W dolnej części okna znajduje się klawisz **Parametry** umożliwiający otwarcie okna szczegółowych parametrów obciążenia klimatycznego. Przykładowo po otwarciu okna szczegółowych opcji obciążeń klimatycznych i naciśnięciu zakładki *Ogólne* na ekranie pojawia się przedstawione poniżej okno.



Okno zawiera podstawowe opcje, które są wymagane podczas projektowania konstrukcji przez klimatyczną normę narodową wybraną w oknie dialogowym *Preferencje zadania*. Po wybraniu przez użytkownika opcji w oknie w prawym, górnym rogu okna prezentowana jest ikona, która schematycznie przedstawia wybraną opcję.

Powyższe okno podzielone zostało na kilka pól, które zawierają pewne grupy opcji. W górnej części okna znajdują się opcje: departament, kanton i wysokość n.p.m. Poniżej znajdują się trzy pola: *Wymiary konstrukcji*, *Strzałka dachu* i *Zmiana obciążenia ciągłego na węzłowe*, które określają podstawowe parametry obciążeń klimatycznych.

W powyższym oknie znajdują się jeszcze trzy zakładki: *Wiatr*, *Śnieg* i *Przepuszczalność*. Umożliwiają one zdefiniowanie parametrów obciążenia konstrukcji wiatrem, śniegiem oraz parametrów przepuszczalności budynku zgodnie z wymogami wybranej normy.

WYBRANE POZYCJE LITERATURY - NORMY

Polska norma PN-77/B-02011: Obciążenia w obliczeniach statycznych Obciążenie wiatrem, Wydawnictwa normalizacyjne - Warszawa

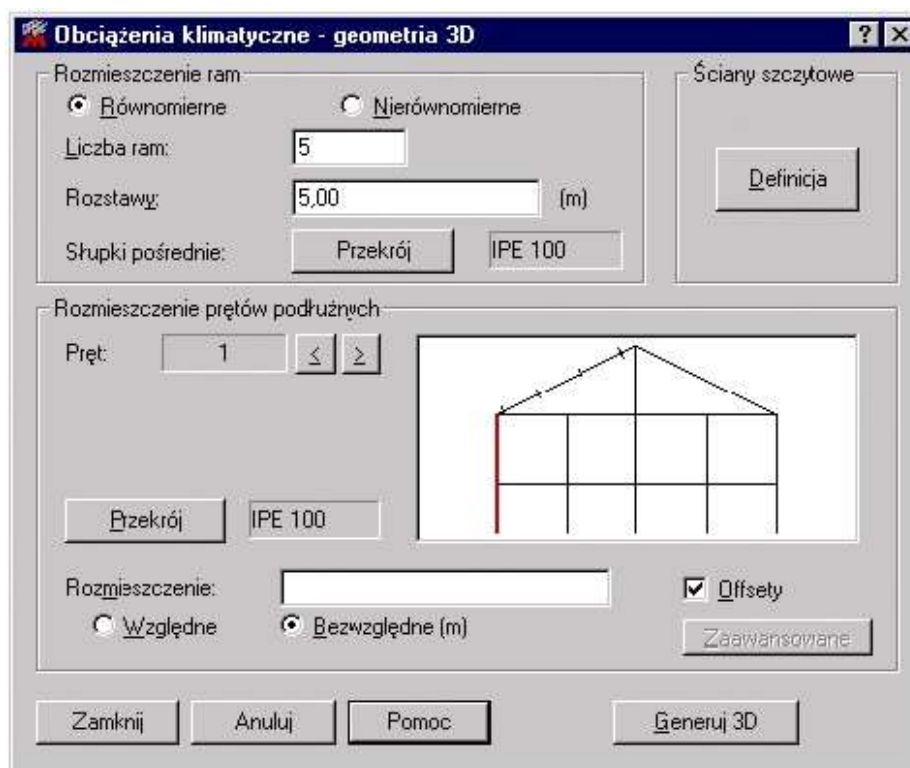
Polska norma PN-80/B-02010 Obciążenia w obliczeniach statycznych Obciążenie śniegiem, Wydawnictwa normalizacyjne Alfa, 1988

Europejska norma Eurocode 1: Podstawy projektowania i oddziaływania na konstrukcje

Regles N V 65 Et Annexes Regles N 84 Regles Definissant Les Effets De La Neige Et Du Vent Sur Les Constructions Et Annexes, Eyrolles, 1987

3.9.1. Obciążenia klimatyczne 3D

Po określeniu ogólnych parametrów konstrukcji koniecznych do wygenerowania obciążeń klimatycznych (obwódka, rozstaw, głębokość) dla konstrukcji płaskiej oraz naciśnięciu klawisza **Generacja 3D** w oknie dialogowym **Obciążenie klimatyczne** na ekranie pojawia się pokazane na poniższym rysunku okno dialogowe **Obciążenia klimatyczne - geometria 3D**.



Obciążenie śniegiem i wiatrem 3D jest tworzone w następujący sposób:

- dla zdefiniowanej ramy płaskiej generowane są przypadki obciążeń śniegiem i wiatrem
- na podstawie parametrów konstrukcji 3D określonych w pokazanym na powyższym rysunku oknie dialogowym tworzona jest konstrukcja (rama) przestrzenna

- zdefiniowana rama płaska jest kopiowana określoną liczbę razy (zgodnie ze zdefiniowaną wartością rozstawów)
- pomiędzy kolejnymi ramami generowane są poziome pręty - płatwie; obciążenia będą przenoszone z pokrycia konstrukcji poprzez płatwie na elementy ram.

Obliczone dla ramy płaskiej obciążenia śniegiem i wiatrem 2D (wyrażone jako wartość siły na jednostkę powierzchni), zostają zebrane z odpowiednich powierzchni i przyłożone na płatwie jako obciążenie ciągłe (wartość siły na jednostkę długości). Dla płatwi obciążenia są zbierane z powierzchni płaskiej z obszaru ograniczonego sąsiadującymi z nią płatwiami lub brzegiem tej powierzchni, o ile w danym kierunku nie ma sąsiadującej płatwi.

W polu *Rozmieszczenie ram* zdefiniowane mogą zostać następujące parametry:

- *Rozmieszczenie ram* - sposób rozstawienia kopiowanych ramy płaskich (równomiernie - co stałą odległość, nierównomiernie - z podawanymi rozstawami pomiędzy kolejnymi ramami)
- *Liczba ram* - liczba ram w docelowej konstrukcji przestrzennej
- *Rozstawy* - rozstawy ram; dla rozmieszczenia równomiernego określana jest jedna wartość rozstawu, dla rozmieszczenia nierównomiernego zdefiniowanych musi zostać (liczba ram - 1) rozstawów oddzielonych separatorami.

Opcja *Słupki pośrednie* pozwala na generację obciążeń wiatrem dla słupków pośrednich, znajdujących się pomiędzy ramami głównymi, dla ram przestrzennych zbudowanych z powtarzalnych ram płaskich. Położenie słupków pośrednich przyjmowane jest w połowie rozstawu ram.

Obciążenia dla słupków pośrednich są uwzględniane:

- w ramie płaskiej przez siły skupione przyłożone do ramy - w ramie przestrzennej przez obciążenie liniowe na słupkach.

W polu *Rozmieszczenie elementów podłużnych* za pomocą klawiszy '<' i '>' wybrany może zostać pręt w konstrukcji, a następnie określone mogą zostać jego parametry. Obok pola *Pręt* wpisywany jest numer wybranego pręta, a w polu przedstawiającym schematyczny rysunek ramy 2D pręt jest podświetlany (pręt może zostać również wskazany bezpośrednio na rysunku ramy 2D). Ponadto w polu *Rozmieszczenie elementów podłużnych* znajdują się następujące opcje:

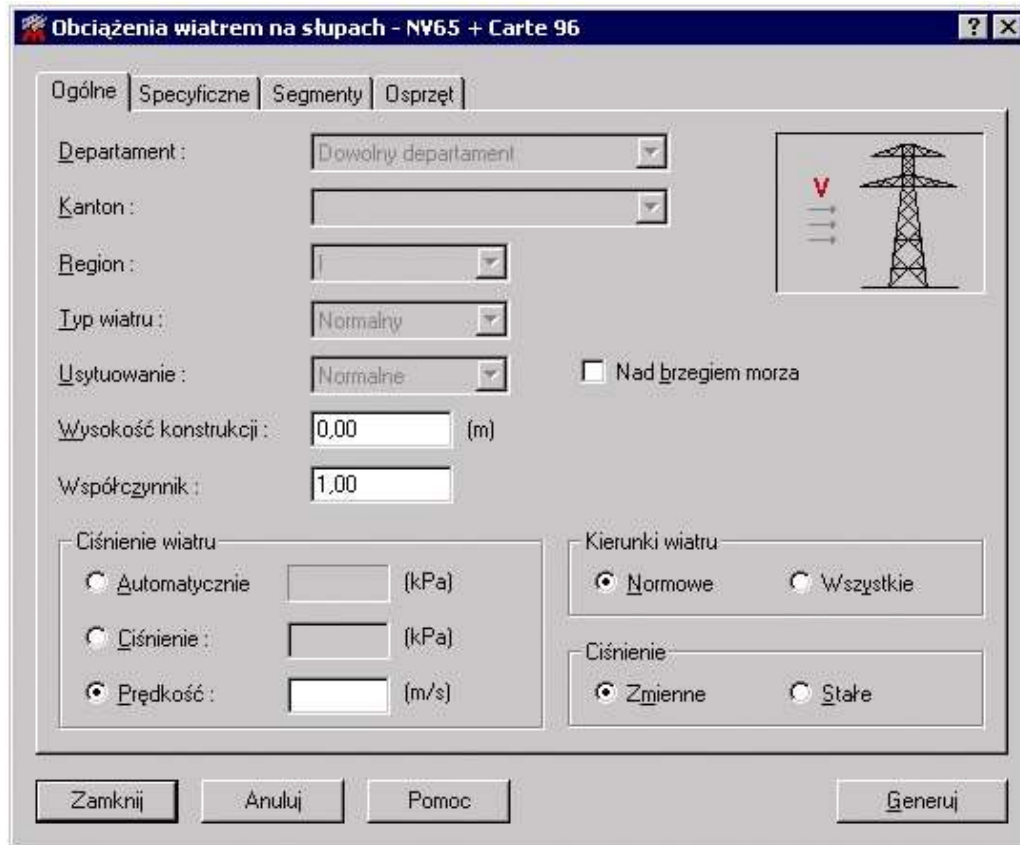
- klawisz **Przekrój** - pozwala wybrać przekrój wykorzystywany przy tworzeniu płatwi (belki podłużnej)
- *Rozmieszczenie* - rozmieszczenie płatwi na bieżącym elemencie ramy płaskiej określane jako 'względne' lub 'bezwzględne'.
- *Offsety* - włączenie tej opcji powoduje uwzględnienie mimośrodków przy tworzeniu elementów płatwi. Naciśnięcie klawisza **Generuj 3D** powoduje uruchomienie generacji obciążeń śniegiem i wiatrem 3D.

3.9.2. Obciążenia wiatrem na słupach, masztach

Opcja służy do generowania obciążeń klimatycznych na konstrukcjach typu: maszty kratownicowe, słupy i wieże - słupy wsporcze linii wysokiego napięcia, wieże transmisyjne, maszty radiowe itp. Generacja obciążeń klimatycznych może zostać rozpoczęta po:

- wybraniu komendy *Obciążenia / Obciążenia specjalne / Wiatr na słupach* z menu
- naciśnięciu ikony *Obciążenia słupów* .

Na ekranie pojawia się wtedy pokazane poniżej okno dialogowe.



UWAGA: Opcja Obciążenia słupów jest dostępna tylko dla prętowych konstrukcji przestrzennych: RAMA 3D i KRATOWNICA 3D. Tworzone konstrukcje muszą mieć podstawę w kształcie trójkąta równobocznego lub prostokąta.

UWAGA: Generacja obciążeń wiatrem dla masztów, wież, słupów jest dokonywana na podstawie francuskiej normy NV 65 oraz amerykańskiej normy EIA.

Okno dialogowe pokazane na powyższym rysunku składa się z czterech zakładek: *Ogólne*, *Specyficzne*, *Segmenty* i *Osprzęt* (opcje znajdujące się na poszczególnych zakładkach zależą od wybranej normy). Przykładowo na zakładce *Ogólne* określone mogą zostać następujące parametry: departament, kanton, region wiatrowy oraz typ wiatru i usytuowanie z możliwością włączenia opcji *Nad brzegiem morza*.

W środkowej części okna dialogowego znajduje się pole edycyjne *Wysokość* służące do podania wysokości konstrukcji do obliczeń wartości ciśnienia wiatru. Poniżej znajduje się pole *Współczynnik*, w którym zdefiniowana może zostać wartość współczynnika korygującego wartość ciśnienia wiatru. W dolnej części okna dialogowego znajdują się opcje umożliwiające wybór:

- sposobu zadawania ciśnienia wiatru (istnieją trzy możliwości: automatycznie na podstawie ustawionego regionu, ręcznie poprzez wpisanie wielkości ciśnienia bazowego, ręcznie poprzez podanie prędkości wiatru)
- ilości i kierunku działania przypadków wiatrowych (według normy - zakładana jest wtedy symetria konstrukcji, wszystkie standardowe kierunki - opcja przydatna w przypadku niesymetrycznej konstrukcji)
- sposobu obliczania ciśnienia wiatru na poszczególnych elementach konstrukcji (istnieją dwie możliwości: stałe - obliczane jest wg najwyższego punktu segmentu oraz zmienne - obliczane dla każdego elementu osobno wg najwyższego punktu elementu).

Opcje znajdujące się na pozostałych zakładkach pozwalają na:

- zakładka *Specyficzne* - zdefiniowanie dodatkowych parametrów obciążenia (sadź, dynamiczna akcja wiatru itp.)
- zakładka *Segmenty* - określenie parametrów segmentów, na które dzielona jest konstrukcja typu masztowego (np. słupy wysokiego napięcia, maszty radiowe itp.)
- zakładka *Osprzęt* - zdefiniowanie dodatkowych powierzchni mających istotny wpływ na obciążenie konstrukcji wiatrem takich jak anteny, tablic, wypełnień konstrukcji itp.

W części dolnej okna dialogowego znajdują się standardowe klawisze (**Zamknij**, **Pomoc** i **Anuluj**) oraz klawisz **Generuj**, którego naciśnięcie powoduje uruchomienie generacji obciążeń wiatrowych na zdefiniowanym słupie i tworzenie notki obliczeniowej.

WYBRANE POZYCJE LITERATURY - NORMY


TIA/EIA STANDARD Structural Standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures TIA/EIA-222-F (Revision of EIA/TIA-222-E), Telecommunications Industry Association, June 1996

3.9.3. Obciążenia klimatyczne na obiektach 3D

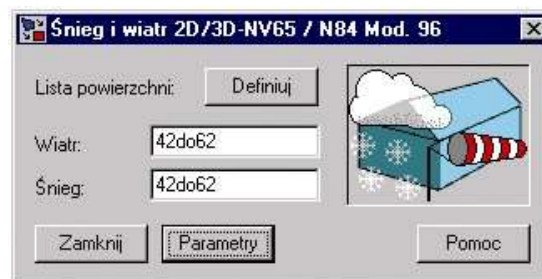
Działanie opcji generacji obciążeń śniegiem i wiatrem dla powierzchni jest podobne do działania generacji takich obciążeń dla ram 2D (patrz rozdział 3.9). Kolejne kroki podczas generacji obciążeń klimatycznych dla ram 2D i ich odpowiedniki dla konstrukcji przestrzennych są następujące:

Rama 2D	Konstrukcje przestrzenne
1. generacja obwiedni	1. definicja powierzchni
2. określenie parametrów normowych	2. określenie parametrów normowych
3. generacja współczynników obciążeń do prętów konstrukcji	3. generacja/modyfikacja współczynników powierzchniowych
	4. przyłożenie obciążeń powierzchniowych (te obciążenia są przekazywane na pręty konstrukcji poprzez zdefiniowane powierzchnie).

Opcja *Wiatr i śnieg 3D* uruchomiona może zostać:

- z menu poprzez wybranie opcji *Obciążenia / Obciążenia specjalne / Obciążenia klimatyczne 2D\3D*
- z paska narzędziowego poprzez naciśnięcie ikony .

UWAGA: Opcja dostępna jest dla tylko konstrukcji typu: *Rama 3D* i *Powłoka* (obecnie dla francuskiej normy NV65).



UWAGA: Automatyczna generacja obciążeń śniegiem i wiatrem 3D ma następujące ograniczenia:

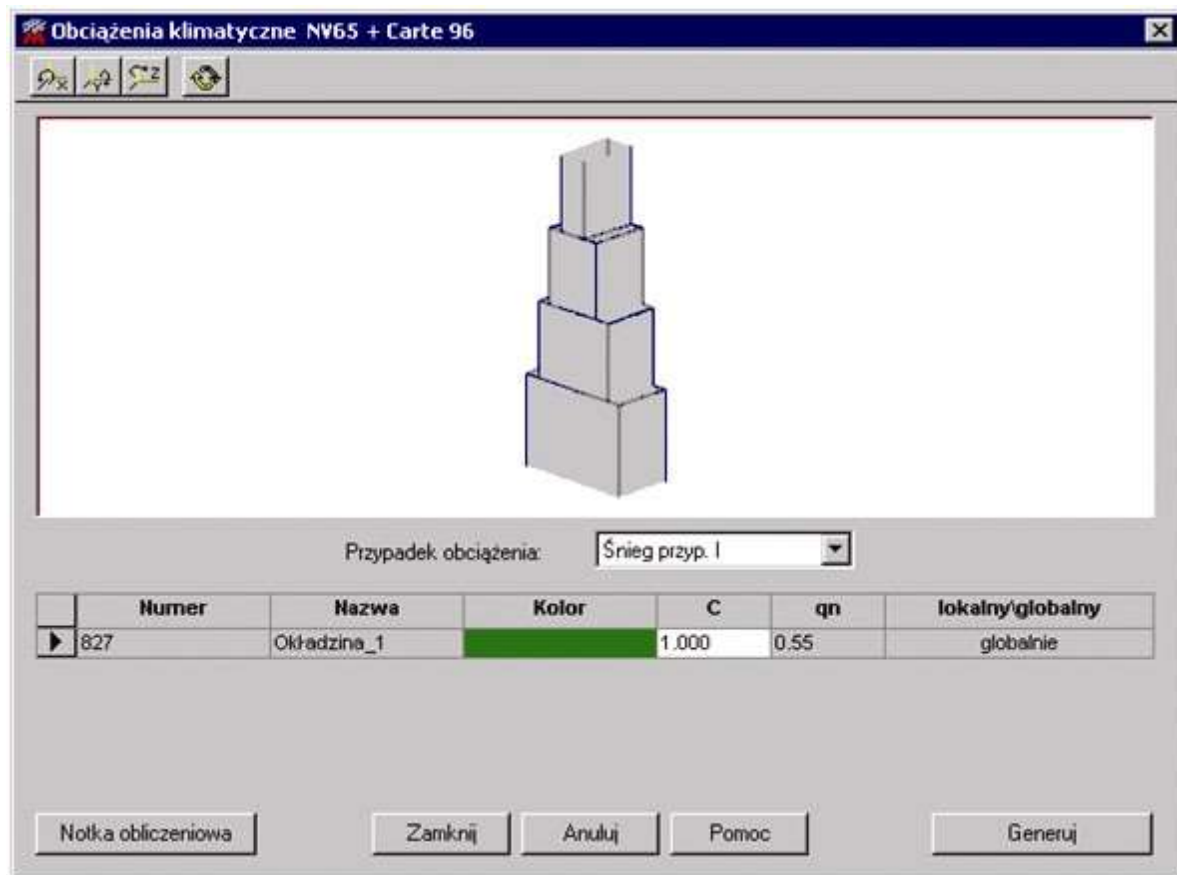
- obciążenia wiatrem są zawsze obliczane z uwzględnieniem współczynnika $\gamma = 1.0$ - współczynniki C_e dla dachów są zawsze określone z uwzględnieniem dachu z połaciami płaskimi

- generacja obciążeń śniegiem nie uwzględnia gromadzenia się śniegu (gromadzenie na naszczytnikach, na dachach wielokrotnych)
- całkowita lub częściowa przenikalność ścian nie jest uwzględniana.

Aby wygenerować obciążenia klimatyczne na powierzchniach, należy:

- określić listę powierzchni, na których generowane będą przypadki obciążenia wiatrem i śniegiem (w powyższym oknie dialogowym)
- określić parametry służące do automatycznej generacji obciążeń klimatycznych (po naciśnięciu klawisza **Parametry** w powyższym oknie dialogowym otwierane jest okno dialogowe służące do definicji parametrów obciążeń klimatycznych); po zdefiniowaniu parametrów obciążeń klimatycznych i naciśnięciu klawisza **Zastosuj** okno dialogowe **Parametry** jest zamykane i na ekranie pojawia się okno dialogowe **Obciążenia**.

W oknie dialogowym **Obciążenia** przedstawiany jest widok zdefiniowanej konstrukcji oraz lista wyboru wygenerowanych przypadków obciążenia śniegiem i wiatrem. Na widoku konstrukcji (patrz rysunek poniżej) prezentowane są płaszczyzny obciążeniowe za pomocą legendy kolorów. W tabeli znajdującej się w oknie dialogowym pojawiają się wszystkie powierzchnie konstrukcji. Dla tych powierzchni, które nie zostały automatycznie obciążone przez program, wartości obciążeń są równe zero.



Po naciśnięciu klawisza **Generuj** powyższe okno dialogowe jest zamykane, a obciążenia są generowane na powierzchniach. Obciążenia przykładane są jako ciśnienie na obiekty powierzchniowe w układzie lokalnym lub globalnym. Obciążenia na pręty przekazywane są następnie w identyczny sposób jak generowane są obciążenia prętów obiektami 3D; przekazanie obciążeń na pręty odbywa się w trakcie generacji modelu konstrukcji. Zestaw współczynników służących do określenia obciążenia śniegiem/wiatrem jest zapisywany w zadaniu, tak aby użytkownik mógł mieć możliwość edycji współczynników i parametrów obciążenia wiatrem lub śniegiem.

Przy definicji obciążeń klimatycznych należy wspomnieć o obiekcie *Okładzina*; jest to powierzchnia, która pozwala na przeniesienie obciążeń powierzchniowych, liniowych i skupionych na pręty, panele i podpory (nie jest to jednak obiekt przenoszący obciążenia). Obiekt taki może znacznie ułatwić generację obciążeń; umożliwia definicję rzeczywistych obiektów konstrukcyjnych, nie mających udziału w nośności konstrukcji takich jak ściany osłonowe i pokrycia dachowe. Do okładzin mogą być przykładane obciążenia powierzchniowe (jednorodne lub niejednorodne, definiowane na dowolnym konturze lub na obiekcie), liniowe (definiowane poprzez 2 punkty lub na krawędziach) oraz punktowe (siła w punkcie). Opcja *Okładziny* dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Cechy dodatkowe / Rozkład obciążeń - Okładziny*
- z paska narzędziowego poprzez naciśnięcie ikony  .

UWAGA: Powierzchnia z okładziną nie podlega siatkowaniu na elementy skończone. Jest obiektem pomocniczym służącym do definicji obciążeń.

Obiekt powierzchni jest generowany jako bok ze zdefiniowaną okładziną. Definicja powierzchni jest przeprowadzana w taki sam sposób jak definicja panela (przez wskazanie punktu wewnętrznego albo listy obiektów liniowych). Opcja definicji powierzchni przez przypisanie okładziny do obiektu typu 'bok' jest dostępna dla następujących typów konstrukcji: konstrukcje prętowe i konstrukcje powłokowe. Zakłada się, że dla konstrukcji bryłowych obiekt 'bok' zachowuje się jak ściana obiektu bryłowego; na takim obiekcie nie jest dopuszczalna definicja powierzchni obciążeniowych.

UWAGA: We wszystkich dostępnych typach okładzin do rozkładu obciążeń wykorzystywana jest metoda kopertowa. Ze względu na ograniczenie metod rozkładu do metody kopertowej zablokowana jest możliwość definicji nowych typów rozkładu obciążenia.

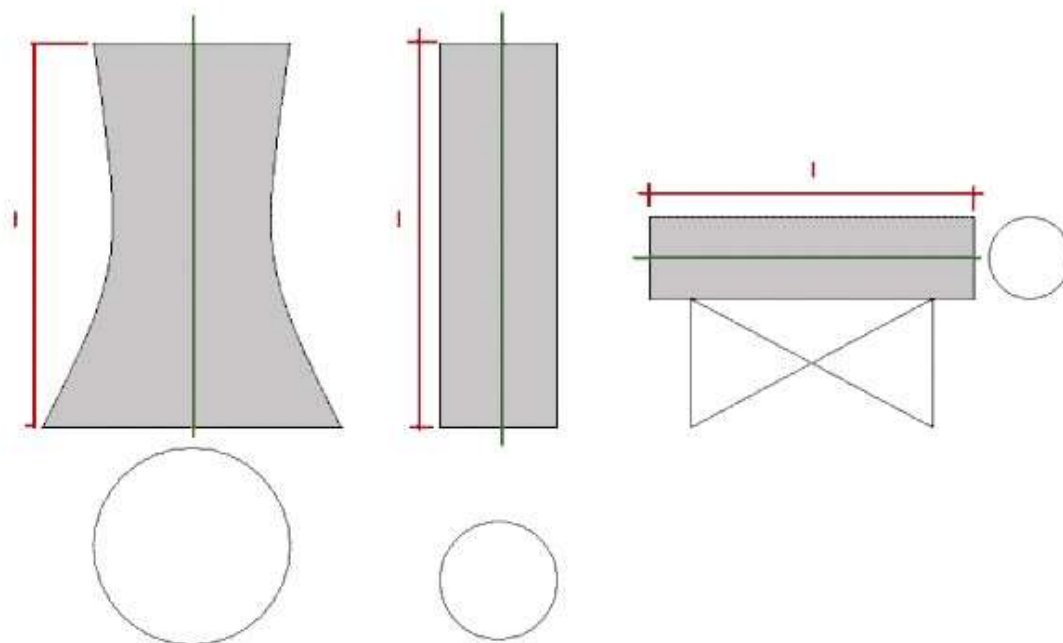
Więcej informacji dotyczących definicji okładzin znajduje się w pomocy dostępnej w programie.

3.9.4. Obciążenia wiatrem dla konstrukcji o podstawie wielokąta (graniastosłup)

Opcja służy do generowania obciążeń wiatrem dla konstrukcjach obrotowo-symetrycznych (konstrukcjach o regularnej, wielobocznej podstawie). Opcja jest dostępna dla następujących norm:

- francuskiej normy klimatycznej NV65 (artykuł 3)
- amerykańskiej normy klimatycznej ANSI/ASCE 7-98.

Poniższy rysunek pokazuje typy konstrukcji, dla których generowane mogą być obciążenia wiatrem.



Opcja pozwala na generację obciążeń wiatrowych na wybranych powierzchniowych elementach skończonych i na panelach. Oznacza to, że przez uruchomieniem tej opcji należy wybrać panele lub elementy skończone, na których wygenerowane mają zostać obciążenia wiatrem.

Generacja obciążeń klimatycznych może zostać rozpoczęta po:

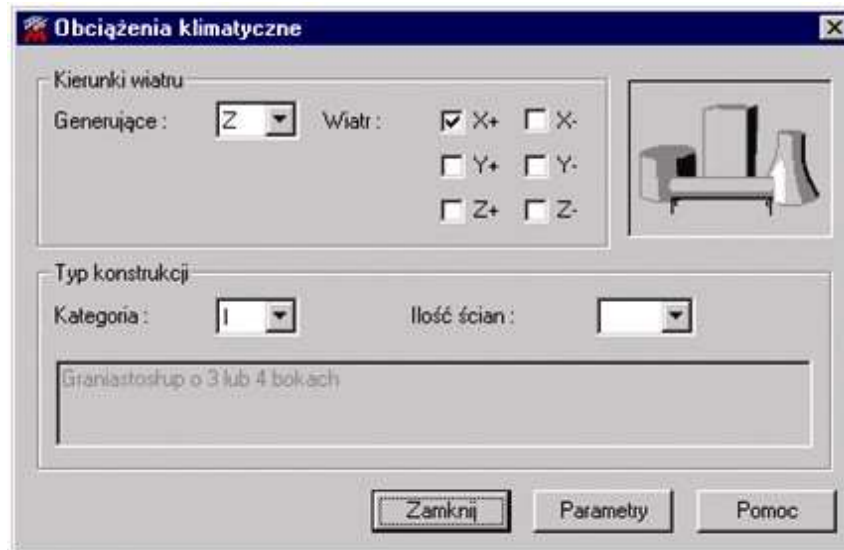
- wybraniu komendy *Obciążenia / Obciążenia specjalne / Wiatr na cylindrach* z menu
- naciśnięciu ikony *Wiatr na cylindrach* .

UWAGA: Opcja *Wiatr na cylindrach* jest dostępna tylko dla konstrukcji powłokowych.

UWAGA: Generacja obciążeń wiatrem jest przeprowadzana na podstawie francuskiej normy NV 65 lub amerykańskiej normy ANSI/ASCE 7-98.

Parametry definiowane dla generacji obciążeń wiatrem dla tego typu konstrukcji są podobne do parametrów omówionych w poprzednich rozdziałach (parametry dotyczą francuskiej normy klimatycznej NV65 oraz amerykańskiej normy klimatycznej ANSI/ASCE 7-98).

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno dialogowe (pokazane dla normy francuskiej).



W górnej części okna dialogowego w polu *Kierunki wiatru*:

- na liście *Generujące* - określony może zostać kierunek wzdłuż wysokości zdefiniowanej konstrukcji obrotowo-symetrycznej (walca); do wyboru są kierunki X, Y i Z globalnego układu współrzędnych
- opcje *Wiatr* pozwalają na zdefiniowanie kierunków generowanych obciążeń wiatrem; wybrane kierunki odnoszą się do globalnego układu współrzędnych.

W dolnej części okna w polu *Typ konstrukcji* zdefiniowane mogą zostać następujące parametry: dla normy francuskiej:

- *Kategoria* - lista zawiera dostępne kategorie obliczanej konstrukcji:

kategoria I	graniastosłup o 3 lub 4 bokach
kategoria II	graniastosłup o podstawie 5 do 10 boków bez zaokrąglonych usztywnień
kategoria III	graniastosłup o podstawie 11 do 20 boków z lub bez zaokrąglonych usztywnień
kategoria IV	walec o okrągłej podstawie z cienkimi usztywnieniami lub grubymi o ostrych krawędziach
kategoria V	graniastosłup o 20 lub więcej bokach z lub bez zaokrąglonych usztywnień
kategoria VI	walec gładki o okrągłej podstawie bez usztywnień z połyskiem lustrzanym i trwałym.

Jeżeli wybrana została kategoria II, to dostępna staje się opcja *Liczba ścian*; z listy należy wybrać liczbę ścianek konstrukcji obrotowo-symetrycznej. Dla pozostałych kategorii opcja *Liczba ścian* nie jest dostępna.

dla normy amerykańskiej:

- *Kategoria* - lista zawiera dostępne kategorie obliczanej konstrukcji:

kategoria I	kwadratowy
kategoria II	sześciokątny lub ośmiokątny
kategoria III	okrągły o umiarkowanie gładkiej powierzchni
kategoria IV	okrągły o chropowatej powierzchni
kategoria V	okrągły o silnie chropowatej powierzchni.

Dla każdej kategorii dostępna jest również opcja *Liczba ścian*; z listy należy wybrać liczbę ścianek konstrukcji obrotowo-symetrycznej.

Po określeniu podstawowych parametrów konstrukcji obrotowo-symetrycznej i naciśnięciu klawisza **Parametry** na ekranie otwierane jest okno dialogowe umożliwiające definicję parametrów obciążenia wiatrem. Okno dialogowe służące do definicji parametrów obciążenia wiatrem składa się z trzech zakładek: *Ogólne*, *Specyficzne*, *Segmenty*.

Opcje znajdujące się na pozostałych zakładkach pozwalają na:

- zakładka *Ogólne* - zdefiniowanie podstawowych parametrów obciążenia (położenie konstrukcji, ciśnienie wiatru, posadowienie konstrukcji itp.)
- zakładka *Specyficzne* - zdefiniowanie dodatkowych parametrów oddziaływania wiatru (np. akcja dynamiczna wiatru w przypadku normy francuskiej lub współczynnik topograficzny i współczynnik porywów wiatru w przypadku normy amerykańskiej)
- zakładka *Segmenty* - określenie parametrów segmentów, na które dzielona jest konstrukcja. Parametry znajdujące się na tych zakładkach zależą od wybranej normy klimatycznej.

W części dolnej okna dialogowego znajdują się standardowe klawisze (**Zamknij**, **Pomoc** i **Anuluj**) oraz klawisz **Generuj**, którego naciśnięcie powoduje uruchomienie generacji obciążeń wiatrowych na zdefiniowanej konstrukcji i tworzenie notki obliczeniowej.

UWAGA: Jako że norma ASCE 7-98 nie precyzuje, w jaki sposób siła wypadkowa ma być rozłożona na powierzchni konstrukcji, w programie dla normy ASCE 7-98 wykorzystywana jest metoda rozkładu przyjęta we francuskiej normie obciążenia wiatrem NV 65 modifies 99.

3.9.5. Zestawienie obciążeń (obciążenia pobierane z bazy danych)

W programie możliwe jest obecnie zestawianie obciążeń działających na poszczególne elementy konstrukcji. Jest to narzędzie pozwalające na sumowanie obciążeń nadanych na dany element konstrukcyjny. Obciążenia posiadają wartości charakterystyczne i obliczeniowe; wartości charakterystyczne obciążeń pochodzą z tablic zapisanych w bazie danych, natomiast wartości obliczeniowe otrzymuje się poprzez pomnożenie wartości charakterystycznych przez odpowiednie współczynniki obliczeniowe.


Opcja w programie działa dla obciążeń powierzchniowych pochodzących od obciążeń stałych. W zakres obciążeń stałych będą wchodzić obciążenia ciężarem:

- powierzchniowym (przykładowo: ciężar pokryć, okładzin, izolacji itp.)
- objętościowym (przykładowo: ciężar materiałów konstrukcyjnych, nasypowych itp.).

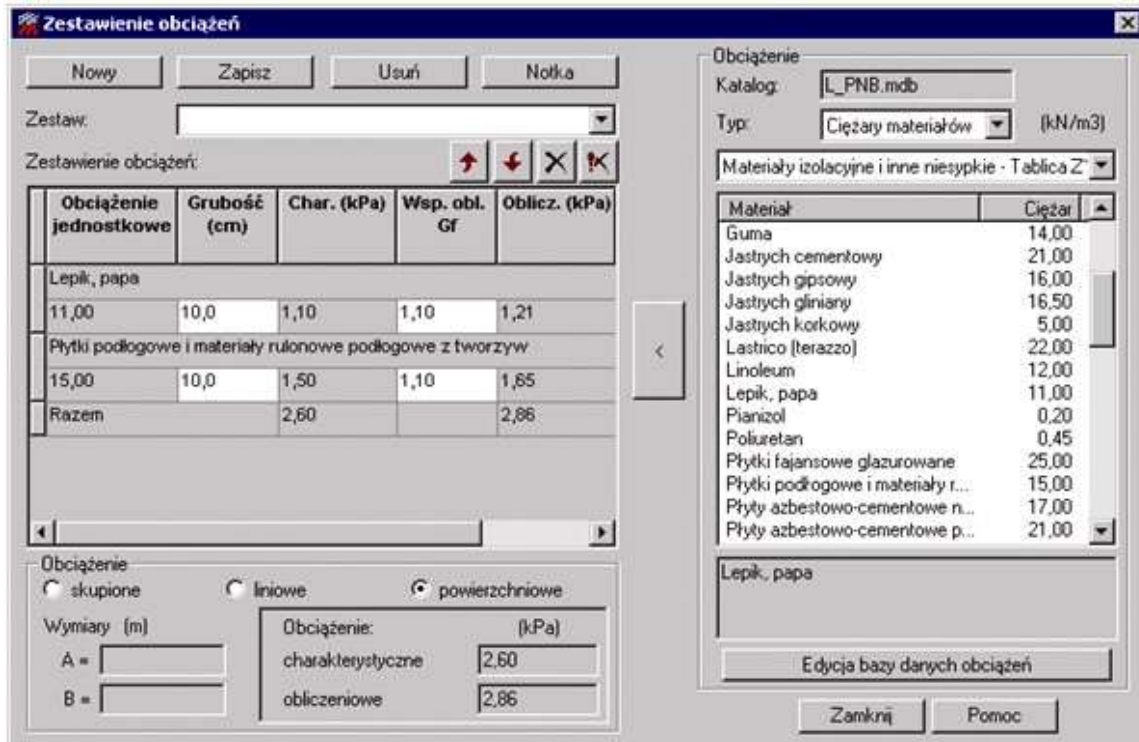
Opcja działa jako podręczny kalkulator do zestawienia obciążeń. Obliczone wartości obciążeń nie są przenoszone do rekordów obciążeniowych. Użytkownik sam definiuje wartości obciążeń dla poszczególnych przypadków obciążeniowych korzystając z wartości obliczonych w poniższym oknie dialogowym.

UWAGA: Po zmianie obciążeń jednostkowych w bazie danych wartości obciążeń nie są uaktualniane.

Opcja *Zestawienie obciążeń* dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Obciążenia / Obciążenia specjalne / Zestawienie obciążeń*
- z paska narzędziowego po naciśnięciu ikony *Zestawienie obciążeń*  .

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno.



Opcja jest dostępna dla wszystkich typów konstrukcji dostępnych w programie **Robot**.

W lewej części okna dialogowego znajdują się opcje służące do obliczenia oraz zapisu i odczytu zestawienia obciążeń:

- lista wyboru zestawów; zawiera ona listę zapisanych zestawów obciążeń - w tym polu możliwe jest również zdefiniowanie nazwy nowego zestawu obciążeń; nazwa zestawu (etykieta) jest identyfikatorem zestawu - pojawia się również w notce; odczyt zestawu odbywa się przez wybranie nazwy zestawu z listy

Powyżej listy wyboru zestawów znajdują się następujące klawisze:

Nowy - naciśnięcie tego klawisza umożliwi definicję nowej nazwy zestawu (usuwane jest aktualne zestawienie obciążeń)

Zapisz - naciśnięcie tego klawisza umożliwi zapis aktualnie definiowanego zestawienia obciążeń; w przypadku zapisu zestawu musi być podana jego nazwa

Usuń - naciśnięcie tego klawisza umożliwi usunięcie aktualnie wybranego zestawu z listy

Notka - uruchomienie edytora tekstu zawierającego dane aktualnego zestawienia obciążeń (notka może być wykorzystana podczas kompozycji wydruku złożonego) Poniżej listy wyboru zestawów znajdują się następujące klawisze:



- naciśnięcie tego klawisza umożliwi przesunięcie aktualnie wybranej linii o jedną pozycję w górę tabeli zawierającej zestawienie materiałów obciążeniowych



- naciśnięcie tego klawisza umożliwi przesunięcie aktualnie wybranej linii o jedną pozycję w dół tabeli zawierającej zestawienie materiałów obciążeniowych



- naciśnięcie tego klawisza umożliwi usunięcie aktualnie wybranej linii w tabeli zawierającej zestawienie materiałów obciążeniowych



- naciśnięcie tego klawisza umożliwi usunięcie wszystkich linii w tabeli zawierającej zestawienie materiałów obciążeniowych w tabeli *Zestawienie obciążeń* wyświetlane są dane dotyczące obciążenia całkowitego; kolejne rekordy tabeli zawierają:

nazwę obciążenia wartość *Obciążenie jednostkowe* (objętościowe albo powierzchniowe) odczytywane z bazy wartość *Grubości warstwy* - dla obciążenia objętościowego istnieje możliwość edycji - domyślna wartość jest równa 10 cm (dla obciążeń powierzchniowych pole to nie jest dostępne); jednostką są wymiary przekroju wartość obciążenia *charakterystycznego*:

- dla obciążeń objętościowych jest to iloczyn (ciężar jednostkowy)*(grubość)

- dla obciążeń powierzchniowych jest to ciężar jednostkowy jednostka obciążenia: siła/długość² wartość *Współczynnika obliczeniowego Gf* - pole edycyjne; domyślne wartości są zapisane i pobierane z bazy wartość obciążenia *Obliczeniowego* = (obciążenie charakterystyczne)* (wsp. obliczeniowy) jednostka: siła/długość² w ostatnim wierszu tabeli znajduje się zestawienie obciążenia charakterystycznego i obliczeniowego, będące sumą obciążeń w kolejnych wierszach; dodatkowo podawana jest wartość średniego współczynnika obliczeniowego, będącego ilorzem sumy obciążeń obliczeniowych i sumy obciążeń charakterystycznych

- poniżej tabeli znajdują się opcje służące do obliczenia sił skupionych lub liniowych od otrzymanego obciążenia powierzchniowego **p** (charakterystycznego i obliczeniowego).
 - Obciążenie skupione - iloczyn: $A*B*p$, jednostka: siła
 - Obciążenie liniowe - iloczyn: $A*p$ (wymiar B nie jest dostępny), jednostka: siła/długość
 - Obciążenie powierzchniowe: równe p (wymiar A, B nie są dostępne), jednostka: siła/długość². W prawej części okna dialogowego znajdują się opcje pozwalające na obsługę bazy obciążeń jednostkowych:
- grupa opcji *Obciążenie* służy do wyboru obciążenia z bazy; wybrane obciążenie można przenieść do zestawienia obciążeń (znajdującego się w lewej części okna) naciskając klawisz <; w polu *Katalog* prezentowana jest nazwa aktualnej bazy danych obciążeń jednostkowych
- w polu *Katalog* prezentowana jest nazwa aktualnej bazy danych obciążeń jednostkowych; wybór aktualnej bazy danych może zostać dokonany w oknie dialogowym **Preferencje zadania**
- lista wyboru służąca do wyboru odpowiedniej tabeli danych obciążeń jednostkowych - zawartość tej listy zależy od wybranego typu obciążeń: *Ciężar materiałów*, *Ciężar elementów*, *Ciężar gruntów* lub *Obciążenia zmienne*; wybór np. typu materiału jest zależny od zawartości bazy: *Betony*, *Materiały drewnopochodne*, *Pokrycia dachowe* itp.
- tabela do przeglądania i wyboru danych obciążeń jednostkowych - elementy tabeli nie mogą być zmieniane; tabela zawiera kolumny zapisane w bazie obciążeń: *Materiał* i *Ciężar* Jednostka ciężaru zależy od wybranego typu; jeżeli jest to ciężar materiału, to jednostką jest siła/długość³; jeżeli jest to ciężar elementów, to jednostką jest siła/długość² naciśnięcie klawisza **Edycja bazy danych obciążeń** powoduje otwarcie okna dialogowego służącego do edycji bazy danych; w oknie dialogowym **Edycja bazy danych obciążeń** dostępne są opcje umożliwiające: definicję nowego rekordu, usunięcie rekordu, modyfikacje rekordu (z możliwością kopiowania), wybór wyświetlanych kolumn.

3.9.6. Automatyczne definiowanie obciążeń pochodzących od parcia gruntu


W programie **Robot** dostępne jest narzędzie służące do obliczania parcia gruntu na elementy budowlane zagłębione w gruncie, takie jak mury oporowe, ściany itp. Uwzględniane są: parcie od gruntu oraz od sił przyłożonych do powierzchni gruntu.

Wartość parcia od gruntu może być modyfikowana zależnie od stanu pracy elementu oporowego:

- parcie silosowe - w przypadku gdy w pobliżu występuje inny obiekt, który zmniejsza parcie gruntu
- parcie czynne - zredukowane parcie w przypadku, gdy element oporowy przemieścił się w wyniku działania sił zewnętrznych w kierunku zgodnym z wywieranym przez grunt parciem

- parcie bierne - zwiększone parcie w przypadku, gdy element oporowy przemieści się w wyniku działania sił zewnętrznych w kierunku przeciwnym do wywieranego przez grunt parcia.
- Dla obciążenia na powierzchni gruntu stosuje się liniowy rozkład naprężeń w gruncie. Opcja umożliwi:
- definicję profilu gruntowego z wykorzystaniem bazy gruntów, zawierającej ich charakterystyki
 - zapis i odczyt pełnego profilu geotechnicznego zdefiniowanego przez użytkownika oraz edycję bazy gruntów,
 - definicję obciążeń przyłożonych do powierzchni gruntu
 - obliczanie i wizualizację wykresów parcia gruntu
 - generację obciążenia na panele lub pręty według obliczonego parcia gruntu.

Zapisany profil gruntowy może być wymieniany z innymi modułami używającymi profile geotechniczne. Opcja *Parcie gruntu* dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Obciążenia / Obciążenia specjalne / Parcie gruntu*
- z paska narzędziowego po naciśnięciu ikony *Parcie gruntu* .

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno (zależnie od wybranych obiektów, na które będziemy nadawać obciążenie parciem - na pręty lub na panele - okno dialogowe będzie zawierało nieco inne dane dotyczące kierunku przyłożenia obciążenia).



W powyższym oknie dialogowym określone mogą zostać następujące parametry:

- numer i nazwa bieżącego przypadku obciążeniowego; dla tego przypadku będą generowane obciążenia parciem gruntu
- wybór typu obiektów, na które nadawane jest obciążenie: *Panele* lub *Pręty*
- lista prętów lub paneli (w polu edycyjnym *Lista obiektów*), na których będzie definiowane obciążenie parciem gruntu; należy zwrócić tu uwagę, że obciążone zostaną te obiekty, które znajdują się poniżej współrzędnej Z założonej jako poziomu gruntu w oknie dialogowym **Parametry**; wartość obciążenia zależy od poziomu zagłębienia w gruncie

- jeżeli obciążenie definiowane jest na pręty, to konieczne jest podanie wartości rozstawu; parcie gruntu jest bowiem obliczane jako obciążenie powierzchniowe i aby uzyskać obciążenie liniowe na pręcie, jest ono sumowane z pewnego rozstawu (szerokości)
 - kierunek działania obciążenia
- dla paneli - parcie gruntem jest zawsze definiowane jako obciążenie normalne do powierzchni; możliwy jest jedynie wybór, czy jest ono *Zgodnie z układem lokalnym powierzchni* (zgodnie ze zwrotem lokalnej osi Z) czy też *Przeciwnie do układu lokalnego powierzchni*
- dla prętów - wybrany może zostać dowolny kierunek obciążenia zgodnie z układem *Globalnym* lub *Lokalnym* pręta.

Naciśnięcie klawisza **Zastosuj** powoduje definicję obciążenia parciem gruntu na wybranej liście elementów zgodnie z wybranym kierunkiem. Obciążenie definiowane jest dla aktualnie wybranego przypadku obciążenia. Naciśnięcie klawisza **Zamknij** powoduje zamknięcie okna dialogowego (nie są zapisywane żadne parametry).

Okno dialogowe **Parcie gruntu (parametry)** jest otwierane po naciśnięciu klawisza **Parametry** znajdującego się w oknie dialogowym **Obciążenie gruntem**.

Okno dialogowe składa się z trzech zakładek: *Grunty*, *Obciążenia* i *Wyniki*. Zakładka *Grunty*

Na zakładce zdefiniowane mogą zostać następujące parametry:

- dane geometryczne elementu oporowego i gruntu
 - poziom gruntu; wartość poziomu gruntu identyfikuje współrzędną Z położenia poziomu gruntu w modelu konstrukcji; wartość ta nie może być zmieniana, ponieważ jest równa poziomowi pierwszej warstwy gruntu zdefiniowanej w tabeli
 - kąt nachylenia gruntu do poziomu α
 - kąt odchylenia elementu oporowego od pionu β ; UWAGA: wartość kąta β dla współczynnika K_p powinna być wpisywana ze znakiem (+), a dla współczynnika K_a ze znakiem (-), gdy pochylamy element "w kierunku" gruntu
 - odległość od innego obiektu; wartość powinna zostać zdefiniowana, jeżeli uwzględnione ma zostać zmniejszenie parcia wywołane innymi obiektami istniejącymi w pobliżu (tzn. parcie silosowe)
 - poziom wody gruntowej określany jest we współrzędnych globalnych (w nawiązaniu do poziomu gruntu); wartość powinna zostać zdefiniowana, jeżeli uwzględnione ma zostać zmniejszenie parcia wywołanego obecnością wód gruntowych; położenie poziomu wody gruntowej oznaczone jest na widoku przekroju gruntowego; należy pamiętać, że obecność wody gruntowej wpływa na wartość parcia, ze względu na zmniejszenie gęstości gruntu oraz parcie wody
 - dane określające stan pracy gruntu w związku z przemieszczeniem elementu oporowego; przemieszczenie określone jest za pomocą obrotu elementu ρ , które w przybliżeniu przyjęto jako stosunek f/H (przemieszczenie korony / wysokość elementu); stan pracy gruntu może zostać określony jako:
 - parcie czynne $K_a \rightarrow \rho a \leq \rho < 0$ - parcie spoczynkowe $K_o \rightarrow \rho = 0$
 - parcie bierne $K_p \rightarrow 0 < \rho \leq \rho p$ - wartość graniczną lub pośrednią.
- tabela służąca do definicji uwarstwienia gruntu

Należy wybrać typ gruntu z listy rozwijalnej w kolumnie *Nazwa*, a następnie określić poziom warstwy gruntu przez wpisanie wartości w kolumnie *Poziom* lub *Miąższość*; w tabeli udostępniona jest baza gruntów, która jest domyślną bazą określoną w oknie dialogowym **Preferencje** (edycja listy baz dostępna jest po uruchomieniu opcji *Narzędzia / Preferencje zadania* na zakładce *Bazy danych / Katalog gruntów*)
- widok z rysunkiem uwarstwienia gruntu i skalą głębokości; w polu *Profil geotechniczny* znajdują się opcje umożliwiające zapis i odczyt profilu użytkownika; naciśnięcie klawisza **Zapisz** powoduje otwarcie okna dialogowego do zapisu pliku; każdy profil zapisywany jest w postaci oddzielnego pliku w formacie programu MS Access © (*.mbd); naciśnięcie klawisza **Odczyt** powoduje otwarcie okna dialogowego

do odczytu pliku typu *.mbd; niedostępne do edycji pole edycyjne *Nazwa* przedstawia ścieżkę do aktualnego pliku z zapisem profilu geotechnicznego

Naciśnięcie klawisza **Edycja bazy gruntów** pozwala na edycję aktualnej bazy gruntów.

Zakładka *Obciążenia*

Na tej zakładce zdefiniowane mogą zostać obciążenia zewnętrzne przyłożone do gruntu. Obciążenia definiowane są w tabeli w dolnej części okna dialogowego. Każde kolejne obciążenie ma nazwę oraz listę parametrów zależną od typu obciążenia. Zdefiniowane mogą zostać następujące typy obciążenia:

- obciążenie liniowe - obciążenie opisane jest następującymi danymi: nazwa, odległość x [długość], intensywność obciążenia Q [siła/długość]
- obciążenie konturowe - obciążenie opisane jest następującymi danymi: nazwa, odległość x1 [długość], odległość x2 [długość], intensywność obciążenia P [siła/długość²]
- obciążenie jednorodne - obciążenie opisane jest następującymi danymi: nazwa, odległość x [długość], intensywność obciążenia P [siła/długość²].

Dodatkowo może zostać wybrany typ rozkładu parcia związany z następującymi normami:

- polskimi normami: PN-83/B-03010 i PN-85/S-10030
- wymogami francuskimi SETRA
- rosyjską normą RD 31.31.27-81.

Zakładka *Wyniki*

Na zakładce prezentowane są:

- w prawej części okna lista utworzonych obciążeń; w skład listy wchodzi zawsze obciążenie parciem gruntu oraz przypadki zdefiniowane przez użytkownika od obciążenia naziomu; lista umożliwia wybór przypadków, które będą przekazane na model jako obciążenie
- w lewej części okna widok przekroju gruntowego z wykresem obciążenia; na wykresie przedstawiony jest ten z przypadków, który jest wybrany na liście; w trakcie poruszania kursorem po wykresie możliwy jest odczyt wartości w poszczególnych punktach wykresu
- komunikaty w przypadku niepoprawnych danych w polu znajdującym się poniżej listy.

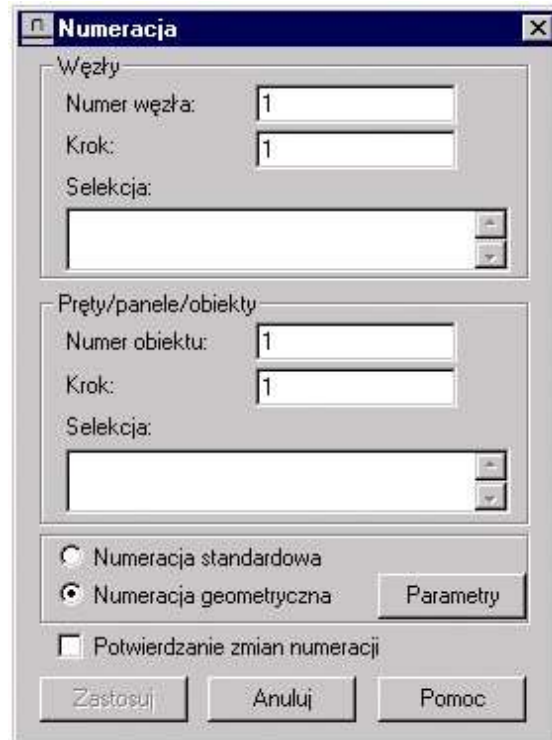
Naciśnięcie klawisza **Notka obliczeniowa** powoduje otwarcie edytora tekstu z notką, która zawiera zestaw danych i otrzymane wykresy parcia. Naciśnięcie klawisza **OK** powoduje zamknięcie okna dialogowego i przygotowanie do generacji obciążeń.

3.10. Numeracja (węzły, pręty, obiekty)

W niektórych przypadkach bardzo wygodnym narzędziem znajdującym się w programie jest opcja *Numeracja* służąca do zmiany przez użytkownika numeracji węzłów, prętów, paneli i obiektów. Opcja dostępna po:

- wybraniu komendy menu *Geometria / Numeracja*

- po naciśnięciu ikony *Numeracja*  .



Opcje znajdujące się w powyższym oknie pozwalają użytkownikowi na zmianę numeracji węzłów, prętów, paneli i obiektów zdefiniowanych w konstrukcji. Okno podzielone jest na dwie zasadnicze części: *Pręty/Panele/Obiekty* i *Węzły*. W obydwu polach znajdują się takie same opcje (*Numer obiektu*, *Krok*, *Selekcja*).

Aby zmienić numerację obiektów w konstrukcji, należy:

- zdefiniować numer początkowego węzła w polu *Numer węzła* lub pręta/panelu/objektu w polu *Numer obiektu*
- zdefiniować krok numeracji
- wybrać w konstrukcji węzły/pręty/panele/obiekty, którym zmieniana będzie numeracja
- nacisnąć klawisz **Zastosuj**.







Jeżeli nie wystąpi konflikt numeracji (tzn. gdzieś w konstrukcji istnieją węzły, pręty, panele, obiekty o numerach, które mają być wygenerowane), numery wybranych węzłów/prętów/paneli/objektów zostaną zmienione.

UWAGA: Jeżeli następującym prętom zmieniona ma zostać numeracja: 8, 11, 15, 20 i wpisane zostały następujące parametry zmiany numeracji prętów: Numer obiektu równy 11 i Krok równy 2, to nie wystąpi konflikt numeracji prętów o ile w konstrukcji nie były do tej pory zdefiniowane pręty numer 13 i 17.


Istnieje również możliwość wykonywania renumeracji geometrycznej. Parametry tego typu renumeracji są dostępne po naciśnięciu klawisza **Parametry** znajdującego się w powyższym oknie dialogowym (klawisz staje się aktywny dopiero po wybraniu opcji *Numeracja geometryczna*).

3.11. Operacje edycyjne

Program **Robot** wyposażony jest w wiele użytecznych narzędzi edycyjnych, które ułatwiają użytkownikowi pracę podczas definiowania i/lub modyfikacji projektowanej konstrukcji. Do tych opcji należą między innymi:

-  rotacja
-  translacja
-  symetria (lustro) pozioma i pionowa
-  symetria płaszczyznowa
-  symetria osiowa
-  jednokładność.


Wymienione opcje edycyjne można uruchomić wykorzystując komendy znajdujące się w menu (podmenu

Edycja / Edytuj) lub ikony znajdujące się w podmenu "Edycja" . Opcje służą do wykonywania operacji edycyjnych dla wyselekcjonowanych uprzednio węzłów/elementów tworzonej konstrukcji. Dla każdej opcji wymienionej powyżej należy podać parametry definiujące jednoznacznie wybrany typ operacji (np. położenie osi symetrii dla lustra pionowego lub poziomego).


W programie dostępna jest również *Edycja złożona*, która służy do składania operacji edycyjnych (translacja, rotacja i skalowanie) dla wyselekcjonowanych uprzednio węzłów/obiektów konstrukcji. Opcja dostępna jest w menu po wybraniu komendy z menu: *Edycja / Edycja złożona*. Aby zdefiniować złożoną edycję wybranych węzłów lub obiektów w konstrukcji, należy na początku zdecydować jakie operacje tworzyć będą edycję złożoną; operacja ta może się składać z następujących opcji edycyjnych: translacja, rotacja i skalowanie. Edycja złożona może składać się z dwóch lub trzech wymienionych operacji ustawionych w dowolnej kolejności.

Podczas definicji modelu konstrukcji bardzo przydatne mogą być następujące opcje: *Podział*, *Wydłużenie* i *Ucinanie*.


Opcja *Podział* służy do dzielenia prętów lub krawędzi obiektów na mniejsze pręty lub odcinki krawędzi. Opcja dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Edycja / Podział*
- z paska narzędziowego poprzez naciśnięcie ikony *Podział* .


Wydłużenie polega na dociągnięciu wybranego pręta lub obiektu do prętów lub obiektów, które definiują krawędzie wydłużenia (granice wydłużenia). Opcja dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Edycja / Wydłużenie*
- z paska narzędziowego poprzez naciśnięcie ikony .

Ucinanie polega na wskazaniu w wybranym pręcie/obiekcie tej części, która ma zostać odcięta. Część ucinania znajdować się będzie pomiędzy prętami/obiektami definiującymi krawędzie tnące. Krawędziami tnącymi mogą być pręty lub obiekty (łuki, okręgi, polilinie itp.). Opcja dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Edycja / Ucinanie*
- z paska narzędziowego poprzez naciśnięcie ikony .


W niektórych przypadkach konieczne jest również posiadanie na rysunku konstrukcji linii wymiarowych. Linie te mogą zostać dodane do konstrukcji poprzez wykorzystanie opcji *Narzędzia / Linie wymiarowe* lub

naciśnięcie ikony . Na ekranie pojawi się okno dialogowe, w którym zdefiniowane mogą zostać parametry tworzonych linii wymiarowych:

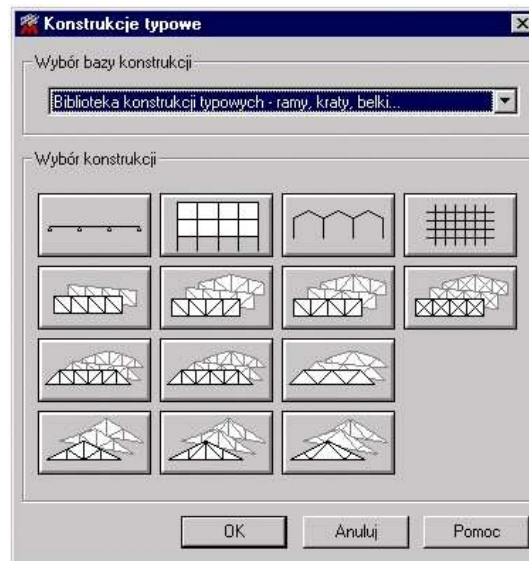
- typ linii (linia prosta, łuk, wymiarowanie okręgu)
- położenie linii
- początek
- koniec linii parametry opisu linii wymiarowej (położenie opisu, dodatkowy tekst znajdujący się na linii wymiarowej).

3.12. Konstrukcje typowe

W systemie **Robot** istnieje bogata biblioteka typowych konstrukcji. Opcja umożliwiająca otwarcie biblioteki i utworzenie/dodanie typowej konstrukcji dostępna jest:

- po naciśnięciu ikony *Konstrukcja biblioteczna*  z paska narzędziowego
- po wybraniu komendy menu *Geometria / Konstrukcja / Wstaw z biblioteki*.

Na ekranie pojawia się pokazane na poniższym rysunku okno dialogowe.



Konstrukcje biblioteczne są zgrupowane w pewne bazy. Wybierając konstrukcję należy najpierw odszukać odpowiednią bazę. W aktualnej wersji programu **Robot** dostępne są następujące bazy:

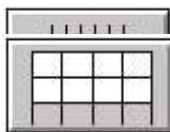
- biblioteka konstrukcji typowych - ramy, kraty, belki • konstrukcje typowe - baza dodatkowa
- płyty i powłoki.

W pokazanym powyżej oknie znajduje się kilka ikon symbolizujących odpowiedni typ konstrukcji prętowej. Użytkownik wybiera dany typ bazy konstrukcji poprzez dwukrotne naciśnięcie lewym klawiszem myszki odpowiedniej ikony.

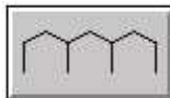
W programie dostępnych jest kilka typowych konstrukcji prętowych najczęściej używanych w projektowaniu takich jak:



- belka ciągła,



- ruszt,
- rama wielokondygnacyjna,



- rama wielonawowa,
- różne rodzaje kratownic.

Wymienione typy konstrukcji prętowych można w ramach wzorca konfigurować w dość dowolny sposób. Przy definiowaniu konstrukcji należy podać:

- długość
- wysokość/szerokość
- liczbę pól/podziałów/przęseł
- kąty nachylenia dźwigarów dachowych (w ramach),

a dla niektórych rodzajów kratownic dodatkowo należy podać:

- podniesienie węzła końcowego
- podniesienie węzła środkowego pasa dolnego
- podniesienie węzła środkowego pasa górnego.

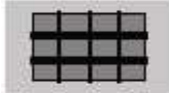
W dodatkowej bazie konstrukcji dostępne są różne rodzaje kratownic (m.in. kratownica Polonceau). W bazie **Płyty i powłoki** zdefiniowane zostały najczęściej wykorzystywane konstrukcje płytowopowłokowe:



- płyta prostokątna



- płyta prostokątna z otworem prostokątnym



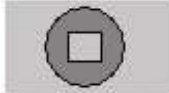
- płyta prostokątna z otworem kołowym



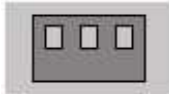
- płyta prostokątna z żebrami



- płyta kołowa



- płyta kołowa z otworem kołowym

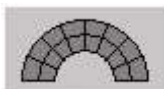


- płyta kołowa z otworem prostokątnym



- ściana budynku z otworami

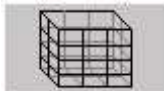
- połowa płyty kołowej



- połowa płyty kołowej z otworem kołowym



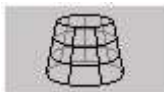
- połowa płyty kołowej z otworem prostokątnym



- konstrukcja powłokowa - zbiornik prostopadłościenny



- konstrukcja powłokowa - zbiornik cylindryczny



- konstrukcja powłokowa - zbiornik o kształcie stożka ściętego.

Wymienione typy konstrukcji można w ramach wzorca konfigurować w dość dowolny sposób. Przy definiowaniu konstrukcji należy podać wymiary konstrukcji i rodzaj siatki, która będzie wykorzystywana podczas generacji elementów skończonych.

Zdefiniowana przy użyciu bazy konstrukcji bibliotecznych konstrukcja może zostać użyta jako część większej budowli (odpowiednie opcje znajdujące się na zakładce *Wstaw* okna dialogowego otwieranego dla danego typu konstrukcji umożliwiają wygodne i dokładne wstawienie jej do istniejącej już konstrukcji) lub stanowić w całości odrębną strukturę.

3.13. Konstrukcje fazowe

Jedną z ciekawszych opcji dostępnych w systemie **Robot** jest możliwość analizowania konstrukcji fazowych (konstrukcji, które są wykonywane w kilku etapach technologicznych). Opcja jest dostępna z menu; służą temu opcje:

- *Geometria / Fazy / Wybór fazy*
- *Geometria / Fazy / Sklejanie faz.*

Program przeprowadza obliczenia konstrukcji osobno dla każdej z faz; dla każdej fazy otrzymywane są wyniki, gdyż każda faza tworzenia konstrukcji jest traktowana jako oddzielna konstrukcja. Program automatycznie dokona analizy konstrukcji fazowej faza po fazie. Użytkownik decyduje, która z faz jest aktywna w trakcie prezentacji wyników, tzn. dla której fazy prezentowane będą wyniki obliczeń.

Wyniki obliczeń konstrukcji fazowej mogą być przeglądane dla każdej z faz osobno lub też mogą być sklejane (składane w jedną fazę) dla celów porównawczych oraz utworzenia obwiedni wyników dla całej konstrukcji przy wykorzystaniu wyników otrzymanych dla wybranych faz.

Po wybraniu opcji *Wybór fazy* na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku (okno zawiera już definicję czterech faz).



W powyższym oknie dialogowym znajdują się następujące opcje:

- pole *Aktywacja/Zakres edycji* - pole, w którym prezentowane będą nazwy zdefiniowanych do tej pory faz konstrukcji; obok każdej zdefiniowanej fazy znajduje się jej numer oraz pole służące do włączania lub wyłączania przeniesienia prętów/elementów do innych faz (jeżeli opcja jest włączona dla danej fazy - pojawia się symbol "√" - to definiowane pręty/elementy w aktualnie wybranej fazie znajdować się będą również w fazie, dla której włączone jest przenoszenie; jeśli opcja jest wyłączona, to pręty/elementy definiowane dla fazy aktualnie wybranej nie będą uwzględniane w danej fazie)
- opcja *Wszystkie okna* - jeżeli ta opcja jest włączona, to aktywacja fazy konstrukcji będzie odnosiła się do wszystkich okien otwartych w programie; jeśli ta opcja jest wyłączona, to aktywacja fazy odnosić się będzie do aktywnego okna
- trzy klawisze:
 - Aktywuj** - naciśnięcie powoduje, że wybrana (podświetlona na liście) faza konstrukcji staje się aktywna; można tego również dokonać dwukrotnie klikając (tzw. double-click) w wybraną fazę konstrukcji
 - Modyfikuj** - naciśnięcie umożliwia zmianę nazwy wybranej (podświetlonej na liście) fazy konstrukcji
 - Usuń** - naciśnięcie powoduje usunięcie wybranej (podświetlonej na liście) fazy konstrukcji
- pole *Nowa faza* - pole, w którym zdefiniowana może zostać nowa faza konstrukcji; należy podać nazwę fazy (program automatycznie nada numer fazy - będzie to kolejny numer) i nacisnąć klawisz **Definiuj**.

UWAGA: Na belce tytułowej programu **Robot** wyświetlana jest nazwa aktualnie aktywnej fazy.

Opcja *Sklejanie faz* jest używana do zdefiniowania wyników dla konstrukcji fazowej na podstawie wybranej końcowej fazy (fazy bazowej), która standardowo powinna być pełną konstrukcją. Ta opcja powoduje "sklejenie" (składanie wyników) wybranych faz oraz pozwala na graficzne porównanie pojedynczych faz. W górnej części okna dialogowego należy określić *Fazę bazową* (powinna być to cała konstrukcja). Aby zdefiniować *Fazy dołączane*, należy wybrać odpowiednią fazę (przy nazwie fazy pojawia się symbol √). Każda faza może być łatwo dodana lub usunięta z bieżącej listy stanowiącej podstawę do sklejanja faz.

UWAGA: Podczas definiowania kolejnych faz konstrukcji należy zwrócić uwagę na numerację prętów konstrukcji; w kolejnych fazach konstrukcji pręty muszą mieć te same numery, aby operacja składania faz miała sens (aby wyniki otrzymane dla poszczególnych faz były składane dla tych samych prętów/elementów).

Wyniki dla "sklejonej" konstrukcji będą prezentowane, gdy w oknie dialogowym **Fazy** zostanie wybrana faza *Konstrukcja złożona/1. faza przed sklejeniem*.

WYBRANE POZYCJE LITERATURY

Ogólne

- K.J. BATHE, E. WILSON, *Numerical Methods in Finite Element Analysis*, Prentice Hall, NJ 1976
 J.L. BATOZ, G. DHATT, *Modelisation des structures par elements finis*, Hermes, Paris 1990.
 M.A. CRIESFIELD, *Solution procedures for non-linear structural problems*, 1984
 T. GALEA, H. GACHON, *Modele d'analyse nonlineaire des structures a barres methodes d'approche du seuil de bifurcation*, Construction Metallique, 2-1978
 E. HINTON, D.R.J. OWEN, *An Introduction to Finite Element Computations*, Pineridge Press, Swansea 1984
 E. HINTON, D.R.J. OWEN, C. TAYLOR (Eds), *Recent Advances in Non-linear Computational Mechanics*, Pineridge Press, Swansea 1982
 T.J.R. HUGHES, *The Finite Element Method - Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis*, Prentice-Hall, New Jersey 07632
 T.J.R. HUGHES, F. BREZZI, *On Drilling Degrees of Freedom*, Comp. Meth. In Appl. Mech. and Eng. 72(1989), 105-121

- W. KANOK-NUKUICHAJ, *Mathematical modelling of cable-stayed bridge*, Structural Engineering International, 2/92
- J.S. PRZEMIENIECKI, *Theory of Matrix Structural Analysis*, McGraw-Hill, New York 1968
- S.P. TIMOSHENKO, J.M. GERE, *Theory of Elastic Stability*, McGraw-Hill, New York, 1961
- S.P. TIMOSHENKO, WOYNOWSKI-KRUGER, *Theory of Plates and Shells*, McGraw-Hill, NY 1966
- K. WASHIZU, *Variational Methods in Elasticity and Plasticity*, Pergamon Press, 1976
- O.C. ZIENKIEWICZ, *Finite Element Method*, McGraw-Hill, London 1977.

Wybrane pozycje literatury opisujące metody tworzenia siatki elementów skończonych


- AKHRAS, DHATT, "An automatic node recaballing schema for minimizing a matrix or network bandwidth, IJNME'76, vol. 10, 787-97
- AKIN, *Contouring on isoparametric surfaces*, IJNME'77, v.11, 893-7
- AMEZWA el. el. 3, *A general algorithm for the bidimensional Finite Element meshing*, II Congress Mundial Vasco, ed. ALEA t.I, 1988 p. 540-52
- BARNHILL, BIRKOFF, GORDON, *Smooth Interpolation in Triangles*, J. of Appr.Th. 8,114-28, (1973)
- BOWYER, *Computing Divicklet tesselations*, The Computer Journal, v.24, 2, 1981
- BYKAT, *Automatic generation of triangular grid: I - subdivision of a general polygon into convex subregions, II - triangulation of convex polygons*, IJNME'76, 1329-42 BYKAT, *A note on an element ordering schema*, IJNME '76, 194-8
- BYKAT, *Design of a recursive shape controlling mesh generator*, 1375-90, vol. 19, 1983
- CAVENDISH, GORDON, HALL, *Substructured macro elements based on locally blended interpolation*, IJNME'83, v11, IJNME'77, 1405-21
- COLLINS, *A modified prefrontal routine*, IJNME '77, 765-6
- DUROCHER, GASPER, *A Vertical Two-Dimensional Mesh Generator with Automatic Bandwidth Reduction*, Computer & Structures, 1979, v. 10, p. 561-75
- EISENBERG, MALVERN, *On FE Integration in Natural Co-ordinates*, IJNME'73, v.7, N 4, 574-5
- FREY, HALL, PORSCHING, *An application of computer graphics to 3D FE*, C&S 1979, v. 10, 149-54
- GOLDEN, *Geometric structural modelling: a promising basis for FE analysis*, Computers & Structures 1979, v. 10, 347-50
- GORDON, *Spline blended surface interpolation through curve networks*, Journal of Math & Mech. (JMM) '69, 931-52
- GORDON, HALL, *Transfinite Element Methods: Blending Function Interpolation over Arbitrarily Curved Element Domains*, Numer. Math, 21, 109-29
- HABER, SHEPHARD, ABEL, GALLAGHER, GREENBERG, *A General 2-D Graphical FE Preprocessor Utilizing Discrete Transfinite Mappings*, IJNME, 1981, vol. 17, 1015-44
- HALL, LUCZAK, SERDY, *Numerical Solution of Steady State Heat Flow Problems over Curved Domains*, ACM - TrMS'76 (Transaction of Mathematical Software), vol. 2, Nr 3, Sept. 76, p. 257-74
- HALL, *Transfinite Interpolation and Applications to Engineering Problems*, *Theory of Approximation with Applications*, ed. LAW, SAHNEJ, 308-31
- HENSHELL, *Differences Between Isoparametric Assumptions and True Circles*, IJNME, p. 1193-6 JOE, SIMPSON, *Triangular meshes for regions of complicated shape*, IJNME'86, v. 23, 751-78
- JOHNSON, *Meshing - Beauty is only skin deep*, BENCHmark, June 1993, p. 34-37
- KLEINSTREUER, HOLDEMAN, *A triangular FE mesh generator for fluid dynamic systems of arbitrary geometry*, IJNME'80, v. 15, 1325-34
- LEE, LO, *An Automatic Adaptive Refinement, FE Procedure for 2D Elastostatic Analysis*, IJNME 1992, vol. 35, P. 1967-89
- LEWIS, ROBINSON, *Triangulation of Planar Regions with Applications*, The Computer Journal 1987, vol. 21, n°4, p. 324-32
- LIU, CHEN, *A 2D Mesh generator for variable order triangular and rectangular elements*, Computer & Structures, v. 29, Nr 6, 1033-53, 1998
- LO, *Generation of High-Quality Gradation Finite Element Mesh*, Engineering Fracture Mechanics, 1992, vol. 41, N° 2, pp. 191 - 202

- LO, *Visualisation of 3D solid FE mesh by the method of sectioning*, C&S, 1990, vol. 35, N° 1, pp. 63-8
- LO, *Volume discretization into tetrahedra - I. Verification and orientation of B surfaces*, C&S, 1991, vol. 39, N° 5, pp. 493-500
- LO, *Volume discretization into tetrahedra - II. 3D triangulation by advancing front approach*, Computers & Structures, 1991, vol. 39, N° 5, pp. 501-11
- LO, CHEUNG, LEUNG, *An algorithm to display 3D objects*, C&S'82, v. 15, No. 6, 637-83
- McNEICE, MARCAL, *Optimization of FE Grids based on Minimum Potential Energy*, Transaction of ASME (Journal of Eng. for Indus.), February 1973, p. 186-90
- MEEK, BEER, *Contour Plotting of Data Using Isoparametric Element Representation*, IJNME, 1975, vol. 10, N°4, P; 954-7
- MOSCARDINI, LEWIS, CROSS, AGHTOM - *Automatic Generation of Triangular and Higher Order Meshes*, IJNME, 1983, vol. 19, pp. 1331-53
- OBERKAMPF, *Domain Mappings for the Numerical Solution of Partial Differential Equations*, IJNME, 1976, vol. 10, p. 211-23
- PARK, WASHAM, *Drag method as a FE mesh generation scheme*, Computers & Structures, 1979, vol. 10, p. 343-6
- PEANO, PASINI, RICCONI, SARDELLA, *Adaptive Approximations in FE Structural Analysis*, C&S, 1979, vol. 10, p. 333-42
- PERUCCHIO, INGRAFFEA, ABEL, *Interactive Computer Graphic Preprocessing for 3D FE Analysis*, IJNME, 1982, vol. 18, p. 909-26
- PERUCCHIO, SAXENA, *Automatic Mesh Generation from Solid Models Based on Recursive Spatial Decompositions*, IJNME, 1989, vol. 28, pp. 2469-501
- PIEGL, *Hermite and Coons like interpolants using rational Bezier approximation form with infinite control points*, CAD, 1988, p. 2-10
- PINA, *An Algorithm for Frontwidth Reduction*, IJNME, 1981, vol. 17, p. 1539-46
- PISSANETZKY, KUBIK, *An Automatic 3D FE Mesh Generator*, IJNME, 1981, vol. 17, p. 255-69
- POURAZADY, RADHAKRISHAN, *Optimization of a triangular mesh*, Comp. & Structures, 1991, v. 40, Nr 3, pp. 795-804
- PREISS, *Checking the Topological consistency of a FE mesh*, IJNME 1979, v. 14, 1805-12
- RHEINOLDT, *Adaptative Mesh Refinement Processes for FE solutions*, IJNME, v. 17, 649-62, 1981
- RUDD, *Impacting the design process using solid modelling and automated FE mesh generation*, CAD'88, p. 212-60
- SADEK, *A Scheme for the Automatic Generation of Triangular Finite Elements*, IJNME, 19780 vol. 15, p. 1813-22
- SCHROEDER, SHEPHARD, *Geometry Based Fully Automatic Mesh Generation and the Delaunay Triangulation*, IJNME, 1988, vol. 26, p. 2503-15
- SIMPSON, *Automatic Local Refinement for Irregular Rectangular Meshes*, IJNM, 1979, 1665-78
- SLOAN, *A Fast Stiffness Formulation for FE Analysis of 2D Solids*, IJNME 1981, v. 17, p. 1313-23
- STELZER, WELZEL, *Plotting of Contours in a Natural Way*, IJNME, 1987, v. 24, 1757-69
- STRICKLIN, HO, RICHARDSON, HAISLER, *On Isoparametric vs. Linear Strain Triangular Elements*, IJNME, 1977, v. 11, 1041-43
- WU, *Techniques to Avoid Duplicate Nodes and Relax Restrictions on Superelement Numbering in a Mesh Generator*, Computers & Structures, 1982, vol. 15, n° 4, p. 419-22
- WU, ABEL, GREENBERG, *An Interactive Computer Graphics Approach of Surface Representation*, Communication of the ACM, October 1977, vol. 20, n° 10, p. 703
- ZIENKIEWICZ, ZHU, *Error estimates and Adaptivity - The Essential Ingredients of Engineering FEM Analysis*, BENCHmark, July 1989, p. 9-15

4. ANALIZA KONSTRUKCJI

4.1. Uruchomienie obliczeń konstrukcji

Obliczenia konstrukcji użytkownik może uruchomić na podane poniżej sposoby:

- z menu wybrać komendę *Analiza / Obliczenia*
- z paska narzędziowego nacisnąć ikonę *Rozpoczęcie obliczeń* 
- wybrać z menu *Rezultaty* wielkości do wyznaczenia (reakcje, przemieszczenia, siły itp.); po wybraniu np. tabeli przemieszczeń na ekranie pojawia się dodatkowe okno dialogowe, w którym znajdują się opcje pozwalające na wybór sposobu zachowania się program, gdy zostanie wywołana opcja wymagająca wyników, a obliczenia nie zostały uprzednio uruchomione.

W programie istnieje opcja zabezpieczająca przed utratą wyników obliczeń konstrukcji (pojawieniem się statusu obliczeń konstrukcji: *Nieaktualne*), gdy po wykonanych obliczeniach dokonana jest w programie operacja, która zmienia dane o konstrukcji zapisane w pliku *.RTD.

W programie dostępny jest globalny status blokady wyników. Istnieją trzy metody jego ustawienia:

- ręcznie przez użytkownika - w menu *Rezultaty* znajduje się opcja *Rezultaty zamrożone*, która może być włączana/wyłączana; tym samym wyniki obliczeń konstrukcji są odpowiednio blokowane lub odblokowywane (**UWAGA: opcja jest dostępna tylko wtedy, gdy wyniki obliczeń konstrukcji są Aktualne**)
- automatycznie na podstawie ustawień w **Preferencjach zadania** - na zakładce *Analiza konstrukcji* znajduje się opcja *Automatyczne zamrażanie wyników obliczeń konstrukcji*; jeżeli opcja jest włączona, to po każdym obliczeniu konstrukcji (czyli wtedy, gdy status wyników obliczeń konstrukcji zmienia się na *Aktualne*) wyniki obliczeń konstrukcji automatycznie są zamrażane; domyślnie opcja jest włączona
- półautomatycznie na akcję użytkownika - dotyczy tylko odmrażania wyników obliczeń; jeżeli wyniki obliczeń są zamrożone i użytkownik dokona dowolnej operacji, której efektem będzie zmiana w danych dotyczących konstrukcji, to na ekranie pojawi się komunikat z ostrzeżeniem o ewentualnej utracie aktualności wyników obliczeń; zaakceptowanie powoduje zmianę danych dotyczących konstrukcji i odmrożenie wyników obliczeń (nie zaakceptowanie powoduje, że zmiana w konstrukcji nie zostanie dokonana i status wyników nie będzie zmieniony).

Podkreślić należy fakt, że jeśli dokonana zostanie **dowolna** operacja w programie, która prowadzi do zmiany danych dotyczących konstrukcji, to na ekranie pojawi się komunikat z ostrzeżeniem (jeśli oczywiście wyniki są zamrożone). Oznacza to na przykład, że jeśli zdefiniowana będzie kombinacja ręczna (operacja po obliczeniach konstrukcji poprawna), to ostrzeżenie się również pojawi. Oczywiście użytkownik będzie mógł zaakceptować ostrzeżenie i zdefiniować kombinację, a następnie ręcznie zamrozić wyniki obliczeń.

4.2. Dostępne typy analizy

W systemie **Robot** użytkownik może zdefiniować parametry różnych typów analizy konstrukcji. Na początku definiowania obciążeń konstrukcji wszystkim przypadkom obciążenia konstrukcji przypisywany jest ten sam typ: statyka liniowa. W oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe** otwierającym się po wybraniu komendy *Analiza / Rodzaje analizy* można zmienić typ analizy (np. na analizę nieliniową). W oknie tym mogą być utworzone nowe przypadki obciążenia oraz rozpoczęte obliczenia dla typów analiz, dla których nie jest konieczne wcześniejsze zdefiniowanie statycznego przypadku obciążenia (analiza modalna lub sejsmiczna).

W obecnej wersji systemu **Robot** dostępne są następujące typy analizy konstrukcji:

- statyka liniowa
- statyka nieliniowa (z uwzględnieniem efektu P-Delta) - nieliniowość jest tu nieliniowością geometryczną
- wyboczenie (nie są uwzględniane efekty II rzędu)
- analiza modalna (drżania własne konstrukcji)
- analiza modalna z uwzględnieniem sił statycznych - używana powszechnie analiza modalna (wyznaczanie drgań własnych konstrukcji) nie bierze pod uwagę wpływu sił statycznych; aby zbliżyć się do realnych warunków pracy konstrukcji, w obliczeniach przeprowadzanych w programie **Robot** może zostać wykorzystana analiza modalna z uwzględnieniem przyłożonych sił statycznych
- analiza harmoniczna
- analiza sejsmiczna (dostępne są następujące normy: francuskie PS69, PS92, PS 92 (update 2008), Klasy posadowienia i AFPS, europejska norma EC8 (norma ogólna, NAD Francja, Portugalia, Włochy), EC8 (EN 1998-1-1:2004), amerykańska UBC97, włoskie DM16.1.96 i włoska norma 2003, hiszpańska norma NCSR-02, normy rumuńskie P100-92 i P-100-1-2004, algierskie RPA88, RPA99 i RPA 99 (2003), marokańska RPS 2000, turecka norma sejsmiczna, chilijska norma sejsmiczna NCh 433.Of96, chińskie normy sejsmiczne, argentyńska norma sejsmiczna CIRSOC 103, greckie normy EAK 2000 i EAK 2000/2003, norma wydana w USA IBC 2000 i IBC 2006, norma Monako, normy kanadyjskie NBC 1995 i NBC 2005, normy rosyjskie: SniP II-7-81 i SP 31-114-2004), norma indyjska IS 1893
- analiza spektralna
- całkowanie równań ruchu (analiza czasowa) - dostępna jest również nieliniowa analiza czasowa
- analiza Pushover
- analiza harmoniczna w dziedzinie częstotliwości (FRF)
- dynamiczne wymuszenie ruchem pieszych (Footfall)
- analiza sprężysto-plastyczna prętów (w obecnej wersji programu analiza ta jest dostępna tylko dla profili stalowych)
- analiza prętów pracujących tylko na ściskanie/rozciąganie oraz analiza konstrukcji kablowych.

RÓWNANIA ROZWIĄZYWANE PODCZAS OBLICZEŃ KONSTRUKCJI

Cała konstrukcja jest podzielona na oddzielne części (elementy skończone). Elementy są ze sobą połączone tylko w węzłach. Deformacja wewnątrz każdego elementu jest definiowana na podstawie przemieszczeń węzłowych (wykorzystuje się założone w elemencie funkcje kształtu). W ten sposób energia wewnętrzna konstrukcji zależy tylko i wyłącznie od niezależnych parametrów węzłowych. Przemieszczenia węzłowe zapisane dla całej konstrukcji tworzą globalny wektor nieznanych przemieszczeń konstrukcji \mathbf{Q} . Stosując odpowiednią zasadę wariacyjną (np. zasadę prac wirtualnych) można sformułować warunki równowagi elementów. Takie postępowanie prowadzi do utworzenia dobrze znanego układu równań równowagi, który może być zapisany w podany poniżej sposób:

$$\mathbf{M} \mathbf{Q}'' + \mathbf{C} \mathbf{Q}' + \mathbf{K} \mathbf{Q} = \mathbf{F}(t) - \mathbf{f}(t, \mathbf{Q})$$

gdzie:

\mathbf{K} - styczna macierz sztywności będąca sumą następujących macierzy składowych:

$$\mathbf{K} = \mathbf{K}_0 + \mathbf{K}_\sigma + \mathbf{K}_{NL}, \text{ gdzie:}$$

\mathbf{K}_0 - początkowa macierz sztywności (niezależna od wektora \mathbf{Q})

\mathbf{K}_σ - macierz naprężeń (liniowo zależna od naprężeń ściskających)

\mathbf{K}_{NL} - macierz innych składników zależnych od wektora \mathbf{Q}

\mathbf{C} - macierz tłumienia

\mathbf{M} - macierz mas

\mathbf{Q} - przemieszczenia (przyrosty lub całkowite przemieszczenia)

\mathbf{Q}' - prędkości (pierwsza pochodna wektora przemieszczeń \mathbf{Q} po czasie)

\mathbf{Q}'' - przyspieszenia (druga pochodna wektora przemieszczeń \mathbf{Q} po czasie) $\mathbf{F}(\mathbf{t})$ - wektor sił zewnętrznych $\mathbf{f}(\mathbf{t}, \mathbf{Q})$ - wektor sił niezerównoważonych.

Powyższe równania są zapisane dla całej konstrukcji przy użyciu "globalnych" przemieszczeń \mathbf{Q} . Oznacza to, że przemieszczenia są definiowane w globalnym układzie współrzędnych. Utworzone równania są wynikiem agregacji zapisanych we współrzędnych lokalnych warunków równowagi w elemencie. Transformacja z lokalnego układu współrzędnych do globalnego układu współrzędnych (i na odwrót) jest standardową operacją na macierzach. Dostępne są następujące typy analizy konstrukcji:

ANALIZA STATYCZNA

Podstawowy układ równań równowagi przedstawiony powyżej może być uproszczony, gdy przyjęte zostanie dodatkowe założenie mówiące, że przykładane do konstrukcji obciążenie jest quasi-statyczne. Oznacza to, że obciążenia są przykładane do konstrukcji na tyle wolno, że prędkości i przyspieszenia mas konstrukcji są równe zeru, a siły bezwładności i tłumienia oraz energia kinetyczna i tłumienia mogą być pominięte. Uproszczony w ten sposób układ równań przedstawia układ równań statycznych z wieloma stopniami swobody konstrukcji. Istnieją dwa typy statycznej analizy konstrukcji: analiza liniowa i analiza nieliniowa.

Analiza liniowa

Statyka liniowa jest podstawowym typem analizy konstrukcji w programie. W trakcie statycznej analizy konstrukcji przyjmowane są następujące założenia: małe przemieszczenia i obroty konstrukcji oraz materiał idealnie sprężysty. Powoduje to, że zasada superpozycji może być stosowana. Elementy macierzy sztywności dla takiego przypadku są stałymi; cała macierz sztywności przybiera formę określoną równaniem $\mathbf{K}_0 \mathbf{Q} = \mathbf{F}$.

Następujące rodzaje obciążeń mogą być definiowane przy statycznych obliczeniach konstrukcji:

- wszystkie typy obciążeń statycznych (siły skupione - węzłowe i w dowolnym miejscu na długości elementu, obciążenia ciągłe - stałe i zmienne na długości elementu)
- wymuszone przemieszczenia podpór oraz skrócenie/wydłużenie elementów prętowych
- obciążenia polem temperatury (stałe lub zmienne po wysokości przekroju pole temperatury). Do rozwiązywania problemów statyki liniowej używana jest metoda przemieszczeń. Wyniki obliczeń statycznych obejmują: - przemieszczenia węzłowe

- siły wewnętrzne w elementach

- reakcje w węzłach

podporowych - siły resztkowe w

węzłach.

Jeżeli użytkownik chce przeprowadzić obliczenia konstrukcji w zakresie liniowo statycznym, nie musi definiować żadnych parametrów analizy. Statyka liniowa jest domyślnym typem analizy konstrukcji w programie tzn. jeżeli nie zdefiniowano innego typu analizy, to program przeprowadzi obliczenia statyczne zdefiniowanej konstrukcji. Wszystkie przypadki obciążenia zdefiniowane w programie są przypadkami statyki liniowej.

Analiza nieliniowa

W programie **Robot** można definiować różne rodzaje nieliniowej analizy statycznej konstrukcji. Nieliniowe zachowanie się konstrukcji może być związane z pojedynczym elementem konstrukcji (nieliniowość konstrukcyjna bądź materiałowa) lub może wynikać z nieliniowego związku pomiędzy siłami a deformacją w całej konstrukcji (nieliniowość geometryczna). Istnieją trzy główne źródła nieliniowości w programie:

- nieliniowość konstrukcyjna

- nieliniowość geometryczna - nieliniowość materiałowa.

Nieliniowość konstrukcyjna spowodowana jest przez wykorzystanie w konstrukcji elementów o specyficznych własnościach takich jak: elementy pracujące tylko na ściskanie lub rozciąganie, elementy kablone, plastyczność materiałowa, przeguby nieliniowe itp. Jeśli w konstrukcji nie zostały zdefiniowane elementy kablone, to nieliniowy układ równań wykazuje pewne cechy liniowości (pomnożenie obciążeń

przez podany współczynnik powoduje taki sam przyrost wyników zadania - wyniki są mnożone przez ten sam współczynnik). Inne własności układów liniowych nie mogą być jednak wykorzystane. Zakłada się, że układ równań równowagi przyjmuje dla zadania nieliniowego postać $(\mathbf{K}_0 + \mathbf{K}_\sigma + \mathbf{K}_{NL}) \mathbf{Q} = \mathbf{F}(t) - \mathbf{f}(t, \mathbf{Q})$ jak dla zadania liniowego. Jest to jednak założenie *a priori*, które musi być zweryfikowane *a posteriori*, czyli po rozwiązaniu układu równań. Powoduje to konieczność posługiwania się iteracyjnym procesem rozwiązywania zadania. Nieliniowość konstrukcyjna jest automatycznie wybierana w programie, gdy w konstrukcji zdefiniowane zostały wymienione elementy powodujące ten typ nieliniowości.

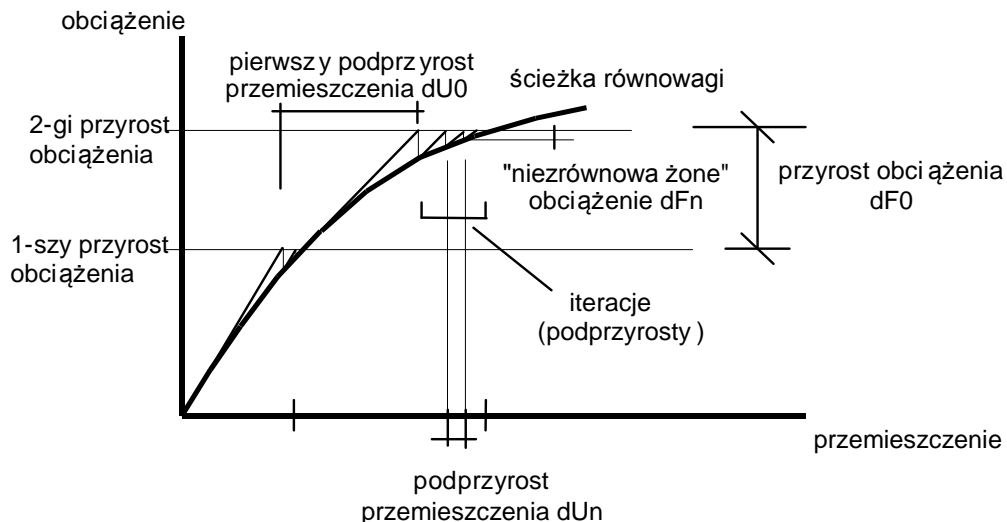
Nieliniowość geometryczna spowodowana jest przyjęciem nieliniowej teorii zastosowanej przy tworzeniu układu równań równowagi i sposobem rozwiązywania zadania (uwzględnianie efektów drugiego rzędu). W programie nieliniowość geometryczna spowodowana być może dwoma rodzajami efektów: zmieniającą się sztywnością elementu pod wpływem stanu naprężenia w elemencie oraz efektem P-Delta (opis tej opcji znajduje się w załącznikach). Obydwa efekty mogą być rozważane oddzielnie, gdyż są wywoływane za pomocą innych opcji. Obciążenia dla każdej nieliniowej analizy konstrukcji mogą być przykładane w kilku krokach.

Nieliniowość materiałowa spowodowana jest nieliniowymi własnościami materiału (nieliniową relacją pomiędzy naprężeniami a odkształceniami: może uwzględniać materiały sprężysto-plastyczne, plastyczne lub inne nieliniowe materiały). Pseudo nieliniowość materiałową można obecnie uzyskać w programie **Robot** stosując elementy kablowe, które posiadają nieliniową charakterystykę naprężenie-odkształcenie. Wszystkie algorytmy wykorzystywane przy rozwiązywaniu zadań nieliniowych zakładają, że obroty są małe, tak aby tangensy i sinusy kątów można było w trakcie obliczeń zastąpić samymi kątami.

Opis algorytmów wykorzystywanych w analizie nieliniowej

W systemie **Robot** istnieje jedna metoda rozwiązywania układu równań nieliniowych: metoda przyrostowa. W metodzie przyrostowej wektor prawej strony układu (wektor obciążenia) jest podzielony na "n" równych części zwanych przyrostami. Kolejny przyrost obciążenia jest przykładany do konstrukcji w momencie, gdy stan równowagi został osiągnięty dla poprzedniego przyrostu. Norma dla niezrównoważonych sił jest podawana dla każdego kroku, co pozwala śledzić zachowanie się relacji siła-przemieszczenie w konstrukcji.

Przykładowy przebieg nieliniowego procesu w metodzie przyrostowej jest pokazany na poniższym rysunku. Przedstawiono na nim wielkości wykorzystywane podczas obliczeń nieliniowych.



Definicja przypadku analizy nieliniowej

Analiza nieliniowa konstrukcji może zostać zdefiniowana dla każdego przypadku obciążenia statycznego w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe** pojawiającym się na ekranie po wywołaniu komendy *Analiza / Rodzaje analizy*. Aby zdefiniować nieliniowy przypadek obciążenia, należy w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe** wybrać przypadek obciążenia (zostanie podświetlony), dla którego należy zmienić typ

analizy, a następnie nacisnąć klawisz **Parametry**. W oknie dialogowym **Parametry analizy nieliniowej** (patrz poniższy rysunek) należy wybrać dla danego przypadku obciążenia opcję *Analiza nieliniowa* lub *Analiza P-Delta* i zaakceptować wprowadzone zmiany.



Włączenie opcji *Przypadek pomocniczy* dla danego przypadku obciążeń powoduje, że nie jest on obliczany i wyniki dla niego są niedostępne. Dla analizy statyki liniowej wyniki kombinacji z udziałem takiego przypadku będą także niedostępne. W przypadku analizy nieliniowej przypadek pomocniczy może być tym bardziej przydatny, jeśli nie interesują nas wyniki dla pojedynczego przypadku, a jedynie dla kombinacji przypadków. Aby zmniejszyć czas obliczeń, można wyłączyć obliczenia dla danego przypadku, natomiast kombinacja nieliniowa jest zawsze obliczana jako osobny przypadek z kombinacją obciążeń.

Nieliniowe zachowanie się konstrukcji może być związane z pojedynczym elementem konstrukcji (nieliniowość konstrukcyjna bądź materiałowa) lub może wynikać z nieliniowego związku pomiędzy siłami a deformacją w całej konstrukcji (nieliniowość geometryczna).

Jeżeli w konstrukcji występują nieliniowe elementy (np. kable, podpory jednostronne, plastyczność materiału), to obliczenia są automatycznie prowadzone przyrostowo.

Dodatkowo można włączyć nieliniowość geometryczną:

- analiza nieliniowa - uwzględnia efekty drugiego rzędu, tzn. zmianę sztywności na zginanie zależnie od sił podłużnych
- analiza P-delta - uwzględnia efekty trzeciego rzędu, tzn. dodatkową sztywność poprzeczną i naprężenia powstałe przy odkształceniu.

Włączenie nieliniowości geometrycznej pozwala na uwzględnienie rzeczywistych efektów wyższego rzędu i często wpływa na polepszenie zbieżności procesu obliczeń konstrukcji zawierającej elementy nieliniowe. Kontrola procesu iteracyjnego jest możliwa poprzez zdefiniowanie parametrów analizy nieliniowej w oknie dialogowym **Opcje algorytmów analizy nieliniowej**, które pojawia się na ekranie po wyborze naciśnięciu klawisza **Parametry** w powyższym oknie dialogowym.

Opcje algorytmów analizy nieliniowej

Metoda

Przyrostowa Dodatkowe kryteria zatrzymania analizy:

Arc-length

Parametry metody przyrostowej

Liczba przyrostów obciążenia :

Maksymalna liczba iteracji dla jednego przyrostu :

Liczba redukcji długości przyrostu :

Współczynnik redukcji długości przyrostu :

Maksymalna liczba przebiegów 'line search' :

Parametr kontrolny metody 'line search' :

Maksymalna liczba korekcji BFGS :

Aktualizacja macierzy po każdym podpodziale

Aktualizacja macierzy po każdej iteracji

Zapis wyników po każdym przyroście

Tolerancja względnej normy dla sił resztkowych :

Tolerancja względnej normy dla przemieszczeń :

Pobierz ustawienia z preferencji

Zachowaj ustawienia w preferencjach OK Anuluj

Aby wybrać jeden z trzech dostępnych w programie algorytmów rozwiązywania problemu nieliniowego, należy ustawić następujące parametry:

dla metody WSTĘPNYCH NAPRĘŻEŃ: - Aktualizacja macierzy po każdym podprzedziale - NIE
- Aktualizacja macierzy po każdej iteracji - NIE

dla ZMODYFIKOWANEJ metody
NEWTONA-RAPHSONA: - Aktualizacja macierzy po każdym podprzedziale - NIE
- Aktualizacja macierzy po każdej iteracji - TAK

dla PEŁNEJ metody
NEWTONA-RAPHSONA: - Aktualizacja macierzy po każdym podprzedziale - TAK
- Aktualizacja macierzy po każdej iteracji - TAK.

Użytkownik ma również możliwość użycia procedury modyfikacyjnej BFGS (Broyden-Fletcher-GoldforbShanno). Algorytm metody BFGS modyfikuje w trakcie obliczeń macierz sztywności. Użycie algorytmu "line search" może w niektórych przypadkach poprawić zbieżność metody.

Ogólnie można stwierdzić, że najszybciej można uzyskać rozwiązanie problemu stosując metodę WSTĘPNYCH NAPRĘŻEŃ, natomiast najdłużej trwają obliczenia, jeżeli użytkownik zdecyduje się na PEŁNĄ metodę NEWTONA-RAPHSONA. Prawdopodobieństwo uzyskania zbieżności metody jest jednak największe dla PEŁNEJ metody NEWTONA-RAPHSONA, zaś najmniejsze dla metody NAPRĘŻEŃ WSTĘPNYCH.

Program automatycznie sprawdza zbieżność procesu. Iteracje są przerywane w momencie, gdy zostanie osiągnięty stan równowagi. Przyrosty przemieszczeń dUn i niezrównoważone siły dFn są wtedy równe zero (tzn. są mniejsze od zdefiniowanych dokładności dla obu wielkości). Proces iteracyjny jest również przerywany, gdy proces rozbiega się. Brak zbieżności problemu można zinterpretować jako numeryczny efekt spowodowany przeciążeniem konstrukcji. Może on być również spowodowany niestabilnością procesu numerycznego (np. gdy przyłożone obciążenie zostało podzielone na niewielką liczbę przedziałów). W takim przypadku liczba przyrostów obciążenia może zostać zwiększona w programie, co zazwyczaj pomaga w uzyskaniu zbieżności metody. Można to uczynić poprzez zmianę parametrów redukcji krok-długość.

Poniżej wymienione parametry znajdujące się w oknie dialogowym **Opcje algorytmów statycznej analizy nieliniowej** mają wpływ na przebieg obliczeń nieliniowych:

- liczba przyrostów obciążenia jest używana przy podziale obciążenia na mniejsze przedziały. Dla złożonych konstrukcji, w których wpływ efektów nieliniowych jest znaczny, obliczenia mogą się nie zbiegać, jeżeli analiza jest prowadzona dla wartości obciążenia przyłożonego w jednym kroku. Liczba przyrostów obciążenia ma wpływ na liczbę przebiegów obliczeń; im większa liczba przyrostów tym większe prawdopodobieństwo zbieżności obliczeń
- maksymalna liczba iteracji w każdym przyroście obciążenia jest używana do kontroli procesu obliczeniowego podczas jednego przyrostu obciążenia
- dopuszczalna liczba redukcji (modyfikacji) długości kroku definiuje ile maksymalnie razy może być automatycznie zmieniana liczba przyrostów obciążenia w przypadku, gdy obliczenia nie są zbieżne
- współczynnik redukcji długości kroku jest używany do modyfikacji wykorzystywanej liczby przyrostów obciążenia. Jest to tzw. opcja warunkowa, która jest używana tylko w przypadku, gdy obliczenia nie zbiegają się dla aktualnych parametrów. Jeżeli problem nie zbiega się, program automatycznie zmniejsza wielkość przyrostu obciążenia (w zależności od wartości podanego współczynnika) i kontynuuje obliczenia. Ta procedura jest powtarzana do chwili uzyskania zbieżności wyników lub do momentu, gdy w procesie iteracyjnym zostanie przekroczona dopuszczalna liczba redukcji długości kroku.

W przypadku wybrania metody *Arc-length* określone muszą zostać następujące parametry:

- liczba przyrostów obciążenia
- maksymalna liczba iteracji dla jednego przyrostu
- maksymalny współczynnik obciążenia λ_{max} - maksymalna wartość parametru obciążenia
- numer węzła, stopień swobody - numer węzła znajdującego się na dachu konstrukcji oraz kierunek przemieszczenia
- maksymalne przemieszczenie dla wybranego stopnia swobody D_{max} - maksymalna wartość przemieszczenia w wybranym węźle.

Metoda *Arc-length* jest używana podczas nieliniowej analizy pushover; jest również bardzo zalecana, gdy w modelu konstrukcji są zdefiniowane nieliniowe atrybuty konstrukcji. Metoda *arc-length* (sterowanie przemieszczeniem) powinna być stosowana, gdy przyrostowe algorytmy rozwiązywania równań poprzez sterowanie siłą nie są zbieżne.

W oknie dialogowym **Opcje algorytmów analizy nieliniowej** dostępny jest również klawisz **Dodatkowe kryteria zatrzymania analizy**, którego naciśnięcie powoduje otwarcie okna dialogowego **Kryteria zatrzymania analizy**.

W standardowej analizie nieliniowej obciążenie przykładane jest w przyrostach $d\lambda = 1.0 / X$, gdzie X - liczba przyrostów obciążenia; wynika z tego, że maksymalny możliwy współczynnik obciążenia (λ), jaki może zostać osiągnięty w przypadku zbieżności obliczeń, wynosi $\lambda_{\max}=1.0$.

Dodatkowe kryteria zatrzymania analizy znajdujące się w oknie dialogowym prezentowanym na powyższym rysunku pozwalają na przeprowadzenie analizy nieliniowej z przyrostem parametru obciążenia określonym przez użytkownika; maksymalny współczynnik obciążenia λ_{\max} jest nie określony lub może być zadany przez użytkownika.

W oknie dialogowym dostępne są następujące kryteria zatrzymania analizy:

- 1A Zniszczenie konstrukcji
- 1B Osiągnięcie współczynnika obciążenia
- 2A Uplastycznienie
- 2B Osiągnięcie stopnia uplastycznienia
- 3A Przekroczenie maksymalnego przemieszczenia dowolnego węzła
- 3B Przekroczenie maksymalnego przemieszczenia wybranego węzła
- 4A Osiągnięcie wartości odkształceń całkowitych
- 4B Osiągnięcie wartości odkształceń plastycznych.

Możliwe jest zdefiniowanie więcej niż jednego kryterium zatrzymania; definicja jest jednak ograniczona do jednego kryterium z danej grupy tj. 1, 2 lub 3. Dozwolony jest zatem wybór na przykład 1A, 2A, 3B, natomiast definicja 1A, 1B lub 2A, 2B lub 3A, 3B nie jest dopuszczona.

WYBOCZENIE

Efekt zmiany sztywności elementu pod wpływem istniejącego w nim stanu naprężenia może być również uwzględniony w formie liniowego układu równań. Analiza wyoboczeniowa bada bowiem, jaki jest wpływ przyrostu obciążenia, gdy sztywność elementu maleje. Podczas rozwiązywania liniowego problemu własnego określany jest współczynnik obciążenia krytycznego, który opisuje poziom obciążenia, dla którego macierz sztywności staje się osobliwa. Wektor własny określa postać wyoboczenia związaną z przyłożonym obciążeniem krytycznym (wartością własną).

Podczas analizy wyoboczeniowej program rozwiązuje problem własny dla zdefiniowanej konstrukcji, po zakończeniu którego użytkownik uzyskuje następujące wyniki: - wymaganą przez użytkownika liczbę postaci wyoboczenia konstrukcji

- siły krytyczne, długości wyoboczeniowe - globalną wartość obciążenia krytycznego.

ANALIZA DYNAMICZNA

W programie użytkownik może przeprowadzić różne rodzaje obliczeń dynamicznych konstrukcji. Dla analiz dynamicznych przyjmowane są takie same założenia jak dla teorii statycznych, a mianowicie: - małe odkształcenia

- małe przemieszczenia
- liniowo sprężysty materiał.

Masy używane w obliczeniach dynamicznych konstrukcji mogą być definiowane na podstawie:

- ciężaru własnego konstrukcji
- ciężaru własnego konstrukcji i skupionych mas dodanych
- ciężarów pochodzących od sił - użytkownik może zmienić wszystkie siły zdefiniowane wcześniej na masy, które mogą być użyte w trakcie prowadzonej dynamicznej analizy konstrukcji. Na przykład, gdy konstrukcja została obciążona siłami zewnętrznymi (np. ciężarem własnym), ciężary wyznaczone na podstawie tych sił mogą być brane pod uwagę podczas obliczeń dynamicznych konstrukcji.

Analiza modalna

Podczas analizy modalnej konstrukcji wyznaczane są wszystkie podstawowe wielkości opisujące postaci drgań własnych konstrukcji, tzn.: wartości własne i wektory własne konstrukcji, współczynniki udziału oraz masy udziału.

Liczba postaci wyznaczanych w trakcie analizy modalnej konstrukcji może być definiowana bezpośrednio przez użytkownika lub można ją określić poprzez podanie zakresu wartości niektórych wielkości opisujących drgania własne konstrukcji.

Jeżeli nie zostały przyłożone żadne zewnętrzne obciążenia, to założenie analizy modalnej mówiące, że

$$Q(t) = Q \sin(\omega t) \text{ prowadzi do liniowych równań drgań własnych konstrukcji } (K_0 - \omega^2 M) Q = 0.$$

Analiza harmoniczna

Jeżeli użytkownik chce przeprowadzić analizę harmoniczną konstrukcji, powinien zdefiniować geometrię konstrukcji i jej obciążenia jak dla przypadku statyki liniowej. Przyłożone siły są w analizie harmonicznej interpretowane jako amplitudy sił wymuszających. Ich częstość, kąt fazowy oraz okres są definiowane przez użytkownika.

Jeżeli do konstrukcji przyłożono siły harmoniczne o postaci $F(t) = F \sin(\theta t)$, to rozwiązywany układ równań $(K_0 - \theta^2 M) Q = F$ prowadzi po zakończeniu analizy harmonicznej konstrukcji do uzyskania amplitudy przemieszczeń, sił wewnętrznych i reakcji.

Analiza spektralna

Po zakończeniu analizy spektralnej konstrukcji użytkownik oprócz wyników uzyskiwanych dla analizy modalnej otrzymuje dodatkowo następujące parametry dla każdej dynamicznej postaci drgań:

- współczynniki udziału dla analizy spektralnej

- wartość widma wymuszenia przyspieszeniowego
- współczynniki modalne
- przemieszczenia, siły wewnętrzne, reakcje i kombinacje drgań.

Analiza sejsmiczna

Po zakończeniu analizy sejsmicznej konstrukcji użytkownik oprócz wyników uzyskiwanych dla analizy modalnej otrzymuje dodatkowo następujące parametry dla każdej dynamicznej postaci drgań:

- współczynniki udziału dla analizy sejsmicznej
- wartość widma wymuszenia sejsmicznego
- współczynniki modalne
- przemieszczenia, siły wewnętrzne, reakcje i kombinacje drgań.

Analiza czasowa (całkowanie równań ruchu)

Całkowanie równań ruchu jest to analiza pozwalająca otrzymać odpowiedź konstrukcji w wybranych punktach czasowych na zadane wymuszenie w czasie (w przeciwieństwie do innych typów analiz dostępnych w programie **Robot**, które to dają odpowiedź w formie amplitud wyłącznie w jednej, ustalonej chwili).

Całkowanie równań ruchu polega na uzyskaniu rozwiązania następującego równania zmiennej czasowej "t":

$\mathbf{M} * \mathbf{a}(t) + \mathbf{C} * \mathbf{v}(t) + \mathbf{K} * \mathbf{d}(t) = \mathbf{F}(t)$ ze znanymi wartościami początkowymi $\mathbf{d}(0)=\mathbf{d0}$ i $\mathbf{v}(0)=\mathbf{v0}$, gdzie:

- M** - macierz mas
K - macierz sztywności
C = $\alpha * \mathbf{M} + \beta * \mathbf{K}$ - macierz tłumienia
 α - mnożnik podawany przez użytkownika
 β - mnożnik podawany przez użytkownika
d - wektor przemieszczeń **v**
- wektor prędkości **a**
- wektor przyspieszeń **F** -

wektor obciążeń.

Wszystkie wyrażenia z parametrem (t) są zależne od czasu.

Przy rozwiązywaniu postawionego powyżej zadania używana jest metoda Newmarka, metoda HHT (Hilber-Hughes-Taylor) lub metoda dekompozycji. Metoda Newmarka należy do grupy algorytmów, które są bezwarunkowo zbieżne przy odpowiednio dobranych parametrach metody. Metoda stosuje następujące wzory na wartości przemieszczeń i prędkości w następnym kroku całkowania:

$$\mathbf{d}(n+1) = \mathbf{d}(n) + Dt * \mathbf{v}(n) + \frac{Dt^2}{2} * [(1-2\beta) * \mathbf{a}(n) + 2\beta * \mathbf{a}(n+1)]$$

$$\mathbf{v}(n+1) = \mathbf{v}(n) + Dt * [(1-\gamma) * \mathbf{a}(n) + \gamma * \mathbf{a}(n+1)].$$

Parametry β i γ sterują zbieżnością i dokładnością metody.

Bezwarunkowa zbieżność jest zapewniona dla $0.5 \leq \gamma \leq 2\beta$.

W programie przyjmowane są następujące wartości parametrów: $\beta = 0.25$ i $\gamma = 0.5$. Możliwa jest zmiana tych wartości, ale jedynie w przypadku wykorzystywania liniowej analizy całkowania równań ruchu, gdy wybrana jest metoda Newmarka lub Newmarka (przyspieszeniowa). Modyfikacja tych wartości (parametry *TransBeta* i *TransGamma*) jest możliwa w pliku preferencyjnym *.COV zapisanym w katalogu

CFGUSR; aby obliczenia były przeprowadzone dla innych wartości parametrów β i γ , parametry *TransBeta* i *TransGamma* należy zmieniać w pliku *.COV, a następnie wczytać ten plik preferencyjny do programu **Robot**.

Metoda Newmarka jest zalecana w przypadku krótkich historii czasowych, kiedy konstrukcja poddawana jest obciążeniom skupionym (obciążenia są rozkładane na małe kwadraty). Takie obciążenia spowodują ruch, który będzie wymagał dużej liczby form własnych do jego opisu. Stąd też metoda Newmarka będzie bardziej efektywna niż metoda dekompozycji modalnej dla tego typu zadań. Metoda Newmarka wykorzystuje wyjściowe równania ruchu bez dokonywania żadnych uproszczeń. Dokładność otrzymanego rozwiązania zależy od dokładności całkowania numerycznego równań ruchu, a dla wybranych parametrów α , β jest zdefiniowana poprzez wielkość kroku czasowego. Metoda ta nie wymaga rozwiązywania problemu własnego do wyznaczenia wartości i wektorów własnych. Dla długich historii czasowych metoda jest jednak czasochłonna, gdyż należy prowadzić obliczenia dla dużej liczby kroków czasowych z wymaganą dokładnością.

W metodzie Hliber-Hughes-Taylor (HHT) forma równania ruchu ma następującą postać:

$$M\ddot{a}_{n+1} + (1 + \alpha)C\dot{v}_{n+1} - \alpha C\dot{v}_n + (1 + \alpha)Kd_{n+1} - \alpha Kd_n = F(t_{n+1} + \alpha\Delta t)$$

gdzie: $\alpha \in [-1/3, 0]$.

Prostą metodą otrzymania rozwiązania jest zastosowanie metody dekompozycji modalnej, która oparta jest na reprezentacji ruchu konstrukcji jako superpozycji ruchu dla niesprężonych form. Stąd też metoda ta wymaga wyznaczenia wartości i wektorów własnych. Do tego celu polecamy wykorzystanie metody Lanczosa. Powinna być również wykonana weryfikacja Sturm. Metoda dekompozycji modalnej stosuje zredukowane niesprężone równania.

Równanie ruchu (bez tłumienia) można zapisać w postaci:

$$M\ddot{X} + KX = P(t), \tag{1}$$

gdzie $P(t) = \sum_{k=1}^{Ng} P_k \varphi_k(t)$, Ng - liczba "grup obciążenia", $\varphi_k(t)$ - historia czasowa dla k-tej grupy

obciążeń.

$$X(t) = \sum_{i=1}^m q_i(t) V_i \tag{2}$$

Dzięki wstawieniu równania (2) do (1) oraz uwzględnieniu tłumienia modalnego i warunków

ortogonalności $(V^T M V)_{i,j} = \delta_{i,j}$, $(V^T K V)_{i,j} = \omega_i^2 \delta_{i,j}$ otrzymujemy poniższe równanie

$$\ddot{q}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = \sum_{k=1}^n p_{ki}(t), \quad i=1,2,\dots,m$$

$$p_k(t) =$$

gdzie ξ_i - parametry tłumienia modalnego, ω_i - częstotliwość dla i-tej formy.

Każde z równań ruchu jest rozwiązywane numerycznie z dokładnością drugiego rzędu. Końcowy wektor przemieszczenia $X(t)$ dla zdefiniowanych chwil czasowych $t^* = t_1, t_2, \dots, t_s$ otrzymuje się po wstawieniu

$$q_i(t^*), \quad i=1,2,\dots,m \text{ do równań (2).}$$

Warto zwrócić uwagę na różnice między opisywanymi w tym rozdziale typami analiz, które użytkownik ma do dyspozycji w programie. Podajmy najważniejsze różnice między podobnymi do siebie typami analiz: analiza *Obciążenia ruchome* różni się od *Całkowania Równań Ruchu* tym, że pierwszy typ analizy nie uwzględnia efektów dynamicznych, natomiast różnica pomiędzy *analizą harmoniczną* a *Całkowaniem Równań Ruchu* polega na tym, że pierwszy typ analizy wyznacza odpowiedź konstrukcji wyłącznie w formie amplitud, a nie jako funkcje czasu.

Analiza Całkowanie równań ruchu posiada następujące możliwości i ograniczenia:

- dostępne są takie same typy konstrukcji i ich obciążeń jak przy stosowaniu statyki liniowej
- funkcja zmienności obciążeń może być zdefiniowana na dowolnym przypadku statycznym za wyjątkiem przypadku obciążeń ruchomych (w celu zamodelowania dynamicznego wpływu obciążenia ruchomego należy zdefiniować kolejne położenia pojazdu w osobnych przypadkach i użyć funkcji czasowych z przesunięciem fazowym odpowiadającym ruchowi pojazdu)
- dodatkowe opcje modelizacji, które są dostępne w statyce liniowej (takie jak zwolnienia, więzy sprężyste, połączenia sztywne itp.) mogą być również używane w analizie czasowej
- składowe przypadku analizy czasowej mogą zostać użyte w kombinacjach po wygenerowaniu dodatkowego przypadku zawierającego wyniki analizy dla danej składowej
- analiza pozwala na przyjęcie początkowych przemieszczeń z wybranego przypadku obciążeniowego, zakładając jednocześnie zerowe wielkości początkowych prędkości i przyspieszeń
- analiza czasowa jest rozwiązywana tylko za pomocą metody dekompozycji modalnej, co wymaga przeprowadzenia wcześniej analizy modalnej
- do określenia zmienności w czasie obciążeń z danego przypadku może być użyta tylko jedna funkcja czasowa; istnieje jednakże możliwość składania (dodawania) funkcji czasowych.

Uzyskanie satysfakcjonujących wyników dla przypadku analizy czasowej wymaga od użytkownika iteracyjnej analizy z wielokrotnymi obliczeniami dla różnych parametrów przypadku. Oznacza to niepotrzebne, ponowne rozwiązywanie analizy modalnej. Dla dużych konstrukcji sama analiza modalna może być czasochłonna, nie mówiąc o przypadku analizy czasowej. W związku z tym narzuca się potrzeba wybierania przypadków do obliczeń lub choćby zaznaczania analizy modalnej jako policzonej. Może to być także przydatne do analiz sejsmicznych.

Nieliniowa analiza Całkowanie równań ruchu pozwala uzyskać odpowiedź konstrukcji, w której zdefiniowane zostały dowolne elementy nieliniowe. Całkowanie równań ruchu polega na uzyskaniu rozwiązania następującego równania zmiennej czasowej "t": $\mathbf{M} \cdot \mathbf{a}(t) + \mathbf{C} \cdot \mathbf{v}(t) + \mathbf{N}(\mathbf{d}(t)) = \mathbf{F}(t)$ ze znanymi wartościami początkowymi $\mathbf{d}(0)=\mathbf{d}_0$ i $\mathbf{v}(0)=\mathbf{v}_0$, gdzie:

- M** - macierz mas
K - macierz sztywności

$\mathbf{C} = \alpha * \mathbf{M} + \beta * \mathbf{K}$	- macierz tłumienia
\mathbf{N}	- wektor sił wewnętrznych (związek nieliniowy z wektorem przemieszczeń \mathbf{d})
α	- mnożnik podawany przez użytkownika
β	- mnożnik podawany przez użytkownika
\mathbf{d}	- wektor przemieszczeń
\mathbf{v}	- wektor prędkości
\mathbf{a}	- wektor przyspieszeń
\mathbf{F}	- wektor obciążeń

Wektor obciążenia jest przyjmowany w postaci $\mathbf{F}^{ext}(t) = \sum_{i=1}^n \mathbf{P}_i \varphi_i(t)$, gdzie n - liczba składowych sił, \mathbf{P}_i -

i -ta składowa siły, $\varphi_i(t)$ - i -ta funkcja zależna od czasu. Wymuszenie może zostać zapisane w postaci $\mathbf{F}^{ext}(t) = -\mathbf{M} \mathbf{I}_{dir} \ddot{\varphi}_g(t)$, gdzie \mathbf{I}_{dir} jest wektorem kierunkowym ($dir = x, y, z$), a $\ddot{\varphi}_g(t)$ jest akcelerogramem.

UWAGA: Dla nieliniowej analizy całkowanie równań ruchu przyjmowane jest następujące uproszczenie: $\mathbf{C} = \alpha \mathbf{M}$.

Do rozwiązania nieliniowego zadania analizy czasowej wykorzystywane jest podejście predictor-corrector (patrz Hughes T.R.J., Belytschko T., Course notes for nonlinear finite element analysis, September, 4-8, 1995).

ANALIZA PUSHOVER

Analiza Pushover jest to statyczna, nieliniowa analiza, która pozwala w uproszczony sposób przedstawić zachowanie konstrukcji pod wpływem różnych typów obciążeń spowodowanych trzęsieniem ziemi. Wielkość obciążenia konstrukcji jest zwiększana przyrostowo zgodnie z przyjętym schematem obciążania. Zwiększanie wartości obciążenia umożliwia znalezienie słabych części konstrukcji oraz postaci zniszczenia konstrukcji. Analiza zniszczenia jest próbą oszacowania rzeczywistej wytrzymałości konstrukcji. Przy określaniu tego typu analizy konieczna jest definicja przegubów nieliniowych. W obecnej wersji programu wprowadzone zostały następujące ograniczenia:

- wszystkie nieliniowe własności, które określają ewentualne zniszczenie konstrukcji pod wpływem sił spowodowanych trzęsieniem ziemi, są skupione w przegubach plastycznych
- przeguby nieliniowe mogą być stosowane jedynie w konstrukcjach ramowych (prętowych)
- przeguby nieliniowe są traktowane jako niezależne nieliniowe połączenia dla każdego stopnia swobody w wybranym węźle (pomijana jest interakcja pomiędzy różnymi stopniami swobody).

Analiza pushover składa się z kilku wymienionych poniżej etapów:

- definicja przegubów plastycznych w modelu obliczeniowym konstrukcji
- nadanie nieliniowych własności dla przegubów (wykresy siła-przemieszczenie lub moment-rotacja)
- przeprowadzenie analizy modalnej konstrukcji, aby wyznaczyć jedną postać drgań
- definicja zestawu sił poprzecznych (te siły zależą od typu macierzy mas wykorzystywanej w analizie modalnej)
- zdefiniowanie węzła kontrolnego oraz kierunku i wartości dopuszczalnego przemieszczenia
- określenie parametrów analizy nieliniowej
- uruchomienie analizy nieliniowej; wynikiem tej analizy jest krzywa stanów równowagi $V = V(D)$, gdzie siły ścinające są zdefiniowane jako suma reakcji dla danego kierunku spowodowane odpowiednim zestawem sił poprzecznych

- wyznaczenie krzywej nośności $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$, gdzie S_a^{cap} jest przyspieszeniem spektralnym, a S_d jest przemieszczeniem spektralnym

- wygładzenie krzywej nośności
- wyznaczenie (analiza krok-po-kroku) punktu eksploatacji.

ANALIZA HARMONICZNA W DZIEDZINIE CZĘSTOTLIWOŚCI (FRF)

Analiza FRF jest typem analizy konstrukcji polegającym na sekwencyjnym badaniu analizy harmonicznej dla kolejnych wartości częstotliwości w wybranym zakresie.

Analiza harmoniczna w dziedzinie częstotliwości jest potrzebna podczas analizy podatności konstrukcji na drgania. Celem takiej analizy jest osiągnięcie Funkcji odpowiedzi częstotliwości (FRF) dla wybranego węzła modelu. Funkcja odpowiedzi częstotliwości wyraża odpowiedź konstrukcji na zadane drgania harmoniczne w dziedzinie częstotliwości. Przebieg funkcji wskazuje przy jakiej częstotliwości występuje maksymalny wpływ drgań na konstrukcję. Kontynuacją takiej analizy może być następnie analiza czasowa dla wybranej, krytycznej częstotliwości.

DYNAMICZNE WYMUSZENIE RUCHEM PIESZYCH (FOOTFALL)

Analiza Footfall jest typem analizy konstrukcji pozwalającym na badanie wpływu ludzkich kroków (interpretowanych jako siła harmoniczna w pewnym przedziale częstotliwości) na drgania konstrukcji.

Analiza polega na wyznaczeniu wertykalnej odpowiedzi (współczynnik odpowiedzi, przyspieszenie, prędkość, przemieszczenie) w węzłach konstrukcji, wywołanej obciążeniem od siły harmonicznej przyłożonej w węzłach. Obciążenie harmoniczne jest zmienne w ustalonym przedziale częstotliwości (FRF).

Są dwa podejścia do badania efektów analizy Footfall:

1. odpowiedź badana jest w tym samym węźle, do którego przyłożona zostaje siła (uproszczona - ang. self excitation)
2. badana jest odpowiedź w dowolnym węźle na wpływ siły przyłożonej do innego węzła (pełna - ang. full excitation).

ANALIZA SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNA PRĘTÓW

Analiza sprężysto-plastyczna pozwala na uwzględnienie nieliniowości materiałowej. Należy tu jednak dodać, że w założonej nieliniowości materiałowej nie uwzględniana jest zmiana sztywności materiału zależna od czynników zewnętrznych, takich jak temperatura; nie brane są również pod uwagę zagadnienia reologiczne (zmiana charakterystyk materiału w czasie). Poniżej przedstawione są podstawowe założenia analizy sprężysto-plastycznej w programie **Robot**:

- opcja działa zarówno dla konstrukcji płaskich (ramy 2D, ruszty) jak i dla konstrukcji przestrzennych (rama 3D)
- uwzględniane są tylko naprężenia normalne pochodzące od sił podłużnych i momentów zginających (nie brane są pod uwagę naprężenia styczne spowodowane siłami poprzecznymi i momentem skręcającym)
- analiza sprężysto-plastyczna prowadzona jest na wybranych prętach wskazanych przez użytkownika; zakłada się, że typ analizy nie jest globalnie zmieniany dla całej konstrukcji, gdyż analiza tego typu jest czasochłonna i wymaga definicji lokalnych warunków dla pręta (podział pręta lub przekroju, model materiału)
- analiza sprężysto-plastyczna przeprowadzana jest tylko dla prętów konstrukcji.

W obecnej wersji programu przyjęte zostały następujące metody działania w zakresie analizy sprężystoplastycznej:

- analiza na poziomie elementu: dodanie globalnych stopni swobody
Pręty dzielone są na mniejsze elementy obliczeniowe. Dodatkowe węzły i elementy obliczeniowe są niewidoczne dla użytkownika. Sposób automatycznego podziału może zostać określony przy pomocy opcji **Maksymalna długość elementu** znajdującej się w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe** (zakładka **Model konstrukcji**). Użytkownik może również definiować wartość parametru podziału wykorzystując opcję **Podział elementów w analizie sprężysto-plastycznej** znajdującą się w oknie dialogowym **Preferencje zadania**.

W każdym z elementów obliczenia stanu naprężenia prowadzone są w trzech punktach (wykorzystywana jest kwadratura Gaussa trzeciego stopnia).

- analiza na poziomie przekroju: podejście warstwowe, ale zakładamy jednolity materiał na przekroju. Przekrój dzielony jest na zbiór warstw (włókien): w przekroju zginanym dwuosiowo można mówić o strefach. W każdej ze stref sprawdzany jest stan naprężeń według założonego modelu. Siły na osi pręta obliczane są przez całkowanie sił we wszystkich strefach przekroju. Każda ze stref podziału przekroju musi mieć określone następujące parametry: współrzędne (y_i , z_i) punktu środka ciężkości strefy w układzie głównym centralnym przekroju, pole powierzchni strefy A_i , materiał M_i przypisany do strefy, gdzie i oznacza numer strefy ($i=1, \dots, N$). Analiza przebiega w ten sposób, że w każdym przyroście obciążenia obliczane są przyrosty przemieszczeń w punktach podziału na długości pręta. Następnie na podstawie przemieszczeń obliczane są odkształcenia w punktach na przekroju. Biorąc pod uwagę funkcję opisującą model materiałowy dla danej strefy obliczone są naprężenia w każdym punkcie zależnie od aktualnych odkształceń. Następnie na podstawie naprężeń wyznaczane są siły wewnętrzne. Na koniec wykonywane jest sumowanie (całkowanie) sił wewnętrznych we wszystkich punktach (strefach), tak aby otrzymać siły przekrojowe w pręcie.
- model materiału: sprężysto-idealnie plastyczny lub sprężysto-plastyczny ze wzmocnieniem: zachowanie materiału sprężyste i liniowe, w zakresie plastycznym liniowe ze wzmocnieniem; model generowany na podstawie danych dla materiału: modułu Younga (E) i granicy plastyczności (R_e).

W analizie plastycznej należy zdefiniować także sposób odciążenia. Określa on ścieżkę zachowania materiału po przekroczeniu punktu plastyczności podczas odciążenia, kiedy odkształcenia się zmniejszają (gradient odkształceń jest ujemny). Dostępne są cztery sposoby zachowania materiału: sprężysty, plastyczny, zniszczeniowy i mieszany.

Wyniki uzyskiwane z analizy sprężysto-plastycznej prętów:

Ugięcia

W trakcie analizy sprężysto-plastycznej wyznaczane są bezpośrednio ugięcia wewnątrz pręta. Uzyskiwane są wartości przemieszczeń i obrotów węzłów w wewnętrznym podziale pręta. Aby uzyskać ugięcia w dowolnym punkcie pręta, wprowadzona została interpolacja liniowa pomiędzy punktami wewnętrznego podziału.

Siły wewnętrzne

Siły wewnętrzne w pręcie są obliczane tak jak dla analizy liniowej. Na podstawie sił i momentów w węźle początkowym oraz obciążenia na długości pręta, obliczane są siły wewnętrzne w dowolnym punkcie pręta. Jedynie w przypadku analizy P-delta stosowany jest inny algorytm. Siły wewnętrzne w pręcie uwzględniają wpływ mimośrodowego spowodowanego ugięciem pręta. Ugięcia są uzyskiwane w punktach wewnętrznego podziału pręta.

Naprężenia


W analizie sprężysto-plastycznej naprężenia normalne w przekroju nie rozkładają się liniowo; obliczane są niezależnie w każdej ze stref podziału. Niektóre strefy mogą się znaleźć w zakresie plastycznym, podczas gdy inne mogą być nadal w sprężystym zakresie naprężeń. Nie da się zatem jednoznacznie określić stanu naprężeń w punkcie na długości pręta. W tabeli podawane są maksymalne i minimalne wartości naprężeń w przekroju. Dla przekrojów o charakterystyce sprężysto-plastycznej nie są dostępne rozdzielone naprężenia od zginania i sił podłużnych. Nie jest również możliwa dokładna analiza naprężeń w przekroju prętów sprężysto-plastycznych w module **Analiza naprężeń**.

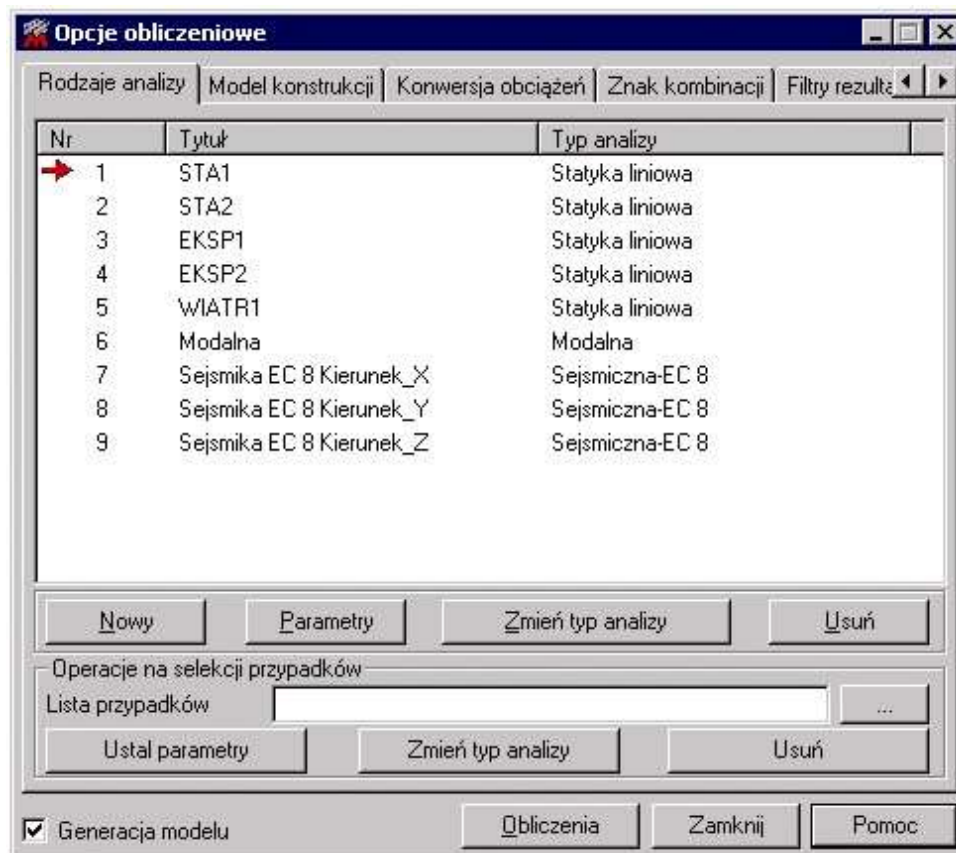
4.2.1. Tabela wyników analizy dynamicznej

Po przeprowadzeniu analizy dynamicznej konstrukcji otrzymywane są następujące wyniki przedstawiane w tabeli wyników analizy dynamicznej:

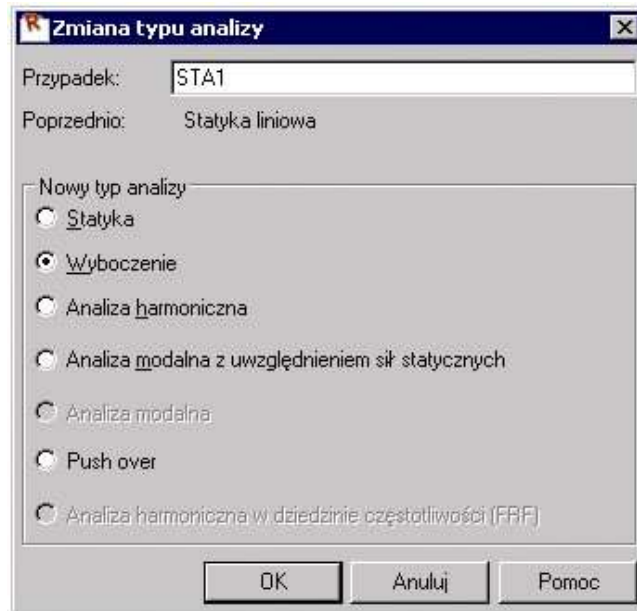
- wartość własna
- wektory własne
- częstotliwość
- pulsacja
- okres
- precyzja - dokładność obliczeń wyznaczona na zakończenie obliczeń dla poszczególnych metod używanych w programie
- tłumienie - tłumienie dla rozważanej postaci
- energia - energia potencjalna konstrukcji związana z odkształconą konstrukcją dla rozważanej konstrukcji
- średni współczynnik udziału - średni współczynnik z wartości współczynników udziału spektralnego na poszczególne kierunki (suma wartości bezwzględnych lub pierwiastek z sumy kwadratów) • sumy mas
- współczynniki spektralne.

4.3. Definicja nowego przypadku lub zmiana typu analizy

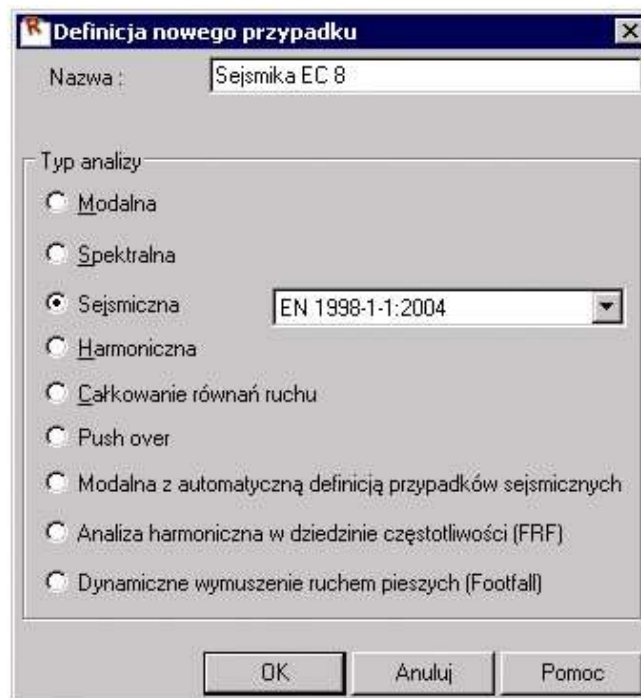
Po wybraniu komendy *Analiza / Rodzaje analizy* lub naciśnięciu ikony  na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno dialogowe. Na zakładce *Rodzaje analizy* wyszczególnione są w nim wszystkie zdefiniowane do tej pory przypadki obciążenia konstrukcji.



W oknie tym można zdefiniować nowy przypadek lub zmienić typ analizy konstrukcji dla wybranego pojedynczego przypadku. Aby zmienić typ analizy konstrukcji, należy w powyższym oknie wybrać odpowiedni przypadek obciążenia i nacisnąć klawisz **Zmień typ analizy**. Na ekranie pojawi się prezentowane poniżej okno. W nim należy określić nowy typ analizy. Po wybraniu typu analizy i naciśnięciu klawisza **OK** na ekranie pojawi się dodatkowe okno, w którym można będzie zdefiniować parametry wybranego typu analizy. Nowy typ analizy konstrukcji zostanie wpisany w oknie **Opcje obliczeniowe** w kolumnie *Typ analizy*.



Aby dodać nowy przypadek, należy w oknie **Opcje obliczeniowe** nacisnąć klawisz **Nowy**. Na ekranie pojawi się prezentowane poniżej okno. W nim należy określić nowy typ analizy. Po wybraniu typu analizy i naciśnięciu klawisza **OK** na ekranie pojawi się dodatkowe okno, w którym można będzie zdefiniować parametry wybranego typu analizy. Nowy typ analizy konstrukcji zostanie wpisany w oknie **Opcje obliczeniowe** w kolumnie *Typ analizy*.



Do operacji na wielu przypadkach służy lista i klawisze umieszczone poniżej. Listę przypadków można wpisać w polu *Lista przypadków* lub nacisnąć klawisz (...) i w oknie dialogowym **Selekcja** dokonać wyboru przypadków obciążeniowych. Operacje na selekcji przypadków można wykonać za pomocą następujących klawiszy:

- **Ustal parametry** - naciśnięcie tego klawisza pozwala na ustawienie parametrów algorytmu obliczeń analizy nieliniowej i wyboczeniowej
- **Zmień typ analizy** - naciśnięcie tego klawisza pozwala na zmianę typu przypadku na pomocniczy, nieliniowy lub wyboczeniowy oraz ustawienie parametrów obliczeniowych
- **Usuń** - naciśnięcie tego klawisza usuwa przypadki wskazane na liście.

UWAGA: Operacje ustalania parametrów i typu analizy dla listy nie dotyczą przypadków analiz dynamicznych, tzn. analizy modalnej, sejsmicznej, spektralnej, harmonicznej lub całkowania równań ruchu.

Przykładowo pokazany zostanie sposób definicji przypadku analizy czasowej (całkowania równań ruchu). Po zdefiniowaniu analizy modalnej dla konstrukcji i wybraniu opcji *Całkowanie równań ruchu* w powyższym oknie dialogowym otwarte zostaje okno dialogowe **Analiza równań ruchu**, w którym określone mogą zostać parametry analizy czasowej.

W powyższym oknie dialogowym **Analiza czasowa** znajdują się następujące parametry:

- w górnej części okna dialogowego edytowalne pole *Przypadek* zawierające nazwę przypadku analizy czasowej
- pole *Metoda* umożliwiające wybór metody rozwiązania analizy czasowej; domyślną metodą jest metoda dekompozycji modalnej; w tym polu znajduje się również klawisz **Tłumienie**, którego naciśnięcie powoduje otwarcie okna dialogowego służącego do określenia szczegółowych wielkości

tłumienia dla poszczególnych postaci drgań w przypadku metody Dekompozycji modalnej lub współczynników Rayleigh'a w przypadku metod Newmarka i Hilber-Hughes-Taylor (HHT). W przypadku metody HHT konieczna jest definicja współczynnika α

- pola edycyjne w polu *Czas*:

Krok zapisu - krok zmiennej czasowej, dla której wykonywany jest zapis wyników

Podział - liczba podziału czasowego kroku zapisu, gdzie wykonywane jest rozwiązanie metody

Koniec - końcowa wartość zmiennej czasowej dla której przeprowadzana jest analiza

Jeżeli wybrana została metoda inna niż metoda dekompozycji modalnej, to w polu *Podział* podawana jest liczba podziałów kroku czasowego (kroku zapisu wyników), aby wyznaczony mógł zostać krok całkowania, tzn. krok całkowania jest równy *Krok zapisu / Podział*. W przypadku gdy wartość podziału jest równa 1, krok zapisu wyników pokrywa się z krokiem całkowania.

W przypadku wybrania metody dekompozycji modalnej (liniowa analiza całkowania równań ruchu) algorytm wyznacza dla każdej postaci maksymalną wartość kroku całkowania równą wartości okresu podzielonej przez 20 (taka operacja jest wykonywana, aby zapewnić stabilność i dokładność otrzymanych wyników). Otrzymana w ten sposób wartość kroku jest dzielona przez wartość podziału; uzyskana wartość (np. *step_1*) jest porównywana z krokiem zapisu wyników. Jako krok całkowania przyjmowana jest mniejsza z 2 wymienionych wartości (tzn. *step_1* i krok zapisu). Należy tu jednak zwrócić uwagę na fakt, że jeżeli w obliczeniach ma być wykorzystywana pierwsza z tych wartości (tzn. *step_1*), to jest ona w niewielki sposób zmieniana, aby krok zapisu był wielokrotnością tej wielkości.

- rozwijalna lista dostępnych prostych przypadków statycznych oraz mas w kierunkach X, Y lub Z
- rozwijalna lista zdefiniowanych funkcji czasowych oraz podgląd wykresu wybranej funkcji
- pole edycyjne *Współczynnik*
- pole edycyjne *Przesunięcie fazowe*

- klawisz **Definicja funkcji**

Definicja funkcji czasowej może być prowadzona na dwa sposoby w oknie dialogowym **Definicja funkcji czasu**:

- * wpisując wartości punktu czasowego T [s] i bezwymiarowej wartości funkcji F(T) w odpowiednie pola edycyjne i naciskając każdorazowo klawisz **Dodaj**; kolejne punkty funkcji są wpisywane na listę definiującą przebieg funkcji
- * naciskając klawisz **Dodaj wyrażenie**; powoduje to otwarcie okna dialogowego, w którym zdefiniowany może zostać przebieg funkcji za pomocą wyrażeń matematycznych (dodawanie, odejmowanie, mnożenie, dzielenie, funkcje trygonometryczne, potęgowanie, pierwiastek kwadratowy).
- tabela zawierająca następujące kolumny: przypadek-funkcja-współczynnik-faza, gdzie: *Przypadek* określa numer wybranego przypadku lub kierunek mas
Funkcja to nazwa funkcji czasowej wybranej do danego przypadku
Współczynnik - współczynnik zwiększający dla wartości funkcji czasowej dla danego przypadku, domyślna wartość współczynnika wynosi 1.0 *faza* - przesunięcie fazowe funkcji czasowej dla danego przypadku, domyślna wartość wynosi 0.0.

W oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe** znajduje się również pięć zakładek:

- *Model konstrukcji*
- *Konwersja obciążeń*
- *Znak kombinacji*
- *Filtry rezultatów*
- *Deformacja wybozczeniowa*.

Na zakładce *Model konstrukcji* w polu *Generacja węzłów* znajdują się trzy opcje:

- generacja węzłów w miejscu przecięcia prętów ukośnych - opcja umożliwiająca generację dodatkowego węzła w miejscu przecięcia ukośnych prętów konstrukcji
- generacja węzłów w miejscu przecięcia prętów pionowych/poziomych - opcja umożliwiająca generację dodatkowego węzła w miejscu przecięcia poziomych i pionowych prętów konstrukcji

- generacja węzłów w miejscu przecięcia prętów z powierzchniowymi elementami skończonymi - opcja umożliwiająca generację dodatkowego węzła w miejscu przecięcia prętów z powierzchniowymi elementami skończonymi.

Dodatkowo w tym polu znajdują się dwie opcje: lista prętów, które mają być pominięte podczas generacji węzłów w miejscach przecięć oraz lista obiektów, które mają być pominięte podczas generacji modelu konstrukcji.

Definicja przypadku początkowego dla analizy nieliniowej pozwala na uwzględnienie rezultatów pierwszego przypadku jako początkowego, startowego stanu obciążeń, przemieszczeń i naprężeń dla wybranych przypadków analizy. Aby uaktywnić uwzględnianie przypadku startowego, należy włączyć opcję *Użyj pierwszy przypadek jako początkowy dla wybranych przypadków nieliniowych*.

Należy tu dodać, że przypadkiem początkowym jest zawsze pierwszy przypadek na liście, według numeracji nadanej przez użytkownika (UWAGA: przypadkiem startowym nie może być przypadek analizy modalnej). Jeżeli przypadek startowy jest przypadkiem pomocniczym, to zostanie on obliczony pomimo statusu przypadku pomocniczego.

Przypadek początkowy skojarzony z przypadkami pomocniczymi i z kombinacjami nie jest uwzględniany w kombinacjach zdefiniowanych przy użyciu takich przypadków lub kombinacji; natomiast przypadek nieliniowy skojarzony z przypadkiem początkowym i użyty w kombinacji powoduje wystąpienie przypadku początkowego w kombinacji.

Kombinacja skojarzona z przypadkiem początkowym powoduje uwzględnienie rezultatów nieliniowej analizy tego przypadku jako startowego stanu dla dalszej analizy. Obciążenia, dla których prowadzona jest dalsza analiza, nie zawierają już składowych przypadku startowego, za wyjątkiem sytuacji, kiedy pojawia się on jako składnik kombinacji; wtedy uwzględniana jest tylko ta część obciążeń, która nie została uwzględniona w pierwszym kroku analizy (wynikająca z różnicy między wartością użytego współczynnika a 1.0).

Jeśli w konstrukcji występują elementy kablowe, to zawsze pierwszy przypadek jest traktowany jako przypadek początkowy dla wszystkich pozostałych przypadków, niezależnie od tego czy opcja *Użyj pierwszy przypadek jako początkowy dla wybranych przypadków nieliniowych* została włączona, czy też nie. Przypadek początkowy jest dla elementów kablowych traktowany jako przypadek montażowy służący do wstępnego sprzężenia kabli.

W polu *Lista przypadków* należy wpisać numery przypadków, dla których zostanie uwzględniony wstępny stan z przypadku początkowego. Listę przypadków można także wypełnić wykorzystując okno dialogowe **Selekcja**, które może zostać otwarte po naciśnięciu klawisza (...).

Przypadek początkowy należy stosować do przypadków i kombinacji analizy nieliniowej. Dla analizy liniowej jest on ignorowany; w przypadku analizy liniowej należy uwzględnić taki przypadek w zwykłej kombinacji przypadków.

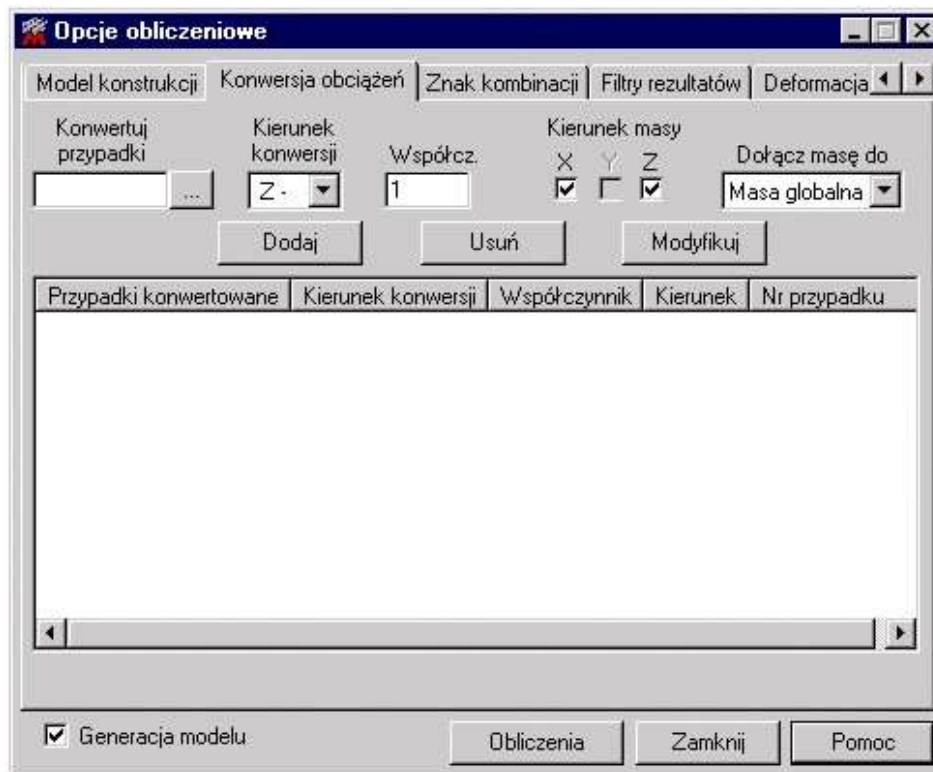
Przypadek początkowy nie jest uwzględniany dla następujących typów przypadków:

- liniowej analizy statycznej przypadków prostych i kombinacji
- całkowania równań ruchu
- analizy dynamicznej tj. modalnej, sejsmicznej, spektralnej i harmonicznej.

Przypadek początkowy można uwzględnić dla nieliniowej kombinacji przypadków; automatycznie jest on uwzględniany, jeśli choć jedna ze składowych kombinacji zawiera przypadek początkowy. Nie dotyczy to jednak sytuacji, gdy składową kombinacji jest przypadek pomocniczy lub inna kombinacja z nadanym przypadkiem początkowym.

W polu *Tolerancja tworzenia modelu konstrukcji* określony może zostać parametr definiujący dokładność definicji konstrukcji. Naciśnięcie klawisza **Obliczenie tolerancji** powoduje wyznaczenie dokładności definicji konstrukcji (standardowo przyjmowana jest liczba 1 mm; jeśli jest mniejsza od 1mm, to podawana jest wyznaczona liczba). Standardowo w programie jest przyjmowana domyślna wartość tolerancji (1mm), ale użytkownik może zdefiniować nową wartość tolerancji. Naciśnięcie klawisza **Generacja modelu obliczeniowego** powoduje utworzenie modelu konstrukcji. Generowane będą prętowe lub powierzchniowe elementy skończone oraz przecięcia prętów lub prętów z powierzchniowymi elementami skończonymi zgodnie z opcjami określonymi w tym oknie dialogowym.

Na zakładce *Konwersja obciążeń* znajdują się opcje służące do konwersji obciążeń statycznych na masy wykorzystywane podczas obliczeń dynamicznych.



Program **Robot** pozwala użytkownikowi na jednokrotną definicję obciążeń/mas. Nie jest wymagana osobna definicja obciążeń statycznych wykorzystywanych podczas analizy statycznej konstrukcji i mas branych pod uwagę podczas analizy dynamicznej konstrukcji. Na podstawie zdefiniowanych obciążeń statycznych utworzone mogą zostać masy wykorzystywane podczas obliczeń dynamicznych.

Aby dokonać konwersji obciążeń statycznych zdefiniowanych dla przypadków analizy statycznej na masy wykorzystywane podczas obliczeń dynamicznych konstrukcji, należy:

- określić przypadki obciążenia dla których prowadzona będzie konwersja obciążeń na masy (należy podać numery przypadków obciążeniowych, kierunek konwersji oraz dodatkowo mnożnik wartości obciążenia statycznego)
- określić zbiór kierunków globalnego układu współrzędnych (X, Y i Z), na których masy będą aktywne
- określić przypadek analizy dynamicznej, który będzie wykorzystywał utworzone z obciążeń masy; po wybraniu opcji *dołącz do masy globalnej*, masy wyznaczone z obciążeń uwzględniane będą we wszystkich przypadkach analizy dynamicznej konstrukcji
- nacisnąć klawisz **Dodaj**.

Obok klawisza **Dodaj** znajdują się jeszcze dwa klawisze umożliwiające:

- **Usuń** - usunięcie wybranego przypadku obciążenia z listy przypadków obciążenia, które będą konwertowane na masy
- **Modyfikuj** - zmianę parametrów wybranego przypadku obciążenia z listy przypadków obciążenia, które będą konwertowane na masy.

Podczas konwersji obciążeń na masy zachowywany jest rodzaj obciążenia; innymi słowy siły skupione są automatycznie konwertowane na masy skupione, obciążenie ciągłe na masy rozłożone, a momenty na masy obrotowe. Przekonwertowane masy można zobaczyć w tabeli mas, którą można uruchomić wybierając opcję menu: *Obciążenia / Tabela mas*. Wartości mas są prezentowane w tabeli jako wartości ciężarów (wykorzystywane jest przyspieszenie ziemskie). W odróżnieniu od mas zdefiniowanych przez

użytkownika, masy powstałe w wyniku konwersji oznaczone są w tabeli symbolem **CNV** w polu **MEMO**. Symbol jest również informacją o pochodzeniu masy dla procedury konwertującej.

UWAGA: W przypadku konstrukcji powłokowych nie jest możliwa konwersja obciążenia ciśnieniem hydrostatycznym na masy.

W tabeli *Masy dodane* na zakładce *Konwersja obciążeń* prezentowane są dane dotyczące mas (bez możliwości edycji, ale z możliwością wydruku). Poszczególne kolumny tabeli przedstawiają:

- *Przypadek konwertowany* - numer i nazwa konwertowanego przypadku
- *Kierunek konwersji* - zależnie od wybranego kierunku **X+** / **Y+** / **Z+** / **X-** / **Y-** / **Z-** • *Współczynnik* - współczynnik bezwymiarowy
- *Kierunek masy* - **X**, **Y** lub **Z**
- *Przypadek* - numer przypadku modalnego, do którego wykonujemy konwersję lub *dynamiczne* dla wszystkich przypadków.

Opcje znajdujące się w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe** na zakładce *Znak kombinacji* służą do definiowania znaku generowanej kombinacji dla przypadków analizy sejsmicznej lub spektralnej. Określany jest przypadek analizy sejsmicznej lub spektralnej oraz postać dominująca (numer postaci, która będzie dominująca dla określania znaku kombinacji).

Jeżeli użytkownik nie wybierze żadnej postaci dominującej (tzn. będzie to postać "0"), to przyjmowany będzie taki znak kombinacji jaki został wyliczony ze wzoru na typ kombinacji sejsmicznej. W dolnej części okna dialogowego można wybrać domyślny typ obliczania kombinacji sejsmicznej:

CQC - Complete Quadratic Combination

SRSS - Square Root of Sums of

Squares 10% - 10% double sum 2SM -

double sum.

Wzory umożliwiające wyznaczenie kombinacji kwadratowej znakowanej R_Q dla kierunków H1, H2 i V:

$$R_{Q1}^s = \text{znak} \left(R_x \frac{(R_{H1}^{s/i})^3}{|R_{H1}^{s/i}|} + R_y \frac{(R_{H2}^{s/j})^3}{|R_{H2}^{s/j}|} + R_z \frac{(R_V^{s/k})^3}{|R_V^{s/k}|} \right) \times \sqrt{ \left| R_x \frac{(R_{H1}^{s/i})^3}{|R_{H1}^{s/i}|} + R_y \frac{(R_{H2}^{s/j})^3}{|R_{H2}^{s/j}|} + R_z \frac{(R_V^{s/k})^3}{|R_V^{s/k}|} \right| }$$

$$R_{Q2}^s = \text{znak} \left(R_x \frac{(R_{H1}^{s/i})^3}{|R_{H1}^{s/i}|} + R_y \frac{(R_{H2}^{s/j})^3}{|R_{H2}^{s/j}|} - R_z \frac{(R_V^{s/k})^3}{|R_V^{s/k}|} \right) \times \sqrt{ \left| R_x \frac{(R_{H1}^{s/i})^3}{|R_{H1}^{s/i}|} + R_y \frac{(R_{H2}^{s/j})^3}{|R_{H2}^{s/j}|} - R_z \frac{(R_V^{s/k})^3}{|R_V^{s/k}|} \right| }$$

$$R_{Q3}^s = \text{znak} \left(R_x \frac{(R_{H1}^{s/i})^3}{|R_{H1}^{s/i}|} - R_y \frac{(R_{H2}^{s/j})^3}{|R_{H2}^{s/j}|} + R_z \frac{(R_V^{s/k})^3}{|R_V^{s/k}|} \right) \times \sqrt{ \left| R_x \frac{(R_{H1}^{s/i})^3}{|R_{H1}^{s/i}|} - R_y \frac{(R_{H2}^{s/j})^3}{|R_{H2}^{s/j}|} + R_z \frac{(R_V^{s/k})^3}{|R_V^{s/k}|} \right| }$$

$$R_{Q4}^s = \text{znak} \left(R_x \frac{(R_{H1}^{s/i})^3}{|R_{H1}^{s/i}|} - R_y \frac{(R_{H2}^{s/j})^3}{|R_{H2}^{s/j}|} - R_z \frac{(R_V^{s/k})^3}{|R_V^{s/k}|} \right) \times \sqrt{ \left| R_x \frac{(R_{H1}^{s/i})^3}{|R_{H1}^{s/i}|} - R_y \frac{(R_{H2}^{s/j})^3}{|R_{H2}^{s/j}|} - R_z \frac{(R_V^{s/k})^3}{|R_V^{s/k}|} \right| }$$

gdzie:

$$R_{H1}^{s/i} = \text{znak}(R_{H1}^i) \times R_{H1}$$

$$R_{H2}^{s/j} = \text{znak}(R_{H2}^j) \times R_{H2}$$

$$R_V^{s/k} = \text{znak}(R_V^k) \times R_V$$

R_{H1} - odpowiedź kwadratowa wielkości obliczonej ze wszystkich odpowiedzi modalnych przypadku sejsmicznego lub spektralnego dla pierwszego kierunku poziomego

R_{H2} - odpowiedź kwadratowa wielkości obliczonej ze wszystkich odpowiedzi modalnych przypadku sejsmicznego lub spektralnego dla drugiego kierunku poziomego

R_v - odpowiedź kwadratowa wielkości obliczonej ze wszystkich odpowiedzi modalnych przypadku sejsmicznego lub spektralnego dla kierunku pionowego

R_x, R_y, R_z - współczynniki określane jak dla kombinacji kwadratowej w oknie dialogowym **Definicja kierunku**.

Filtry rezultatów jest to piąta zakładka w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe**. Opcje znajdujące się w tym oknie dialogowym pozwalają na globalną selekcję wyników otrzymanych dla węzłów, prętów itd. zdefiniowanych w konstrukcji.

W powyższym oknie dialogowym znajdują się pola edycyjne: *lista przypadków*, *lista węzłów*, *lista prętów*, *lista paneli/obiektów* i *lista elementów skończonych*. W tych polach edycyjnych wpisane mogą zostać numery przypadków, węzłów, prętów itp., dla których prezentowane będą wyniki obliczeń konstrukcji; innymi słowy w tabeli wyników prezentowane będą tylko te wiersze tabeli, które odpowiadają wpisanym numerom przypadków, węzłów, prętów itp., natomiast wyniki dla innych (nie wpisanych) przypadków, węzłów, prętów itp. nie będą prezentowane w tabeli.

UWAGA: *Jeżeli pola edycyjne znajdujące się na tej zakładce są puste, to oznacza to, iż obliczenia przeprowadzone zostaną dla wszystkich przypadków obciążenia, węzłów, prętów, paneli, obiektów i elementów skończonych zdefiniowanych w konstrukcji.*

Opcje znajdujące się na zakładce *Deformacja wybocheniowa* służą do generacji modelu konstrukcji uwzględniającego deformacje wywołane wybraną postacią wybocheniową lub liniową kombinacją postaci (deformacje nie wywołują wstępnych sił czy naprężeń w konstrukcji; uwzględnienie deformacji powoduje jedynie zmianę geometrii konstrukcji).

Wykorzystanie opcji wymaga utworzenia przypadku analizy wybocheniowej oraz przeprowadzenia obliczeń konstrukcji. Zmiana geometrii konstrukcji powoduje usunięcie konstrukcji zdeformowanej; konieczne są ponowne obliczenia konstrukcji (obliczenia powinny zostać wykonane zarówno dla konstrukcji początkowej - obliczenie nowych postaci wybocheniowych, jak i dla konstrukcji zdeformowanej). Wszystkie wyniki wyświetlane są na konstrukcji zdeformowanej, a przemieszczenia węzłów są podane w stosunku do początkowej geometrii zdefiniowanej przez użytkownika.

Jeżeli opcja *Uwzględnij postać wybocheniową jako deformację wstępną* jest włączona, to dostępne stają się opcje w oknie dialogowym i istnieje możliwość definicji parametrów deformacji. Naciśnięcie klawisza **Zastosuj** powoduje zaakceptowanie wyboru (czyli włączenia/wyłączenia deformacji), natomiast naciśnięcie klawisza **Zamknij** powoduje zamknięcie okna dialogowego bez zapamiętania zmian.

W polu *Parametry* znajduje się lista wyboru *Przypadek*, która zawiera zdefiniowane dla konstrukcji przypadki wybocheniowe. Na podstawie wybranego przypadku wybocheniowego ustalane są deformacje wybocheniowe. Poniżej znajdują się pola *Postać* i *Współczynnik*, które pozwalają na określenie numeru postaci wybocheniowej oraz współczynnika z jakim wybrana postać zostanie uwzględniona w kombinacji liniowej.

Skalowanie deformacji jest możliwe po zdefiniowaniu wartości w polu *Przemieszczenie maksymalne*; wartość ta umożliwi skalowanie wybranej postaci lub kombinacji postaci.

Jeżeli opcja *Pomiń przypadek dla konstrukcji z deformacjami* jest wyłączona, to dany przypadek wybocheniowy będzie liczony dla konstrukcji zdeformowanej; jeśli ta opcja jest włączona, to przypadek zostanie pominięty podczas obliczeń.

Aby zdefiniować w konstrukcji deformacje wybocheniowe, należy zdefiniować przypadek wybocheniowy i przeprowadzić obliczenia. Następnie wykorzystując dostępne opcje należy określić wstępną deformację pochodzącą od wybranej postaci wybocheniowej. Po dokonaniu zmiany geometrii konstrukcji status wyników zmienia się na NIEAKTUALNY, zatem należy ponownie przeprowadzić obliczenia konstrukcji. Obliczenia dla konstrukcji ze zdefiniowanymi deformacjami wybocheniowymi przebiegają zatem dwuetapowo:


- etap 1 - obliczenia konstrukcji początkowej (bez deformacji)
- etap 2 - obliczenia konstrukcji zdeformowanej.

Obydwa etapy są wykonywane automatycznie.

4.3.1. Przykład definicji przypadku analizy modalnej konstrukcji (drgania własne konstrukcji)

Przykład pokazuje w jaki sposób zdefiniowana może zostać analiza modalna konstrukcji oraz w jaki sposób przyjmować jej parametry.

Aby zdefiniować analizę modalną dla dowolnie zdefiniowanej konstrukcji, należy:


- otworzyć okno dialogowe **Opcje obliczeniowe** (komenda menu *Analiza / Rodzaje analizy* lub nacisnąć ikonę )
- w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe** nacisnąć klawisz **Nowy**
- w oknie dialogowym **Definicja nowego przypadku** wybrać opcję *modalna* oraz wpisać nazwę przypadku np.: *Drgania własne konstrukcji*
- nacisnąć klawisz **OK** w oknie dialogowym **Definicja nowego przypadku**
- w oknie dialogowym **Parametry analizy modalnej** określić parametry analizy (np. typ macierzy mas, liczba wyznaczonych postaci własnych itp.)
- nacisnąć klawisz **OK** w oknie dialogowym **Parametry analizy modalnej**.

Aby rozpocząć obliczenia postaci drgań własnych konstrukcji, należy nacisnąć klawisz **Obliczenia** w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe**.

4.3.2. Przykład definicji przypadku analizy sejsmicznej i spektralnej

Przykład pokazuje w jaki sposób zdefiniowana może zostać analiza sejsmiczna i spektralna konstrukcji oraz w jaki sposób przyjmować parametry tych analiz.

Aby zdefiniować analizę sejsmiczną dla dowolnie zdefiniowanej konstrukcji, należy najpierw zdefiniować analizę modalną konstrukcji (patrz przykład pokazany w rozdziale 4.3.1). Po zdefiniowaniu przypadku analizy modalnej można rozpocząć definicję przypadku analizy sejsmicznej; aby tego dokonać, należy:

- otworzyć okno dialogowe **Opcje obliczeniowe** (komenda menu *Analiza / Rodzaje analizy* lub nacisnąć ikonę )
- w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe** nacisnąć klawisz **Nowy**
- w oknie dialogowym **Definicja nowego przypadku** wybrać opcję *sejsmiczna* oraz wybrać normę sejsmiczną, na podstawie której przeprowadzona zostanie analiza sejsmiczna konstrukcji; wybieramy amerykańską normę sejsmiczną UBC97
- nacisnąć klawisz **OK** w oknie dialogowym **Definicja nowego przypadku**
- w oknie dialogowym **Parametry UBC97** określić parametry analizy sejsmicznej:
 - Strefa: 2A
 - Grunt: Sc
 - współczynnik $R = 1$
- nacisnąć klawisz **Definicja kierunku**; w oknie dialogowym **Kierunek** zdefiniować następujące parametry:
 - Kierunek/X: 1
 - Kierunek/Y: 1
 - Kierunek/Z: 0,67
 - Opcja *Użyj wartości znormalizowane*: wyłączona
 - Opcja *Rozbicie na kierunki/Aktywne*: włączona (rozbicie przypadku sejsmicznego na kierunki pozwala na automatyczną generację trzech przypadków sejsmicznych różniących się kierunkiem wymuszenia)
 - Opcja *Rozbicie na kierunki/Tworzenie kombinacji/Kombinacja kwadratowa/Aktywna*: włączona


(kombinacja kwadratowa jest kombinacją pomiędzy przypadkami wymuszeń w różnych kierunkach)
Opcja *Rozbicie na kierunki/Kombinacja*: CQC (wybór typu kombinacji)


- nacisnąć klawisz **OK** w oknie dialogowym **Kierunek**
- nacisnąć klawisz **OK** w oknie dialogowym **Parametry UBC97**.

Aby rozpocząć obliczenia postaci drgań własnych konstrukcji i obliczeń sejsmicznych konstrukcji, należy nacisnąć klawisz **Obliczenia** w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe**.

Analiza sejsmiczna może być również przeprowadzana przy użyciu analizy spektralnej. Poniżej pokazany zostanie przykład definicji spektrum podobnego do tego, które było wykorzystane podczas definicji analizy sejsmicznej.

Aby zdefiniować analizę spektralną dla dowolnie zdefiniowanej konstrukcji, należy najpierw zdefiniować analizę modalną konstrukcji (patrz przykład pokazany w rozdziale 4.3.1). Po zdefiniowaniu przypadku analizy modalnej można rozpocząć definicję przypadku analizy spektralnej; aby tego dokonać, należy:

- otworzyć okno dialogowe **Opcje obliczeniowe** (komenda menu *Analiza / Rodzaje analizy* lub nacisnąć ikonę )
- w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe** nacisnąć klawisz **Nowy**
- w oknie dialogowym **Definicja nowego przypadku** wybrać opcję *spektralna*
- nacisnąć klawisz **OK** w oknie dialogowym **Definicja nowego przypadku**
- w oknie dialogowym **Parametry analizy spektralnej** podać nazwę przypadku analizy spektralnej (np. analiza spektralna wg UBC97) i nacisnąć klawisz **Definicja spektrum**
- w oknie dialogowym **Definicja spektrum** określić następujące parametry analizy spektralnej:
 - Nazwa spektrum: spektrumUBC97
 - Tłumienie : 0,05
 - Odcięta (oś X): Okres
 - Rzędna (oś Y): Przyspieszenie
 - w obu polach opcja *Skala logarytmiczna* pozostaje wyłączona
- w oknie dialogowym **Definicja spektrum** nacisnąć klawisz **Dodaj**
- przejść na zakładkę *Punkty* i zdefiniować punkty o następujących współrzędnych:

X: 0	Y: 1,667
X: 0,111	Y: 4,413
X: 0,555	Y: 4,413
X: 0,6	Y: 4,086
X: 0,7	Y: 3,501
X: 0,8	Y: 3,065
X: 0,9	Y: 2,724
X: 1	Y: 2,452
X: 1,5	Y: 1,63
X: 2	Y: 1,226
X: 2,5	Y: 0,981
X: 5	Y: 0,981
- po zakończeniu definicji spektrum zamknąć okno dialogowe **Definicja spektrum** naciskając klawisz **Zamknij**
- w oknie dialogowym **Parametry analizy spektralnej** wskazać zdefiniowane spektrum (spektrumUBC97), które ma zostać użyte do obliczeń, a następnie nacisnąć klawisz 
- nacisnąć klawisz **Definicja kierunku**; w oknie dialogowym **Kierunek** zdefiniować następujące parametry:
 - Kierunek/X: 1
 - Kierunek/Y: 1
 - Kierunek/Z: 0,67
 - Opcja *Użyj wartości znormalizowane*: wyłączona

Opcja *Rozbicie na kierunki/Aktywne*: włączona (rozbicie przypadku sejsmicznego na kierunki pozwala na automatyczną generację trzech przypadków sejsmicznych różniących się kierunkiem wymuszenia)

Opcja *Rozbicie na kierunki/Tworzenie kombinacji/Kombinacja kwadratowa/Aktywna*: włączona (kombinacja kwadratowa jest kombinacją pomiędzy przypadkami wymuszeń w różnych kierunkach)

Opcja *Rozbicie na kierunki/Kombinacja*: CQC (wybór typu kombinacji)

- naciśnięcie klawisz **OK** w oknie dialogowym **Kierunek**
- naciśnięcie klawisz **OK** w oknie dialogowym **Parametry analizy spektralnej**.

Aby rozpocząć obliczenia postaci drgań własnych konstrukcji i obliczeń sejsmicznych konstrukcji zgodnie ze zdefiniowanym spektrum w analizie spektralnej, należy naciśnąć klawisz **Obliczenia** w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe**.

Dla tak przyjętego spektrum w analizie spektralnej otrzymane wyniki obliczeń konstrukcji są porównywalne z wynikami otrzymanymi dla zdefiniowanej wcześniej analizy sejsmicznej.

4.4. Restart obliczeń

Opcja służy do ponownego uruchomienia obliczeń wybranych przypadków z zachowaniem rezultatów dla uprzednio obliczonych przypadków. Opcja jest dostępna po wykonaniu pełnych obliczeń, gdy status rezultatów (widoczny na górnej belce okna programu) brzmi: *Wyniki MES: aktualne*. Opcja dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy: *Analiza / Restart obliczeń*. Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno.



Restart obliczeń umożliwia zmianę parametrów obliczeniowych lub metod rozwiązywania dla dowolnego typu analizy i uruchomienie obliczeń tylko dla wybranych przypadków. Działanie takie jest szczególnie przydatne dla analizy dynamicznej albo nieliniowej dużych konstrukcji, ze względu na czasochłonność rozwiązania. Wykorzystując opcję restartu obliczamy tylko wybrane przypadki, a wyniki pozostałych pozostają dostępne i niezmienione.

W przypadku analizy nieliniowej zdarza się, że pewne przypadki obciążeniowe nie osiągają zbieżności dla ustalonych metod i parametrów obliczeniowych. W takiej sytuacji za pomocą opcji restartu można zmienić parametry obliczeniowe (przykładowo: liczbę przyrostów obciążenia lub kryterium zatrzymania analizy), a następnie tylko dla tych przypadków uruchomić ponowne obliczenia. W przypadku analiz dynamicznych

może się okazać, że obliczona liczba postaci drgań własnych nie spełnia kryterium założonego udziału mas i nie daje pełnego obciążenia w analizie sejsmicznej. Opcja restartu daje możliwość doliczenia kolejnych wartości własnych z zachowaniem postaci drgań obliczonych uprzednio.

Po wywołaniu opcji pojawia się okno dialogowe z listą zdefiniowanych przypadków.

Wybór przypadku na liście polega na podświetleniu przypadku. Naciśnięcie klawisza **Ustal parametry** lub dwukrotne naciśnięcie nazwy przypadku powoduje otwarcie okna dialogowego, w którym określone mogą zostać parametry obliczeniowe danego przypadku. Zawartość okna dialogowego zależy od typu zdefiniowanej analizy: - analiza statyczna

- analiza wyboczeniowa

- analiza harmoniczna

- analiza modalna oraz analiza modalna z uwzględnieniem sił statycznych - analiza sejsmiczna.

Okna dialogowe parametrów dla poszczególnych typów analizy zawierają taki sam zestaw opcji jak podczas definicji wybranego przypadku; dowolny parametr może zostać zmieniony do restartu obliczeń.

Dodatkowa opcją jest doliczanie postaci własnych analizy modalnej. Opcja ta polega na obliczeniu większej liczby postaci własnych bez ponownych obliczeń istniejących już postaci. Po włączeniu opcji *Restart obliczeń z doliczaniem postaci* można określić żądaną liczbę postaci (wszystkie inne parametry są niedostępne). Należy podać pełną liczbę żądanych postaci, a nie tylko liczbę postaci, która ma zostać dodatkowo doliczona. W obecnej wersji programu opcja doliczenia postaci własnych jest zawsze realizowana za pomocą metody iteracji podprzestrzennej blokowej (zmieniana jest metoda rozwiązywania analizy modalnej, jeżeli istniejące postaci były obliczone inną metodą).

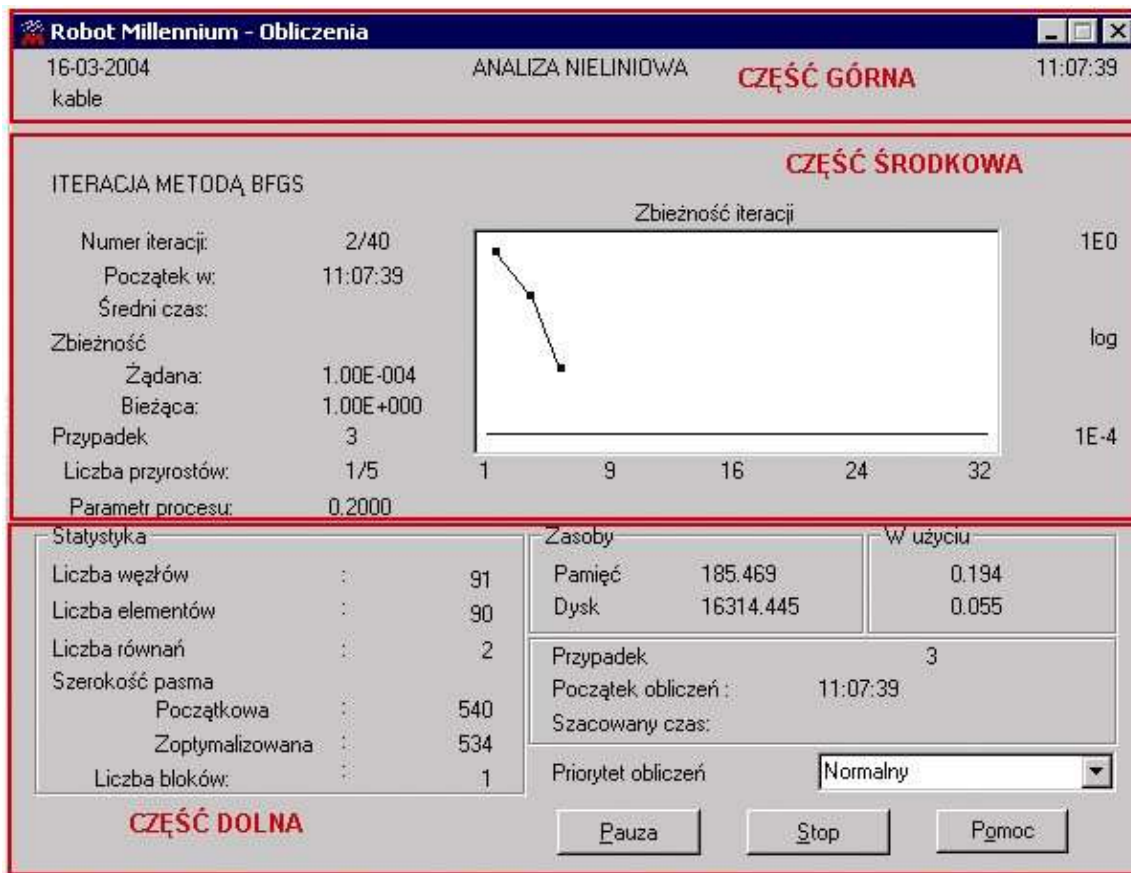
Po dokonaniu zmian parametrów analizy i naciśnięciu klawisza **OK** okno parametrów jest zamykane, a edytowany przypadek zostaje włączony (pojawia się symbol ✓); oznacza to, że będzie powtórnie liczony. Jeżeli zmiana parametrów obliczeniowych danego przypadku wymaga ponownych obliczeń innych przypadków (przykładowo: analiza modalna i sejsmiczna), to wszystkie one zostają zaznaczone do ponownego obliczenia. Można zrezygnować z restartu obliczeń dla danego przypadku przez wyłączenie pola wyboru na liście przypadków. Jeżeli zostały zmienione parametry przypadku, ale przypadek został wyłączony na liście obliczanych przypadków, to taki przypadek zostanie zaznaczony ikoną w kolorze czerwonym.

Naciśnięcie klawisza **Restart obliczeń** powoduje uruchomienie obliczeń tylko tych przypadków, które zostały wybrane na liście. Wyniki pozostałych przypadków pozostają dostępne i niezmienione.

Naciśnięcie klawisza **Anuluj** powoduje zamknięcie okna z listą przypadków (dokonane zmiany parametrów obliczeniowych nie są zapamiętywane).

4.5. Wizualizacja procesu obliczeniowego

Po rozpoczęciu obliczeń zdefiniowanej konstrukcji na ekranie pojawia się okno dialogowe **Robot - Obliczenia**, w którym pokazywane są poszczególne etapy obliczeń konstrukcji.



Okno dialogowe można podzielić na trzy zasadnicze części:

- **górną** niezależną od wybranego typu analizy i solwera), w której podawane są następujące informacje: aktualna data i godzina oraz typ analizy konstrukcji; dodatkowo pokazywana jest nazwa aktualnie analizowanego zadania
- **środkową**, która zależy od wybranego typu analizy i solwera (wybór solwera jest dokonywany w oknie dialogowym **Preferencje zadania** na zakładce *Analiza konstrukcji*); w tej części okna podawane są informacje dotyczące poszczególnych etapów obliczeń konstrukcji, a aktualnie wykonywany etap analizy jest podświetlany. Dostępne są następujące metody analizy konstrukcji (typy solwera):

Obliczenia statyczne

- metoda frontalna
- metoda skyline
- metoda sparse
- metoda iteracyjna

Obliczenia dynamiczne (podstawowe metody)

- metoda iteracyjna podprzestrzenna lub metoda iteracji podprzestrzennej blokowej
- metoda Lanczosa
- metoda redukcji bazy

Obliczenia nieliniowe

- metoda przyrostowa

- **dolną**, niezależną od wybranego typu analizy i solwera; w tej części okna podawane są następujące informacje.

w lewym dolnym rogu okna dialogowego podawane są następujące informacje dotyczące wielkości rozwiązywanego zadania:

- liczba węzłów, - liczba elementów,
- liczba równań w rozwiązywanym układzie równań,
- szerokość pasma macierzy (metoda SKYLINE) lub szerokość frontu (metoda FRONTALNA), przed rozpoczęciem i po zakończeniu optymalizacji.

w prawym dolnym rogu okna dialogowego podawane są również informacje dotyczące wymaganej i wykorzystywanej wielkości pamięci RAM oraz zasobów dyskowych. Szacowany jest również czas trwania obliczeń.

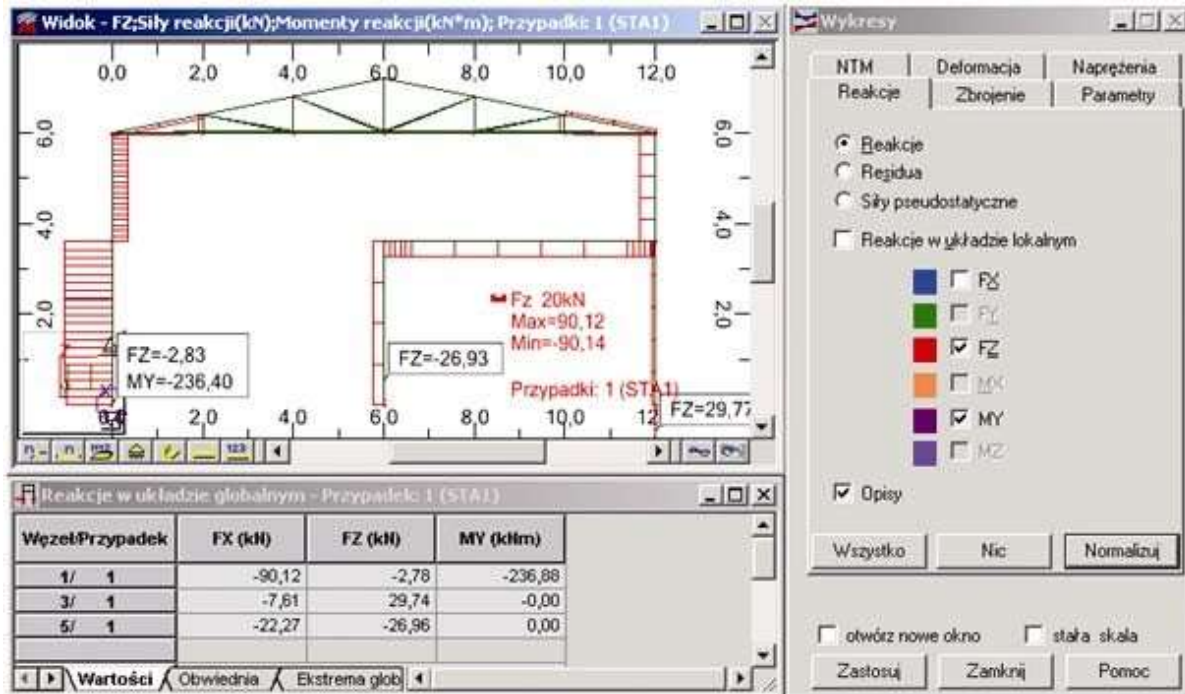
Naciśnięcie klawisza **Pauza** w trakcie obliczeń konstrukcji powoduje zatrzymanie analizy konstrukcji, natomiast naciśnięcie klawisza **Stop** powoduje przerwanie obliczeń.

WYBRANE POZYCJE LITERATURY

- K.J. BATHE, *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*, Prentice Hall, New Jersey 1982
- E. L.WILSON, *An eigensolution strategy for large systems*, Computers&Structures, Vol.16, No. 1-4, pp. 259-265, 1983
- E.L. WILSON, *A new method of dynamic analysis for linear and non-linear systems. Finite Elements in Analysis and Design*, 1, 1985, 21-23, North-Holland
- E.L.WILSON, *Three dimensional dynamic analysis of structures*, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA, 1996
- R.W.CLOUGH, J.PENZIEN, *Dynamics of Structures*, McGraw-Hill Book Comp., 1975
- S.YU. FIALKO, *Investigations of the Initial Imperfections Influence to Natural Vibrations of Ribbed Conical Shells*, Soviet Applied Mechanics, 1982, 18, N11, pp.118 - 122 (In Russian)
- S. YU. FIALKO, *Non-steady vibrations of ribbed conical shells under the influence of local loads*, Soviet Applied Mechanics, 1987, v23, N6, p. 547-552
- S. YU. FIALKO, *High-performance aggregation element-by-element iterative solver for large-scale complex shell structure problems*, Archives of Civil Engineering, XLV, 2, 1999, p.193-207
- S. YU. FIALKO, *High-performance aggregation element-by-element Ritz-gradient method for structure dynamic response analysis*, CAMES (Computer assisted mechanics - engineering sciences), IV, 2000
- G. GAMBOLATI, G. PINI, F. SARTORETTO, *An improved iterative optimization technique for the leftmost eigenpairs of large symmetric matrices*, J. Comp. Phys., 74: 41 - 60, 1988
- G. GAMBOLATI, G. PINI, F. SARTORETTO, *Accelerated simultaneous iterations for large finite element eigenproblems*, J. Comp. Phys., 81: 53 - 69, 1989
- M. PAPADRAKAKIS, *A partial preconditioned conjugate gradient method for large eigenproblems*, Comp. Meth. Appl. Mech. Eng., 62: 195 - 207, 1987
- M. PAPADRAKAKIS, *Solving large-scale problems in mechanics*, John Wiley & Sons Ltd, 1993
- S. BITZARAKIS, M. PAPADRAKAKIS, A. KOTSOPULOS, *Parallel solution techniques in computational structural mechanics*, Comp. Methods Appl. Mech. Engrg. 1997, 148, p.75-104
- T.J.R. HUGHES, M. FERENCZ, *Implicit solution of large-scale contact and impact problems employing an EBE preconditioned iterative solver*, IMPACT 87 Int. Conference on Effects of Fast Transient Loading in the Context of Structural Mechanics, Lausanne, Switzerland, August 26-27, 1987
- T.J.R. HUGHES, M. FERENCZ, J.O.HALLQUIST, *Large-scale vectorized implicit calculations in solid mechanics on a CRAY X-MP/48 utilizing EBE preconditioned conjugate gradients*, Comput. Meths. Appl. Mech. Engrg., 61
- B. N. PARLETT, *The Symmetric Eigenvalue Problem*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632, 1980
- V. E. BULGAKOV, M. E. BELYI, K. M. MATHISEN, *Multilevel aggregation method for solving large-scale generalized eigenvalue problems in structural dynamics*, Int. J. Numer. Methods Eng., 40: 453 - 471, 1997
- V. E. BULGAKOV, *Iterative aggregation technique for large-scale finite element analysis of mechanical systems*, Comput. Struct, 52: N4, 829-840, 1994
- V. E. BULGAKOV, G. KUHN, *High-performance multilevel iterative aggregation solver for large finiteelement structural analysis problems*, Int. J. Numer. Methods Eng., 38: 3529-3544, 1995

5. ANALIZA WYNIKÓW

Po zakończeniu obliczeń konstrukcji wyniki analizy można oglądać w dwojakiej formie: w postaci graficznej (wykresy prezentowane dla poszczególnych prętów konstrukcji) oraz w postaci tabelarycznej (tabele prezentujące poszczególne składowe przemieszczeń, reakcji, sił wewnętrznych itp.). Najprościej jest przeglądać wyniki po wybraniu ekranu **REZULTATY / REZULTATY** (w przypadku konstrukcji prętowych) lub **REZULTATY / MAPY** (w przypadku konstrukcji płytowo-powłokowych lub objętościowych). Ekran monitora podzielony zostanie na trzy części (rysunek poniżej przedstawiany jest dla konstrukcji prętowej): edytor graficzny, w którym prezentowana jest tworzona konstrukcja, okno dialogowe **Wykresy** (lub **Mapy**) oraz tabela **Reakcje**.



W programie istnieje opcja zabezpieczająca przed utratą wyników obliczeń konstrukcji (pojawieniem się statusu obliczeń konstrukcji: *Nieaktualne*), gdy po wykonanych obliczeniach dokonana jest w programie operacja, która zmienia dane o konstrukcji zapisane w pliku *.RTD.

W programie dostępny jest globalny status blokady wyników. Istnieją trzy metody jego ustawienia:

- ręcznie przez użytkownika - w menu *Rezultaty* znajduje się opcja *Rezultaty zamrożone*, która może być włączana/wyłączana; tym samym wyniki obliczeń konstrukcji są odpowiednio blokowane lub odblokowywane (*UWAGA: opcja jest dostępna tylko wtedy, gdy wyniki obliczeń konstrukcji są Aktualne*)
- automatycznie na podstawie ustawień w oknie dialogowym *Preferencje zadania* - na zakładce *Analiza konstrukcji* znajduje się opcja *Automatyczne zamrażanie wyników obliczeń konstrukcji*; jeżeli opcja jest włączona, to po każdym obliczeniu konstrukcji (czyli wtedy, gdy status wyników obliczeń konstrukcji zmienia się na *Aktualne*) wyniki obliczeń konstrukcji automatycznie są zamrażane; domyślnie opcja jest włączona
- półautomatycznie na akcję użytkownika - dotyczy tylko odmrażania wyników obliczeń; jeżeli wyniki obliczeń są zamrożone i użytkownik dokona dowolnej operacji, której efektem będzie zmiana w danych dotyczących konstrukcji, to na ekranie pojawi się komunikat z ostrzeżeniem o ewentualnej utracie aktualności wyników obliczeń; zaakceptowanie powoduje zmianę danych dotyczących konstrukcji i odmrożenie wyników obliczeń (nie zaakceptowanie powoduje, że zmiana w konstrukcji nie zostanie dokonana i status wyników nie będzie zmieniony).

Podkreślić należy fakt, że jeśli dokonana zostanie **dowolna** operacja w programie, która prowadzi do zmiany danych dotyczących konstrukcji, to na ekranie pojawi się komunikat z ostrzeżeniem (jeśli oczywiście wyniki są zamrożone). Oznacza to na przykład, że jeśli zdefiniowana będzie kombinacja ręczna (operacja po obliczeniach konstrukcji poprawna), to ostrzeżenie się również pojawi. Oczywiście użytkownik będzie mógł zaakceptować ostrzeżenie i zdefiniować kombinację, a następnie ręcznie zamrozić wyniki obliczeń.

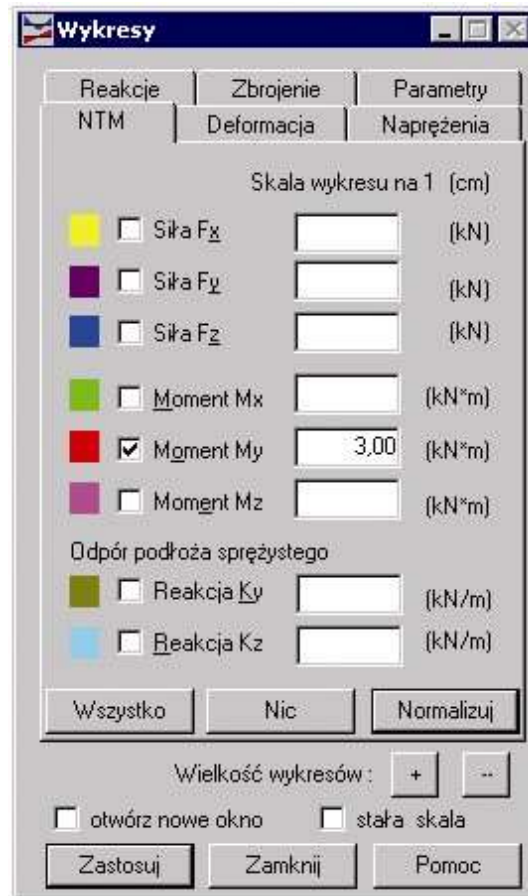
5.1. Wykresy

Okno **Wykresy** służy do prezentowania deformacji konstrukcji oraz przedstawiania na prętach konstrukcji wykresów wybranych sił i naprężeń. Opcja dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Rezultaty / Wykresy na prętach* lub wybranie ekranu **REZULTATY-WYKRESY**. Okno dialogowe **Wykresy** składa się z sześciu zakładek: *NTM*, *Deformacja*, *Naprężenia*, *Reakcje*, *Zbrojenie* i *Parametry*.

W dolnej części okna znajdują się opcje:

- *Wielkość wykresów*: '+' - naciśnięcie tego klawisza powoduje, że zmniejszana jest liczba jednostek na 1 cm wykresu wybranej wielkości
- *Wielkość wykresów*: '-' - naciśnięcie tego klawisza powoduje, że zwiększana jest liczba jednostek na 1 cm wykresu wybranej wielkości
- *otwórz nowe okno* - na ekranie pojawi się nowe, dodatkowe okno, w którym prezentowane będą wykresy wybranych w oknie **Wykresy** wielkości
- *stała skala* - jeżeli ta opcja jest włączona, to skala będzie zachowywana dla wszystkich prezentowanych wykresów po zmianie przypadku obciążeniowego (opcja jest wygodna przy porównywaniu otrzymanych wyników wybranej siły przekrojowej dla różnych przypadków obciążeniowych).

Przykładowo po wybraniu zakładki *NTM* na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno dialogowe.



W tym oknie wybrane mogą zostać wyznaczone siły wewnętrzne, których wykresy prezentowane będą na prętach konstrukcji. Naciśnięcie klawisza **Zastosuj** powoduje prezentowanie w oknie edytora graficznego wykresy wybranych wielkości.

Po wybraniu zakładki *Deformacja* do prezentacji wybrane mogą zostać przemieszczenia otrzymane w trakcie statycznej analizy konstrukcji oraz postaci drgań własnych uzyskane dla przypadków dynamicznych analizy konstrukcji.

Dla niektórych typów analizy konstrukcji dostępnych w programie **Robot** uzyskujemy wyniki zarówno analizy statycznej i dynamicznej/wyoboczeniowej. Przykładami takich typów analizy konstrukcji są:

- analiza wyoboczeniowa (rezultaty statyki + postaci wyoboczenia)
- analiza modalna z uwzględnieniem statyki (rezultaty statyki + postaci drgań)
- analiza sejsmiczna (rezultaty dla sił pseudostatycznych w każdej postaci + postaci drgań przypadku modalnego).

Aby usystematyzować prezentację wyników dla przypadków analizy konstrukcji, które posiadają wyniki analizy statycznej (wykresy) i analizy dynamicznej/wyoboczeniowej (postaci własne), w menu znajdują się dwie opcje (menu *Obciążenia / Wybierz typ rezultatów*): - Przemieszczenia - Postaci własne.

Wymienione opcje (przemieszczenia, postaci własne) są aktywne zależnie od typu analizy w aktywnym przypadku:

- dla analizy modalnej: tylko typ *Postaci własne*
- dla analizy sejsmicznej: tylko typ *Przemieszczenia* z dostępną selekcją postaci
- dla analizy spektralnej: tylko typ *Przemieszczenia* z dostępną selekcją postaci
- dla analizy wyoboczeniowej: *Przemieszczenia + Postaci własne*
- dla analizy modalnej z uwzględnieniem sił statycznych: *Przemieszczenia + Postaci własne*

- dla pozostałych typów analizy: tylko typ *Przemieszczenia* bez selekcji postaci.
- Ogólnie można powiedzieć, że w trybie postaci własne nie są widoczne wszelkie wyniki graficzne dla sił i naprężeń. Pokazywane są tylko przemieszczenia dla wektorów własnych w kolejnych postaciach.

Na tej zakładce dostępne są również opcje do animacji wykresów deformacji konstrukcji prezentowanych na ekranie. Aby uruchomić animację, należy podać dwa parametry animacji: liczbę tworzonych klatek oraz liczbę klatek na sekundę. Po naciśnięciu klawisza **Start** program przygotowuje animację wybranej wielkości na podstawie podanych parametrów i rozpoczyna wykonywanie animacji. W trakcie prezentacji animacji na ekranie pojawia się pasek narzędziowy umożliwiający zatrzymanie, wznowienie odtwarzania animacji, przewinięcie animacji itp. Można również zapisać stworzoną animację deformacji konstrukcji do pliku o rozszerzeniu *.avi. Istnieje także możliwość wczytania i odtworzenia pliku *.avi, w którym zapisano stworzoną wcześniej deformację konstrukcji.

Po wybraniu zakładki *Naprężenia* do prezentacji wybrane mogą zostać składowe naprężeń otrzymane w trakcie statycznej analizy konstrukcji.

Na zakładce *Reakcje* wybrane mogą zostać następujące wielkości do prezentacji:

- reakcje: siły reakcji - wartości sił reakcji podporowych i momenty reakcji - wartości momentów podporowych
- residua: siły resztkowe - sumy sił w poszczególnych węzłach konstrukcji (sprawdzenie równowagi sił w węzłach konstrukcji) i momenty resztkowe - sumy momentów w poszczególnych węzłach konstrukcji (sprawdzenie równowagi momentów w węzłach konstrukcji)
- siły pseudostatyczne - siły od prostego przypadku obciążenia wygenerowanego na podstawie postaci przypadku analizy sejsmicznej lub spektralnej.

Siły i momenty są prezentowane w globalnym układzie współrzędnych. Po wybraniu zakładki *Zbrojenie* na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.



W tym oknie wybrane mogą zostać wielkości otrzymane po obliczeniach teoretycznej powierzchni zbrojenia prętów żelbetowych: w pierwszym od góry polu:

- zbrojenie teoretyczne - zbrojenie górne (wzdłuż boku o długości b), zbrojenie dolne (wzdłuż boku o długości h)
- zbrojenie rzeczywiste - zbrojenie górne (wzdłuż boku o długości b), zbrojenie dolne (wzdłuż boku o długości h)

w drugim od góry polu:

- teoretyczny i rzeczywisty stopień zbrojenia w trzecim od góry polu:
- teoretyczny i rzeczywisty rozstaw strzemion (zbrojenia poprzecznego) w pierwszym od dołu polu:
- liczbę prętów górnych (zbrojenie górne) - wzdłuż boku o długości b
- liczbę prętów dolnych (zbrojenie dolne) - wzdłuż boku o długości h.

Po wybraniu zakładki *Parametry* na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno dialogowe.



W powyższym oknie może być wybrany sposób prezentacji wykresów na konstrukcji:

- w polu *Opisy wykresów* można zdecydować, w jaki sposób prezentowane na wykresie będą opisy wartości:

brak - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to opisy wykresów wielkości dostępnych w oknie **Wykresy** nie będą prezentowane *karteczki* - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to opisy wykresów wielkości dostępnych w oknie **Wykresy** będą prezentowane w postaci karteczek prezentujących wartości w wybranych punktach prętów; opisy są odsunięte od wykresów *tekst* - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to opisy wykresów wielkości dostępnych w oknie **Wykresy** będą prezentowane w postaci wartości w wybranych punktach prętów; opisy umieszczone są prostopadłe do pręta

Dla dwóch opcji (*karteczki* i *tekst*) dostępne staje się pole wyboru *Wartości*, które służy do ograniczenia wyświetlania liczby opisów wykresów prezentowanych na widoku. Dostępne są następujące opcje: *wszystkie* (opisy wykresów są wyświetlane na każdym elemencie obliczeniowym na jego początku i końcu oraz w miejscach wartości maksymalnej i minimalnej), *lokalne ekstrema* (opisy wykresów są wyświetlane tylko dla wartości maksymalnej i minimalnej na pręcie; opcja jest szczególnie przydatna, jeśli pręty są podzielone na dużą liczbę elementów obliczeniowych i nie interesują nas wartości pośrednie, a tylko wartości ekstremalne na całym pręcie), *globalne ekstrema* (opisy są wyświetlane tylko dla globalnej wartości maksymalnej i minimalnej, pokazując wartości ekstremalne dla całej konstrukcji)

w dolnej części pola *Opisy wykresów* znajdują się dwie opcje (*Max* i *Min*) pozwalające na wybór koloru karteczek i opisu wartości maksymalnych i minimalnych na wykresie (wybór koloru może być również dokonany w oknie dialogowym **Preferencje** na zakładce *Parametry wyświetlania / Wykresy dla płyt / punkty minimalne / maksymalne*)

- w polu *Wartości dodatnie i ujemne* można zdecydować, czy kolorem rozróżniane będą dodatnie i ujemne wartości prezentowanej wielkości
- w polu *Wypełnianie* można określić sposób wypełnienia wykresu: kreskowe lub pełne.

Każdy wykres prezentowany w edytorze graficznym można wydrukować. Istnieją dwie drogi, aby tego dokonać:

- będąc w edytorze graficznym należy wybrać komendę *Plik / Drukuj* - spowoduje to wydrukowanie zawartości edytora graficznego
- będąc w edytorze graficznym należy wybrać komendę *Plik / Zrzuć ekran*, a następnie komendę *Plik / Kompozycja wydruku*.

Więcej szczegółów dotyczących wydruków w systemie **Robot** zostanie podanych w rozdziale 8. tego podręcznika.

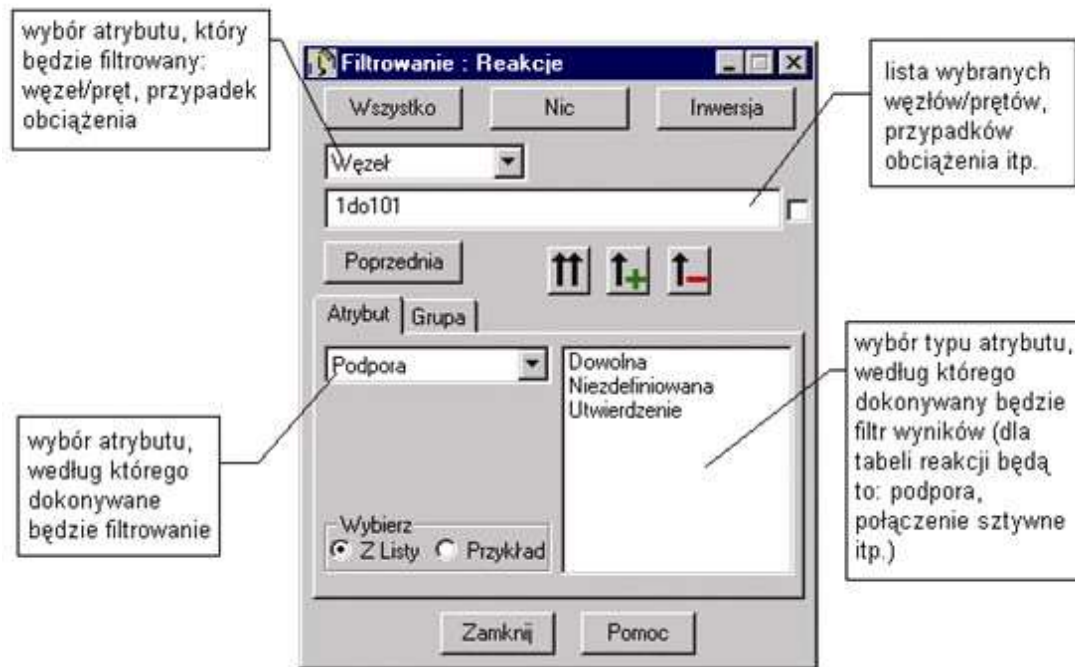
5.2. Tabele

Po zakończeniu obliczeń standardowo otwierana jest tabela zawierająca reakcje w węzłach podporowych wyznaczone podczas analizy konstrukcji. Tabele z innymi wynikami obliczeń konstrukcji (przemieszczenia, naprężenia, siły wewnętrzne itp.) można przedstawić na ekranie po wybraniu opcji *Widok / Tabele* i wyselekcjonowaniu w oknie dialogowym wielkości, dla których ma być prezentowana tabela. Przykładową tabelę z wartościami reakcji pokazano na poniższym rysunku.

Węzeł/Przypadek	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Przypadek 3	WIATR2					
Suma całkowita	0,00	-168,00	-0,00	50,31	0,00	0,00
Suma reakcji	0,00	-168,00	-0,00	-1176,00	0,00	0,00
Suma sił	0,0	168,00	0,0	-1176,00	0,0	0,0
Weryfikacja	0,00	-0,00	-0,00	0,00	0,00	0,00
Precyzja	2,33032e-01	2,99834e-0				
Przypadek 4	SM1					
Suma całkowita	0,00	-0,00	49,48	0,00	0,00	0,00

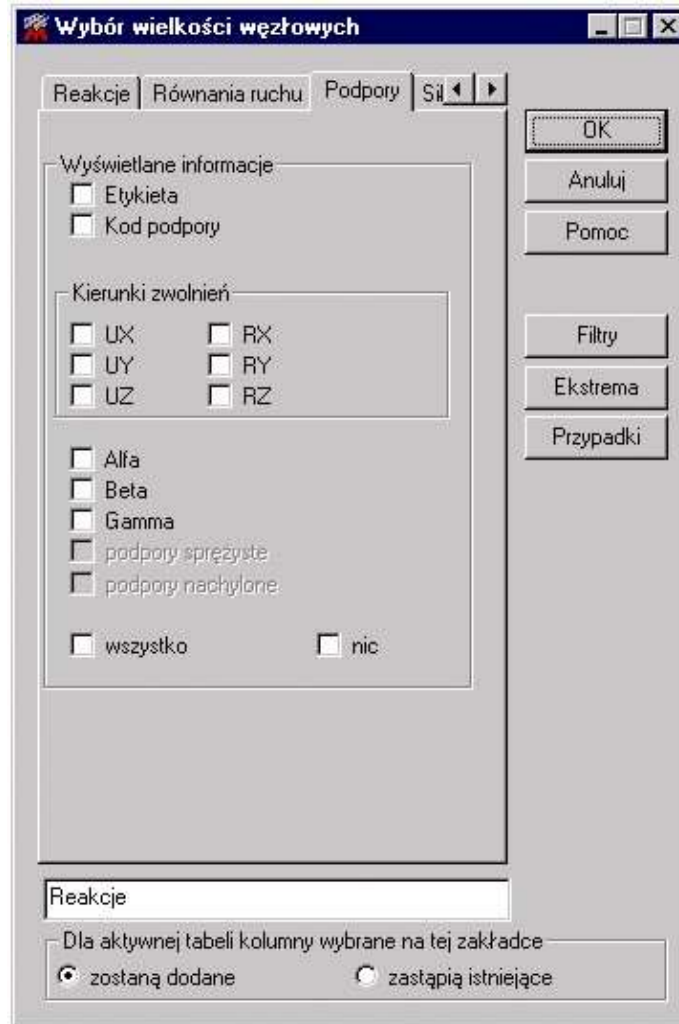
Na dole tabeli wynikowej znajdują się cztery zakładki: *Wartości*, *Obwiednia*, *Ekstrema globalne* i *Info*. Aby przewinąć pole z zakładkami, należy kliknąć w strzałki wskazujące odpowiednio na przewijanie w prawo lub w lewo. Wybranie zakładki *Wartości* powoduje prezentację wartości wielkości wynikowych (reakcji, sił wewnętrznych itp.) dla wszystkich węzłów/prętów konstrukcji i przypadków obciążeniowych zdefiniowanych dla konstrukcji. Po wybraniu zakładki *Obwiednia* prezentowane będą maksymalne i minimalne wartości wybranych do prezentacji w tabeli wielkości dla wszystkich węzłów/prętów konstrukcji. Wybranie zakładki *Ekstrema globalne* powoduje wyświetlenie minimalnych i maksymalnych wartości wybranych do prezentacji w tabeli wielkości ze wszystkich wartości otrzymanych w trakcie analizy konstrukcji. Zakładka *Info* pokazuje informacje dla których węzłów, prętów i przypadków obciążenia prezentowane będą w tabeli wielkości uzyskane w trakcie analizy konstrukcji.

Standardowo w tabeli na zakładce *Wartości* prezentowane są wyniki obliczeń dla wszystkich węzłów/prętów i przypadków obciążenia zdefiniowanych w konstrukcji. Aby z otrzymanych wyników analizy konstrukcji wybrać te najbardziej interesujące użytkownika, należy będąc kursorem w tabeli nacisnąć prawy klawisz myszki i w pojawiającym się na ekranie menu kontekstowym wybrać opcję *Filtry*. Otwarte zostanie okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku (jest to przykładowe okno dialogowe dla tabeli z reakcjami w węzłach podporowych konstrukcji).



W tym oknie określony może być zakres prezentowanych w tabeli wyników: wybrane mogą zostać węzły/pręty i przypadki obciążenia dla których przedstawiane będą wyniki w tabeli. Można tego dokonać wykorzystując klawisze znajdujące się w górnej części okna (**Wszystko**, **Nic**, **Inwersja**, **Poprzednia**) lub opcje znajdujące się na zakładce *Atrybuty*. Wybrane węzły/pręty, przypadki obciążenia zostaną wpisane do odpowiedniego pola znajdującego się w górnej części okna dialogowego **Filtry**.

Tabela z wynikami analizy konstrukcji może być dowolnie komponowana. Po zakończeniu obliczeń konstrukcji na ekranie pojawia się tabela z wartościami reakcji dla węzłów podporowych konstrukcji. W tej tabeli dodane mogą zostać kolejne kolumny zawierające dane i pozostałe wyniki obliczeń. Aby tego dokonać, należy będąc kursorem w tabeli nacisnąć prawy klawisz myszki i z menu kontekstowego wybrać komendę *Kolumny*. Powoduje to otwarcie okna dialogowego przedstawionego na poniższym rysunku, w którym można wybrać wielkości do prezentacji w tabeli. Okno składa się z kilku zakładek (*Ogólne*, *Przemieszczenia*, *Reakcje* itp.). Po wybraniu jednej lub kilku wielkości w tym oknie (pojawia się przy nich symbol "✓") na dowolnej z zakładek i naciśnięciu klawisza **OK** w tabeli pojawią się dodatkowe kolumny, w których prezentowane będą wybrane przez użytkownika wielkości. Jako przykład pokazano poniżej zakładkę *Podpory* (nie dokonano wyboru żadnej z opcji w oknie dialogowym).





W dolnej części powyższego okna znajdują się dwie opcje:

- kolumny zostaną dodane do tabeli - wybranie tej opcji powoduje, w tabeli zostaną dodane dodatkowe kolumny zawierające wyselekcjonowane w powyższym oknie dialogowym wielkości
- kolumny zastąpią istniejące - wybranie tej opcji powoduje, w tabeli zostaną usunięte dotychczas prezentowane kolumny, a ich miejsce zajmą kolumny z wybranymi w oknie dialogowym wielkościami.

Podobnie jak dla wykresów zawartość każdej tabeli można wydrukować. Drukowanie tabeli można wykonać w dwojaki sposób:

- mając aktywną tabelę wybrać w menu komendę *Plik / Drukuj*; spowoduje to wydrukowanie zawartości aktualnie prezentowanej w tabeli zakładki (**UWAGA: zawartości tabeli nie można wydrukować, gdy tabela jest w trybie Edycji**)
- mając aktywną tabelę wybrać z menu komendę *Plik / Zrzuć ekran* (powoduje to zapis zawartości tabeli do wykorzystania w wydruku złożonym), a następnie komendę *Plik / Kompozycja wydruku*.

Więcej szczegółów dotyczących kompozycji wydruku przedstawiono w rozdziale 8. tego podręcznika. Istnieje również możliwość skopiowania całej lub części tabeli do arkusza kalkulacyjnego (Excel, Lotus itp.). Aby to uczynić, należy podświetlić całą tabelę lub jej część, nacisnąć kombinację klawiszy Ctrl+C lub nacisnąć ikonę , a następnie po otwarciu arkusza kalkulacyjnego nacisnąć kombinację


klawiszy Ctrl+V lub ikonę  .

Ciekawą opcją, której wyniki przedstawiane są w postaci tabeli, jest *Oszacowanie kosztów*. Opcja służy do szacowania kosztów projektowanej konstrukcji. Opcja dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Narzędzia / Oszacowanie kosztów*. Aby otrzymać kosztorys, należy na początku zdefiniować w oknie dialogowym **Oszacowanie kosztów** pewne grupy przekrojów (na ogół profile stalowe mają różne ceny w zależności od typu przekroju) oraz warstwy ochronne zabezpieczające profile.

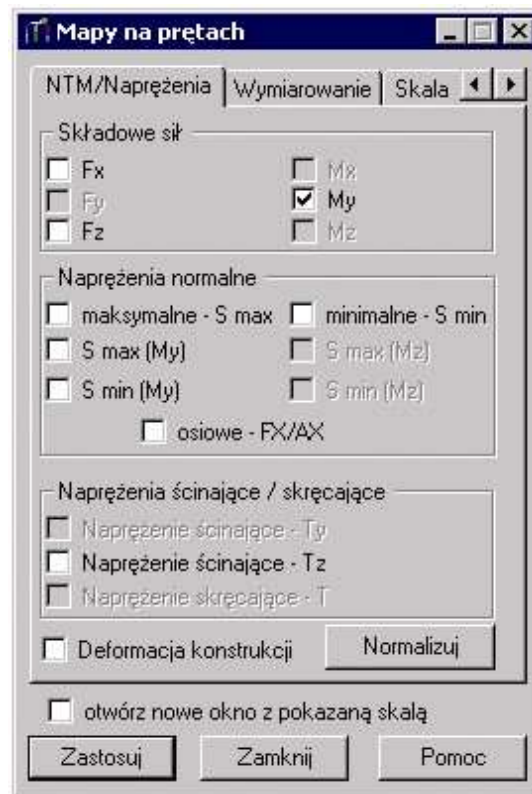
Po zdefiniowaniu grup i rodzajów warstw ochronnych należy przypisać przekroje do właściwych grup. Przypisanie przekrojów do odpowiednich grup i warstw ochronnych kończy szacowanie kosztów. Kosztorys w formie tabeli jest dostępny po naciśnięciu klawisza **Zastosuj** w oknie dialogowym **Oszacowanie kosztów** lub wybraniu komendy menu *Widok / Tabele* i wybraniu opcji *Oszacowanie kosztów* w oknie dialogowym **Tabele - dane i rezultaty**.

5.3. Mapy na prętach

Opcja służy do prezentowania kolorowych map sił przekrojowych, naprężeń, deformacji itp. dla elementów konstrukcji prętowych. Opcja dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Rezultaty / Mapy na prętach*
- z paska narzędziowego przez naciśnięcie ikony *Mapy na prętach* .

Okno dialogowe **Mapy na prętach** składa się z czterech zakładek: *NTM/Naprężenia*, *Wymiarowanie*, *Skala* i *Parametry*. Dla konstrukcji prezentowana może być w jednym oknie tylko jedna wielkość wybrana w prezentowanym poniżej oknie (przykładowo pokazano zakładkę *NTM/Naprężenia*).



W tym oknie wybrane mogą zostać wielkości, dla których prezentowane będą mapy:

- w polu *Składowe siły*: FX, FY, FZ, MX, MY, MZ

- w polu *Naprężenia normalne*: naprężenia maksymalne (od M_y i M_z), osiowe F_x/A_x
- w polu *Naprężenia ścinające/skręcające*: naprężenia ścinające T_Y i T_Z , naprężenia skręcające T .

W dolnej części okna dialogowego znajduje się opcja *Deformacja konstrukcji*. Włączenie tej opcji powoduje, że na ekranie prezentowana będzie konstrukcja odkształcona pod wpływem przyłożonego obciążenia.

W tej części okna znajduje się również klawisz **Normalizuj**, którego naciśnięcie powoduje, iż wykresy wybranej wielkości będą prezentowane w taki sposób, że skala dostosowywana będzie do maksymalnej i minimalnej wartości wybranej wielkości.

Na zakładce *Wymiarowanie* wybrane mogą zostać do prezentacji następujące wielkości związane z wymiarowaniem prętów konstrukcji: współczynnik wyężenia, długość pręta, smukłość Lay , smukłość Laz . Jeżeli wybrana zostanie opcja *Plastyczny współczynnik wyężenia*, to na ekranie prezentowana będzie wielkość oznaczająca procent włókien w przekroju poprzecznym pręta, które uległy uplastycznieniu. W dolnej części okna dialogowego znajdują się opcja *Siły z uwzględnieniem zespolenia z płytą*. Włączenie opcji FR_x , FR_z lub MR_y powoduje prezentację sił lub momentu zredukowanych do środka ciężkości żelbetowej belki, w której uwzględniono współpracę z płytą żelbetową.

Opcje znajdujące się na zakładce *Skala* pozwalają na określenie zestawu kolorów oraz zakresu wartości dla mapy wybranej wielkości.

W oknie dialogowym **Mapy na prętach** na zakładce *Parametry* (patrz rysunek poniżej) może być wybrany sposób prezentacji map na prętach konstrukcji:

- w polu *Opisy wykresów* można zdecydować, w jaki sposób prezentowane będą opisy wartości *brak* - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to opisy map wielkości dostępnych w oknie **Mapy na prętach** nie będą prezentowane

karteczki - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to opisy map wielkości dostępnych w oknie **Mapy na prętach** będą prezentowane w postaci karteczek prezentujących wartości w wybranych punktach prętów

tekst - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to opisy wielkości dostępnych w oknie **Mapy na prętach** będą prezentowane w postaci wartości w wybranych punktach prętów

opisy bez map - jeżeli ta opcja zostanie włączona, to dla prętów konstrukcji będą prezentowane jedynie opisy (w postaci karteczek lub tekstu na prętach) bez map wybranej wielkości

- w polu *Grubość wykresów* - dostępne jest pole, w którym można wpisać liczbę określającą stosunek grubości linii prezentującej mapę wybranej wielkości do grubości linii przedstawiających pręty konstrukcji.



5.4. Mapy (panele)

Okno dialogowe **Mapy** służy do prezentowania map sił, momentów, naprężeń dla konstrukcji płytowopowłokowych. Opcja dostępna jest poprzez:

- wybranie komendy menu *Rezultaty / Mapy*
- naciśnięcie ikony *Mapy* 
- wybranie ekranu **REZULTATY / REZULTATY-MAPY**.

Okno dialogowe **Mapy** składa się z siedmiu zakładek: *Szczegółowe*, *Ekstremalne*, *Złożone*, *Parametry*, *Skala*, *Deformacje* i *Krzyże*.

Wyniki otrzymane dla powierzchniowych elementów skończonych są przedstawiane w lokalnych układach współrzędnych, które mogą być definiowane i zmieniane przez użytkownika w dowolnym momencie prezentowania wyników. Wyniki otrzymane dla konstrukcji, w których występują powierzchniowe elementy skończone, mogą być prezentowane w formie izolinii lub kolorowych map na wybranych elementach. Tylko jedna wielkość może być prezentowana w oknie. Aby przedstawić na ekranie mapę innej wielkości, należy:

- wybrać tę wielkość w oknie dialogowym **Mapy** i nacisnąć klawisz **OK**; mapa wybranej wielkości zastąpi mapę prezentowaną do tej pory na ekranie
- wybrać tę wielkość w oknie dialogowym **Mapy**, a następnie włączyć opcję *Otwórz nowe okno*. Mapa wybranej wielkości prezentowana będzie w nowym oknie; mapa poprzedniej wielkości zostanie zachowana na ekranie.

Prezentowane mapy/izolinie mogą być wyświetlane z opisem wartości poszczególnych izolinii. Mapy tworzone mogą być z użyciem opcji *Wygładzanie*. Wyniki dla powierzchniowych elementów skończonych są wyznaczane w punktach Gaussa znajdujących się wewnątrz każdego elementu (wyniki szacowane we

wspólnym węźle stykających się elementów mogą się nieco różnić w każdym z elementów, a izolinie mogą być nieciągłe). Aby uzyskać 'gładką' mapę wybranej wielkości, należy wybrać opcję *Z wygładzaniem* (powoduje to uśrednienie wartości w węźle ze wszystkich wartości uzyskanych w dochodzących do węzła elementach). Opcja *Wygładzanie* może być wykonywana w następujący sposób:

- brak wygładzania
- wygładzanie globalne (na całości konstrukcji)
- wygładzanie wewnątrz panela - nie są uwzględniane brzegi pomiędzy kolejnymi panelami
- wygładzanie wg selekcji - wygładzanie odnosić się będzie do wybranych elementów.

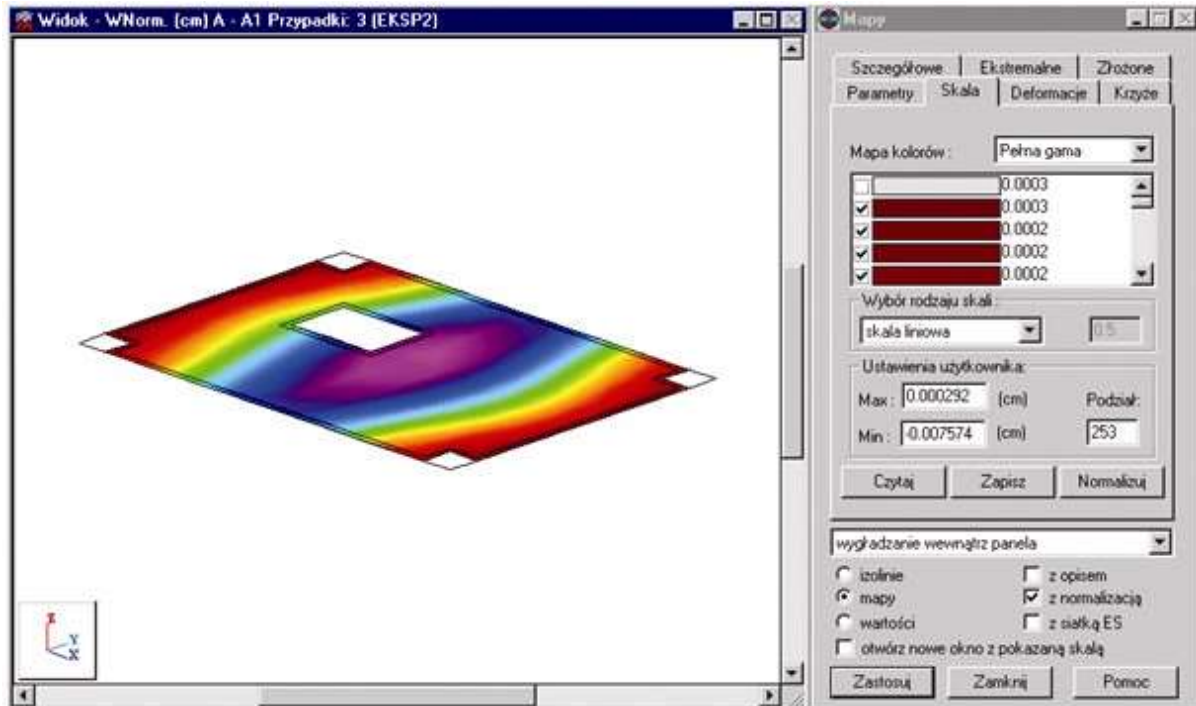
Dostępne są również trzy opcje:

- z *opisem* - jeżeli ta opcja jest włączona, to mapy prezentowane będą z opisem wartości poszczególnych izolinii
- z *normalizacją* - jeżeli ta opcja jest włączona, to mapy wybranej wielkości będą automatycznie prezentowane w taki sposób, że skala dostosowywana będzie do maksymalnej i minimalnej wartości wybranej wielkości
- z *siatką ES* - jeżeli ta opcja jest włączona, to oprócz mapy wybranej wielkości, prezentowana jest wygenerowana siatka elementów skończonych.

Poszczególne zakładki znajdujące się w oknie dialogowym **Mapy** służą do:

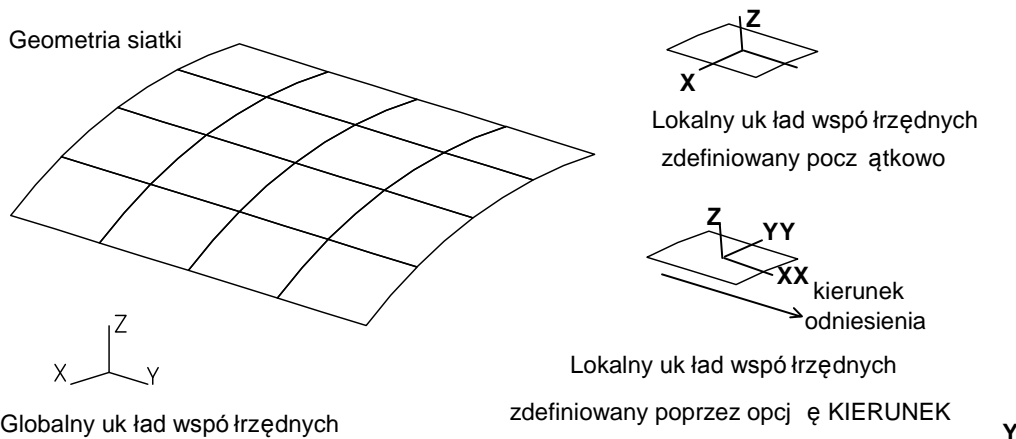
- zakładka *Szczegółowe* - prezentacji mogą zostać wybrane następujące wielkości: naprężenia, siły membranowe, momenty, naprężenia i siły ścinające, przemieszczenia i obroty; dokonany może zostać również wybór głównego kierunku układu współrzędnych (a dokładnie zdefiniowanie kierunku osi x), który będzie wykorzystywany przez użytkownika podczas prezentacji wyników dla powierzchniowych elementów skończonych
- zakładka *Ekstremalne* - prezentacji mogą zostać wybrane następujące wielkości: naprężenia, siły membranowe, momenty, naprężenia i siły ścinające
- zakładka *Złożone* - prezentacji mogą zostać wybrane następujące wielkości zredukowane: siły membranowe, momenty i naprężenia; wybrana może również zostać metoda obliczania zbrojenia płyty i powłok (Wood&Armer, NEN) oraz wielkości wymiarujące uzyskane przy wybranej metodzie obliczeń (momenty zginające, siły membranowe)
- zakładka *Parametry* - określenia miejsca prezentacji wyników otrzymanych dla powierzchniowych elementów skończonych (warstwa środkowa, dolna, górna) dla obliczeń naprężeń
- zakładka *Skala* - zmiany parametrów prezentacji map: liczby przedziałów zmiany koloru mapy, rodzaju skali (liniowa, logarytmiczna, dowolna), maksymalnych i minimalnych wartości przedziału, w którym prezentowana będzie mapa wybranej wielkości, kolorów przy pomocy których prezentowana będzie mapa wielkości oraz wartości dla tych kolorów; warto tu nadmienić o możliwości wyboru skali automatycznej; jako że w trakcie tworzenia map często gubiona jest m.in. informacja dotycząca znaku prezentowanych wartości, skala automatyczna jest generowana w taki sposób, by wartości ujemne wielkości przedstawianej w postaci mapy były oznaczane kolorami "zimnymi" (odcienie koloru niebieskiego), a wartości dodatnie kolorami "ciepłymi" (odcienie koloru czerwonego); tak stworzona skala mapy pozwala na znalezienie obszarów zmiany znaku, jak również na określenie stosunku wartości ekstremalnych. Automatyczna skala kolorów tworzona jest dopiero po wyznaczeniu wartości ekstremalnych (v_{min} , v_{max}) dla danej wielkości. Kolory pomiędzy v_{min} i v_{max} przydzielane są poprzez równomierny podział skali (liczba zero jest jedną z wartości granicznych na skali)
- zakładka *Deformacje* - prezentacji postaci zdeformowanej płyty/powłoki oraz włączenia animacji prezentowanych deformacji
- zakładka *Krzyże* - prezentacji krzyży naprężeń, momentów lub sił normalnych.

Przykładową mapę przemieszczeń normalnych dla płyty wraz z oknem dialogowym **Mapy** przedstawiono na poniższym rysunku.



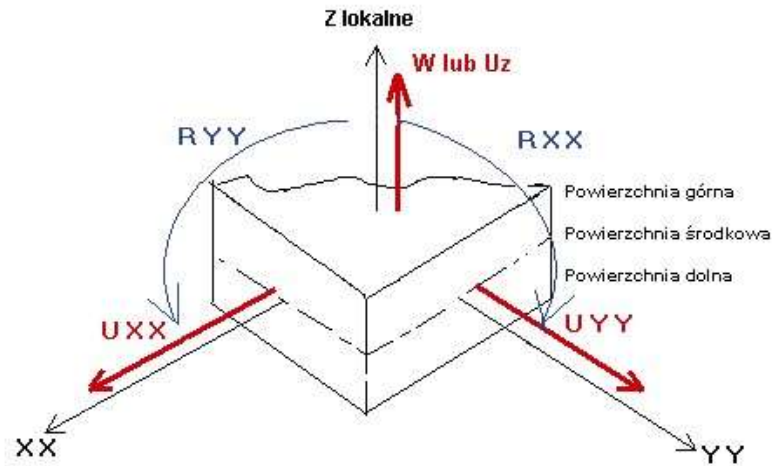
Osie X i Y są lokalnymi osiami określonymi przy użyciu opcji KIERUNEK znajdującej się na zakładce Szczegółowe. Ta opcja pozwala na określenie głównego kierunku lokalnego układu współrzędnych (oś x). Wartości wielkości wynikowych dla wszystkich elementów są przeliczane do tego obróconego układu współrzędnych. Kierunek można zdefiniować poprzez podanie dowolnego wektora definiującego 'główny' kierunek przy wyznaczaniu wyników dla powierzchniowych elementów skończonych. Wybrany wektor jest następnie rzutowany na element, co ostatecznie definiuje położenie lokalnej osi x. Istnieje jedynie jedno ograniczenie - wektor 'główny' nie może być prostopadły do elementu (tzn. równoległy do lokalnej osi z elementu). Jeżeli użytkownik wybierze taki kierunek, wszystkie wyniki będą zerami.

Typową sytuację przedstawiono na poniższym rysunku, gdzie wszystkie elementy leżą na powierzchni walca. Początkowo lokalne osie x są równoległe do globalnej osi X. Te osie zostaną na nowo zdefiniowane przy użyciu kierunku 'głównego' (kierunku odniesienia), który jest równoległy do globalnej osi Y.

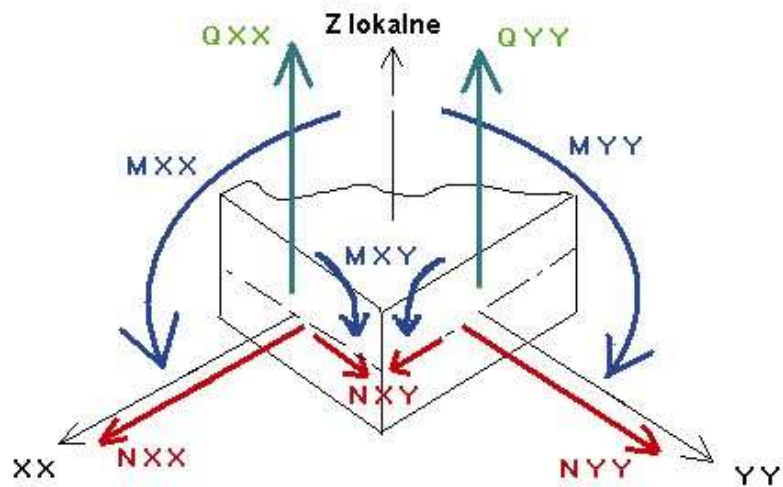


Poniżej przedstawiono dwa rysunki definiujące konwencję znakowania sił dla powierzchniowych elementów skończonych.

Konwencja znakowania przemieszczeń i obrotów




Konwencja znakowania sił



5.5. Przecięcia paneli

Opcja *Przecięcia paneli* uzupełnia opcję *Mapy - panele* (rozdział 5.4). Umożliwia ona tworzenie wykresów sił wewnętrznych i przemieszczeń na przecięciach przez powierzchniowe elementy skończone. Wykresy są rysowane w dowolnych przekrojach zdefiniowanych przez użytkownika. Dla konstrukcji płaskich przekrój wykonywany jest wzdłuż prostej lub odcinka leżącego w płaszczyźnie konstrukcji. Dla powłok przekrój definiowany jest przez płaszczyznę dowolnie położoną w przestrzeni. Użytkownik może dla tej samej konstrukcji zdefiniować kilka wykresów na przecięciach konstrukcji.

Opcja dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Rezultaty / Przecięcia paneli*
- z paska narzędziowego przez naciśnięcie ikony *Przecięcia paneli* .

Komenda uruchamia okno dialogowe służące do definicji przecięcia oraz wyboru wielkości prezentowanych w przecięciu. Do utworzenia wykresu dowolnej z dostępnych obecnie wartości sił wewnętrznych, naprężeń

i przemieszczeń lokalnych w elementach skończonych, konieczne jest zdefiniowanie linii przekroju oraz podanie, która z dostępnych wartości ma być wyświetlana na wykresie. Opcja umożliwia zdefiniowanie więcej niż jednej płaszczyzny (prostej) przekroju. Tak więc wykresy mogą być rysowane jednocześnie wzdłuż kilku przekrojów. Definicja nowego przekroju dodaje ten przekrój do zdefiniowanych wcześniej. Wykresy mogą być rysowane jako styczne lub normalne do płaszczyzny przekroju z wykorzystaniem możliwości wygładzania przejść między elementami (uśrednienie wartości w węźle ze wszystkich wartości uzyskanych w dochodzących do węzła elementach).

Okno dialogowe prezentowane na poniższym rysunku, które pojawia się na ekranie po wybraniu tej opcji, składa się z dziewięciu zakładek: *Definicja*, *Przecięcia*, *Szczegółowe*, *Ekstremalne*, *Złożone*, *Parametry*, *Wykresy*, *Zbrojenie* i *SGU*.

Dwie ostatnie zakładki odnoszą się do wyników obliczania zbrojenia dla zdefiniowanej płyty lub powłoki. Do prezentacji wybrane mogą zostać obliczone powierzchnie lub rozstawy zbrojenia, a w przypadku wybrania normy wymiarowania płyty/powłoki uwzględniającej obliczenia według stanu granicznego użytkownika wielkości związane ze stanem użytkowania (szerokość rozwarcia rys itp.).

Aby przedstawić na ekranie wykres dowolnej wielkości, należy:

- zdefiniować przecięcie przez konstrukcję płytową lub powłokową
- wybrać wielkość, która ma być prezentowana na wykresie
- określić parametry wykresu
- nacisnąć klawisz **OK**; wykres wybranej wielkości zostanie przedstawiony na ekranie.

DEFINICJA PRZECIĘCIA DLA KONSTRUKCJI PŁASKIEJ (PŁYTA)

Jeżeli konstrukcja jest płaska, płaszczyzna przekroju musi być równoległa do osi OZ. Konieczne jest więc zdefiniowanie tylko prostej - przecięcia płaszczyzny przekroju i płaszczyzny OXY. Dodatkowo dla konstrukcji płaskich możliwe jest definiowanie odcinka o określonej długości, dla którego wykonujemy przekrój. Z odcinków takich może składać się dowolna łamana.

Program udostępnia wiele sposobów definiowania prostej lub odcinka. Potrzebne punkty mogą być wprowadzane graficznie (przez wskazanie odpowiednich węzłów) lub tekstowo (przez podanie współrzędnych punktów lub numerów węzłów w odpowiednich polach okna dialogowego). Zakładka *Definicja* przyjmuje postać pokazaną na poniższym rysunku.



Dla konstrukcji płaskich definicja przecięcia może się odbywać na trzy sposoby:

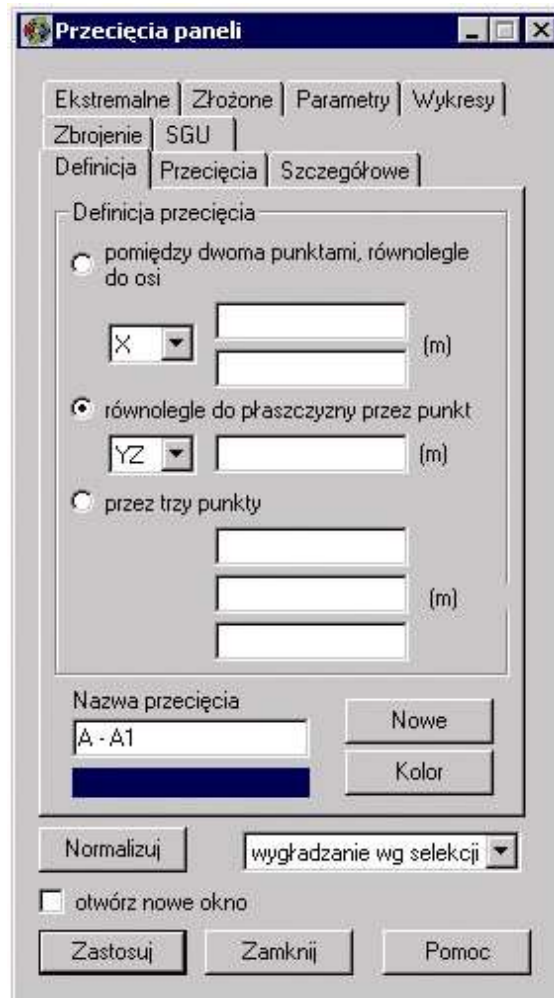
- podając dwa punkty - po wybraniu tej opcji należy podać (graficznie lub wpisując z klawiatury współrzędne punktów) współrzędne dwóch punktów: początku oraz końca odcinka, na którym prezentowana będzie wybrana wielkość
- podając linię równoległą do osi oraz punkt - po wybraniu tej opcji definicja przecięcia polegać będzie na wybraniu osi globalnego układu współrzędnych (oś X lub oś Y), do której linia przecięcia ma być równoległa oraz podaniu odległości płaszczyzny przecięcia od środka układu współrzędnych. Jeżeli definicja przekroju będzie wykonywana graficznie po wyborze osi wystarczy wskazać węzeł, przez który ma przechodzić przecięcie
- podając punkt i kierunek - po wybraniu tej opcji definiowana jest prosta, a nie odcinek. W trybie graficznym sprowadza się to do podania dwóch punktów, w trybie tekstowym należy podać punkt należący do prostej oraz kierunek prostej (dx i dy).

Zdefiniowane przecięcie zostanie dopisane do listy przecięć dostępnych na zakładce *Przecięcia*.

DEFINICJA PRZECIĘCIA DLA KONSTRUKCJI PRZESTRZENNEJ (POWŁOKA)

Jeżeli konstrukcja jest przestrzenna, konieczne jest zdefiniowanie płaszczyzny przekroju w postaci ogólnej. W większości wypadków oznacza to, że konieczne jest zdefiniowanie jednego punktu należącego do płaszczyzny przekroju oraz kierunku wektora normalnego. Płaszczyzna może być też zdefiniowana przez podanie trzech niewspółliniowych punktów należących do niej.

Program udostępnia wiele sposobów definiowania przecięcia dla konstrukcji przestrzennych. Potrzebne punkty mogą być wprowadzane graficznie (przez wskazanie odpowiednich węzłów) lub tekstowo (przez podanie współrzędnych punktów lub numerów węzłów w odpowiednich polach okna dialogowego). Zakładka *Definicja* przyjmuje postać pokazaną na poniższym rysunku.



Dla konstrukcji przestrzennych definicja przecięcia może się odbywać na trzy sposoby:

- określając płaszczyznę przechodzącą przez dwa punkty równoległą do wybranej osi globalnego układu współrzędnych - po wybraniu tej opcji definicja przecięcia polegać będzie na określeniu płaszczyzny równoległej do wybranej osi globalnego układu współrzędnych; definicja płaszczyzny przecięcia polega na podaniu współrzędnych dwóch punktów, które należeć będą do płaszczyzny przecięcia. Jeżeli definicja przekroju będzie wykonywana graficznie po wyborze osi wystarczy wskazać węzeł, przez który ma przechodzić przecięcie
- podając płaszczyznę równoległą do jednej z płaszczyzn osi oraz punkt - po wybraniu tej opcji definicja przecięcia polegać będzie na wybraniu płaszczyzny osi globalnego układu współrzędnych (płaszczyzny XY, XZ lub YZ)), do której płaszczyzna przecięcia ma być równoległa oraz podaniu odległości płaszczyzny przekroju od środka układu współrzędnych. Jeżeli definicja przecięcia będzie wykonywana graficznie po wyborze osi wystarczy wskazać węzeł, przez który ma przechodzić przecięcie
- podając trzy punkty - po wybraniu tej opcji należy podać (graficznie lub wpisując z klawiatury współrzędne punktów) współrzędne trzech niewspółliniowych punktów, które jednoznacznie definiują płaszczyznę przecięcia.

Zdefiniowane przecięcie zostanie dopisane do listy przecięć dostępnych na zakładce *Przecięcia*. Na zakładce *Przecięcia* okna dialogowego **Przecięcia paneli** przedstawiane są wszystkie zdefiniowane dla konstrukcji przecięcia. Dla każdego przecięcia prezentowane są trzy informacje:

- włączenie/wyłączenie prezentacji przecięcia dla konstrukcji (jeżeli opcja jest włączona, to przecięcie z wybranymi wykresami wielkości prezentowane jest dla konstrukcji)
- kolor przecięcia i wykresu prezentowanego w tym przecięciu
- nazwa przecięcia.

Na zakładce *Przecięcia* znajdują się opcje pozwalające na redukcję wszystkich sił powstałych w przekroju do jednego punktu; tym punktem jest środek ciężkości przekroju. Siły zredukowane są przedstawiane w układzie współrzędnych przecięcia (oś n - normalna do płaszczyzny przecięcia, osie 1 i 2 leżą w płaszczyźnie przecięcia). Opcje znajdujące się w powyższym oknie dialogowym pozwalają na przedstawienie na ekranie sił i momentów zredukowanych.

Na zakładkach *Szczegółowe*, *Ekstremalne* i *Złożone* wybrane mogą zostać wielkości, których wykresy prezentowane mają być na zdefiniowanych liniach przecięć. Na zakładce *Parametry* znajdują się opcje, które pozwalają użytkownikowi na wybranie warstwy równoległej do powierzchni środkowej konstrukcji powierzchniowej, dla której prezentowane będą wyniki obliczeń (dla obliczeń naprężeń).

Na zakładce *Wykresy* wybrany może zostać sposób prezentacji wykresów na konstrukcji (patrz rysunek poniżej):


- w polu *Opisy wykresów* można zdecydować, w jaki sposób prezentowane na wykresie będą na wykresie opisy wartości: *brak* - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to opisy wykresów na przecięciach nie będą prezentowane *karteczki* - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to opisy wykresów na przecięciach będą prezentowane w postaci karteczek prezentujących wartości w wybranych punktach przecięć *tekst* - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to opisy wykresów na przecięciach będą prezentowane w postaci wartości w wybranych punktach
w dolnej części pola *Opisy wykresów* znajdują się dwie opcje (*Max* i *Min*) pozwalające na wybór koloru karteczek i opisu wartości maksymalnych i minimalnych dla wykresów na przecięciach paneli ((wybór koloru może być również dokonany w oknie dialogowym **Preferencje** na zakładce *Parametry wyświetlania / Wykresy dla płyt / punkty minimalne / maksymalne*))
dodatkowo w polu opisy znajduje się opcja *Nazwa wykresu*; jeżeli ta opcja zostanie włączona, to wykres tworzony dla zdefiniowanego przecięcia będzie na rysunku posiadał nazwę określoną w polu *Nazwa przecięcia* znajdującym się na zakładce
- w polu *Wartości dodatnie i ujemne* można zdecydować, czy kolorem rozróżniane będą dodatnie i ujemne wartości prezentowanej wielkości
- w polu *Położenie wykresu* można określić usytuowanie wykresu w stosunku do konstrukcji:
normalnie - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to wykres wybranej wielkości będzie rysowane jako styczny do płaszczyzny przekroju (normalnie w stosunku do płaszczyzny konstrukcji)
w płaszczyźnie - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to wykres wybranej wielkości będzie rysowane jako normalny do płaszczyzny przekroju (w płaszczyźnie konstrukcji).

UWAGA: Przy prezentacji opisów wykresów wzdłuż linii przecięć przedstawiane są maksymalne i minimalne wartości dla wykresu oraz podawana jest wartość całki dla wybranej składowej po długości linii przecięcia.



5.6. Mapy na bryłach

Opcja służy do prezentowania map (izolinii) przemieszczeń, naprężeń i odkształceń otrzymanych w trakcie analizy konstrukcji objętościowej. Wyniki przedstawione mogą być w postaci wypełnionej mapy albo izolinii wraz z widocznymi wartościami prezentowanej wielkości. Rezultaty wyświetlane są na zewnętrznej powierzchni bryły lub wyselekcjonowanych elementów. Okno dialogowe prezentowane na poniższym rysunku, które pojawia się na ekranie po wybraniu tej opcji, składa się z czterech zakładek: *Szczegółowe*, *Główne*, *Skala* i *Deformacja*. Opcja dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Rezultaty / Mapy na bryłach*
- z paska narzędziowego przez naciśnięcie ikony *Mapy na bryłach* .



Wyniki dla obiektów objętościowych (brył) mogą być przedstawiane w postaci tabelarycznej i graficznej.

Dostępne grupy rezultatów to:

- a) Naprężenia
 - w lokalnym układzie współrzędnych definiowanym przez użytkownika (globalnie dla całego modelu)
 - w kierunkach głównych, gdy tensor naprężenia przyjmuje postać diagonalną
 - jako wartości zredukowane według wybranej hipotezy
- b) Odkształcenia
 - w lokalnym układzie współrzędnych definiowanym przez użytkownika (globalnie dla całego modelu)
 - w kierunkach głównych, gdy tensor naprężenia przyjmuje postać diagonalną
 - jako wartości zredukowane według wybranej hipotezy
- c) Przemieszczenia
 - dostępne są w lokalnym układzie współrzędnych definiowanym przez użytkownika (globalnie dla całego modelu)
 - w globalnym układzie współrzędnych jako przemieszczenia całkowite, tj. długość wektora przemieszczeń.

W dolnej części okna dialogowego znajdują się opcje umożliwiające wybór postaci graficznej prezentacji wyników (*Mapy, Izolinie, Izopowierzchnie*). Włączenie opcji *Wartości* powoduje automatyczne włączenie opcji *Z opisem*; prezentowane są wówczas wartości w środkach elementów bez rysowania map lub izolinii. Wybrane mogą być następujące postaci graficznej prezentacji wyników:

- izolinie - wyniki otrzymane dla objętościowych elementów skończonych prezentowane będą w formie izolinii na konturze zewnętrznym bryły
- mapy - wyniki otrzymane dla objętościowych elementów skończonych prezentowane będą w formie map na konturze zewnętrznym bryły
- izopowierzchnie - wyniki otrzymane dla objętościowych elementów skończonych prezentowane będą jako powierzchnie wewnątrz bryły o tych samych wartościach (tak jak izolinie na panelach pokazują przebieg wybranej wielkości o tej samej wartości, tak izopowierzchnie pokazują taki przebieg w obszarze bryły); liczba powierzchni jest określana przez liczbę kolorów skali (*UWAGA: przy dużej liczbie kolorów wydłużony zostanie czas generacji izopowierzchni*).

Zarówno mapy jak i izolinie mogą być przedstawione w formie uśrednionych wartości pomiędzy elementami. Uśrednianie wartości (wygładzanie) może zostać dokonane poprzez wybranie jednej z opcji z listy dostępnej w dolnej części okna:

- *Bez wygładzania*
- *Wygładzanie globalne*
- *Wygładzanie wewnątrz bryły*
- *Wygładzanie wg selekcji*
- *Wygładzanie wg charakterystyk*.

Pozostałe opcje znajdujące się w dolnej części okna dialogowego to:

- *Z opisem* - włącza opisy dla izolinii albo wyświetla wartości w środku elementu
- *Z normalizacją* - włącza automatyczne naliczanie wartości ekstremalnych dla skali map i izolinii
- *z siatką ES* - jeżeli ta opcja jest włączona, to oprócz mapy wybranej wielkości, prezentowana jest wygenerowana siatka elementów skończonych
- *Otwórz nowe okno z pokazaną skalą* - powoduje otworzenie nowego okna zawierającego tylko wyselekcjonowane elementy i obiekty. Okno jest podzielone na dwie części zawierające widok oraz legendę skali.

W powyższym oknie dialogowym na zakładce *Szczegółowe* wybrane mogą zostać do prezentacji następujące wielkości: naprężenia, odkształcenia i przemieszczenia. Możliwy jest wybór tylko jednej z wartości wynikowych na wszystkich zakładkach.

Na zakładce *Główne* wybrane mogą zostać do prezentacji naprężenia lub odkształcenia. Możliwy jest wybór tylko jednej z wartości wynikowych na wszystkich zakładkach.

Wartości zredukowane podawane są według wybranej hipotezy, które są dostępne na liście znajdującej się w dolnej części okna dialogowego. Obecnie dostępne są następujące hipotezy:

- Hubera-Mises'a
- Niezmiennik tensora I1.

Pierwszy niezmiennik tensora wyznaczany jest ze wzoru:

$$I1 = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}$$

Drugi niezmiennik jest równy:

$$I2 = \frac{1}{2} [(\sigma_{xx} - p)^2 + (\sigma_{yy} - p)^2 + (\sigma_{zz} - p)^2] + \tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2 =$$

$$= \frac{1}{6} [(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)]$$

gdzie: $p = I1/3$ - naprężenie średnie.

Wartość zredukowana według hipotezy Hubera-Misesa jest równa:

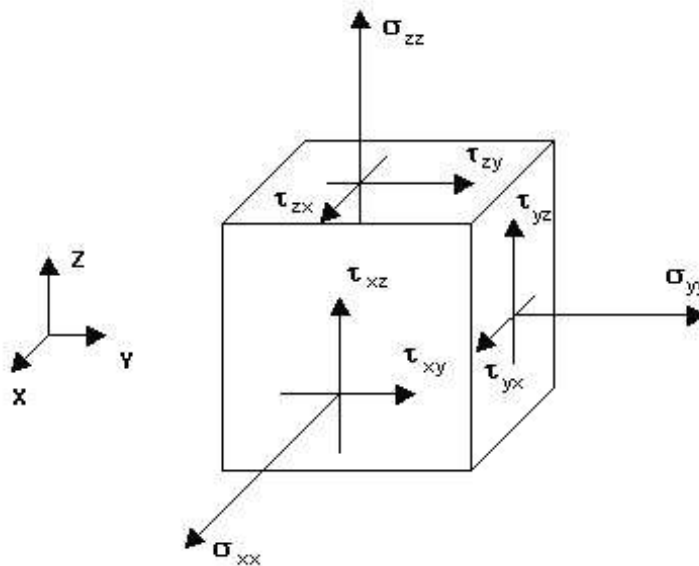
$$\sigma_M = \sqrt{|3 J_2|}$$

Na zakładkach *Skala* i *Deformacja* znajdują się opcje, które opisano dla wykresów (pręty) lub map (pręty, mapy). Dodatkowo na zakładce *Deformacja* znajduje się opcja *Deformacja w skali konstrukcji* - włączenie tej opcji powoduje, że rzeczywiste wartości deformacji konstrukcji będą odnoszone do wymiarów konstrukcji; z tą opcją związana jest opcja *Współczynnik powiększenia* - w tym polu edycyjnym należy podać współczynnik, przez który pomnożone będą wartości deformacji konstrukcji; jeśli włączona zostanie opcja *Stała skala*, to skala zostanie wybrana dla wszystkich prezentowanych wykresów (opcja jest wygodna przy porównywaniu otrzymanych wyników wybranej siły przekrojowej dla różnych przypadków obciążeniowych); z tą opcją związana jest opcja *Skala mapy na 1 cm (in)* - w tym polu edycyjnym określa się ile centymetrom (calom) odpowiada jeden centymetr na rysunku.

Różnica pomiędzy opcjami *Skala mapy na 1 cm* i *Deformacja w skali konstrukcji* jest widoczna podczas powiększenia/pomniejszania konstrukcji na ekranie; w przypadku opcji *Skala mapy na 1 cm* wielkość deformacji pozostaje bez zmian, natomiast w przypadku opcji *Deformacja w skali konstrukcji* deformacja dostosowuje się do wymiarów konstrukcji na ekranie.


Podobnie jak dla konstrukcji płytowo-powłokowych osie X i Y są lokalnymi osiami zdefiniowanymi przy użyciu opcji *KIERUNEK* na zakładce *Szczegółowe*. Ta opcja pozwala na określenie głównego kierunku lokalnego układu współrzędnych, który będzie używany (oś x). Wartości wielkości wynikowych dla wszystkich elementów są przeliczane do tego obróconego układu współrzędnych. Kierunek można zdefiniować poprzez podanie dowolnego wektora definiującego 'główny' kierunek przy wyznaczaniu wyników dla elementów skończonych. Wybrany wektor jest następnie rzutowany na element, co ostatecznie definiuje położenie lokalnej osi x. Istnieje jedynie jedno ograniczenie - wektor 'główny' nie może być prostopadły do elementu (tzn. równoległy do lokalnej osi z elementu). Jeżeli użytkownik wybierze taki kierunek, wszystkie wyniki będą zerami.

Konwencja znakowania dla elementów objętościowych jest schematycznie przedstawiona na poniższym rysunku. Konwencję pokazano dla naprężeń; naprężenia pokazane na rysunku mają dodatnie znaki.

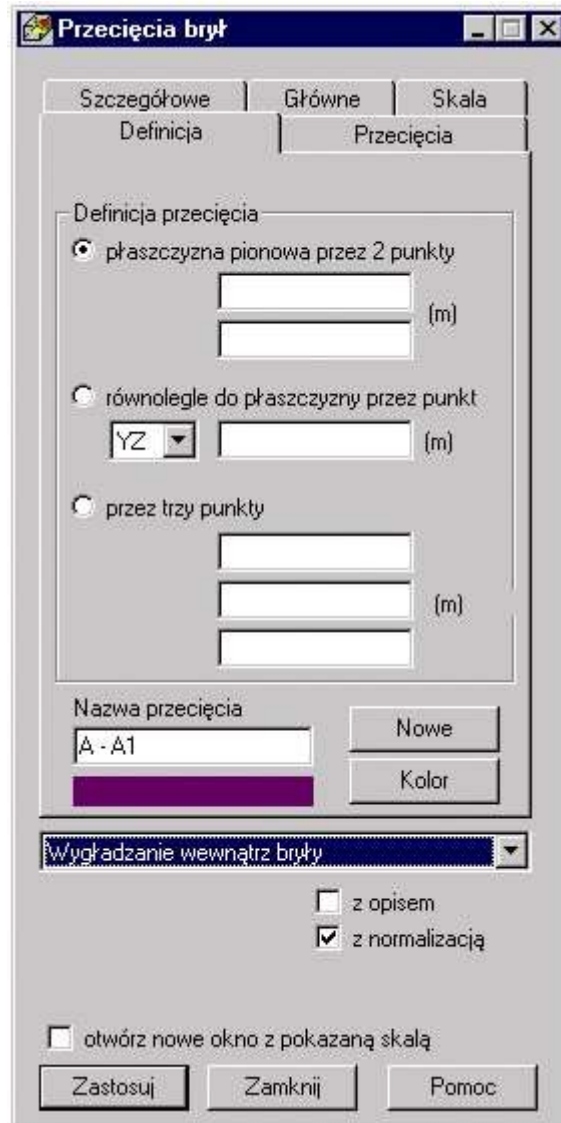


5.7. Przecięcia przez bryły

Opcja służy do prezentowania map na przecięciach przez bryły. Rezultaty prezentowane są na powierzchni przecięcia. Opcja dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Rezultaty / Przecięcia brył*
- z paska narzędziowego przez naciśnięcie ikony *Wykresy w przecięciach brył* .

Okno dialogowe prezentowane na poniższym rysunku, które pojawia się na ekranie po wybraniu tej opcji, składa się z pięciu zakładek: *Definicja*, *Przecięcia*, *Szczegółowe*, *Główne* i *Skala*.



UWAGA: Trzy ostatnie zakładki są podobne do zakładek występujących w oknie dialogowym **Mapy na bryłach**. Na zakładce *Szczegółowe* znajduje się dodatkowo opcja *Siły przekrojowe* w tabeli (patrz poniżej).

Głównym założeniem rysowania map na przecięciach przez bryły jest to, że mapy na wszystkich przekrojach rysowane są dla tej samej wielkości wynikowej. Jest to główna różnica w porównaniu z prezentacją wykresów na przecięciach paneli, gdzie na każdym wykresie można wybrać inną wielkość wynikową.

Zastępcze siły wypadkowe dostępne w tabeli wyników liczone są według poniższych wzorów:

$$N = \int_A \sigma_{NN} dA$$

$$N^+ = \int_A \langle \sigma_{NN} \rangle dA$$

$\langle \dots \rangle$ - (nawiasy Macauley'a) lub operator części dodatniej wyrażony:

$$\langle x \rangle = \max(0, x) \text{ lub } \langle x \rangle = \frac{x + |x|}{2}$$

$$N^- = N - N^+$$

$$QT1 = \int_A \tau_{MT1} dA$$

$$QT2 = \int_A \tau_{MT2} dA$$

$$MN = \int_A (-\tau_{MT1} dt_2 + \tau_{MT2} dt_1) dA$$

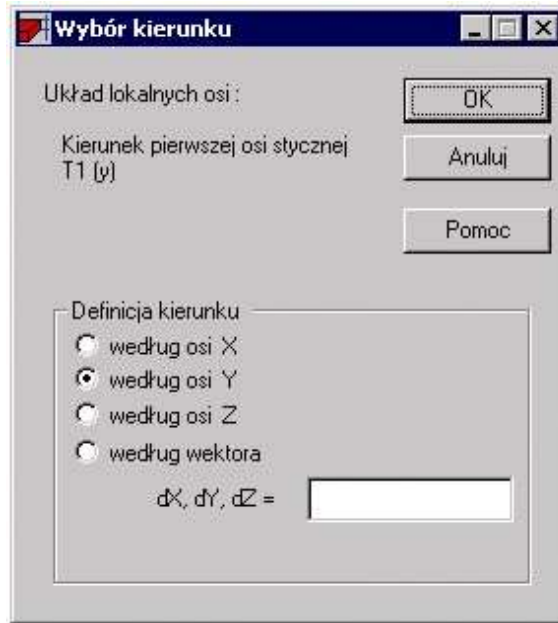
$$MT1 = \int_A \sigma_{NN} dt_2 dA$$

$$MT2 = \int_A -\sigma_{NN} dt_1 dA$$

Dla rezultatów zależnych od lokalnego kierunku w elemencie skończonym, kierunek określony jest niezależnie od płaszczyzny przecięcia. Przykładowo, jeżeli wyświetlona jest mapa naprężeń Sxx, to kierunek naprężeń x będzie wyznaczony przez użytkownika niezależnie od płaszczyzny cięcia.

Mapy na przecięciach są więc tylko inną formą rysowania map dla wielkości wybranej w oknie dialogowym map dla brył. Istnieje więc możliwość wyświetlenia mapy na zewnętrznym konturze bryły lub na wewnętrznych przecięciach przez bryłę.

W przypadku definicji kierunku dla przecięć przez bryły okno dialogowe **Wybór kierunku** przybiera postać pokazaną na poniższym rysunku.

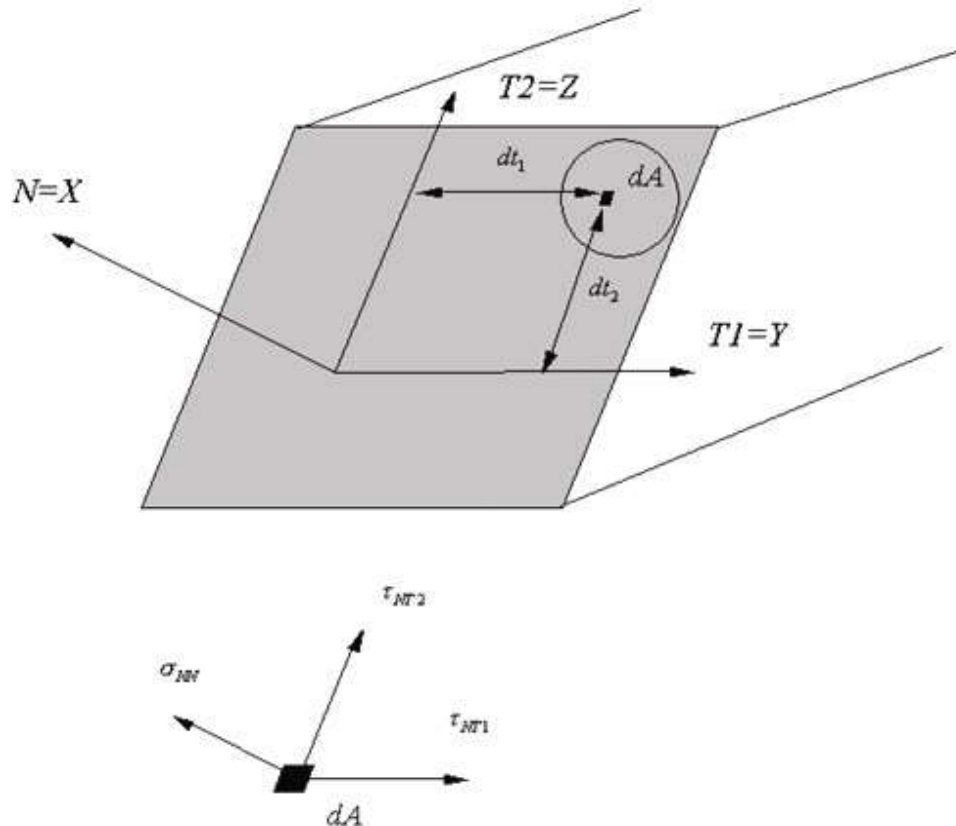


W powyższym oknie dialogowym określony może zostać kierunek dla pierwszej osi stycznej T1 zgodnie z wybranym wektorem lub kierunkiem głównego układu współrzędnych.

Układ współrzędnych w przekroju używany w programie **Robot** jest następujący (patrz poniższy rysunek):

- oś N normalna do płaszczyzny przekroju - oś x -
- pierwsza oś styczna T1 do płaszczyzny przekroju - oś y
- druga oś styczna T2 do płaszczyzny przekroju - oś z.

Z wymienionymi kierunkami skojarzone są naprężenia: σ_{NN} , τ_{NT1} i τ_{NT2} .



Dopuszczalne są następujące definicje przecięć:

- płaszczyzną pionową definiowaną przez dwa punkty; taka definicja generuje pionowy pas ograniczony dwoma punktami w płaszczyźnie równoległej do globalnej osi Z
- równoległe do wybranej płaszczyzny głównej (XZ, XY, ZY) w globalnym układzie współrzędnych przechodzące przez zadany punkt
- płaszczyzną definiowaną przez trzy punkty w przestrzeni.

Aby zdefiniować przecięcie dla konstrukcji, należy:

- wybrać metodę definicji przecięcia
- określić parametry przecięcia
- nadać nazwę zdefiniowanemu przecięciu
- wybrać kolor przecięcia
- nacisnąć klawisz **Nowe**.

Zdefiniowane przecięcie zostanie dopisane do listy przecięć dostępnych na zakładce *Przecięcia*. Opcje znajdujące się na tej zakładce pozwalają na wybór wyświetlanych przecięć.

W polu *Lista przecięć* przedstawiane są wszystkie zdefiniowane dla konstrukcji przecięcia. Dla każdego przecięcia prezentowane są trzy informacje:

- włączenie/wyłączenie prezentacji przecięcia dla konstrukcji (jeżeli opcja jest włączona, to przecięcie z mapami wybranej wielkości prezentowane jest dla konstrukcji)
- kolor
- nazwa przecięcia.

5.8. Analiza naprężeń

Po zakończeniu analizy konstrukcji w systemie **Robot** istnieje możliwość wyznaczenia map naprężeń uzyskanych w przekroju poprzecznym i podłużnym wybranego pręta konstrukcji. Służy temu opcja *Analiza naprężeń pręta*, która dostępna jest poprzez:

- wybranie komendy *Rezultaty / Analiza naprężeń / Analiza pręta* z menu
- wybranie ekranu **REZULTATY/ANALIZA NAPRĘŻEN PRĘTA**.

Po wybraniu ekranu **ANALIZA NAPRĘŻEN PRĘTA** ekran monitora zostaje podzielony w przypadku profilu litego na cztery części: okno dialogowe *Analiza naprężeń*, w którym podawane są numeryczne wyniki analizy naprężeń w przekroju oraz trzy okna, w których graficznie prezentowane są mapy naprężeń (w przekroju poprzecznym oraz dwóch przekrojach podłużnych: XY i XZ). W przypadku profilu cienkościennego ekran podzielony jest na dwie części: okno dialogowe *Analiza naprężeń*, w którym podawane są numeryczne wyniki analizy naprężeń w przekroju oraz okno, w którym graficznie prezentowane są mapy naprężeń.

W oknie dialogowym *Analiza naprężeń* można wybrać następujące zakładki: *Przekrój poprzeczny*, *Przekrój XY*, *Przekrój XZ*, *Punkt* i *Pręt*. W przypadku profilu cienkościennego dochodzi jeszcze zakładka *Tabela*, w której prezentowane są wartości naprężeń w formie tabelarycznej (dla charakterystycznych punktów przekroju cienkościennego). Dolna część okna dialogowego jest wspólna dla wszystkich wymienionych zakładek. Aby uzyskać rozkład naprężeń w przekrojach wybranego pręta, należy:

1. wybrać pręt konstrukcji i przypadek obciążeniowy konstrukcji, dla których prezentowane będą mapy naprężeń
2. wybrać rodzaj naprężenia (normalne, styczne, zredukowane); składowe siły przekrojowych uwzględnianych przy obliczeniach tego naprężenia (FX, FY, FZ, MX, MY i MZ) zostaną automatycznie wybrane
3. wartości sił wewnętrznych wyznaczone dla wybranego pręta zostaną wpisane w odpowiednie pola (istnieje możliwość zmiany wartości sił wewnętrznych)
4. położenie płaszczyzn przecięcia.

Po wybraniu tych parametrów i naciśnięciu klawisza **Zastosuj** w oknie dialogowym prezentowane są wartości naprężeń w wybranym przekroju, a w trzech oknach znajdujących się w lewej części ekranu monitora prezentowane są mapy naprężeń w dwóch przekrojach podłużnych i przekroju poprzecznym pręta.

UWAGA: *Jeżeli do prezentacji zostało wybrane naprężenie normalne σ_x , to na ekranie w przekroju poprzecznym pręta litego prezentowana będzie oś obojętna w postaci przerywanej linii.*

Naciśnięcie klawisza **Notka obliczeniowa** powoduje uruchomienie edytora tekstowego, w którym prezentowana będzie wygenerowana dla wybranego pręta notka obliczeniowa.

Jeżeli zmienione zostały parametry znajdujące się w oknie dialogowym *Analiza naprężeń* (np. zmieniony został przypadek obciążenia, zmieniony został typ naprężenie itp.), to naciśnięcie klawisza **Zastosuj** powoduje wyznaczenie wartości naprężeń oraz ich map dla nowych parametrów.

W menu modułu **Analiza naprężeń pręta** warto zwrócić uwagę na cztery opcje:

Płaszczyzny przecięć - umożliwia graficzną definicję płaszczyzny cięcia. Po wybraniu opcji menu *Edycja/Płaszczyzny przecięć* kształt kursora zmienia się. Będąc w odpowiednim oknie definiujemy płaszczyznę przecięcia poprzez naciśnięcie lewym klawiszem myszki. Współrzędne płaszczyzny przecięcia zostaną automatycznie wpisane w odpowiednie pola (wartości $x=$, $y=$ i $z=$).

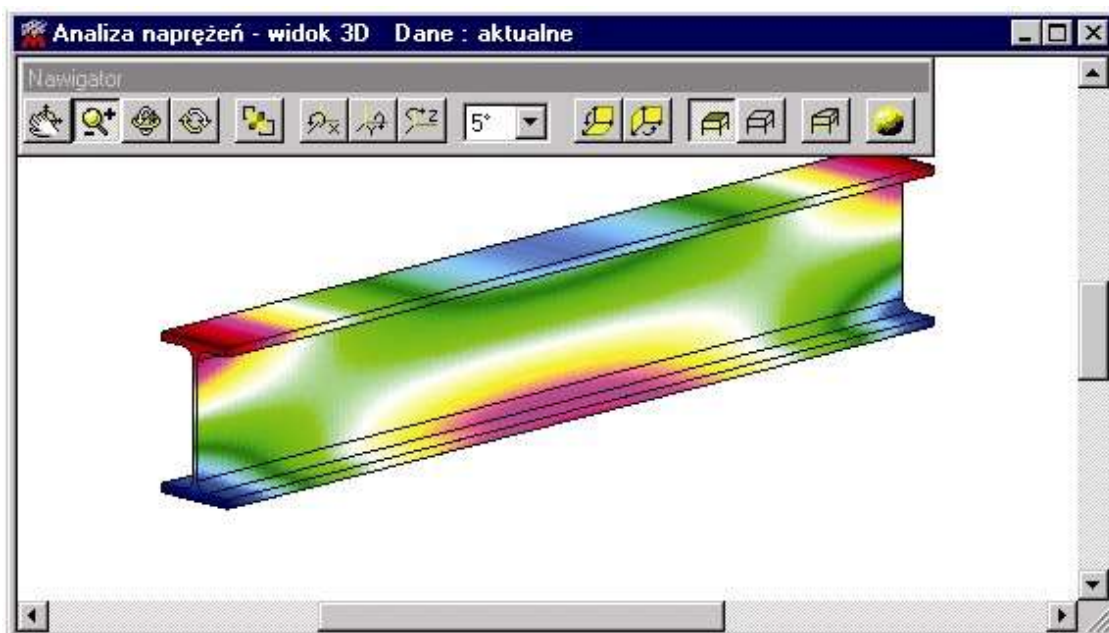
Wartości w punkcie - umożliwia graficzną definicję współrzędnych punktu, w którym wyznaczane będą naprężenia. Po wybraniu w menu opcji *Edycja/Wartość w punkcie* (kształt kursora zmienia

się na 'celownik') należy nacisnąć lewym klawiszem myszki w odpowiedni punkt pręta. Przy przechodzeniu pomiędzy kolejnymi oknami (przekrój poprzeczny, przekroje podłużne) zmieniają się ustawienia na zakładce *Punkt* (wybierana zostaje odpowiednia płaszczyzna, wpisywane są odpowiednie współrzędne).

Atrybuty widoku - umożliwia określenie parametrów map naprężeń (skale dla poszczególnych widoków, kolory, osie itp.). Na ekranie pojawia się okno dialogowe składające się z kilku zakładek, w którym użytkownik może określić parametry prezentacji map naprężeń.

Widok 3D - umożliwia trójwymiarową prezentację wybranego pręta konstrukcji z włączoną prezentacją wybranego typu naprężenia. Na ekranie pojawia się dodatkowy widok pręta konstrukcji (patrz rysunek poniżej) wraz z dodatkowym paskiem narzędziowym, w którym znajdują się opcje umożliwiające przesuwanie, obracanie, powiększanie wybranego pręta konstrukcji. Opcja dostępna jest również w bocznym pasku narzędziowym (na ekranie

ANALIZA NAPRĘŻEŃ PRĘTA): .



Dla przekroju poprzecznego oraz przekrojów XY i XZ prezentowane będą następujące naprężenia ekstremalne obliczone w wybranym przekroju:

- naprężenie normalne σ_z (maksymalne i minimalne)
- naprężenie styczne (ścinające)
- naprężenia od skręcania
- naprężenie σ_i - wartości naprężenia zredukowanego liczone według wybranej hipotezy (HMH, Tresca).

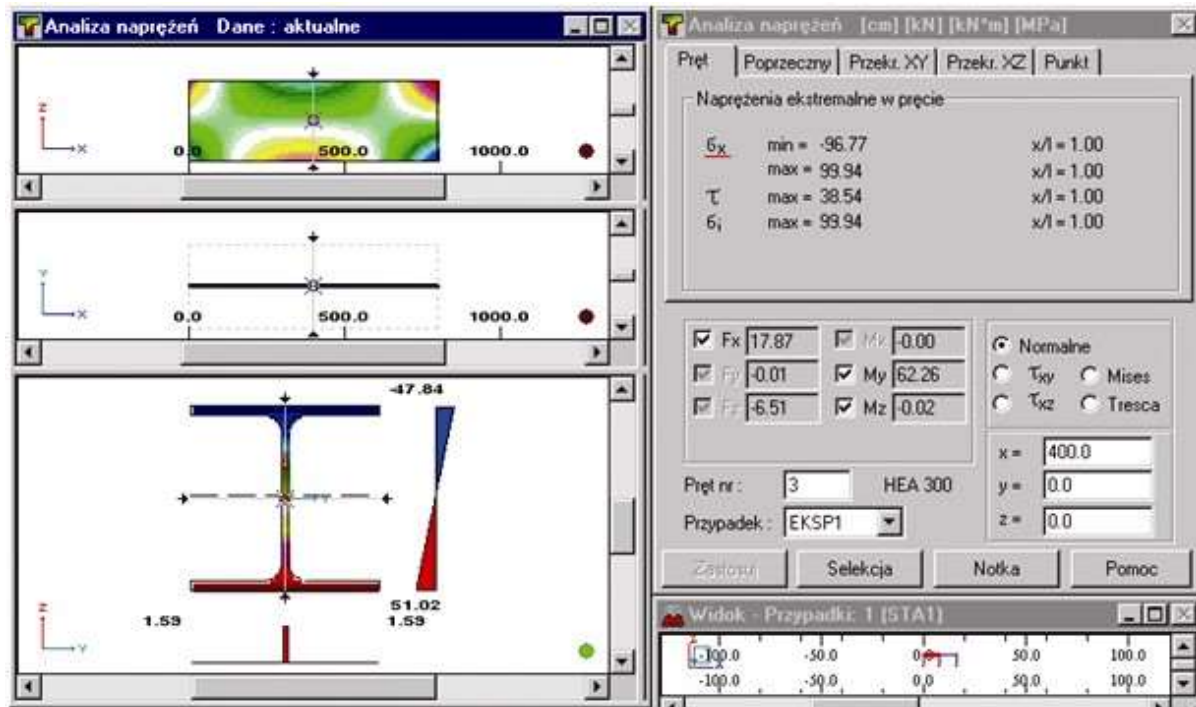
Dla każdej z wymienionych wartości naprężenia podawana jest wartość współrzędnej, dla której uzyskana została ekstremalna wartość naprężenia.

Te same wielkości prezentowane będą na zakładce *Pręt*, z tym tylko, że wyznaczone zostaną dla całego pręta.

Po wybraniu zakładki *Punkt* prezentowane będą następujące naprężenia wyznaczone w wybranym punkcie pręta:

- naprężenie normalne σ_z (maksymalne i minimalne)
- naprężenie styczne (ścinające) - τ
- naprężenia od skręcania

- naprężenie σ_i - wartości naprężenia zredukowanego liczone według wybranej hipotezy (HMH, Tresca)
Na poniższym rysunku przedstawiono ekran **ANALIZA NAPRĘŻEŃ PRĘTA** dla przykładowej konstrukcji prętowej.



5.9. Analiza naprężeń konstrukcji

Po zakończeniu analizy konstrukcji w systemie **Robot** istnieje możliwość wyznaczenia map naprężeń uzyskanych dla całej konstrukcji prętowej. Służy temu opcja *Analiza naprężeń konstrukcji*, która dostępna jest poprzez:

- wybranie komendy *Rezultaty / Analiza naprężeń / Analiza konstrukcji* z menu
- wybranie ekranu **REZULTATY/ANALIZA NAPRĘŻEŃ KONSTRUKCJI**.

Po wybraniu ekranu **ANALIZA NAPRĘŻEŃ KONSTRUKCJI** ekran monitora podzielony zostaje na następujące części: okno z widokiem konstrukcji, tabela rezultatów w dolnej części oraz okno dialogowe zarządzające analizą naprężeń. W oknie tym dokonywany jest wybór naprężeń oraz określony może zostać sposób prezentacji graficznej naprężeń.

Okno rezultatów (tabela) analizy naprężeń konstrukcji zawiera numeryczne wartości naprężeń prezentowane w formie tabelarycznej. Prezentowane mogą być wszystkie typowe naprężenia oraz naprężenia zdefiniowane przez użytkownika. Naprężenia dla poszczególnych prętów przedstawiane są w postaci wartości ekstremalnych dla wybranych przypadków obciążeniowych. Na końcu zestawienia prezentowane są ekstrema globalne dla poszczególnych typów naprężeń wraz z informacją o prętach i przypadkach, dla których te ekstrema występują.

Okno dialogowe *Analiza naprężeń konstrukcji* składa się z następujących zakładki: *Naprężenia - Wykresy, Skala, Parametry*. W tym oknie dokonany może zostać wybór naprężenia użytkownika; do dyspozycji jest zestaw podstawowych typów naprężeń: normalne, styczne, Mises, Tresca. Dla każdego typu naprężenia wybrany może zostać zestaw sił, które będą brane pod uwagę w trakcie obliczeń. Umożliwia to ocenę wpływu poszczególnych sił przekrojowych na wyłączenie pręta.

W oknie dialogowym wybrany może zostać zestaw naprężeń prezentowanych w formie wykresów na konstrukcji, dobrana może być skala wykresów, kolory i parametry wykresów. Na zakładce *Skala* znajdują się opcje pozwalające na dobór kolorystyki mapy naprężeń stosowanej w widoku trójwymiarowym konstrukcji wraz z naprężeniami.

Dolna część okna dialogowego jest wspólna dla wszystkich wymienionych zakładek. Aby uzyskać rozkład naprężeń prezentowany zarówno na widoku konstrukcji jak i w postaci tabelarycznej, należy: 1. wybrać przypadek obciążeniowy konstrukcji, dla którego prezentowane będą mapy naprężeń

2. jeżeli wybrana jest opcja *Wszystkie pręty* (znajdującą się w dolnej części okna dialogowego), to naprężenie zostaną przedstawione dla wszystkich prętów konstrukcji; jeżeli wybrana jest opcja *Wybrane pręty*, to możliwa jest selekcja prętów, dla których przeprowadzone zostaną obliczenia i prezentowane będą wykresy/mapy
3. wybrać rodzaj naprężenia (normalne, styczne, zredukowane); składowe sił przekrojowych uwzględnianych przy obliczeniach tego naprężenia (FX, FY, FZ, MX, MY i MZ) zostaną automatycznie wybrane
4. wskazać rodzaj naprężeń prezentowanych w formie wykresów.

Po wybraniu tych parametrów i naciśnięciu klawisza **Zastosuj** w oknie dialogowym dokonywane są obliczenia oraz prezentowane są wartości naprężeń na prętach konstrukcji, a w oknie rezultatów tabelarycznych (tabeli) pojawiają się wartości odpowiednich naprężeń.

Jeżeli zmienione zostały parametry znajdujące się w oknie dialogowym **Analiza naprężeń konstrukcji** (np. zmieniony został przypadek obciążenia, zmieniony został typ naprężenia itp.), to naciśnięcie klawisza **Zastosuj** powoduje wyznaczenie wartości naprężeń oraz ich wykresów i/lub map dla nowych parametrów.

W tabeli *Naprężenia konstrukcji* przedstawione są wartości naprężeń dla wybranych prętów konstrukcji.

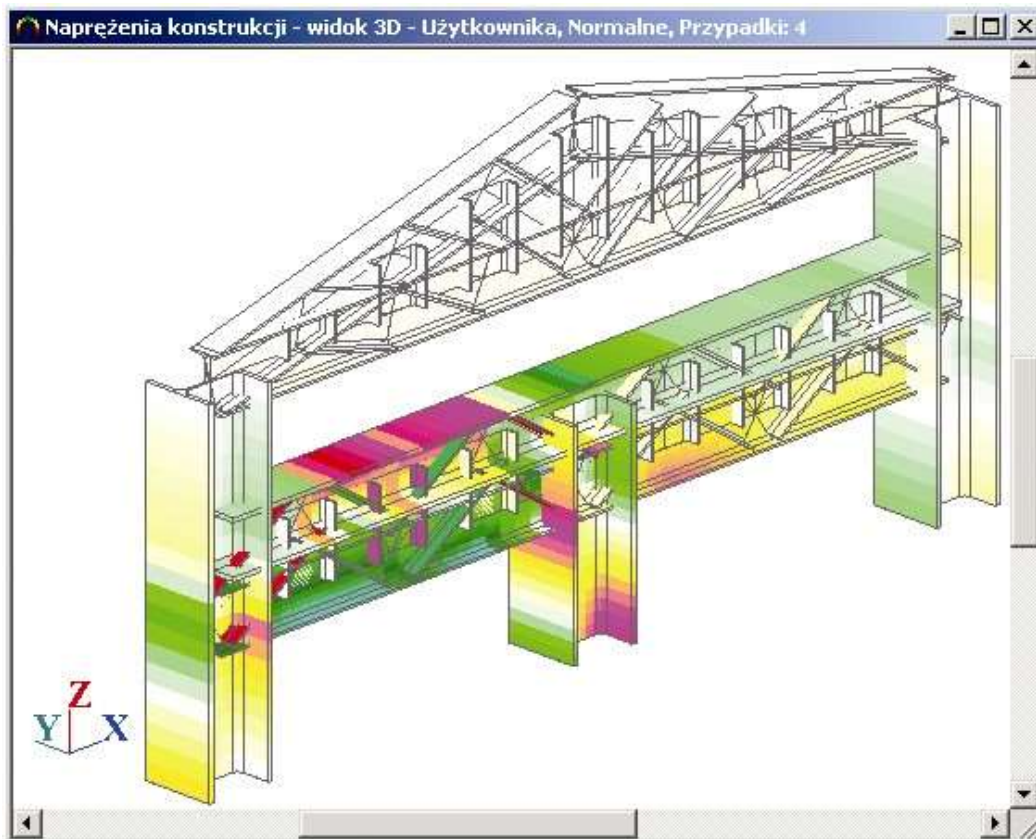
Wybór typów naprężeń, jakie pojawiają się w tabeli, dokonywany jest w oknie dialogowym po wybraniu opcji *Kolumny* z menu kontekstowego (prawy przycisk myszy). Prezentowane mogą być minimalne i maksymalne wartości dla wszystkich dostępnych typów naprężeń oraz dla naprężeń użytkownika. Na końcu tabeli przedstawiany jest zestaw wartości ekstremalnych dla całej konstrukcji; dla danego typu naprężenia prezentowane są następujące informacje:

- ekstremalna wartość naprężenia
- przypadek, dla którego wystąpiła wartość ekstremalna
- pręt, w którym ta wartość naprężenia występuje
- położenie wartości ekstremalnej na długości pręta.

Obsługa tabeli (sortowanie, selekcja, itp.) jest analogiczna do podobnych tabel w programie **Robot**.



Widok 3D - Mapy naprężeń - opcja dostępna z menu *Rezultaty / Analiza* pozwala na prezentację konstrukcji wraz z kształtami profili i dokładnymi, szczegółowymi mapami naprężeń na tych przekrojach.




UWAGA: Obliczenia naprężeń dla konstrukcji - ze względu na złożoność dokładnych obliczeń naprężeń dla dowolnego przekroju pręta (chodzi tu głównie o naprężenia wywołane siłą skręcającą oraz znajdowanie ekstremalnych wartości naprężeń w przekroju) proces obliczeń może być długotrwały. Z tego względu zastosowano pewne udogodnienie, które pozwala na znaczne skrócenie czasu trwania analizy naprężeń. Każdy profil zastosowany w konstrukcji w trakcie używania programu **Robot** jest analizowany długotrwale tylko raz, a każde późniejsze jego użycie (również podczas każdej innej sesji pracy z programem **Robot**) nie wywołuje czasochłonnnych operacji analizujących profil, dlatego w praktyce czas obliczeń naprężeń jest skrócony do minimum.

Na poniższym rysunku przedstawiono ekran **ANALIZA NAPRĘŻEŃ KONSTRUKCJI** dla przykładowej konstrukcji prętowej.

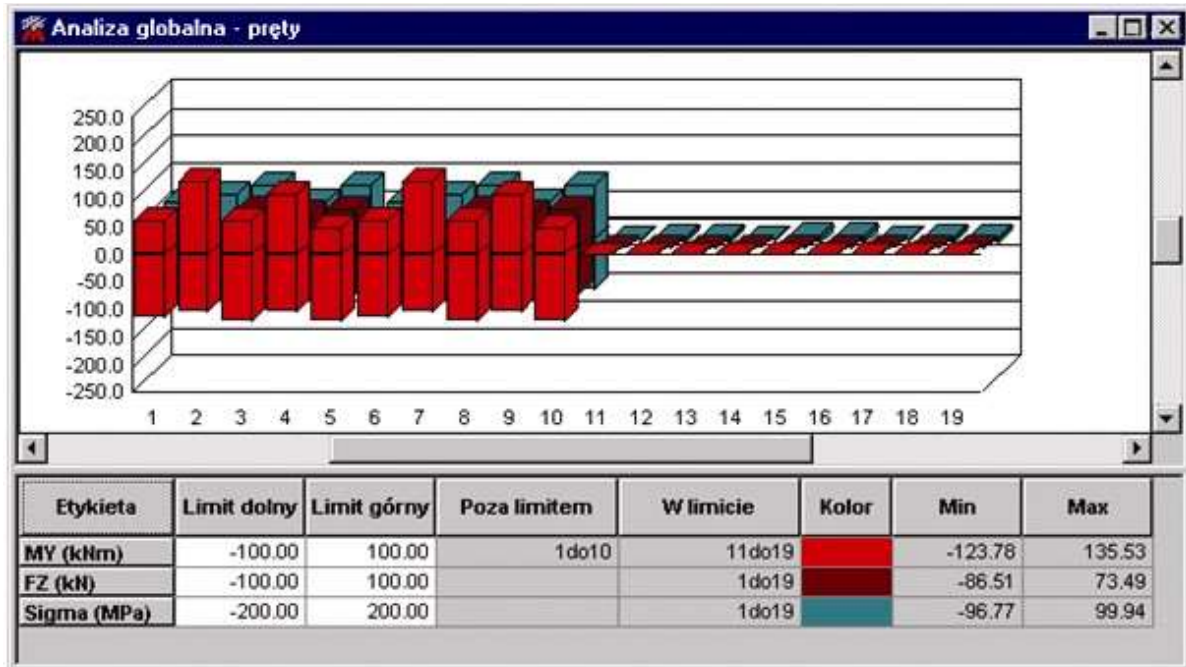
Pręt / Przypadek	Normalne [Fx, My, Mz] min. MPa	Normalne [Fx, My, Mz] max. MPa	Normalne min. MPa	Normalne max. MPa	Tau xy max. MPa
1 / 1	-11.12	17.03	-11.12	17.03	0
2 / 1	-15.03	17.81	-15.03	17.97	1
3 / 1	-7.82	4.65	-7.82	4.65	0.45

5.10. Analiza globalna

Opcja służy do prezentacji zmienności wybranej wielkości (przemieszczenia, siły wewnętrzne, napężenia) dla wszystkich prętów projektowanej konstrukcji. Opcja dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Rezultaty / Analiza globalna - pręty*
- z paska narzędziowego poprzez wybranie ikony .

Użycie tej opcji pozwala na wyświetlenie maksymalnych i minimalnych wartości wybranej wielkości wynikowej dla każdego elementu prętowego na jednym wykresie. Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się dodatkowe okno, w którym użytkownik może wybrać wielkości do prezentacji. Po ich wskazaniu tworzony jest globalny wykres dla wybranych prętów. Na poniższym rysunku przykładowo przedstawiono wykresy i tabelę dla sił wewnętrznych i napężenia ekstremalnego.



W górnej części prezentowanego powyżej okna przedstawiany jest globalny wykres wybranych do prezentacji wielkości dla wszystkich prętów. Istnieje możliwość zmiany postaci tego wykresu. Po naciśnięciu prawego klawisza myszki w polu wykresu na ekranie pojawia się menu kontekstowe, w którym znajduje się opcja *Rodzaj wykresu*. Dostępnych jest pięć typów wykresów: liniowy, słupkowy pionowy, słupkowy poziomy, 3D pionowy i 3D poziomy.

W dolnej części prezentowanego powyżej okna przedstawiana jest tabela, w której można znaleźć następujące informacje:

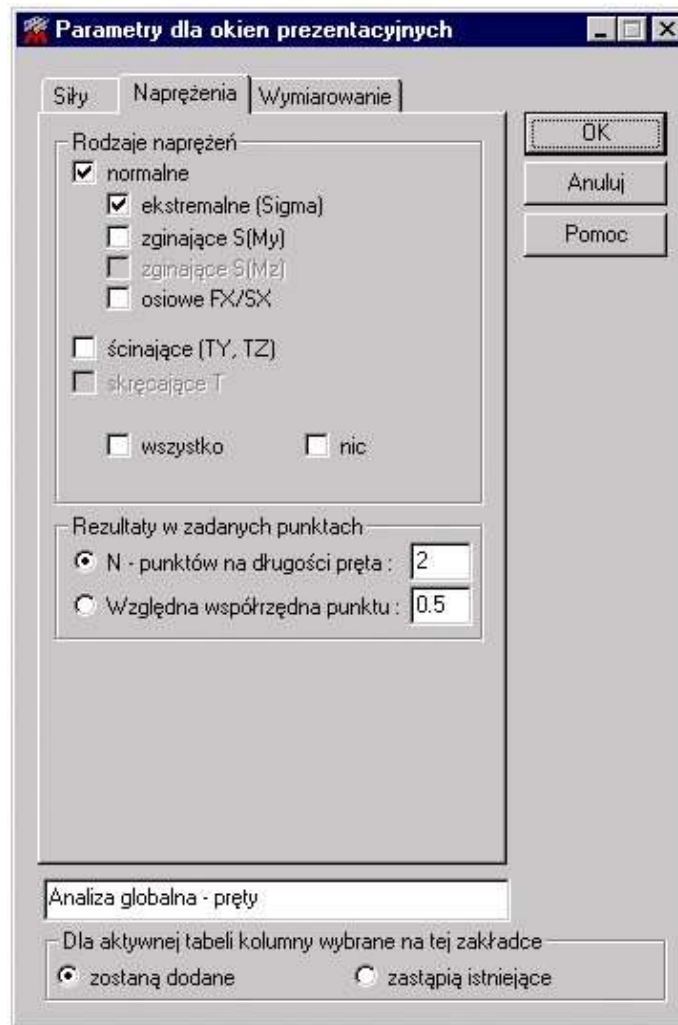
- w pierwszej kolumnie - wybrane do prezentacji wielkości (siły wewnętrzne, naprężenia, parametry wymiarowania)
- w drugiej kolumnie - wartość limitu dolnego; jest to wartość, która umożliwia określenie dolnej granicy dla wybranej wielkości; umożliwia to wybranie prętów, dla których graniczne wartości są przekroczone
- w trzeciej kolumnie - wartość limitu górnego; jest to wartość, która umożliwia określenie górnej granicy dla wybranej wielkości; umożliwia to wybranie prętów, dla których graniczne wartości są przekroczone
- w czwartej kolumnie - lista prętów, dla których przekroczone są wartości graniczne dla wybranych wielkości
- w piątej kolumnie - lista prętów, dla których wartości wybranych wielkości mieszczą się w przedziale określonym przez wartości limitu górnego i dolnego
- w szóstej kolumnie - kolor, którym prezentowana jest wielkość na wykresie
- w siódmej i ósmej - odpowiednio minimalna i maksymalna wartość wybranej/wybranych do prezentacji wielkości wyznaczona dla wszystkich prętów konstrukcji.

Wielkości, które są przedstawiane na wykresie oraz w tabeli, można wybierać. Po naciśnięciu prawego klawisza myszki w polu tabeli na ekranie pojawia się menu kontekstowe, w którym znajduje się opcja *Kolumny*. Po jej wybraniu na ekranie pojawia się okno dialogowe **Parametry dla okien prezentacyjnych**, w którym wybrane mogą zostać wielkości do prezentacji w analizie globalnej prętów konstrukcji. Okno dialogowe składa się z trzech zakładek: *Siły*, *Naprężenia* i *Wymiarowanie*. Na poniższym rysunku przykładowo przedstawiono zakładkę *Naprężenia*.

Wartość limitu górnego i dolnego dla poszczególnych wielkości można definiować na dwa sposoby:


- tekstowo wpisując wartość górnej lub dolnej granicy w odpowiednim polu tabeli

- graficznie - po ustawieniu kursora myszki w odpowiednim polu tabeli (limit górny lub dolny dla wybranej wielkości) należy przejść na pole, w którym prezentowany jest wykres i tam określić wartość granicy (na wykresie pojawia się pozioma linia, która określa położenie limitu).



5.11. Analiza szczegółowa

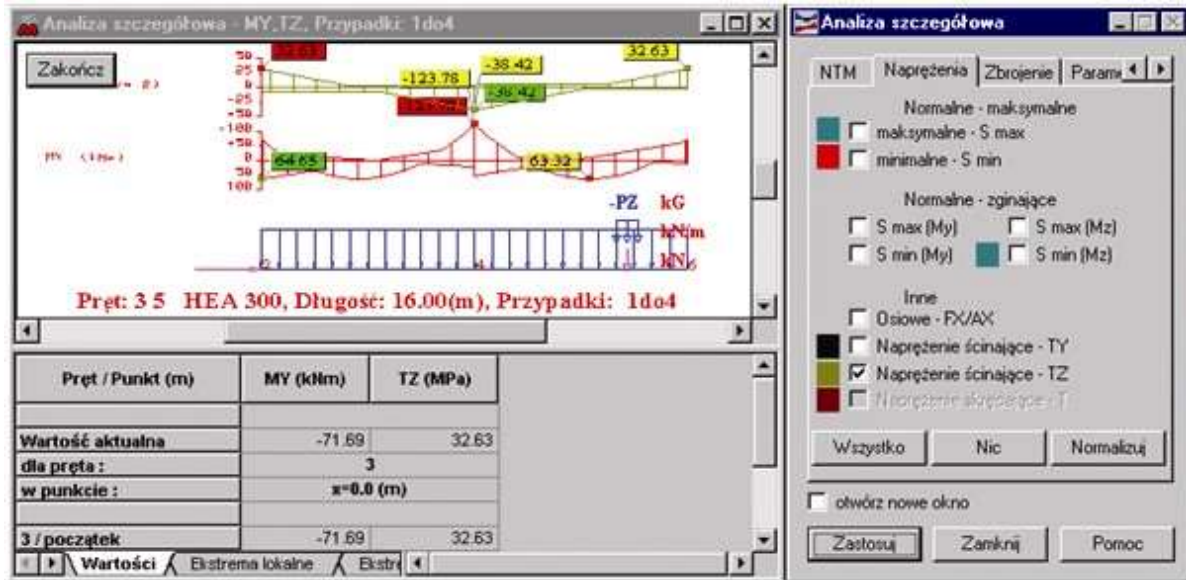
Opcja służy do prezentacji szczegółowych wyników (wykresy, tabele) dla wybranych prętów konstrukcji. Opcja dostępna jest:

- poprzez wybranie ekranu programu **Robot: REZULTATY/ANALIZA SZCZEGÓŁOWA**
- z menu poprzez wybranie komendy *Rezultaty / Analiza szczegółowa*
- z paska narzędziowego poprzez wybranie ikony .

UWAGA: Przed wybraniem tej opcji należy wyselekcjonować w konstrukcji pręt lub pręty, dla których ma być przedstawiona analiza szczegółowa.

Opcja analiza szczegółowa pozwala na prezentację szczegółowych wykresów i stabelaryzowanych wyników numerycznych. Po uruchomieniu tej opcji ekran monitora podzielony jest na trzy główne części (patrz rysunek poniżej):

- okno dialogowe **Analiza szczegółowa** (patrz opis poniżej), w którym dokonać można wyboru wielkości do prezentacji oraz sposób prezentacji wykresów
- tabela, w której prezentowane będą numeryczne wyniki obliczeń dla wybranych prętów konstrukcji
- ekran graficzny, w którym dla wybranych prętów prezentowane będą wykresy wybranych wielkości.

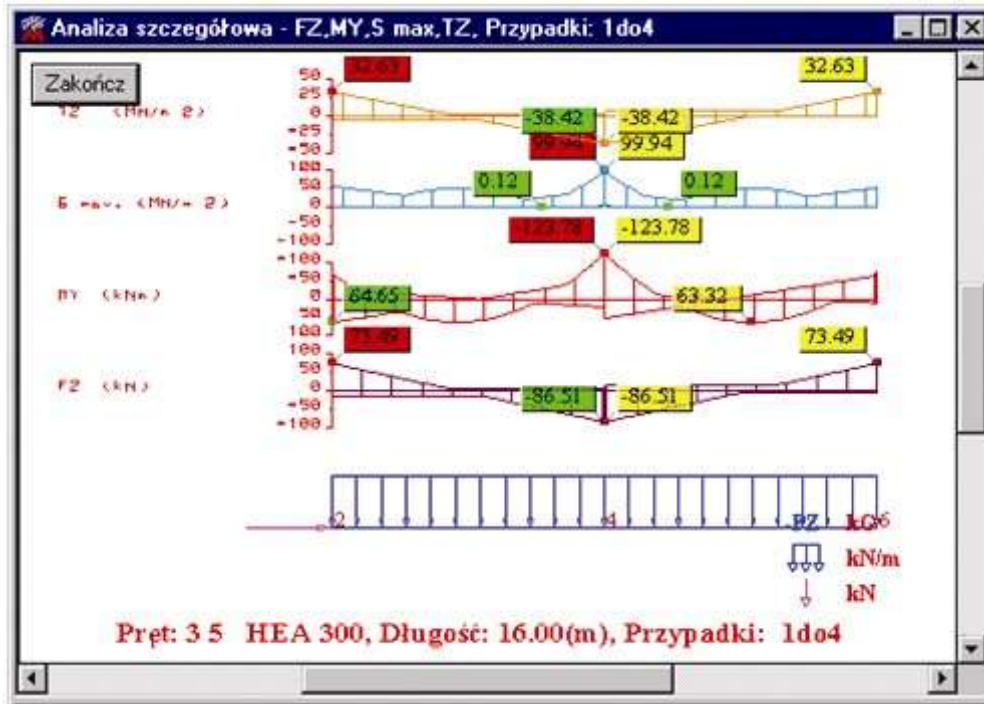


W tabeli podawane są wartości wybranych do prezentacji przemieszczeń globalnych, wartości sił wewnętrznych i naprężeń dla początku elementu, jego końca i ewentualnie punktów pośrednich określonych przez użytkownika w oknie dialogowym **Analiza szczegółowa**. Tabela składa się z trzech zakładek:

- **Wartości** - prezentowane są wartości wybranych do prezentacji wielkości w wybranych punktach
- **Ekstrema lokalne** - prezentowane są ekstrema lokalne wybranych do prezentacji wielkości dla poszczególnych prętów dla których przeprowadzana jest analiza szczegółowa
- **Ekstrema globalne** - prezentowane są ekstrema globalne wybranych do prezentacji wielkości dla wszystkich prętów dla których przeprowadzana jest analiza szczegółowa. Jeżeli do analizy szczegółowej wybrany został tylko jeden pręt, to ekstrema lokalne są równe ekstremom globalnym.

Położenie punktów pośrednich, dla których przedstawiane są wartości wybranych wielkości do prezentacji, może zostać określone na zakładce **Punkty podziału** okna dialogowego **Analiza szczegółowa**.

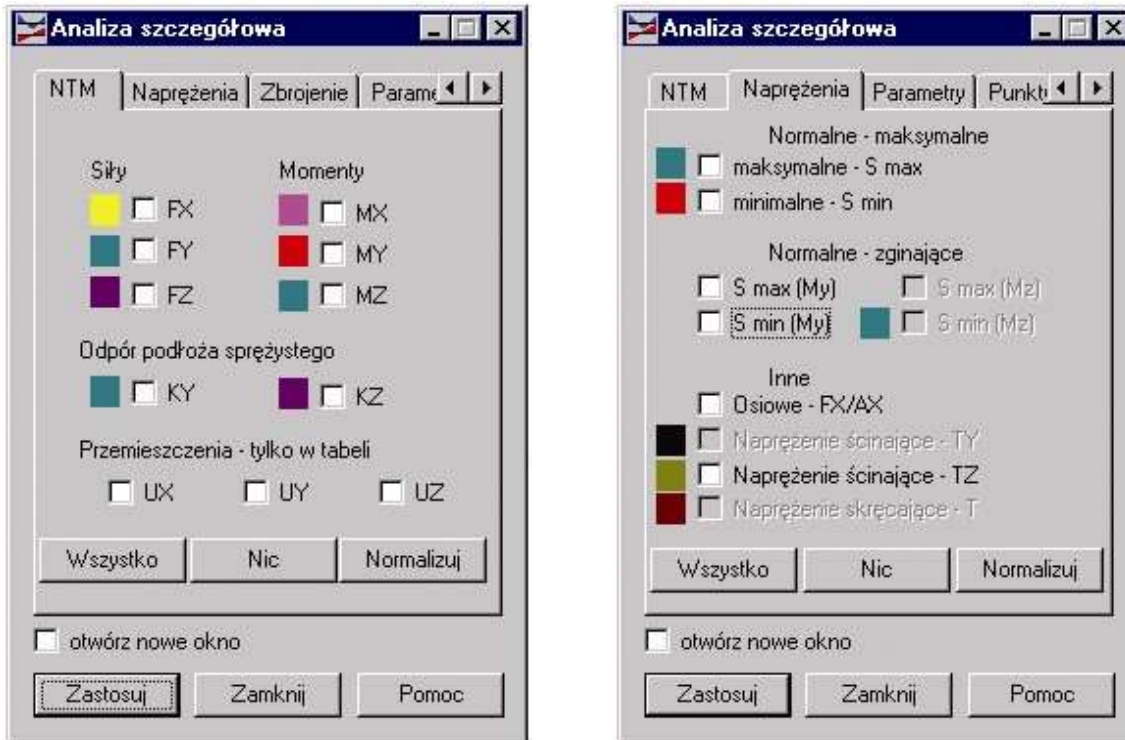
Na ekranie graficznym prezentowany jest szczegółowy wykres na długości elementu wybranych przez użytkownika przemieszczeń, sił wewnętrznych i naprężeń otrzymanych dla aktywnego przypadku obciążenia. Wartości sił są podawane zgodnie z konwencją znakowania (patrz rozdział 2.3). Przykładowe wykresy szczegółowe przedstawiono na poniższym rysunku. Jeżeli włączone są opisy wykresów, to na wykresach prezentowane są punkty maksymalnej i minimalnej wartości prezentowanej wielkości.



Okno dialogowe **Analiza szczegółowa** pojawia się na ekranie, gdy zostanie wybrana opcja *Analiza szczegółowa*. Składa się ono z pięciu zakładek:

- *NTM*
- *Naprężenia*
- *Zbrojenie*
- *Parametry*
- *Punkty podziału*.

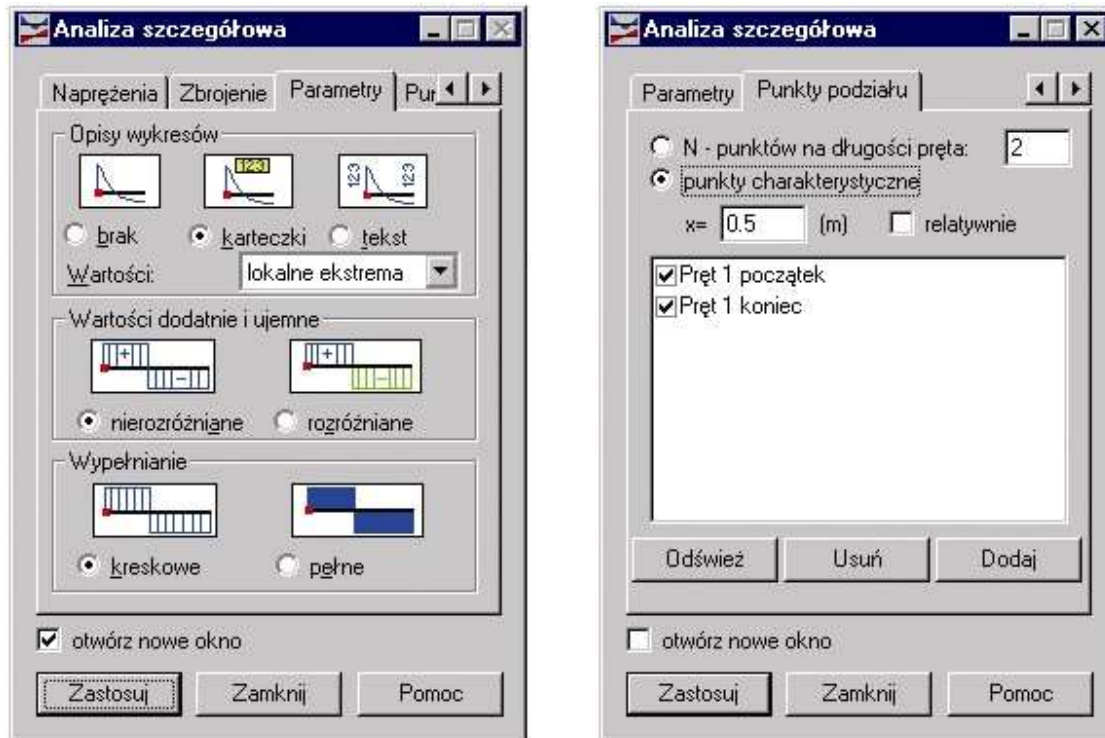
Dwie pierwsze zakładki (*NTM* i *Naprężenia*) pozwalają na wybranie wielkości, które będą prezentowane dla wybranych prętów konstrukcji. Wartości wybranych wielkości (przemieszczeń, odporu podłoża sprężystego, sił wewnętrznych oraz naprężeń) będą przedstawiane graficznie na ekranie oraz tekstowo w tabeli. Można oczywiście wybierać kilka wielkości jednocześnie do prezentacji dla wybranych prętów konstrukcji. Zakładki *NTM* i *Naprężenia* okna dialogowego **Analiza szczegółowa** pokazano na poniższych rysunkach.



Opcje znajdujące się na trzeciej zakładce *Zbrojenie* pozwalają na prezentację wyników obliczeń zbrojenia teoretycznego dla żelbetowych prętów konstrukcji. Przedstawiane mogą być teoretyczne lub rzeczywiste powierzchnie zbrojenia, rozstaw zbrojenia (strzemion), stopień zbrojenia itp. W dolnej części okna dialogowego znajduje się opcja *Przedstaw na jednym wykresie teoretyczną i rzeczywistą wielkość*. Jej włączenie powoduje, że dla wybranej wielkości (np. zbrojenia górnego) na tym samym wykresie przedstawiane będą dwie wielkości: teoretyczna i rzeczywista wielkość (np. teoretyczna powierzchnia zbrojenia górnego i rzeczywista powierzchnia zbrojenia górnego). Jeżeli ta opcja jest wyłączona, to wszystkie wielkości są prezentowane na osobnych wykresach.

Dwie kolejne zakładki okna dialogowego *Analiza szczegółowa* pozwalają określić w jaki sposób prezentowane będą na wykresie i w tabeli wybrane wielkości. Na zakładce *Parametry* określony może zostać sposób prezentacji wykresów na ekranie graficznym. Zakładka *Punkty podziału* umożliwia określenie punktów pośrednich na pręcie, dla których w tabeli prezentowane będą wartości wybranych wielkości do prezentacji.

Zakładki *Parametry* i *Punkty podziału* okna dialogowego *Analiza szczegółowa* pokazano na poniższych rysunkach.



Na zakładce *Parametry* w polu *Opisy wykresów* można zdecydować, w jaki sposób prezentowane będą na wykresie opisy wartości:

- *brak* - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to opisy wykresów wielkości dostępnych w oknie **Analiza szczegółowa** nie będą prezentowane
- *karteczki* - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to opisy wykresów wielkości dostępnych w oknie **Analiza szczegółowa** będą prezentowane w postaci karteczek prezentujących wartości w wybranych punktach prętów; opisy są odsunięte od wykresów
- *tekst* - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to opisy wykresów wielkości dostępnych w oknie **Analiza szczegółowa** będą prezentowane w postaci wartości w wybranych punktach prętów; opisy umieszczone są prostopadłe do pręta

Dla dwóch opcji (*karteczki* i *tekst*) dostępne staje się pole wyboru *Wartości*, które służy do ograniczenia wyświetlania liczby opisów wykresów prezentowanych na widoku. Dostępne są następujące opcje: *wszystkie* (opisy wykresów są wyświetlane na każdym elemencie obliczeniowym na jego początku i końcu oraz w miejscach wartości maksymalnej i minimalnej), *lokalne ekstrema* (opisy wykresów są wyświetlane tylko dla wartości maksymalnej i minimalnej na pręcie; opcja jest szczególnie przydatna, jeśli pręty są podzielone na dużą liczbę elementów obliczeniowych i nie interesują nas wartości pośrednie, a tylko wartości ekstremalne na całym pręcie), *globalne ekstrema* (opisy są wyświetlane tylko dla globalnej wartości maksymalnej i minimalnej, pokazując wartości ekstremalne dla całej konstrukcji)

Dodatkowo, w polu *Wartości dodatnie i ujemne* można zdecydować, czy kolorem rozróżniane będą dodatnie i ujemne wartości na wykresach prezentowanej wielkości, a w polu *Wypełnianie* można określić sposób wypełnienia wykresu (kreskowane lub pełne).

Na zakładce *Punkty podziału* określone mogą zostać punkty dla których prezentowane będą wartości w tabeli. Jeżeli wybrana zostanie opcja *N-punktów na długości pręta*, to w odpowiednim polu określona może zostać liczba punktów (wliczając węzeł początkowy i końcowy pręta) rozłożonych równomiernie na długości pręta dla których prezentowane będą wartości. Domyślnie $N=2$, co oznacza, że wartości wybranych do prezentacji wielkości będą przedstawiane w tabeli jedynie dla początku i końca pręta; dla $N=3$ w środku

pręta zostanie dodany punkt (pręt zostanie podzielony na dwa równe odcinki), w którym dodatkowo przedstawiane będą wyniki. Jeżeli wybrana zostanie opcja *Charakterystyczne*, to będzie można określić punkt na długości pręta (podając odległość od początku pręta - bezwzględnie lub względnie), w którym należy przedstawić wartości wybranych wielkości. Przy kolejnych punktach, w których prezentowane będą wyniki, załączane będą następujące opisy:

- auto - punkty wygenerowane automatycznie
- user - punkty zdefiniowane przez użytkownika
- zero - punkty charakterystyczne na pręcie (miejsca, w których wartość wybranej wielkości jest równa zero, punkty ekstremalnych wartości wybranej wielkości).

W dolnej części okna **Analiza szczegółowa** (zakładka *Punkty podziału*) znajdują się trzy klawisze:

- **Odśwież** - uaktualnienie listy punktów (po zmianach dokonanych przez użytkownika), w których podawane będą wartości wybranych do prezentacji wielkości
- **Usuń** - usunięcie punktów na długości pręta, w których podawane miały być wartości wybranych do prezentacji wielkości
- **Dodaj** - dodanie punktów na długości pręta, w których podawane będą wartości wybranych do prezentacji wielkości.


Jeżeli wybrana zostanie opcja *Otwórz nowe okno*, to na ekranie pojawi się nowe okno, w którym prezentowane będą wykresy wybranych w oknie *Analiza szczegółowa* wielkości.

5.12. Linie wpływu

Obciążenia ruchome są definiowane poprzez wybór pojazdu i określenie jego drogi na konstrukcji. Pojazd jest zbiorem sił o zadanym kierunku, wielkości i położeniu. W każdym kroku pojazd jest przesuwany z jednego położenia do następnego; zbiór sił przyłożony do elementów jest tworzony dla każdego położenia. Stąd przypadek obciążenia ruchomego jest traktowany jako zbiór kilku statycznych przypadków obciążenia (kolejny przypadek obciążenia dla następnego położenia pojazdu).

Dla ruchomego przypadku obciążenia użytkownik może narysować drogę pojazdu na konstrukcji. Ponadto może przedstawić obciążenia pojazdem oraz pokazać wynikowe wielkości osobno dla każdego położenia pojazdu lub dla ciągu położzeń (animacja obciążenia ruchomego i wielkości wynikowych). Wyniki otrzymane dla przypadku obciążenia ruchomego mogą być prezentowane w dwojaki sposób. Pierwszą metodą jest przedstawienie wyników przypadku statycznego dla wybranego przez użytkownika położenia obciążenia ruchomego. Użytkownik może przedstawiać wynikowe wielkości przesuując obciążenie krok po kroku lub poprzez opcję animacji. Drugą metodą jest prezentowanie zmiany wartości wybranej wielkości w trakcie poruszania się obciążenia po konstrukcji. Powoduje to przedstawienie linii wpływowych wybranej wielkości.

Przedstawiona zostanie teraz możliwość tworzenia linii wpływowych wybranej wielkości. Służy do tego opcja *Linia wpływu*, która może zostać uruchomiona:

- z menu poprzez wybranie komendy *Rezultaty / Zaawansowane / Linia wpływu*
- z paska narzędziowego poprzez naciśnięcie ikony *Linia wpływu* .

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.



W przypadku konstrukcji prętowych dostępne są w powyższym oknie dialogowym tylko dwie zakładki: *Węzły* i *NTM*; gdy analizowana jest konstrukcja płytowa lub powłokowa, dostępne są również zakładki: *Szczegółowe*, *Ekstremalne*, *Złożone* i *Parametry*. Na tych zakładkach dostępne są wielkości, dla których prezentowane mogą być linie wpływu.

Aby przedstawić na ekranie linię wpływu dowolnej wielkości, należy:

- zdefiniować zakres (opcje *od* i *do*); naciśnięcie klawisza **Wszystko** powoduje uwzględnienie wszystkich zdefiniowanych położzeń obciążenia ruchomego
- określić punkt, dla którego tworzona będzie linia wpływu wybranej wielkości; służą temu opcje:
- element - numer elementu/pręta, dla którego tworzona będzie linia wpływu wybranej wielkości
- pozycja - współrzędna (współrzędna względna) punktu dla elementu/pręta, dla którego tworzona będzie linia wpływu wybranej wielkości
- na zakładkach okna dialogowego wybrać wielkości, dla których mają być tworzone linie wpływu
- dla konstrukcji płytowo-powłokowych określić powierzchnię równoległą do powierzchni środkowej, dla której tworzone będą linie wpływu
- nacisnąć klawisz **OK**.

Na ekranie monitora zostanie otwarte nowe okno, w którym prezentowana będzie linia wpływu wybranej wielkości. To nowo otwarte okno można podzielić na dwie części:

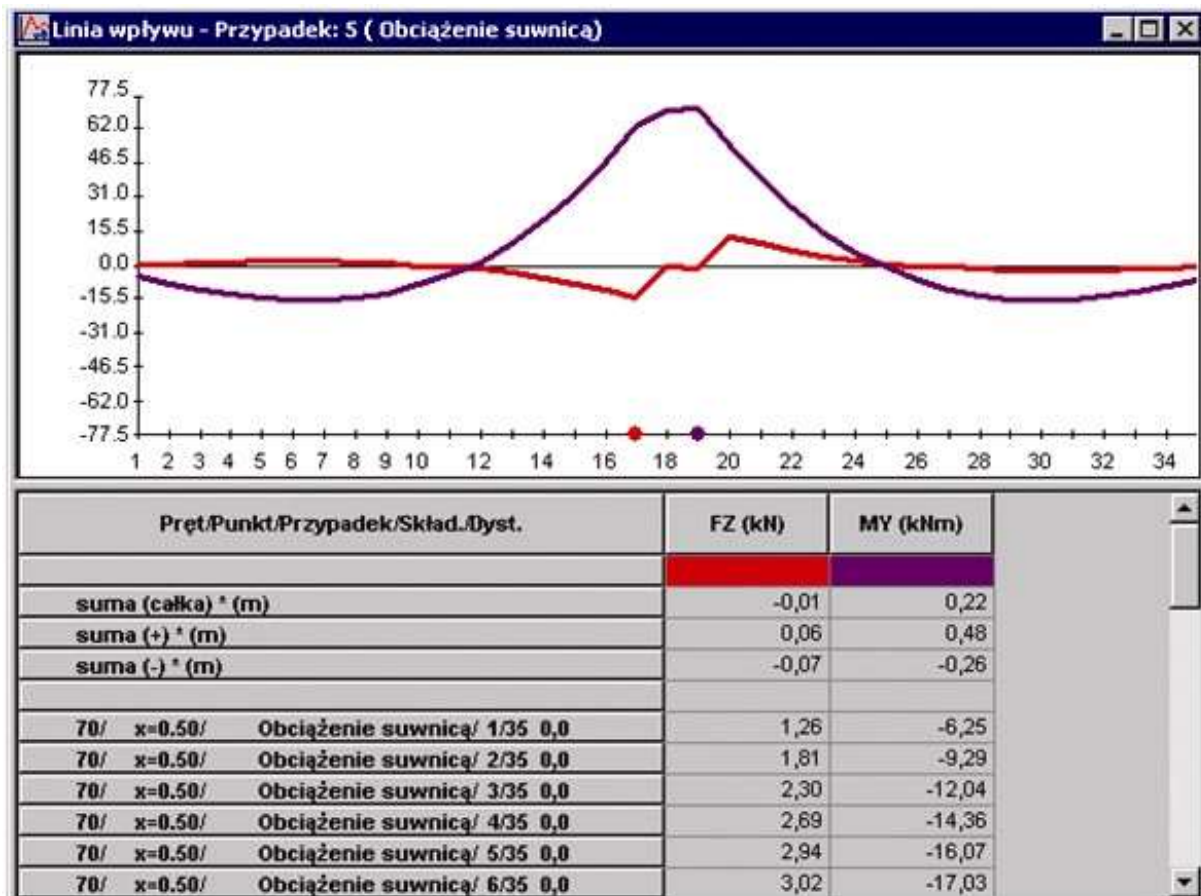
- tabelę, w której prezentowane będą numeryczne wyniki obliczeń; kolejno podawane będą następujące informacje:
w górnej części tabeli dla analizy obciążeń ruchomych podawana jest wartość całki z wykresów wyświetlonych na widoku; podawane są wartości następujących całek:
- suma całkowita

- całka z części dodatniej i ujemnej każdego wykresu.

Należy zwrócić uwagę na to, że wartość całki zależy od wybranej jednostki długości, ponieważ wartość całki jest wyrażona w jednostce będącej iloczynem jednostki wielkości na wykresie i jednostki długości drogi pierwsza kolumna - numer pręta (elementu), dla którego utworzona została linia wpływu, położenie punktu na pręcie (elemencie), nazwa przypadku obciążenia ruchomego, pozycja obciążenia ruchomego, położenie obciążenia ruchomego dla kolejnych jego pozycji na konstrukcji dwie lub trzy kolejne kolumny (w zależności o typu konstrukcji) - współrzędne położenia pojazdu w globalnym układzie współrzędnych kolejne kolumny - wartości wybranych wielkości, dla których utworzona została linia wpływu.

- ekran graficzny, na którym prezentowane będą wykresy linii wpływu wybranych wielkości.

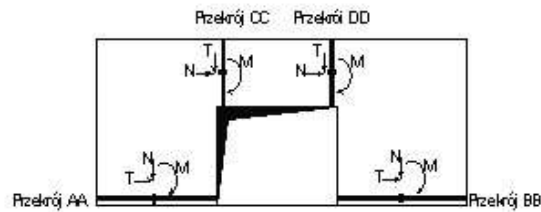
Na poniższym rysunku przedstawiono przykładowe wykresy linii wpływu siły FZ i momentu zginającego MY.



5.13. Wyniki zredukowane dla paneli

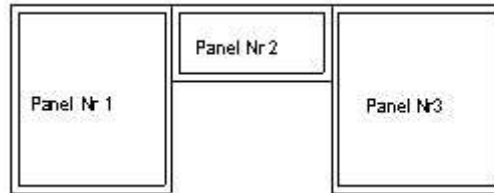
Opcja służy do prostego i szybkiego uzyskania wyników dla paneli. Wyniki te mogą być wykorzystane do innych obliczeń np. do obliczeń zbrojenia, które należy użyć w ścianach służących do utrzymania stabilności budynku poddanego działaniu sił wiatru lub sił sejsmicznych. Aby wykonać takie obliczenia, znane muszą być siły zredukowane na długości różnych przekrojów.

ELEWACJA ŚCIANY SIŁY ZREDUKOWANE



Przekroje, na których powinny być otrzymywane siły zredukowane, mogą być poziome przy podstawie ściany (przekrój AA i przekrój BB) lub pionowe (przekrój CC i przekrój DD).

Aby otrzymać system otrzymywania sił zredukowanych, który byłby jednocześnie prosty i szybki w użyciu dla użytkownika, ściany powinny zostać rozłożone na czworokątne panele według schematu przedstawionego poniżej:

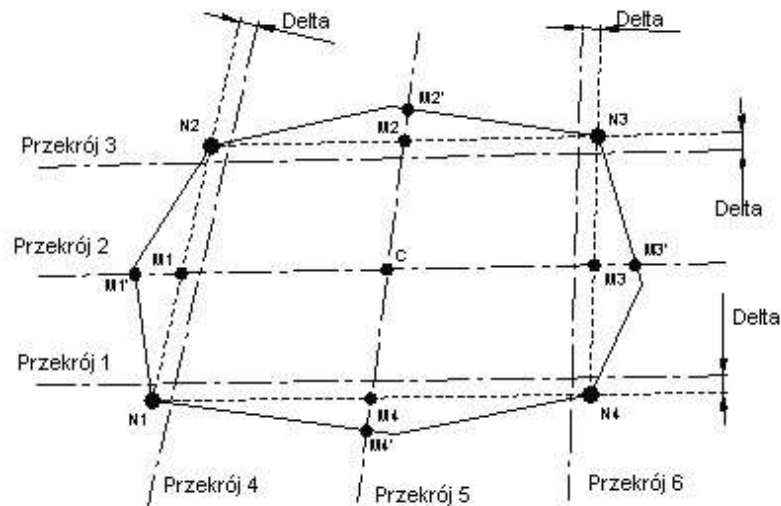


W programie siły zredukowane powinny być obliczane jedynie dla paneli dwuwymiarowych, które posiadają kształt wypukłego czworokąta. Siły zredukowane nie będą obliczane dla następujących rodzajów paneli:

- paneli, które powstały przy użyciu opcji edycyjnych: *Wyciąganie* i *Przekręcanie*
- paneli trójwymiarowych (zakrzywionych)
- paneli, które nie mają kształtu czworokątnego • paneli czworokątnych wklęsłych (nie wypukłych)
- paneli o zmiennych grubościach.

Wartości sił zredukowanych powinny być uzyskiwane dla 6 przekrojów, które opisane są na poniższym schemacie.

Położenie możliwych przekrojów dla wyników zredukowanych



Aby przekroje 1, 3, 4 i 6 zostały poprawnie zdefiniowane wewnątrz paneli (brak sprecyzowanych współrzędnych), należy przesunąć te przekroje o wartość Delta w stosunku do głównych węzłów paneli N1, N2, N3 i N3. Wartość delta może być równa wartości tolerancji używanej do generowania modelu obliczeniowego.

Położenie punktów jest następujące:

Punkt M1 jest środkiem odcinka N1-N2.

Punkt M2 jest środkiem odcinka N2-N3.

Punkt M3 jest środkiem odcinka N3-N4.

Punkt M4 jest środkiem odcinka N4-N1.

Punkt C jest środkiem odcinka M1-M3 lub jest środkiem odcinka M2-M4.

Punkt M1' jest punktem przecięcia prostej (M1,M3) i krawędzi panelu.

Punkt M2' jest punktem przecięcia prostej (M2,M4) i krawędzi panelu.

Punkt M3' jest punktem przecięcia prostej (M1,M3) i krawędzi panelu. Punkt

M4' jest punktem przecięcia prostej (M2,M4) i krawędzi panelu.

OBLICZENIE SIŁ ZREDUKOWANYCH

Układ współrzędnych dla wyników jest identyczny z układem współrzędnych dla wyników używanym na przekrojach paneli.

Początek układu jest umieszczony w punkcie Pr (punkt odniesienia), który jest taki sam jak M1, M2, M3, M4 lub C w zależności od żądanych przekrojów.

Punkty Po i Pe będą takie same jak punkty N1 i N4 dla przekroju 1.

Punkty Po i Pe będą takie same jak punkty N2 i N3 dla przekroju 3.

Punkty Po i Pe będą takie same jak punkty N1 i N2 dla przekroju 4.

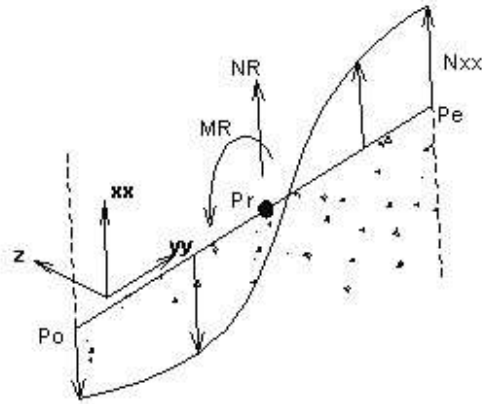
Punkty Po i Pe będą takie same jak punkty N3 i N4 dla przekroju 6.

Punkty Po i Pe będą takie same jak punkty M1' i M3' dla przekroju 2. Punkty

Po i Pe będą takie same jak punkty M2' i M4' dla przekroju 5.

Obliczanie NRx i MRz

Konwencja znakowania sił normalnych i zredukowanych momentów zginających (NRx i MRz)



$$P_e$$

$$NR_x = \int_{P_o}^{P_e} N \cdot dy_{yx}$$

$$MR_z = \int_{P_o} N \cdot yy \cdot dy_{yx}$$

Moment MR_z jest dodatni, gdy powoduje rozciąganie włókien znajdujących się po stronie dodatniej osi yy .

Obliczanie innych składowych wyników

$$P_e$$

$$TR_y = \int_{P_o}^{P_e} N \cdot dy_{xy}$$

$$MR_y = \int_{P_o} M \cdot dy_{yx}$$

Zasada znakowania momentu MR_y jest taka sama jak dla momentów M_{xx} : Moment MR_y jest dodatni, gdy powoduje rozciąganie włókien znajdujących się po stronie dodatniej lokalnej osi z paneli.

$$P_e$$

$$TR_z = \int_{P_o} Q \cdot dy_{yx}$$

Obliczanie naprężeń zredukowanych σ i τ

Składowe te są konieczne do sprawdzenia zastosowanego zbrojenia w żelbetowych ścianach stężących.

$$sR_o = \frac{NReL}{c} - \frac{6eL}{MR}$$

$$c \frac{sRe}{2} = \frac{NReL}{c}$$

$$+ \frac{6eL}{MR} \cdot c \frac{2}{2}$$

$$tR = \frac{TR_y}{e(L - \frac{e}{2})}$$

gdzie: sR_o - najmniejsza wartość naprężeń pionowych w ścianie (ujemne wartości - ściskanie) sRe - największa wartość naprężeń pionowych w ścianie (dodatnie wartości - rozciąganie) e - grubość panelu
 L_c - długość przekroju.

Redukcja $e/2$ na długości przekroju pozwala uwzględnić otulinę zbrojenia na końcach ścian stężących.

Obliczanie długości przekroju L_c

Informacja ta jest niezbędna do sprawdzenia zbrojenia zastosowanego w żelbetowych ścianach stężących.

$$L_c = \int_{P_o}^{P_e} dy \sqrt{(x_{pe} - x_{po})^2 + (y_{pe} - y_{po})^2 + (z_{pe} - z_{po})^2}$$

gdzie:

x_{po} , y_{po} i z_{po} są współrzędnymi bezwzględnymi punktu P_o x_{pe} ,

y_{pe} i z_{pe} są współrzędnymi bezwzględnymi punktu P_e .

Obliczanie wysokości paneli H_t

Informacja ta jest niezbędna do sprawdzenia zbrojenia zastosowanego w żelbetowych ścianach stężących.

Dla przekrojów poziomych 1, 2 i 3 wysokość H_t będzie obliczana na podstawie wzoru: $H_t = \max$

$$L(c_4, L_{c5}, L_{c6}) = \max(NN, M', N) \left(\begin{matrix} 1 & 2 & 4 & 3 & 4 \end{matrix} \right)$$

Dla przekrojów pionowych 4, 5 i 6 wysokość H_t będzie obliczana na podstawie wzoru: $H_t = \max$

$$L(c_1, L_{C2}, L_{C3}) = \max(NN, M'M', NN) \begin{pmatrix} 1 & 4 & 1 & 3 & 2 & 3 \end{pmatrix}$$

Wyniki w tabelach są przedstawione w identyczny sposób jak w innych tabelach (np. tabelach reakcji, przemieszczeń, sił itd.)

Nagłówek pierwszej kolumny zawiera, w zależności od przypadku, wybrane obciążenia:

- Panel / Przekrój / Przypadek
- Panel / Przekrój / Przypadek / Składowa
- Panel / Przekrój / Przypadek / Tryb.

Opis przekrojów wykonany jest w odniesieniu do numerów N1, N2, N3 i N4 głównych węzłów paneli.

Dla przekrojów 1, 3, 4 i 6 opisami są N1-N4, N2-N3, N1-N2 i N3-N4. Dla przekrojów 2 i 5 opisami są N1~N2-N3~N4 i N1~N4-N2~N3.

5.14. Wykresy i tabele dla analizy czasowej / analiz zaawansowanych

Wyniki analizy całkowanie równań ruchu mogą być prezentowane w formie graficznej: wykresów, map, deformacji konstrukcji. Wykresy mogą być prezentowane dla obwiedni lub dla każdej ze składowej czasowej. Po wyborze dodatkowo generowanego przypadku (+/-) wyświetlane są obwiednie. Natomiast po wyborze przypadku głównego dostępne wyniki pojedynczej składowej z poszczególnych kroków czasowych. Po wybraniu z menu opcji *Rezultaty / Zaawansowane / Analiza czasowa - Wykresy* na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.



Wyniki analizy czasowej w formie graficznej prezentowane są jako wykresy wybranej wielkości w zależności od zmiennej czasowej w wybranym przypadku analizy czasowej. Wykresy pokazywane są w nowym oknie graficznym **Wykresy równań ruchu**; prezentowane są tam wykresy oraz tabela zawierająca opis wykresów.

W oknie dialogowym prezentowanym na powyższym rysunku znajdują się następujące opcje:

- w polu *Definicja wykresów*:
klawisze:

Dodaj - jego naciśnięcie powoduje uruchomienie okna dialogowego do definicji nowej funkcji

Wykres tworzony jest dla wybranej, jednej (**i tylko jednej**) wielkości wynikowej. Wielkość ta musi być wybrana na jednej z dostępnych zakładek okna dialogowego **Definicja wykresu** (**UWAGA: liczba zakładek zależna jest od typu analizowanej konstrukcji**). Dodatkowo określony musi zostać element/pręt lub węzeł, dla którego wykres będzie prezentowany. W przypadku elementów powierzchniowych wartości sił i naprężeń odczytywane są w środkach elementów.

Nazwa wykresu funkcji tworzona jest automatycznie; poniżej prezentowane są elementy składowe nazwy:

(numer_przypadku)_(nazwa_wartości)_(nazwa_opcji)_(numer_elementu_lub_węzła)/(pozycja_na_pręcie).

Nazwa wykresu funkcji może zostać zmieniona; nie można zdefiniować wykresu funkcji, jeżeli nie została wybrana żadna z wartości w powyższym oknie dialogowym lub brak jest nazwy wykresu.

Modyfikuj - jego naciśnięcie powoduje uruchomienie okna dialogowego do definicji funkcji (zmiana nazwy lub wartości funkcji, która została aktualnie wybrana na liście rozwijalnej)

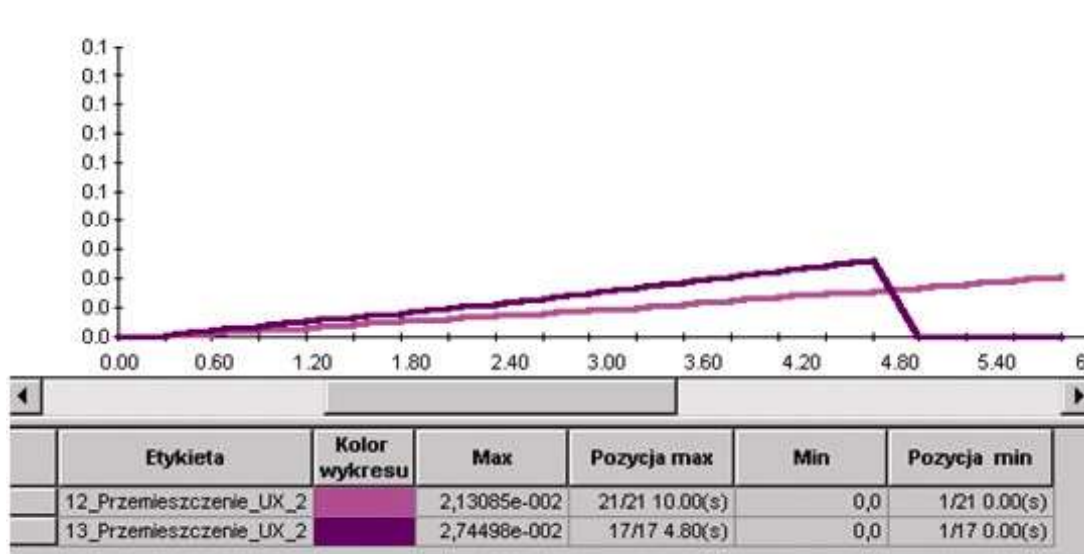
Usuń - jego naciśnięcie powoduje usunięcie definicji funkcji aktualnie wybranej na liście

- w dolnej części okna dialogowego znajdują się dwa panele: jeden ze zdefiniowanymi wykresami (*Dostępne wykresy*), a drugi z wykresami wybranymi do prezentacji (*Prezentowane wykresy*). Pomiędzy nimi znajdują się standardowe klawisze do przenoszenia zawartości tabel:
 - > - jego naciśnięcie powoduje przeniesienie do prawego panela wybranego wykresu
 - >> - jego naciśnięcie powoduje przeniesienie do prawego panela wszystkich wykresów
 - < - jego naciśnięcie powoduje usunięcie z prawego panela wybranego wykresu
 - << - jego naciśnięcie powoduje usunięcie z prawego panela wszystkich wykresów.

Panel, w którym przedstawiane są zdefiniowane wykresy zawiera dwa rodzaje funkcji: po pierwsze wszystkie funkcje zdefiniowane przez użytkownika i znajdujące się w liście rozwijalnej umieszczonej w górnej części okna dialogowego, po drugie funkcje czasowe zdefiniowane jako dane dla analizy czasowej w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe** (są one domyślnie przeniesione z definicji przypadku)

- **Otwórz w nowym oknie** - włączenie tej opcji powoduje otwarcie widoku z wykresami w nowym oknie graficznym.

Po zdefiniowaniu wykresów i przeniesieniu ich do pola *Prezentowane wykresy* w oknie dialogowym **Równania ruchu** naciśnięcie klawisza **Zastosuj** powoduje wyświetlenie widoku z wybranymi wykresami. Na poniższym rysunku przedstawiono przykładowy wykres dla przypadku analizy czasowej.



W górnej części widoku znajdują się wykresy wybranych wielkości umieszczone na tym samym rysunku. Odcięta jest zmienną czasową. W dolnej części umieszczona jest tabela z opisem wykresów i wartościami ekstremalnymi wybranych wielkości.

Po ustawieniu kursora w tabeli i naciśnięciu prawego klawisza myszki na ekranie pojawia się menu kontekstowe, w którym znajduje się opcja *Kolumny*. Po jej uruchomieniu na ekranie pojawia się okno dialogowe, w którym można dokonać wyboru wielkości prezentowanych w tabeli znajdującej się pod wykresami dla przypadku analizy czasowej.

W menu kontekstowym znajdują się również opcje (w menu *Wykresy - właściwości*):

- *Wyświetlanie głównych osi siatki* - włączanie/wyłączenie prezentacji głównych osi siatki na wykresie dla przypadku analizy czasowej
- *Wyświetlanie pośrednich osi siatki* - włączanie/wyłączenie prezentacji pośrednich osi siatki na wykresie dla przypadku analizy czasowej
- *Zakres automatyczny* - włączenie tej opcji powoduje dostosowanie zakresu na osiach współrzędnych wykresu do zakresu zmienności czasu i wybranej wielkości
- *Zakres użytkownika* - umożliwi definicję przedziału czasowego, dla którego prezentowany będzie wykres dla przypadku analizy czasowej.

Dla przypadku analizy całkowanie równań ruchu (analiza czasowa) oprócz przypadku głównego tworzone są dwa przypadki pomocnicze zawierające obwiednię górną (+) i dolną (-). Po wybraniu głównego przypadku dostępne są wyniki dla poszczególnych składowych przypadku złożonego.

UWAGA: Ze względu na możliwość wystąpienia dużej liczby wyników przy dużej liczbie kroków czasowych zalecane jest ograniczenie zawartości otwieranych tabel z wynikami za pomocą opcji znajdujących się w oknie dialogowym **Opcje obliczeniowe** (zakładka *Filtry rezultatów*).

Jeżeli nie został wybrany pojedynczy przypadek złożony analizy czasowej, to w tabeli wyniki pokazywane są dla przypadków pomocniczych obwiedni górnej (+) i dolnej (-).

Natomiast jeżeli został wybrany pojedynczy przypadek złożony analizy czasowej, to dostępne są wyniki dla poszczególnych składowych. W tabeli prezentowane są następujące informacje:

Węzeł	Przypadek	Składowa	Czas (s)
na przykład			
1	analiza czasowa	2/100	0.0

W tabelach wyników analizy czasowej dla prętów i elementów powierzchniowych wielkości prezentowane są w taki sam sposób jak w tabeli dla węzłów. Pierwsza kolumna tabeli zawiera numer składowej przypadku i krok zmiennej czasowej.

Wyniki analizy całkowanie równań ruchu mogą być również prezentowane po wybraniu z menu opcji *Rezultaty / Zaawansowane / Wykresy*. Opcja umożliwia definicję i prezentację wykresów dla przypadków analizy nieliniowej (analizy sprężysto-plastycznej prętów), czasowej (całkowanie równań ruchu) i analizy PushOver (w menu tabeli dla analizy nieliniowej jest to opcja *Rezultaty / Nieliniowość\Plastyczność / Wykresy*, natomiast w menu tabeli dla analizy zniszczenia jest to opcja *Rezultaty/Zaawansowane/Analiza zniszczenia - Wykresy*). Wykresy pozwalają na przedstawienie dowolnych wielkości wynikowych (np. przemieszczenia, siły wewnętrzne, naprężenia) zebranych w kolejnych krokach/przyrostach analizy nieliniowej i PushOver lub w kolejnych przyrostach czasu dla analizy czasowej. Wyniki mogą być wyświetlane w funkcji kolejnych przyrostów (kroków iteracyjnych lub czasu) oraz w funkcji innych wielkości. Wykresy mogą być wyświetlane dla pojedynczego przypadku obciążeniowego lub dla kilku wybranych przypadków. W przypadku gdy wybrane zostaną różne typy przypadków obciążeniowych (w selekcji występują na przykład przypadki analizy nieliniowej, czasowej jak i analizy PushOver), wykresy można wyświetlać tylko dla jednego typu analizy.

UWAGA: Na wykresie możliwa jest prezentacja 'n' różnych wielkości (przedstawianych na osi pionowej Y) w funkcji tylko jednej wielkości znajdującej się na osi poziomej X.

UWAGA: Jeżeli wybranych zostanie kilka przypadków obciążeniowych, to każdy ze zdefiniowanych wykresów wyświetlany jest dla kolejnych przypadków (czyli tworzonych 'n' różnych wykresów); zakres na osi X jest określony poprzez wartości <min,max> spośród wszystkich przypadków obciążeniowych, natomiast zakres na osi Y definiowany jest poprzez <min,max> spośród wszystkich przypadków obciążeniowych (odpowiednio dla każdego typu skalowania).

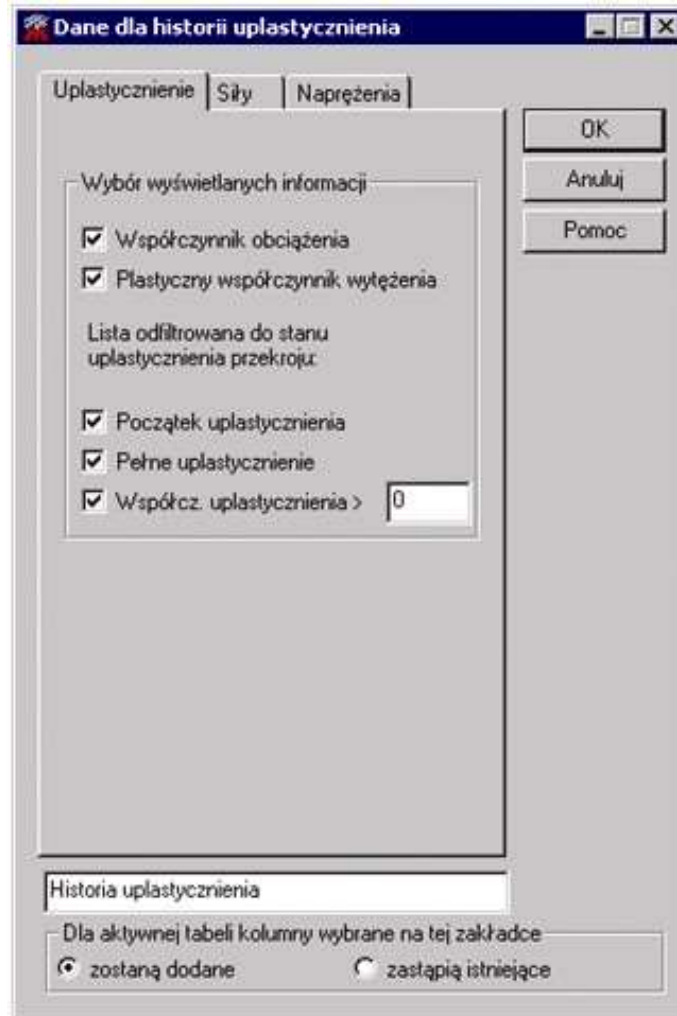
Dla analizy sprężysto-plastycznej istnieje tabela zawierająca podstawowe informacje dotyczące parametrów i wyników tego typu analizy.

Dla prętów o przekroju sprężysto-plastycznym dostępne są takie same wyniki analizy jak dla prętów o standardowych przekrojach: ugięcia, siły wewnętrzne i naprężenia w dowolnym punkcie na długości pręta. Pręty sprężysto-plastyczne mogą następnie być weryfikowane i wymiarowane w programie za pomocą obliczeń dla norm stalowych.

Dodatkowo dla prętów przekroju sprężysto-plastycznym dostępny jest współczynnik uplastycznienia przekroju. Jest to stosunek pola powierzchni uplastycznionej części przekroju do pola powierzchni całkowitej przekroju. Przyjmuje on wartości od 0.0 (dla przekroju w stanie sprężystym) do 1.0 (dla przekroju całkowicie uplastycznionego). Współczynnik uplastycznienia jest prezentowany za pomocą map na prętach.

Okno dialogowe **Dane dla historii uplastycznienia**, które jest otwierane z tabeli wyników dla analizy sprężysto-plastycznej (tabela otwierana jest po wybraniu opcji *Rezultaty / Nieliniowość\Plastyczność / Historia uplastycznienia - tabela*) składa się z kilku zakładek: *Uplastycznienie*, *Siły* i *Naprężenia* (zakładki *Siły* i *Naprężenia* są takie same jak dla wielkości prętowych).

Zakładka *Uplastycznienie* została pokazana na poniższym rysunku.



W tym oknie do prezentacji w tabeli mogą zostać wybrane następujące wielkości: współczynnik obciążenia i plastyczny współczynnik wyężenia.

Lista prezentowana w tabeli może być dodatkowo filtrowana; kryterium filtrowania jest stan uplastycznienia przekroju (wartość plastycznego współczynnika wyężenia):

- początek uplastycznienia - wartość plastycznego współczynnika wyężenia równa jest 0.0
- pełne uplastycznienie przekroju - wartość plastycznego współczynnika wyężenia równa jest 1.0
- wartość plastycznego współczynnika wyężenia większa od zadanej wartości (wartość wpisywana w polu edycyjnym musi być większa od zera i mniejsza od 1.0).

6. WYMIAROWANIE KONSTRUKCJI

6.1. Wymiarowanie stali / aluminium

Wymiarowanie elementów konstrukcji stalowych w systemie **Robot** może być przeprowadzone zgodnie z wymogami kilku norm stalowych. Poniżej prezentowana jest lista dostępnych aktualnie w programie norm stalowych:

- polska norma PN90/B-03200
- francuska norma CM66
- francuska norma Add80
- Eurocode 3 1992 (dostępne są normy EC3 z dokumentami aplikacji narodowych: francuskim, angielskim, niemieckim, belgijskim, holenderskim, szwedzkim, fińskim)
- Eurocode3 (EN 1993-1-1:2005)
- holenderska norma NEN6770/6771
- amerykańska norma LRFD i LRFD (nowa edycja)
- amerykańska norma ASD
- amerykańska norma EIA
- niemiecka norma DIN 18800
- brytyjskie normy: BS 5950 i BS 5950:2000
- włoska norma CNR-UNI 10011
- południowoafrykańska norma SABS 0162-1:1993
- hiszpańska norma MV 103-1972 (NBE EA-95)
- hiszpańska norma SE-A:2006 EC3 2005
- kanadyjska norma CAN/CSA-S16.1-M89 i CAN/CSA-S16-1-01
- szwedzka norma BSK 99
- norweska norma CNS 34
- rosyjska norma SNiP-II-23-81
- rumuńska norma STAS 10108/0-78
- chińska norma GB50017-2003 • japońska norma AIJ-ASD 05
- australijska norma AS4100.

W programie dostępna jest również norma wymiarowania elementów konstrukcji aluminiowych; jest to francuska norma AL76. Sposób postępowania podczas wymiarowania elementów konstrukcji aluminiowych jest identyczny jak w trakcie wymiarowania elementów konstrukcji stalowych.

Proces projektowania konstrukcji składa się z kilku etapów; na początku definiowana jest geometria konstrukcji oraz obciążenia do niej przyłożone, potem wyznaczane są siły wewnętrzne i przemieszczenia, a na zakończenie sprawdzane są warunki normowe oraz wymiarowane są elementy konstrukcji. Wymiarowanie prętów stalowych dotyczyć może pojedynczych prętów lub grup prętów. Obliczenia przeprowadzone mogą zostać dla pojedynczych prętów konstrukcji lub dla grup prętów. W zależności od wybranej normy stalowej lista parametrów definiowanych przed wymiarowaniem elementów może się nieco zmieniać, natomiast podstawowe definicje używane w module są niezależne od wybranej przez użytkownika normy stalowej. Przyjmowane są następujące definicje:

pręt pojedynczy element konstrukcyjny, który będzie weryfikowany lub wymiarowany w module. Najczęściej spotykanymi prętami są: słupy, rygle, płatwie, stężenia itp.

Pręt wykorzystywany podczas weryfikacji / wymiarowania może składać się z pojedynczego elementu prętowego lub też być ciągiem kolejnych elementów konstrukcji tworzących słup, rygiel itp.

grupa lista prętów. Jest to zbiór prętów konstrukcji, którym użytkownik chce nadać ten sam profil. Po zakończeniu weryfikacji/wymiarowania grupy zostanie wybrany profil, który jest odpowiedni dla wszystkich prętów znajdujących się w grupie (niezależnie od różnic w wartościach sił wewnętrznych

w tych prętach, czy też parametrów projektowania). Grupy są definiowane w celu ograniczenia różnorodności profili w projektowanej konstrukcji.

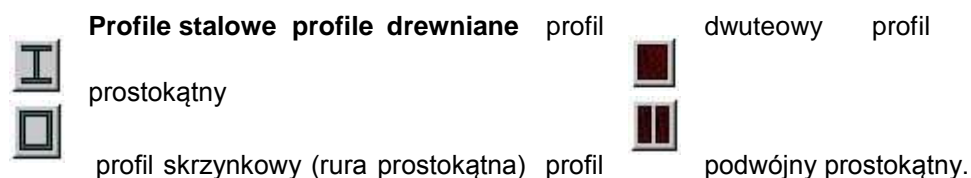
Po wybraniu ekranu **WYMIAROWANIE STALIALUMINIUM** ekran monitora zostaje podzielony na trzy części: edytor graficzny, w którym prezentowana jest konstrukcja oraz dwa okna dialogowe: **Definicja** i **Obliczenia**.

Okno **Definicja** składa się z dwóch zakładek: *Grupy* i *Pręty* (patrz rysunek poniżej). Po zdefiniowaniu prętów i grup możliwe jest weryfikowanie lub wymiarowanie prętów lub grup. Po naciśnięciu klawisza **Parametry** znajdującego się na zakładce *Pręty* otwierane jest okno dialogowe **Parametry** (jest ono zależne od wybranej normy stalowej). W tym oknie zdefiniowane mogą zostać parametry normowe określone przez wybraną normę wymiarowania stali takie jak: długości wyboczeniowe, parametry wyboczeniowe, parametry zwichrzeniowe, warunki sztywności itp.



Ciekawą opcją w programie **Robot** jest możliwość automatycznego projektowania przy pomocy profili parametryzowanych o zmiennej bezwładności. Opcja jest dostępna po naciśnięciu klawisza **Przekroje par.**, który znajduje się w oknie dialogowym **Definicje**. Opcja dostępna jest zarówno dla profili stalowych jak i drewnianych. Wygląd okna dialogowego zależy od materiału, z jakiego wykonany ma być pręt (pręt stalowy lub drewniany).

Użytkownik ma do dyspozycji dwa typy profili (wybór dokonywany jest w polu *Typ przekroju* w prawej, górnej części okna dialogowego):

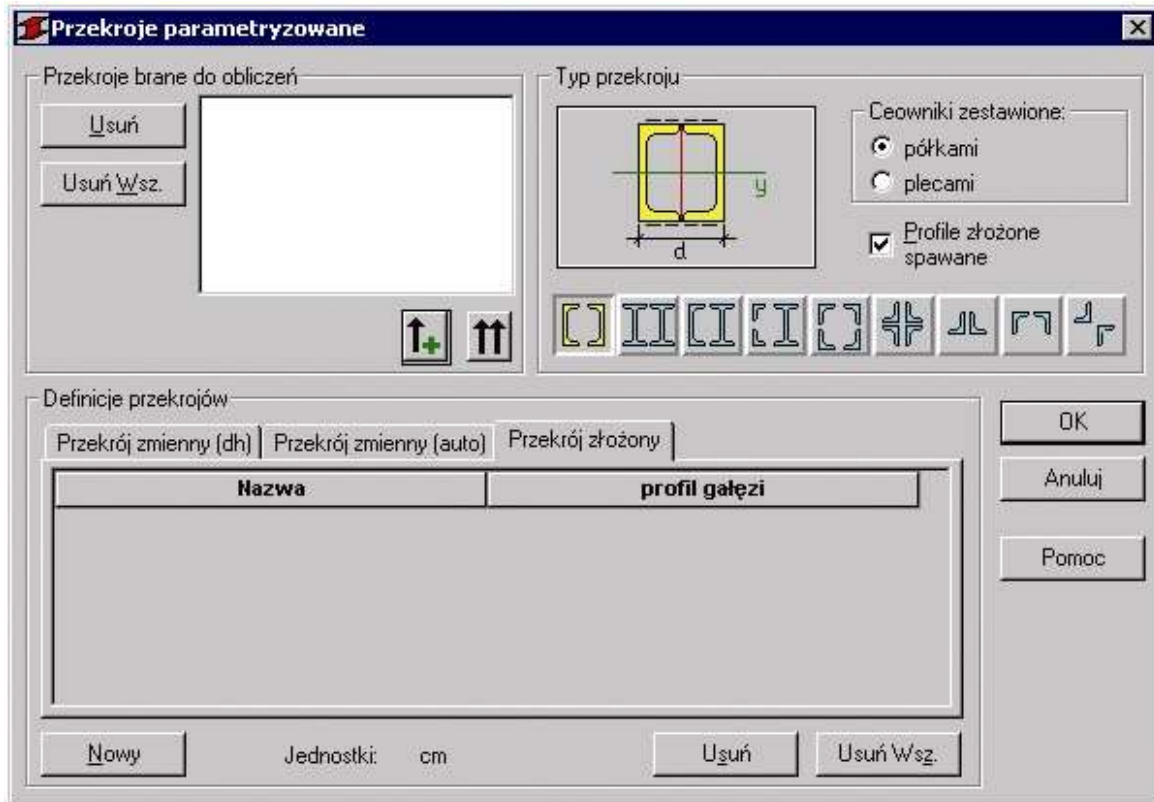


W polu *Definicja przekrojów* okna dialogowego **Przekroje parametryzowane** określone mogą zostać wymiary profili stalowych lub drewnianych. Aby rozpocząć definicję nowego profilu, należy nacisnąć klawisz **Nowy**. W tabeli pojawia się nowa linia, w której należy wpisać odpowiednie wymiary.

Naciśnięcie klawiszy **Usuń** i **Usuń wszystko** powoduje odpowiednio usunięcie z listy podświetlonego profilu lub wszystkich profili. Istnieją dwa rodzaje profili:

- przekrój zmienny (dH)
- przekrój zmienny (auto).

Dodatkowo dostępna jest zakładka *Przekrój złożony* pozwalająca na definicję prętów wielogłęziowych.



W powyższym oknie dialogowym dostępnych jest dziewięć najczęściej spotykanych typów profili złożonych



(wybór dokonywany jest w polu *Typ przekroju* w prawej, górnej części okna dialogowego): - dwa ceowniki (zestawione półkami lub plecami)

- dwa dwuteowniki

- ceownik i dwuteownik (ceownik ustawiony półką lub plecami)

- dwa kątowniki i dwuteownik

- cztery kątowniki półkami na zewnątrz profilu

- cztery kątowniki półkami do wewnątrz profilu

- dwa kątowniki w układzie 'T' (zestawione krótszymi lub dłuższymi bokami) - dwa kątowniki

w układzie 'C' (zestawione krótszymi lub dłuższymi bokami)

- dwa kątowniki ustawione krzyżowo.

Dla niektórych typów profili złożonych dostępna jest opcja *Profile złożone spawane*; jej włączenie powoduje, że gałęzie profilu złożonego są połączone spoinami na długości profilu.

Definicja rodziny przekrojów złożonych

Aby zdefiniować rodzinę (grupę) przekrojów złożonych, należy:

- w polu *Nazwa* podać nazwę przekroju (program automatycznie podpowiada sugerowana nazwę przekroju złożonego)
- w polu *Profil gałęzi* zdefiniować początkowy profil od którego rozpocznie się generacja rodziny profili złożonych; po zaznaczeniu tego pola automatycznie otworzy się okno dialogowe **Wybór profilu**, w którym możliwe jest wybranie potrzebnego przekroju gałęzi z dowolnej bazy przekrojów
- określić początkowy rozstaw gałęzi wchodzących w skład przekroju złożonego w polu edycyjnym *d* oraz przyrost rozstawu gałęzi w polu edycyjnym *dd*; aby zdefiniować maksymalny rozstaw gałęzi, należy wprowadzić wartość w polu edycyjnym *dmax*.

Należy pamiętać, że w powyższym oknie dialogowym następuje definicja przepisu na nowe rodziny profili złożonych. Rzeczywista generacja profili odbywa się w trakcie procesu wymiarowania grup prętów z użyciem zdefiniowanych rodzin parametryzowanych.

UWAGA: Pewne typy przekrojów (np. 4 kątowniki) wymagają definicji dwóch różnych przekrojów gałęzi oraz dwóch różnych rozstawów gałęzi w zależności od płaszczyzny skratowania (b,d).

W przypadku profili drewnianych dostępna jest również opcja *stały*. Aby zdefiniowane profile były uwzględniane w obliczeniach, należy je “przenieść” do pola *Przekroje brane do obliczeń*.

Przykładowe okno dialogowe **Parametry** dla polskiej normy stalowej przedstawiono na poniższym rysunku. W polu *Typ pręta* podawana jest nazwa wybranego typu pręta (można wpisać w tym polu dowolną nazwę typu pręta). W polach *Długość pręta ly* lub *lz* wprowadzona może zostać długość pręta. Istnieją dwa sposoby podania tej długości:

- po wybraniu opcji *Realna* wprowadzona wartość jest interpretowana bezpośrednio jako długość
- po wybraniu opcji *Mnożnik* wartość jest interpretowana jako współczynnik przez który należy pomnożyć rzeczywistą długość pręta aby uzyskać odpowiednią wartość. Np. wpisanie wartości 0.25 oznacza, że odpowiednia długość jest równa 1/4 długości rzeczywistej.


W polu *Współczynnik długości wyboczeniowej* określone mogą zostać długości wyboczeniowe pręta w obydwu kierunkach. W odpowiednie pola wpisywana jest automatycznie rzeczywista długość pręta (ew. suma długości prętów składowych).


Współczynnik długości wyboczeniowej zależy od warunków podparcia końcowych węzłów pręta w płaszczyźnie wyboczenia. Długość wyboczeniową pręta można również określić w oknie dialogowym **Schematy wyboczeniowe**, które można otworzyć poprzez naciśnięcie ikony schematycznie przedstawiającej wybrany typ modelu wyboczeniowego pręta. Znajdują się tam typowe schematy podparcia pręta; po wyborze jednego z nich wartość współczynnika będzie obliczona automatycznie.

W programie istnieje obecnie możliwość zdefiniowania parametrów usztywnień ograniczających zarówno długość wyboczeniową (w obydwu kierunkach) jak i długość zwichrzeniową pręta (osobno dla półki dolnej i górnej). Dzięki temu w trakcie analizy łatwo mogą zostać odczytane zestawy momentów zginających w charakterystycznych punktach pręta. Opcje znajdujące się w programie umożliwiają również zdefiniowanie współczynników długości wyboczeniowej i/lub zwichrzeniowej odcinków pręta między stężeniami.

Opcja jest dostępna po naciśnięciu ikony  znajdującej się w oknie dialogowym **Schematy wyboczeniowe**.






Uwzględnienie wyboczenia w obliczeniach następuje zawsze, gdy w pręcie pojawia się siła ściskająca, nawet jeśli jest ona niewielka w stosunku do innych sił wewnętrznych. Program nie dokonuje sam analizy polegającej na ustaleniu, czy efekty wyboczenia mogą być pominięte, czy nie. Jeśli użytkownik chce

wyeliminować efekty wybocheniowe z obliczeń, musi wybrać ikonę . Oznacza ona pominięcie wybochenia w procesie obliczeniowym.

Naciśnięcie ikony  oznacza, że obliczenia długości wybocheniowej słupa przeprowadzone zostaną według procedury automatycznej. Po wybraniu tej opcji w programie automatycznie analizowana jest geometria całej konstrukcji i do poszczególnych słupów konstrukcji przypisywana jest odpowiednia wartość długości wybocheniowej przy uwzględnieniu:



- podparcia prętów
- geometrii prętów dochodzących
- warunków podparcia na drugich końcach prętów dochodzących.

W programie istnieje również możliwość obliczenia współczynnika wybocheniowego pręta głównego na podstawie parametrów prętów dochodzących. Opcja jest dostępna po dwukrotnym naciśnięciu jednej z

ikon , , , ,  znajdującej się w oknie dialogowym **Schematy wybocheniowe**. Parametry prętów dochodzących można określić w oknie dialogowym pokazanym na poniższym rysunku (przykładowo dla trzech prętów dochodzących).



W powyższym oknie podane mogą zostać niezbędne informacje dotyczące pręta dochodzącego do pręta głównego. W odpowiednich polach należy podać dla pręta dochodzącego następujące wielkości:

- numer pręta konstrukcji będącego kolejnym prętem dochodzącym (w drugiej kolumnie automatycznie wpisywany jest profil wybranego pręta konstrukcji)
- pozycja (położenie) pręta w konstrukcji; możliwe są dwie sytuacje: profil położony pionowo  lub poziomo .

W przypadku kilku norm (ADD8, Eurocode3, NEN6770/6771, PN90) dochodzi jeszcze jeden parametr: sposób podparcia drugiego końca pręta dochodzącego. Dostępne typy podparcia drugiego końca pręta dochodzącego są zależne od wymogów wybranej normy stalowej.

Istnieje również możliwość ręcznego zdefiniowania parametrów prętów dochodzących. W odpowiednim oknie dialogowym przeprowadzona może zostać ręczna definicja parametrów

W polach *Parametr imperfekcji ny* i *nz* wybrany może zostać sposób obliczania współczynnika wybocheniowego słupa:

- po wybraniu opcji *Automatyczny* program automatycznie rozpoznaje typ profilu i zgodnie z tabelą 10 przypisuje odpowiednie krzywe wybocheniowe dla poszczególnych kierunków wybochenia; wybranej krzywej wybocheniowej program nadaje uogólniony parametr imperfekcji *n* zgodnie z Tabelicą 11 a

następnie wylicza współczynnik wybocheniowy stosując wzór (1) umieszczony w dolnej części Tablicy 11

- po wybraniu opcji *Użytkownika* dostępne staje się pole edycyjne, w którym podana może zostać wartość uogólnionego parametru imperfekcji n ; wartość parametru imperfekcji jest wykorzystywana podczas obliczeń współczynnika wybocheniowego stosując wzór (1) umieszczony w dolnej części Tablicy 11.

Włączenie opcji *Wyboczenie giętno skrętne profili monosymetrycznych* powoduje, że w trakcie analizy ściskanych prętów monosymetrycznych (kątowniki, teowniki, ceowniki itp.) przeprowadzona zostanie dodatkowa weryfikacja na wyboczenie giętne i wyboczenie giętno-skrętne zgodnie z punktem 4.4.3 i załącznikiem 1, rozdział 3.

Włączenie opcji *Kształtowniki poddane wyżarzaniu* pozwala na uwzględnienie w parametrach stali operacji tzw. ulepszania cieplnego (termicznego) - wyżarzania. Weryfikacja dla takiej stali przebiega w pewnych fragmentach obliczeń normowych inaczej niż dla stali zwykłej. Stąd konieczność zaznaczenia tego przed obliczeniami. Włączona opcja powoduje, że stal wykorzystywana w obliczeniach będzie stałą ulepszoną termicznie.

W polu *Parametry zwichrzeniowe* wybrane mogą zostać opcje wykorzystywane podczas weryfikowania zwichrzenia pręta: typ zwichrzenia, poziom obciążenia i współczynnik długości zwichrzeniowej. Naciśnięcie odpowiedniej ikony powoduje otwarcie okna dialogowego umożliwiającego definicję odpowiednich parametrów.

Opcja *Typ zwichrzenia* służy do określenia odpowiednich, normowych parametrów zwichrzeniowych w zależności od schematu statycznego pręta. Zgodnie z wymogami normowymi należy przyjąć jeden z uwzględnionych w normie schematów. Schematy w postaci ikon odzwierciedlają dokładnie odpowiednie pozycje z normy. Ostatnia ikona oznacza rezygnację z uwzględniania efektów zwichrzeniowych w trakcie obliczeń.

Opcja *Typ obciążenia* służy do określenia schematu obciążenia analizowanej belki. Zgodnie z wymogami normowymi przy obliczaniu współczynników normowych (wybocheniowych, zwichrzeniowych) należy określić charakter obciążeń działających na pręt w obu lub jednej płaszczyźnie osi przekroju pręta.

Obliczenia zwichrzeniowe wymagają podania dla pręta odległości przekrojów zabezpieczonych przed skręceniem - tzw. długości zwichrzeniowej. Z uwagi na możliwość mocowania osobno półki górnej lub dolnej oraz występowania w różnych przypadkach obciążeniowych naprężeń ściskających w górnej lub dolnej półce rozróżnia się dwie długości zwichrzeniowe. Podaje się współczynnik, przez który należy pomnożyć bazową długość pręta, aby otrzymać długość zwichrzeniową. Jako bazowa długość brana jest długość l_z . Wartość współczynnika można wpisać bezpośrednio w polu edycyjnym; można również nacisnąć ikonę z typowym przypadkiem zamocowań, dla którego współczynnik zostanie dobrany automatycznie.

Dodatkowo istnieje możliwość wyboru krzywej niestateczności branej do obliczeń współczynnika zwichrzeniowego F_{iL} ; zgodnie z paragrafem 4.5.4 można wybrać jedną z dwóch dostępnych krzywych: krzywą 'a0' (domyślną) i krzywą 'a'.

W polu *Parametry zwichrzeniowe* istnieje również możliwość wyboru sposobu zamocowania końców pręta przy skręcaniu (końce pręta sztywne lub przegubowe).

Włączenie opcji *Belka o przekroju dwuteowym usztywniona bocznym stężeniem podłużnym wymuszającym położenie środka obrotu* powoduje, że moment krytyczny przy zwichrzeniu zostanie wyliczony zgodnie ze wzorem (Z1-10) załącznik 1 punkt 3.3. Pole edycyjne *Współrzędna płaszczyzny stężenia* pozwala na określenie położenia punktu potencjalnego obrotu przekroju (miejsce styku bocznego stężenia podłużnego z przekrojem belki).

W dolnej części okna dialogowego znajdują się pola edycyjne pozwalające na definicję współczynników A_1 , A_2 , B (C_1, C_2) do wyznaczania momentu krytycznego M_{cr} ; domyślnie wybrana jest opcja umożliwiająca na automatyczny dobór wartości tych współczynników. Wybranie opcji *Użytkownika* pozwala na ręczną definicję współczynników definiowanych w Tabeli Z1-2.

UWAGA: Weryfikacja i wymiarowanie prętów wykonanych z profili zetowych ze ściankami o małej grubości (profile cienkościenne) prowadzona jest jak dla prętów litych zgodnie z PN-90/B3200.

Po naciśnięciu klawisza **Więcej...** na ekranie pojawia się dodatkowe okno dialogowe, w którym określone mogą zostać parametry obciążeniowe i parametry przekroju (dla polskiej normy: współczynnik Beta zależny

od warunków podparcia i sposobu obciążenia pręta, współczynnik rezerwy plastycznej Alfa, współczynniki niestateczności lokalnej F_{ip} , uwzględnienie osłabienia elementu stalowego otworami na łączniki, weryfikacja przekroju ażurowego itp.). Po naciśnięciu klawisza **Użytkowanie** na ekranie pojawia się dodatkowe okno dialogowe, w którym zdefiniowane mogą zostać dopuszczalne (graniczne) wartości przemieszczeń. Po naciśnięciu klawisza **Przekrój złożony** na ekranie pojawia się dodatkowe okno dialogowe **Przekrój złożony**, w którym zdefiniowane mogą zostać parametry prętów wielogałęziowych (patrz rozdział 6.1.3).

*UWAGA: Dla normy Eurocode 3 (2005) w oknie dialogowym Definicja pręta - parametry dostępny jest również klawisz **Ogień**. Opcja pozwala na wymiarowanie i weryfikację prętów stalowych o dowolnym przekroju zgodnie z zaleceniami normy europejskiej EC3 EN 19931-2:2005 lub oficjalnego dokumentu 3 Komitetu Technicznego ECCS 'Model Code of Fire Engineering' - First Edition, May 2001. Zakres normy obejmuje obliczenia prętów stalowych obciążonych dowolnym zestawem sił wewnętrznych ($N, V_y, V_z, M_x, M_y, M_z$). Zgodnie z zaleceniami obydwu dokumentów obliczenia są prowadzone metodą wytrzymałościową, metodą 'temperaturową' lub metodą czasową.*

*Obliczenia ogniowe elementów stalowych zostaną rozpoczęte po włączeniu opcji 'Obliczenia ogniowe' znajdującej się w oknie dialogowym **Konfiguracja**. W oknie dialogowym **Konfiguracja** może być również dokonany wybór normy, na podstawie której będzie prowadzona analiza (ogólne zalecenia normy EN 1993-1-2 lub zalecenia Komitetu Technicznego ECCS).*


Dla normy Eurocode 3 (2005) jest możliwa również weryfikacja cienkościennych prętów stalowych.


Definicja pręta - parametry - PN-90/B-03200

Typ pręta:

Wyboczenie względem osi Y: Długość pręta ly: realna mnożnik

Wyboczenie względem osi Z: Długość pręta lz: realna mnożnik

Wsp. długości wyboczeniowej mi y: 


Wsp. długości wyboczeniowej mi z: 


Parametr imperfekcji ry: automatyczny użytkownika


Parametr imperfekcji rz: automatyczny użytkownika

Wyboczenie giętno-skrętne profili monosymetrycznych
 Kształtowniki poddane wyważaniu


Parametry zwichrzeniowe

Typ zwichrzenia:  Współczynnik dk zwichrzeniowej:

Typ obciążenia: 

Poziome obciążenia:  Krzywa niestateczności: Końce pręta przy skręcaniu: przegubowe sztywne

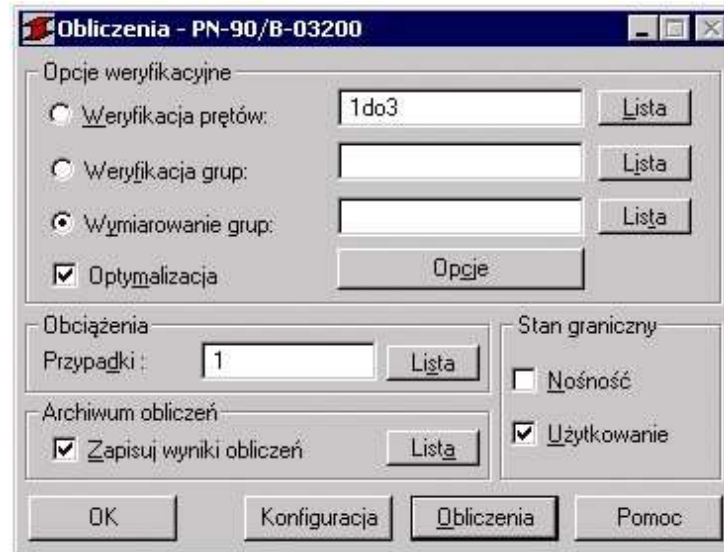
Belka o przekroju dwuteowym usztywniona bocznym stężeniem podłużnym wymuszającym położenie środka obrotu

 Współrzędna płaszczyzny stężenia: x h

Współczynniki do obliczeń M_{cr} (Tablica Z1-2): automatyczne użytkownika C1 C2 B

Zapisz
Zamknij
Użytkowanie
W więcej...
Przekrój złożony
Pomoc

W prezentowanym poniżej oknie dialogowym wybrane mogą zostać opcje obliczeniowe prętów lub grup prętów stalowych.



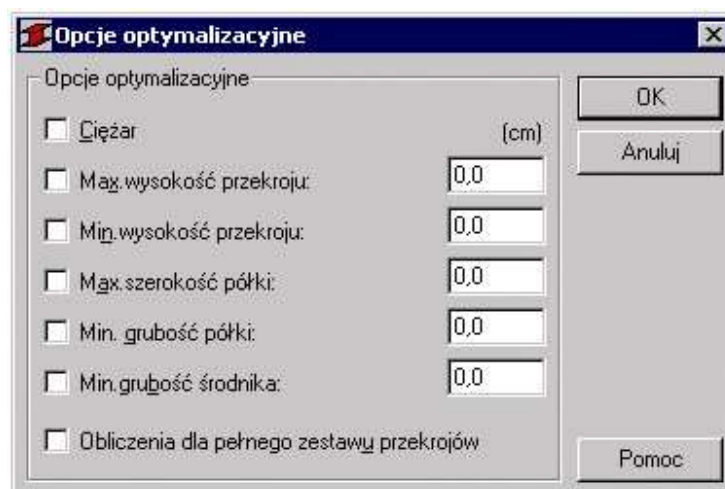
W polu *Opcje weryfikacyjne* można wybrać:

- *weryfikację prętów* - weryfikacja wg listy prętów polega na kolejnym i niezależnym przeprowadzaniu obliczeń dla każdego pręta z listy osobno. Weryfikacja pręta polega na znalezieniu takiego punktu pośredniego na pręcie, takiego przypadku obciążeniowego oraz takiego elementu pręta, dla których parametry kryteriów normowych są najgorsze. Należy ustalić liczbę punktów branych pod uwagę w czasie obliczeń jak również listę przypadków obciążeniowych. Innymi słowy weryfikacja oznacza sprawdzenie, czy przyjęte w konstrukcji profile spełniają wymagania stawiane przez normę. Na podstawie tak dokonanego wyboru, profil pręta kwalifikowany jest jako dobry, zły lub niestabilny.
- *weryfikację grup* - weryfikacja w grupie polega na kolejnym i niezależnym przeprowadzaniu obliczeń (patrz *Weryfikacja prętów*) dla każdego pręta zawartego w grupie osobno. W obliczeniach uwzględniane są cechy materiałowe przyjęte dla danej grupy.
- *wymiarowanie grup* - wymiarowanie polega na kolejnym przeglądaniu wcześniej przyjętego zbioru profili zdeterminowanego przez definicję grupy i odrzucaniu tych, które nie spełniają kryteriów normowych. Odrzucanie kolejnych profili trwa do momentu znalezienia pierwszego spełniającego warunki normowe (obliczenia grup prętów mogą być prowadzone z uwzględnieniem opcji optymalizacyjnych). Opisany proces przeprowadzany jest dla każdej rodziny profili należącej do analizowanej grupy z osobna. Obliczenia normowe dla każdego profilu wykonywane są dla kolejnych punktów pośrednich na pręcie, kolejnych przypadków obciążeniowych, kolejnych elementów danego pręta grupy i wszystkich prętów tworzących grupę. Jeśli dany profil nie spełnia warunków normowych dla jakiegoś punktu pośredniego, przypadku obciążeniowego lub elementu dowolnego pręta grupy, to jest on odrzucany i pobierany jest następny profil z listy przyporządkowanej grupie. Proces ten odbywa się aż do momentu wyczerpania się listy profili. Aby można było rozpocząć obliczenia w trybie wymiarowania, przynajmniej jedna grupa musi być zdefiniowana. Wymiarowanie może być przeprowadzone dla wielu grup. W takim przypadku proces opisany powyżej przeprowadzany jest dla każdej grupy osobno.

W przypadku włączenia opcji *Optymalizacja* i naciśnięciu klawisza **Opcje** na ekranie pojawia się dodatkowe okno dialogowe **Opcje optymalizacyjne**, w którym wybrane mogą zostać następujące opcje optymalizacyjne wykorzystywane podczas obliczeń grup prętów:

- *ciężar* - włączenie tej opcji powoduje, że optymalizacja uwzględniać będzie ciężar profilu powodując wyszukiwanie wśród profili spełniających kryteria normowe profilu najłżejszego w danej grupie
- *maksymalna wysokość przekroju* - włączenie tej opcji powoduje, że optymalizacja uwzględniać będzie maksymalną wysokość przekroju, której wartość określona może zostać przez użytkownika w polu edycyjnym znajdującym się na prawo od opcji

- *minimalna wysokość przekroju* - włączenie tej opcji powoduje, że optymalizacja uwzględniac będzie minimalną wysokość przekroju, której wartość określona może zostać przez użytkownika w polu edycyjnym znajdującym się na prawo od opcji
- *maksymalna szerokość półki* - włączenie tej opcji powoduje, że optymalizacja uwzględniac będzie maksymalną szerokość półki przekroju, której wartość określona może zostać przez użytkownika w polu edycyjnym znajdującym się na prawo od opcji
- *minimalna grubość półki* - włączenie tej opcji powoduje, że optymalizacja uwzględniac będzie minimalną grubość półki przekroju, której wartość określona może zostać przez użytkownika w polu edycyjnym znajdującym się na prawo od opcji
- *minimalna grubość środnika* - włączenie tej opcji powoduje, że optymalizacja uwzględniac będzie minimalną grubość środnika przekroju, której wartość określona może zostać przez użytkownika w polu edycyjnym znajdującym się na prawo od opcji.



W dolnej części okna dialogowego **Opcje optymalizacyjne** znajduje się opcja *Obliczenia dla pełnego zestawu przekrojów*. Jej włączenie powoduje, iż podczas obliczeń w celu znalezienia najbardziej optymalnego profilu przeszukiwana będzie cała dostępna baza profili (jest to istotne szczególnie w przypadku, gdy w bazie profile nie są ułożone w porządku rosnącym, tzn. gdy kolejny profil jest "większy" od poprzedniego).

Jeżeli opcja *Obliczenia dla pełnego zestawu przekrojów* jest włączona, a opcja *Ciężar* jest wyłączona, to optymalnym przekrojem jest wówczas przekrój, dla którego wartość współczynnika wyężenia jest największa (ale mniejsza od 1).

W dolnej części okna dialogowego znajduje się opcja *Zapisuj wyniki obliczeń*. Włączenie tej opcji pozwala na zapisanie wyników obliczeń weryfikacji i wymiarowania prętów stalowych; możliwe jest zapisanie dowolnej liczby przeprowadzonych sesji weryfikacji i wymiarowania - w każdej chwili jest możliwość powrotu do dowolnie wybranego zestawu wyników obliczeń weryfikacji i wymiarowania.

Jeżeli opcja *Zapisuj wyniki obliczeń* jest wyłączona, wyniki obliczeń wymiarowanie/weryfikacji prętów nie będą zapisywane.

Opcja *Zapisuj wyniki obliczeń* została wykona z dwóch głównych powodów:

- aby uniknąć czasochłonnych, ponownych obliczeń weryfikacji i wymiarowania prętów
- aby nie dopuścić do sytuacji, w której przez przypadek (np. poprzez naciśnięcie klawisza **ESC**) utracone zostaną wyniki wielogodzinnych obliczeń.

Wszystkie zapamiętane sesje obliczeniowe zostaną zachowane wraz z przykładem w pliku RTD. Naciśnięcie klawisza **Lista** powoduje otwarcie okna dialogowego **Archiwum wyników obliczeń**, w którym przedstawiane są aktualnie zapisane wyniki obliczeń weryfikacji / wymiarowania prętów.

W dolnej części okna dialogowego **Obliczenia** znajduje się klawisz **Konfiguracja**, którego naciśnięcie powoduje otwarcie okna dialogowego **Konfiguracja** służącego do określenia parametrów wykorzystywanych podczas weryfikacji pręta stalowego. W tym oknie podane mogą zostać następujące parametry obliczeniowe:

- punkty obliczeniowe; mogą być określone na dwa sposoby:
 - poprzez podanie liczby punktów na długości pręta (punkty są równomiernie rozłożone na długości pręta) - opcja *Liczba punktów*
 - poprzez podanie współrzędnych punktów charakterystycznych; w tym celu należy włączyć opcję *Punkty charakterystyczne* i nacisnąć klawisz **Opcje**; powoduje to otwarcie okna dialogowego **Obliczenia w punktach charakterystycznych** (punkty maksymalnych wartości sił wewnętrznych itp.)
- współczynnik wyężenia określa mnożnik przez który pomnożona zostanie granica plastyczności (zwiększenie lub zmniejszenie granicy plastyczności)
- smukłość maksymalna; jeśli opcja jest włączona, to smukłość pręta jest sprawdzana; ponadto można podać dopuszczalne wartości smukłości pręta (dla polskiej normy stalowej); w polach edycyjnych *Ściskanie* i *Rozciąganie* można podać wartości graniczne, z którymi (w zależności od sposobu obciążenia) zostanie porównana rzeczywista smukłość pręta; jeżeli któraś z tych wartości zostanie przekroczona, to pręt zostanie sklasyfikowany jako niestabilny.

Dla polskiej normy stalowej PN90 dostępne są dodatkowo dwie opcje:

- jeżeli opcja *Nie brać pod uwagę składowych prętów złożonych* jest włączona, to w trakcie obliczeń prętów złożonych nie uwzględniane będą składowe tych prętów. Jeśli włączona jest opcja *Profile klasy 4 obliczać metodą nadkrytyczną*, to profile tej klasy liczone będą metodą nadkrytyczną
- istnieje możliwość modyfikacji parametrów materiałowych stali w podwyższonej temperaturze; po zdefiniowaniu temperatury większej niż 70 i mniejszej niż 600 stopni Celsjusza w polu edycyjnym *Temperatura eksploatacyjna konstrukcji $T \leq 600$ stopni Celsjusza* w programie wyznaczana jest zredukowana wytrzymałość obliczeniową f_{dT} i zredukowany początkowy współczynnik sprężystości E_T zgodnie z zaleceniami punktu 3.5.2 normy. Zmodyfikowane parametry są wykorzystywane do wyznaczania poszczególnych nośności analizowanego pręta. Dodatkowo wszystkie współczynniki niestateczności wyznaczone dla normalnej temperatury są modyfikowane dla temperatur wyższych niż 70 stopni zgodnie ze wzorem (4) normy. Zmiany oznaczeń wytrzymałości i współczynników można zaobserwować w tabeli rezultatów szczegółowych oraz w notce obliczeniowej.

W środkowej części okna dialogowego znajduje się klawisz **Wyłącz z obliczeń siły wewnętrzne**, którego naciśnięcie powoduje otwarcie dodatkowego okna dialogowego **Wyłączenie sił wewnętrznych**; w wymienionym oknie dialogowym określone mogą zostać graniczne wartości sił wewnętrznych (pozwala to na pominięcie 'nieistotnych' wartości sił dla konkretnego przekroju). Ponadto wybrane mogą zostać jednostki prezentacji wyników wymiarowania prętów. Wyniki mogą być prezentowane w jednostkach używanych w wybranej normie stalowej lub w jednostkach używanych w programie **Robot**.

W dolnej części okna dialogowego znajduje się lista wyboru przypadku obciążeniowego (obciążenie stałe), dla którego wyznaczone przemieszczenia będą traktowane jako ugięcia wstępne konstrukcji. Opcja *Uwzględniaj ugięcia od przypadku* musi być wtedy włączona.

W dolnej części okna dialogowego **Obliczenia** znajdują się dwa pola: *Obciążenia* i *Stan graniczny*. W pierwszym z nich położone są opcje:

- *lista przypadków obciążeniowych* - pole, w którym przedstawiane są wybrane przypadki obciążeniowe brane pod uwagę podczas obliczeń prętów. Można również w tym polu dopisać numer przypadku obciążeniowego.
- *selekcja przypadków obciążeniowych* - otwarcie dodatkowego okna (**Selekcja przypadków**), w którym wybrane mogą zostać przypadki obciążeniowe brane pod uwagę podczas obliczeń prętów. Obliczenia normowe prętów mogą zostać przeprowadzone dla stanu granicznego nośności i stanu granicznego użytkowania.









Po naciśnięciu klawisza **Obliczenia** rozpoczyna weryfikacja lub wymiarowanie prętów stalowych na podstawie parametrów przyjętych w oknach **Definicja** i **Obliczenia**. Po zakończeniu obliczeń na ekranie pojawia się okno skróconych wyników obliczeń. Okno dialogowe składa się z dwóch zakładek: *Rezultaty* i *Komunikaty*. Na drugiej zakładce przedstawiane są zbiorcze informacje dotyczące ostrzeżeń i błędów, które


pojawiły się podczas weryfikacji/wymiarowania prętów konstrukcji. Kliknięcie w profil prezentowany w skróconym zestawieniu na zakładce *Rezultaty* powoduje otwarcie okna wyników szczegółowych.

UWAGA:

Przy próbie zamknięcia okna dialogowego zawierającego skrócone wyniki obliczeń (weryfikacja / wymiarowanie prętów) otwierane jest dodatkowe okno dialogowe **Archiwizacja wyników obliczeń**, w którym zapisane mogą zostać wyniki weryfikacji lub wymiarowania prętów.

Istnieją nieznaczące różnice w sposobie wyświetlania rezultatów skróconych na zakładce *Rezultaty* dla różnych rodzajów przeprowadzanych obliczeń:

- weryfikacja listy prętów lub grup prętów: wyświetlana jest tylko jedna linia dla każdego pręta lub grupy prętów na podstawie podanej listy prętów lub grup prętów. Profile spełniające wymogi normowe są oznaczane symbolem , zaś nie spełniające wymogów normowych symbolem . Profile niestabilne oznaczane są jedną z następujących ikon:  lub . Pierwsza ikona oznacza niestabilny pręt lub grupę prętów, natomiast druga ikona mówi, że pręt lub grupa prętów jest niestabilna oraz współczynnik wyężenia jest większy niż 1.0.
- wymiarowanie w grupach: wyświetlane są trzy kolejne profile z każdej rodziny wybranego zbioru profili danej grupy. Profil w linii środkowej jest profilem, który spełnia warunki normowe. Nazwy profili poprzedzone znakami  i  oznaczają te przekroje poprzeczne, które nie spełniają warunków normowych lub spełniają je ze zbyt dużym zapasem. Profile spełniające wymogi normowe są oznaczane symbolem , zaś nie spełniające wymogów normowych symbolem .
- optymalizacja w grupach (włączona opcja *Optymalizacja* przy wybranej opcji *Wymiarowanie grup*): wyświetlane okno **Rezultaty skrócone** posiada formę identyczną jak dla wymiarowania w grupach.

Dodatkowo na początku odpowiedniej linii wyświetlany jest znak , oznaczający profil optymalny (jeśli istnieje).

W oknie dialogowym wyników skróconych oprócz standardowych klawiszy znajdują się następujące klawisze:

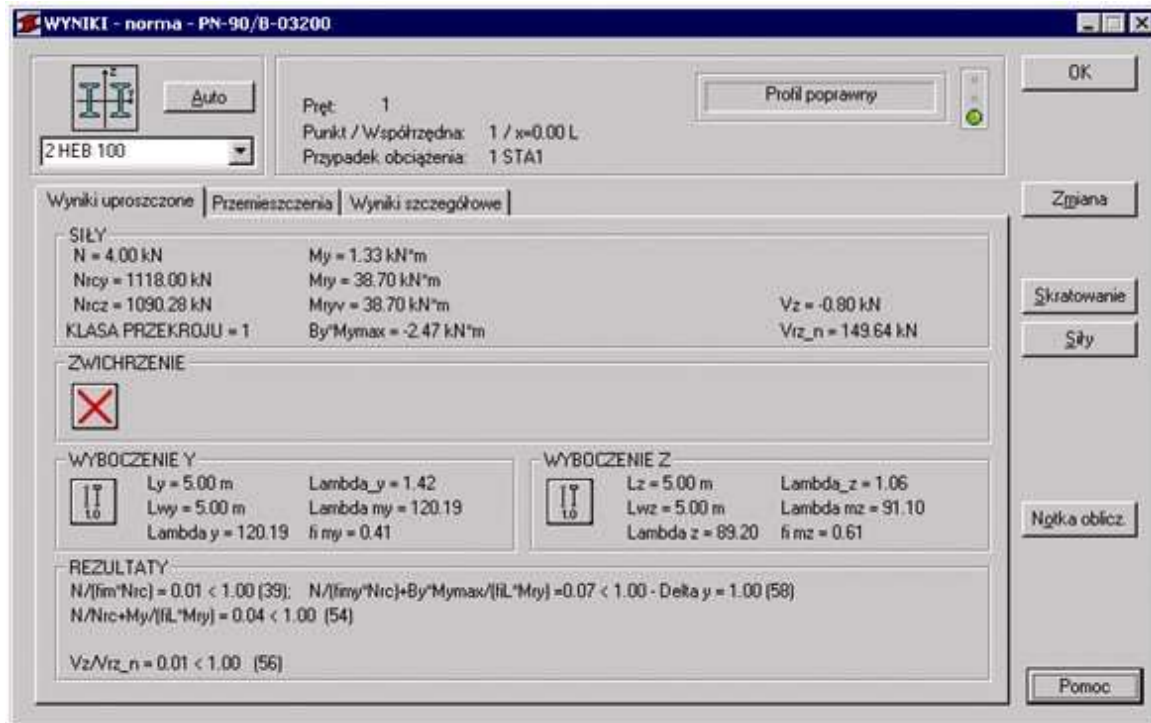
Notka obliczeniowa - naciśnięcie powoduje otwarcie okna dialogowego **Wydruk**

Wyężenie / Analiza - w przypadku weryfikacji prętów - powoduje prezentację graficzną wyężenia dla poszczególnych prętów konstrukcji; otwierane jest okno analizy globalnej prętów z wykresami słupkowymi współczynnika wyężenia

Wyężenie / Mapa - w przypadku weryfikacji prętów - powoduje prezentację map współczynnika wyężenia dla weryfikowanych prętów konstrukcji; otwierane jest dodatkowe okno, w którym prezentowana jest mapa współczynnika wyężenia dla prętów wraz ze skalą.

Obliczenia mogą również przeprowadzone dla zdefiniowanych przez użytkownika wartości sił przekrojowych (a nie wyznaczonych w programie). Służy do tego opcja **Obliczenia ręczne** znajdująca się w menu *Analiza / Wymiarowanie konstrukcji prętowych / Wymiarowanie prętów stalowych*. Przeprowadzona może zostać weryfikacja/wymiarowanie pręta.

Okno **Wyniki szczegółowe** zawiera wszystkie dostępne wyniki obliczeń pręta. Okno wywoływane jest po zakończeniu obliczeń, gdy naciśnięty zostanie dowolny profil z okna wyników skróconych. Przykładowe okno wyników szczegółowych prezentowane jest poniżej.



Jeżeli weryfikowany/obliczany był profil złożony (pręty wielogałęziowe), to dodatkowo w oknie dialogowym pojawia się klawisz **Skratowanie**. W powyższym oknie dialogowym może pojawić się również zakładka *Przewiązki / Skratowanie* (wyniki weryfikacji elementów łączących gałęzie prętów złożonych (patrz rozdział 6.1.2)).

Po naciśnięciu klawisza **Notka obliczeniowa** na ekranie pojawi się dodatkowe okno dialogowe, które służy do wyboru typu prezentowanej notki obliczeniowej.



Wybranie opcja *Notka uproszczona* oznacza, że drukowana będzie prosta notka obliczeniowa zawierająca tabelę z podstawowymi informacjami o wymiarowanych lub weryfikowanych prętach lub grupach prętów (w takiej samej formie jak w oknie dialogowym **Wyniki skrócone**), natomiast wybranie opcji *Notka pełna* oznacza, że notka zawierać będzie wszystkie normowe warunki sprawdzane podczas obliczeń/weryfikacji prętów lub grup prętów. Notka obliczeniowa będzie tworzona dla wybranych prętów lub grup prętów; selekcji prętów lub grup prętów można dokonać w polu *Lista* (domyślnie wpisywane są wszystkie pręty lub grupy prętów).

Wybranie opcji *Zapisz tabelę* powoduje, że tabela z podstawowymi informacjami o wymiarowanych lub weryfikowanych prętach lub grupach prętów prezentowana w oknie dialogowym **Wyniki skrócone** zostanie zapisana w celu wykorzystania jej podczas tworzenia dokumentacji projektu (nazwę zrzutu tabeli należy

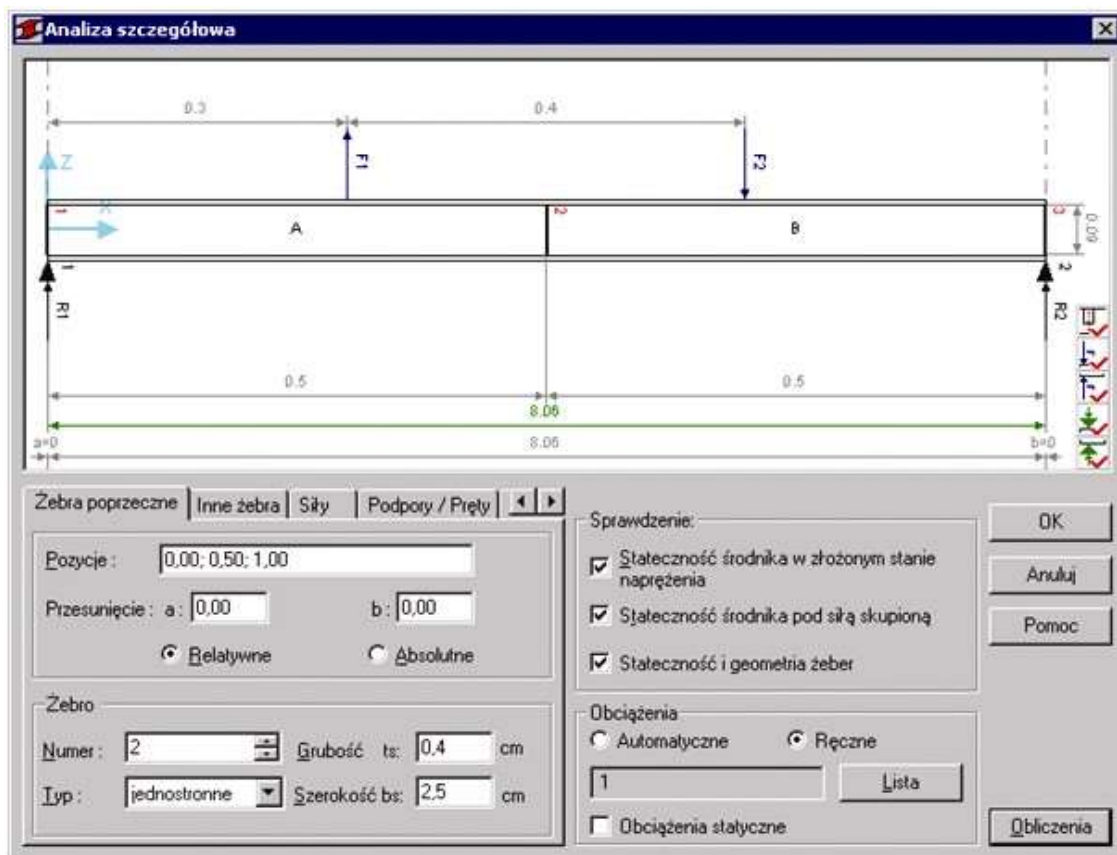
podać w polu *Etykieta*). Tabelę będzie można wykorzystać w wydruku złożonym. Nazwa zrzutu tabeli będzie dostępna za zakładkę *Zrzuty ekranu* w oknie dialogowym **Kompozycja wydruku**.

6.1.1. Analiza szczegółowa (polska norma stalowa PN 90)

Opcja umożliwia szczegółową analizę prętów dwuteowych wykonanych z profili walcowanych lub spawanych. Analizę szczegółową pręta można uruchomić naciskając klawisz **Szczegółowa** znajdujący się w oknie dialogowym **Rezultatów szczegółowych** dla polskiej normy stalowej PN-90/B-03200. Program pozwala przeprowadzić następujące obliczenia na podstawie wymogów opisanych w normie PN90/B-03200:

- stateczność środnika w złożonym stanie naprężenia (rozdział 4.2.5)
- stateczność środnika pod siłą skupioną (rozdział 4.2.4-5)
- stateczność i geometria żeber (rozdział 4.2.6).

Każda z wymienionych analiz pręta prowadzona jest niezależnie, stąd też każda z nich może być uruchomiona osobno.



Okno dialogowe **Analiza szczegółowa** podzielone jest na kilka części:

- w górnej części okna dialogowego prezentowany jest schematyczny rysunek pręta zawierający wymiary pręta, w prawym, dolnym rogu rysunku znajdują się następujące ikony: włączenie/wyłączenie prezentacji żeber, numerów żeber, numeracji paneli i odległości między żebrami
- włączenie/wyłączenie prezentacji sił działających na górnej półce pręta, ich numeracji i odległości między siłami



włączenie/wyłączenie prezentacji sił działających na dolnej półce pręta, ich numeracji i odległości między siłami



włączenie/wyłączenie prezentacji podpór/prętów dochodzących znajdujących się na górnej półce pręta, ich numeracji i odległości między podporami/prętami dochodzącymi



włączenie/wyłączenie prezentacji podpór/prętów dochodzących znajdujących się na dolnej półce pręta, ich numeracji i odległości między podporami/prętami dochodzącymi

- części, w której znajduje się pięć zakładek: *Żebra poprzeczne*, *Inne żebra*, *Siły*, *Podpory/Pręty* i *Siły wewnętrzne*
- pola *Sprawdzanie* i *Obciążenia*.

W programie przeprowadzane mogą być następujące obliczenia wg polskiej normy stalowej:

Stateczność środnika w złożonym stanie naprężenia (4.2.5)

- Program analizuje każdy panel (przestrzeń pomiędzy sąsiadującymi żebami) w 11 punktach w poszukiwaniu największego wyiężenia środnika. W każdym punkcie program naczytuje odpowiedni zestaw sił wewnętrznych i dokonuje weryfikacji zgodnie z punktem (4.2.5 wzór (24)).
- Wyniki prezentowane są dla każdego panela w punktach, gdzie wystąpiły najbardziej niekorzystne wyiężenia.

Stateczność środnika pod siłą skupioną (4.2.5)

- Sprawdzanie środnika pod siłą skupioną odbywa się tylko wtedy, gdy pod siłą nie znajduje się żebro (środnik jest nie uźebrowany)
- Program przeprowadza analizę, czy siła lub reakcja wywołuje efekt ściskania środnika. Efekt ściskania wywołuje siła (reakcja lub pręt dochodzący) w następujących przypadkach:
 - siła (reakcja lub pręt dochodzący) na górze i wartość siły (reakcji) ujemna
 - siła (reakcja lub pręt dochodzący) na dole i wartość siły (reakcji) dodatnia
 W innych przypadkach program nie wykonuje obliczeń (siła jest pomijana)
- Obliczenia są prowadzone dla wszystkich przypadków obciążeniowych zdefiniowanych przez użytkownika w polu *Obciążenia automatyczne*
- Jeżeli w jednym punkcie występuje kilka sił skupionych (w ramach jednego przypadku obciążenia), to program automatycznie sumuje te siły
- Dla przypadku kombinacji lub kombinacji normowych, jeśli w punkcie występuje kilka sił pochodzących od różnych przypadków obciążeniowych, program dokona sumowania tych sił z uwzględnieniem odpowiednich współczynników kombinacji
- Program naczytuje zestaw sił wewnętrznych w punkcie przyłożenia siły skupionej i dokonuje weryfikacji zgodnie z punktem (4.2.5 wzór (24)).
- Wyniki są podawane dla każdej siły wywołującej efekt ściskania nie uźebrowanego środnika.

Stateczność i geometria żeber

- Kontrola odbywa się w miejscach występowania żeber
- Jeśli żebro poprzeczne jest obciążone bezpośrednio siłą skupioną, to do weryfikacji tego żebra zostanie wzięta wprost ta siła. W takim przypadku żebro jest traktowane myślowo jako osiowo ściskana belka o długości równej wysokości środnika i współczynnikowi długości wyboczeniowej = 0.8. Jeśli siła skupiona rozciąga żebro, to wówczas obliczenia dla tego żebra są pomijane.
- Jeżeli belka jest analizowana w stanie nadkrytycznym (okno KONFIGURACJA/Profile klasy 4 obliczać metodą nadkrytyczną), to wówczas program wykonuje dodatkową analizę zgodnie z punktem 4.2.6.2 (żebra poprzeczne) i 4.3.6.3 (żebra podłużne).
- Dla każdego żebra prowadzona jest niezależnie kontrola geometryczna.

- Składanie wielu sił obciążających żebro odbywa się w sposób analogiczny jak dla sił skupionych działających na nie uzebrowany środek.

Zakładka *Żebra poprzeczne*

Żebra wstawiane są automatycznie po uruchomieniu Analizy szczegółowej w następujących położeniach na przecie:

- w miejscach, gdzie zostały zdefiniowane podpory
- w miejscach przyłożenia sił skupionych
- w miejscach, w których zostały rozpoznane pręty dochodzące
- jeśli odległości między stężeniami są zbyt duże i nie spełniają warunków normowych.

Parametry automatycznie zdefiniowanych żebrowa mogą być zmieniane: wszystkie żebra automatycznie zdefiniowane mogą być w dowolny sposób modyfikowane, dodawane lub usuwane.

Zakładka *Inne żebra*

Zakładka pozwala na zdefiniowanie dodatkowych żebrowa usztywniających środek dźwigara stalowego dla kolejnych paneli środka, wydzielonych przez żebra poprzeczne. Program pozwala na zdefiniowanie 2 dodatkowych typów żebrowa:

- Żebra krótkie - w rozstawie b_1
- Żebra podłużne.

Długość żebra podłużnego przyjmowana jest jako szerokość panelu, w którym definiowane jest żebro.

Zakładka *Siły*

Użytkownik może zweryfikować poprawność rozpoznania sił skupionych na zakładce *Siły*.

Program ustawiany jest domyślnie w trybie automatycznym (opcja *Obciążenia / Automatyczne*). Oznacza to, że w obliczeniach będą używane przypadki obciążenia wcześniej zdefiniowane przez użytkownika. Dla aktualnego lub aktualnych przypadków obciążeniowych odczytane zostaną wszystkie siły zewnętrzne i wewnętrzne i tylko one będą brane do obliczeń.

Jeśli użytkownik chce wprowadzić nowy przypadek obciążenia, to musi przejść do trybu ręcznego. W trybie automatycznym użytkownik nie ma możliwości zmiany położenia siły na długości elementu jak również jej wartości.

Zakładka *Podpory/Pręty*

Jeśli na rozpatrywanej belce rozpoznano podporę zdefiniowaną wcześniej przez użytkownika, to zostanie ona automatycznie wpisana na listę podpór i narysowana na rysunku. W trakcie obliczeń program będzie wykonywał sprawdzenia belki wykorzystując informację o reakcji na tej podporze. (*UWAGA: założenie jest poprawne, jeżeli reakcja jest prostopadła do osi podłużnej belki*). Przykładowo dla belki wolno podpartej obciążonej centralnie siłą skupioną P program rozpozna dwie podpory na końcach i do obliczeń weźmie wartości reakcji $R = P/2$.

Jeśli na belce nie zdefiniowano podpór program sprawdza, czy do rozpatrywanej belki dochodzi pręt pionowy (który potencjalnie może stanowić podporę). Jeśli tak, to w tym miejscu program proponuje podporę. Wartość reakcji przekazywanej na taką podporę zostanie policzona na podstawie analizy wykresu siły poprzecznej w tym punkcie.

W pozostałych przypadkach program domyślnie podpowiada położenie podpór na końcach belki.

Program automatycznie rozpoznaje miejsca, w których występują belki dochodzące (podrzędne) przekazujące obciążenia na rozpatrywaną belkę. W trakcie obliczeń program znajduje siłę, jaką przekazuje pręt(y) analizując rozkład siły poprzecznej na rozpatrywanej belce. Np. analizując belkę wspornikową obciążoną na końcu siłą P przekazywaną z belki podrzędnej program rozpozna miejsce, w którym nastąpiło przekazanie siły i wyliczy siłę P na podstawie wykresu siły poprzecznej w tym miejscu.

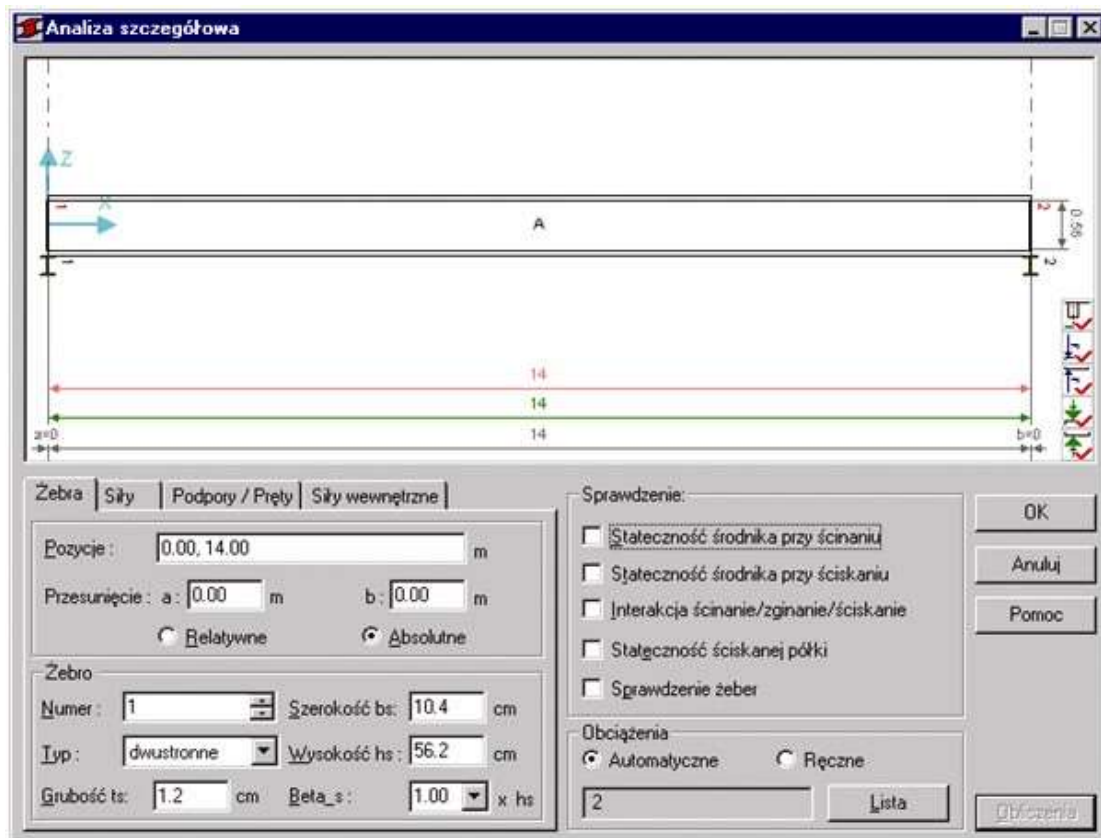
Zakładka *Siły wewnętrzne*

Aby zdefiniować nowy przypadek obciążenia, należy wybrać opcję *Ręczne* znajdujący się w polu *Obciążenia*. Od tej chwili użytkownik może wprowadzać dowolne siły skupione, definiować żebra w ustalonych przez siebie punktach i ustalać siły wewnętrzne stosownie do zdefiniowanego obciążenia. Wartości sił wewnętrznych należy podać na zakładce *Siły wewnętrzne*.

Jeśli użytkownik znajduje się w trybie *Ręczne*, obliczenia będą prowadzone tylko i wyłącznie dla zdefiniowanego ręcznie przypadku obciążeniowego. Nie ma możliwości uruchomienia obliczeń równocześnie dla przypadku ręcznie zdefiniowanego i przypadku automatycznego.

6.1.2. Analiza szczegółowa (norma Eurocode3)

Opcja umożliwia szczegółową analizę prętów dwuteowych wykonanych z profili walcowanych lub spawanych. Analizę szczegółową pręta można uruchomić naciskając klawisz **Szczegółowa** znajdujący się w oknie dialogowym *Rezultatów szczegółowych* dla normy EC3.



Program pozwala przeprowadzić następujące obliczenia opierając się na wymogach opisanych w normie EUROCODE 3:

Stateczność środnika przy ścinaniu

- Program przeszukuje każdy panel (przestrzeń pomiędzy sąsiadującymi żebrami) w 11 punktach w poszukiwaniu największej siły ścinającej. Dla tak znalezionej siły program dokonuje weryfikacji zgodnie z punktem (5.6)
- Wyniki prezentowane są dla każdego panela w punktach, gdzie wystąpiły najbardziej niekorzystne wyężenia.

Stateczność środника przy ściskaniu (rozdział 5.7 normy)

- Sprawdzanie środnika pod siłą skupioną odbywa się tylko wtedy, gdy pod siłą nie znajduje się żebro (środek jest nie uźebrowany)
- Program przeprowadza analizę, czy siła lub reakcja wywołuje efekt ściskania środnika. Efekt ściskania wywołuje siła (reakcja lub pręt dochodzący) w następujących przypadkach:
 - siła (reakcja lub pręt dochodzący) na górze i wartość siły (reakcji) ujemna
 - siła (reakcja lub pręt dochodzący) na dole i wartość siły (reakcji) dodatniaW innych przypadkach program nie wykonuje obliczeń (siła jest pomijana)
- Obliczenia są prowadzone dla wszystkich przypadków obciążeniowych zdefiniowanych przez użytkownika w polu *Obciążenia automatyczne*
- Jeżeli w jednym punkcie występuje kilka sił skupionych (w ramach jednego przypadku obciążenia), to program automatycznie sumuje te siły
- Dla przypadku kombinacji lub kombinacji normowych, jeśli w punkcie występuje kilka sił pochodzących od różnych przypadków obciążeniowych, program dokona sumowania tych sił z uwzględnieniem odpowiednich współczynników kombinacji
- Wyniki są podawane dla każdej siły wywołującej efekt ściskania nie uźebrowanego środnika.

Interakcja M/N/V (rozdział 5.6.7 normy)

- Kontrola odbywa się dla każdego z paneli w 11 punktach obliczeniowych
- Obliczenia są prowadzone dla wszystkich przypadków obciążeniowych zdefiniowanych przez użytkownika w polu *Obciążenia automatyczne*
- Wyniki podawane są w punkcie panela, w którym wystąpiło największe wyciężenie.

Stateczność ściskanej półki (rozdział 5.7.7 normy)

- Program wykonuje sprawdzenia stateczności ściskanej półki w 3 równo od siebie oddalonych punktach (początek, środek i koniec belki)
- Program sprawdza geometryczny warunek stateczności ściskanej półki zgodnie ze wzorem (5.80).






Stateczność żeber poprzecznych

- Kontrola odbywa się w miejscach występowania żeber
- Jeśli żebro jest obciążone bezpośrednio siłą skupioną, to do weryfikacji tego żebra zostanie wzięta wprost ta siła. Jeśli żebro nie jest bezpośrednio obciążone siłą skupioną, wówczas program oblicza siłę ściskającą żebro na podstawie wzoru (5.63). Jeśli siła skupiona rozciąga żebro wówczas obliczenia dla tego żebra są pomijane
- Składanie wielu sił obciążających żebro odbywa się w sposób analogiczny jak dla sił skupionych działających na nie uźebrowany środek.

Po uruchomieniu opcji *Analiza szczegółowa* odczytywane są wszystkie siły skupione dla przypadku obciążeniowego, który okazał się decydujący w trakcie weryfikacji normowej pręta. Jeśli najbardziej niekorzystnym przypadkiem obciążeniowym przy weryfikacji pręta był przypadek np. *State1*, to wówczas zostaną odczytane wszystkie siły skupione wchodzące w skład tego przypadku. Jeśli natomiast przypadkiem decydującym okazała się kombinacja lub kombinacja normowa, to odczytane zostaną wszystkie siły skupione wchodzące w skład przypadków prostych stanowiących składowe kombinacji. Przypadek decydujący jest automatycznie wpisywany do pola edycyjnego *Obciążenia automatyczne*. Rozpoznane automatycznie siły skupione są wizualizowane na rysunku z podaniem numeru siły i jej współrzędnej. Układ współrzędnych jest domyślnie położony w początku pręta.

Poprawność rozpoznania sił skupionych może zostać zweryfikowana po przejściu na zakładkę *Siły skupione*. Program ustawiany jest domyślnie w trybie automatycznym (opcja *Obciążenia / Automatyczne*). Oznacza to, że w obliczeniach będą używane przypadki obciążenia wcześniej zdefiniowane przez użytkownika. Dla aktualnego lub aktualnych przypadków obciążeniowych odczytane zostaną wszystkie siły zewnętrzne i wewnętrzne i tylko one będą brane do obliczeń.

Jeśli użytkownik chce wprowadzić nowy przypadek obciążenia, to musi przejść do trybu ręcznego. Okno dialogowe **Analiza szczegółowa** podzielone jest na kilka części:

- w górnej części okna dialogowego prezentowany jest schematyczny rysunek pręta zawierający wymiary pręta, w prawym, dolnym rogu rysunku znajdują się następujące ikony: włączenie/wyłączenie prezentacji żeber, numerów żeber, numeracji paneli i odległości między żebrami
 -  włączenie/wyłączenie prezentacji żeber, numerów żeber, numeracji paneli i odległości między żebrami
 -  włączenie/wyłączenie prezentacji sił działających na górnej półce pręta, ich numeracji i odległości między siłami
 -  włączenie/wyłączenie prezentacji sił działających na dolnej półce pręta, ich numeracji i odległości między siłami
 -  włączenie/wyłączenie prezentacji podpór/prętów dochodzących znajdujących się na górnej półce pręta, ich numeracji i odległości między podporami/prętami dochodzącymi
 -  włączenie/wyłączenie prezentacji podpór/prętów dochodzących znajdujących się na dolnej półce pręta, ich numeracji i odległości między podporami/prętami dochodzącymi
- części, w której znajdują się cztery zakładki: *Żebra*, *Siły*, *Podpory/Pręty* i *Siły wewnętrzne*
- pola *Sprawdzanie* i *Obciążenia*.

Zakładka *Żebra*

Żebra wstawiane są automatycznie po uruchomieniu Analizy szczegółowej w następujących położeniach na pręcie:

- w miejscach, gdzie zostały zdefiniowane podpory
- w miejscach przyłożenia sił skupionych
- w miejscach, w których zostały rozpoznane pręty dochodzące
- jeśli odległości między stężeniami są zbyt duże i nie spełniają warunków normowych.

Parametry automatycznie zdefiniowanych żeber mogą być zmieniane: wszystkie żebra automatycznie zdefiniowane mogą być w dowolny sposób modyfikowane, dodawane lub usuwane.

Zakładka *Siły*

Użytkownik może zweryfikować poprawność rozpoznania sił skupionych na zakładce *Siły*.

Program ustawiany jest domyślnie w trybie automatycznym (opcja *Obciążenia / Automatyczne*). Oznacza to, że w obliczeniach będą używane przypadki obciążenia wcześniej zdefiniowane przez użytkownika. Dla aktualnego lub aktualnych przypadków obciążeniowych odczytane zostaną wszystkie siły zewnętrzne i wewnętrzne i tylko one będą brane do obliczeń.

Jeśli użytkownik chce wprowadzić nowy przypadek obciążenia, to musi przejść do trybu ręcznego. W trybie automatycznym użytkownik nie ma możliwości zmiany położenia siły na długości elementu jak również jej wartości.

Zakładka *Podpory/Pręty*

Jeśli na rozpatrywanej belce rozpoznano podporę zdefiniowaną wcześniej przez użytkownika, to zostanie ona automatycznie wpisana na listę podpór i narysowana na rysunku. W trakcie obliczeń program będzie wykonywał sprawdzenia belki wykorzystując informację o reakcji na tej podporze. (**UWAGA: założenie jest poprawne, jeżeli reakcja jest prostopadła do osi podłużnej belki**). Przykładowo dla belki wolno podpartej obciążonej centralnie siłą skupioną P program rozpozna dwie podpory na końcach i do obliczeń weźmie wartości reakcji $R = P/2$.

Jeśli na belce nie zdefiniowano podpór program sprawdza, czy do rozpatrywanej belki dochodzi pręt pionowy (który potencjalnie może stanowić podporę). Jeśli tak, to w tym miejscu program proponuje podporę. Wartość reakcji przekazywanej na taką podporę zostanie policzona na podstawie analizy wykresu siły poprzecznej w tym punkcie.

W pozostałych przypadkach program domyślnie podpowiada położenie podpór na końcach belki.

Program automatycznie rozpoznaje miejsca, w których występują belki dochodzące (podrzędne) przekazujące obciążenia na rozpatrywaną belkę. W trakcie obliczeń program znajduje siłę, jaką przekazuje pręt(y) analizując rozkład siły poprzecznej na rozpatrywanej belce. Np. analizując belkę wspornikową obciążoną na końcu siłą P przekazywaną z belki podrzędnej program rozpozna miejsce, w którym nastąpiło przekazanie siły i wyliczy siłę P na podstawie wykresu siły poprzecznej w tym miejscu.

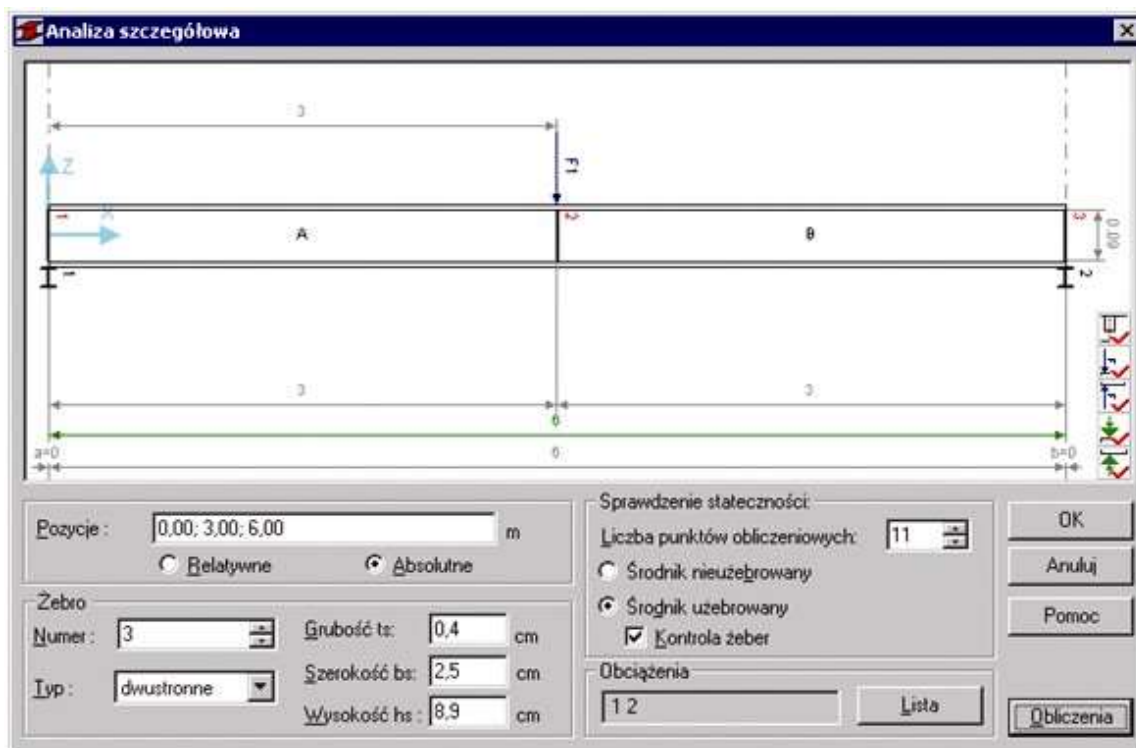
Zakładka *Siły wewnętrzne*

Aby zdefiniować nowy przypadek obciążenia, należy wybrać opcję *Ręczne* znajdujący się w polu *Obciążenia*. Od tej chwili użytkownik może wprowadzać dowolne siły skupione, definiować żebra w ustalonych przez siebie punktach i ustalać siły wewnętrzne stosownie do zdefiniowanego obciążenia. Wartości sił wewnętrznych należy podać na zakładce *Siły wewnętrzne*.

Jeśli użytkownik znajduje się w trybie *Ręczne*, obliczenia będą prowadzone tylko i wyłącznie dla zdefiniowanego ręcznie przypadku obciążeniowego. Nie ma możliwości uruchomienia obliczeń równocześnie dla przypadku ręcznie zdefiniowanego i przypadku automatycznego.

6.1.3. Analiza szczegółowa (francuska norma CM66)

Opcja umożliwia szczegółową analizę środników prętów dwuteowych, skrzynkowych lub ceowych wykonanych z profili walcowanych lub spawanych. Analizę szczegółową pręta można uruchomić naciskając klawisz **Szczegółowa** znajdujący się w oknie dialogowym **Rezultatów szczegółowych** dla francuskiej normy CM66.








Program pozwala przeprowadzić następujące obliczenia na podstawie wymogów opisanych w normie CM66:

- stateczność nieuźebrowanego środnika w złożonym stanie naprężenia (rozdział 5,212-3) •
stateczność uźebrowanego środnika w złożonym stanie naprężenia (rozdział 5,212-3) •
sprawdzenie żeber (rozdział 5,212-4).

Kontrola stateczności uźebrowanego lub nieuźebrowanego środnika jest prowadzona osobno. Sprawdzenie stateczności żeber jest możliwe tylko w przypadku wybrania kontroli uźebrowanego środnika.

Użytkownik może prowadzić analizę pręta w podanej liczbie punktów obliczeniowych (maksymalnie 101). W programie sprawdzany jest odpowiedni warunek normowy w każdym punkcie tyle razy, ile zostało zdefiniowanych przypadków obciążeniowych (kombinacji normowych), a następnie podawane są rezultaty dla przypadku dającego największe wyężenie. Okno dialogowe podzielone jest na kilka części:

- w górnej części okna dialogowego prezentowany jest schematyczny rysunek pręta zawierający wymiary pręta, w prawym, dolnym rogu rysunku znajdują się następujące ikony:
 -  włączenie/wyłączenie prezentacji żeber, numerów żeber, numeracji paneli i odległości między żebrami
 -  włączenie/wyłączenie prezentacji sił działających na górnej półce pręta, ich numeracji i odległości między siłami
 -  włączenie/wyłączenie prezentacji sił działających na dolnej półce pręta, ich numeracji i odległości między siłami
 -  włączenie/wyłączenie prezentacji podpór/prętów dochodzących znajdujących się na górnej półce pręta, ich numeracji i odległości między podporami/prętami dochodzącymi
 -  włączenie/wyłączenie prezentacji podpór/prętów dochodzących znajdujących się na dolnej półce pręta, ich numeracji i odległości między podporami/prętami dochodzącymi

Analiza szczegółowa przeprowadzana dla francuskiej normy stalowej CM66 wykorzystuje w obliczeniach przypadki obciążenia wcześniej zdefiniowane przez użytkownika. Dla aktualnego lub aktualnych przypadków obciążeniowych odczytane zostaną wszystkie siły zewnętrzne i wewnętrzne i tylko one będą brane do obliczeń.

Jeśli na rozpatrywanej belce rozpoznano podporę zdefiniowaną wcześniej przez użytkownika, to zostanie ona automatycznie narysowana na rysunku. Jeśli na belce nie zdefiniowano podpór (użytkownik np. rozpatruje rygiel ramy portalowej) program sprawdza, czy do rozpatrywanej belki dochodzi pręt pionowy (który potencjalnie może stanowić podporę). Jeśli tak, to w tym miejscu program proponuje podporę. Program automatycznie rozpoznaje miejsca, w których występują belki dochodzące (podrzędne) przekazujące obciążenia na rozpatrywaną belkę. Automatycznie również rozpoznawane są pozycje sił skupionych obciążających belkę. Obliczenia są rozpoczynane po naciśnięciu klawisza **Obliczenia**. W dolnej części okna dialogowego znajdują się następujące opcje:

- *Liczba punktów obliczeniowych* - pole, w którym należy podać liczbę podziałów pręta na odcinki o jednakowej długości; w tych punktach będą obliczane siły wewnętrzne
- *Środnik nieuźebrowany* - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to niedostępne są wszystkie opcje dotyczące żeber pręta i pręt jest analizowany jako nieuźebrowany
- *Środnik uźebrowany* - jeżeli ta opcja zostanie wybrana, to opcje dotyczące żeber pręta stają się dostępne (część z nich po włączeniu opcji *Kontrola żeber*) i pręt jest analizowany jako uźebrowany
- *Kontrola żeber* - po włączeniu tej opcji pola służące do definicji podstawowych parametrów żeber stają się aktywne; każde żebro może być dowolnie modyfikowane
- *Obciążenia* - lista przedstawiająca przypadki obciążenia brane pod uwagę podczas analizy szczegółowej pręta.

Żebra wstawiane są automatycznie po uruchomieniu **Analizy szczegółowej** w następujących położeniach na przecięcie:

- w miejscach, gdzie zostały zdefiniowane podpory

- w miejscach przyłożenia sił skupionych
- w miejscach, w których zostały rozpoznane pręty dochodzące.

Parametry automatycznie zdefiniowanych żeber mogą być zmieniane: wszystkie żebra automatycznie zdefiniowane mogą być w dowolny sposób modyfikowane, dodawane lub usuwane. Położenie żeber przedstawiane są w polu edycyjnym *Pozycje*; położenie żeber może być definiowane w rzeczywistych współrzędnych lub w we współrzędnych relatywnych (w odniesieniu do długości pręta).

Domyślnie ustawiane są następujące parametry żeber:

- Typ żebra - dwustronne
- Grubość = grubości środka
- Szerokość = połowa z różnicy szerokości belki i grubości środka
- Wysokość = wysokości środka.

Domyślnie przyjmuje się, że długość belki jest równa odległości pomiędzy osiami teoretycznymi prętów. W programie przeprowadzane mogą być następujące obliczenia:

Stateczność nie uźebrowanego środka w złożonym stanie naprężenia (5,212-3)

- Belka analizowana jest w takiej liczbie punktów, jaka została zdefiniowana przez użytkownika w polu edycyjnym *Liczba punktów obliczeniowych*
- Naprężenia w aktualnym punkcie obliczeniowym są wyliczane na podstawie sił wewnętrznych odczytanych dla danego przypadku obciążenia. Naprężenia te są dalej używane do sprawdzenia empirycznej formuły weryfikacyjnej podanej w punkcie 5.212-3
- Wyniki prezentowane są dla każdego punktu obliczeniowego i dla przypadku obciążenia dającego najbardziej niekorzystne wyężenia.

Stateczność uźebrowanego środka w złożonym stanie naprężenia (5,212-3)

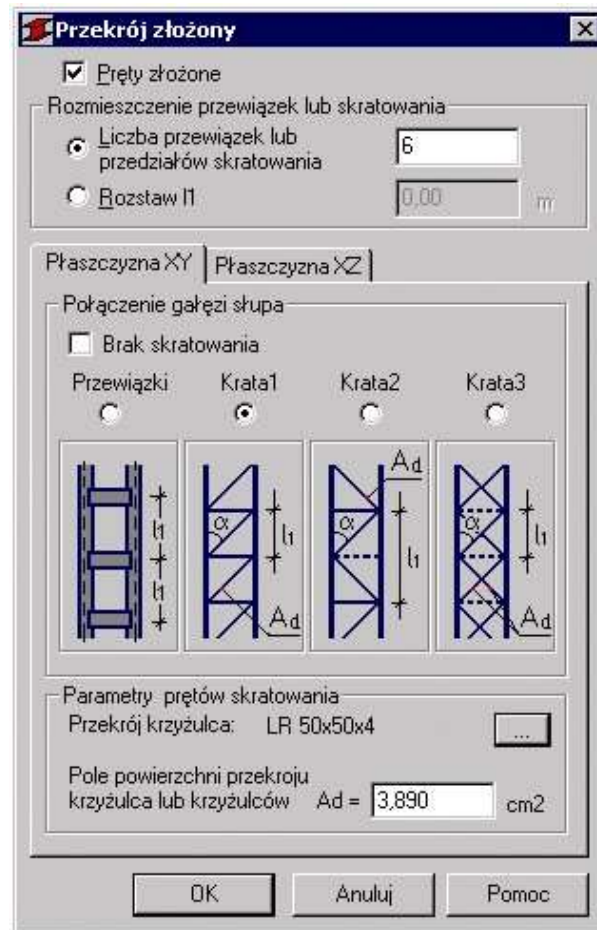
- Zasada działania programu jest taka sama jak przy kontroli środka nie uźebrowanego. Program w trakcie weryfikacji używa drugiej formuły empirycznej podanej w punkcie 5.212-3

Stateczność żeber poprzecznych (5,212-4)

- Kontrola odbywa się w miejscach występowania żeber
- Siła obciążająca żebro jest wyliczana zgodnie z komentarzem do punktu 5.212-4 jako różnica siły poprzecznej występującej w miejscu usytuowania żebra i maksymalnej siły poprzecznej jaką może przenieść w tym miejscu nieuźebrowany środek
- Parametry żebra są wyliczane przy założeniu, że do współpracy brany jest fragment środka o długości równej jego 30-krotnej grubości.
- Stateczność żeber jest sprawdzana analogicznie jak stateczność osiowo ściskanych słupów zgodnie z punktem 3.41 normy.

6.1.4. Weryfikacja prętów wielogałęziowych (polska norma stalowa lub Eurocode 3)

Opcja służy do określenia parametrów prętów wielogałęziowych. Jest dostępna po naciśnięciu klawisza **Przekrój złożony** znajdującego się w oknie dialogowym *Definicja pręta - parametry*.



Włączenie opcji *Pręty złożone* powoduje, że w programie przeprowadzone zostaną obliczenia pręta z uwzględnieniem zasad podanych dla prętów wielogałęziowych zgodnie z punktem 4.7 normy PN-90/B03200 lub punktem 5.9 normy Eurocode3.

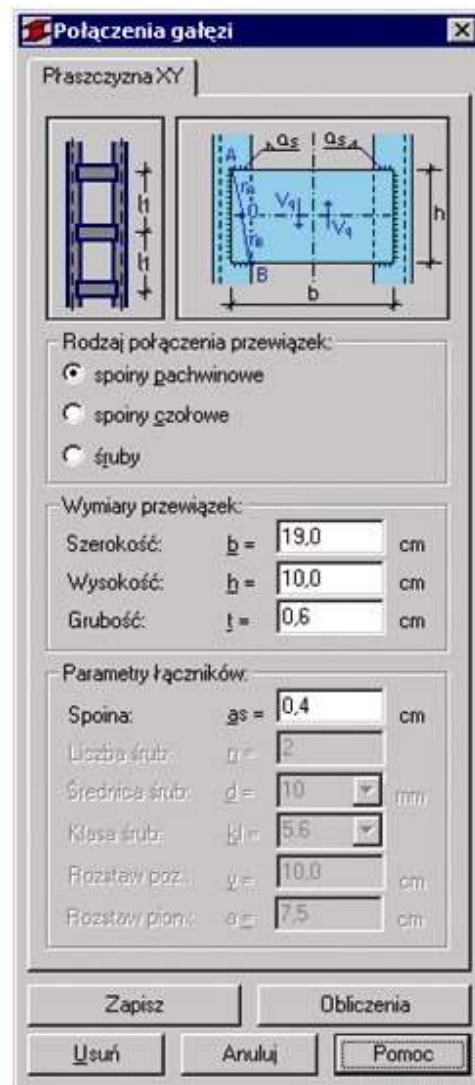
W polach *Rozmieszczenie przewiązek lub skratowania* zdefiniowany może zostać sposób rozmieszczenia elementów łączących poszczególne gałęzie słupa. Można tego dokonać na dwa sposoby:

- poprzez podanie liczby w polu edycyjnym *Liczba przewiązek lub przedziałów skratowania*; program automatycznie rozmieści przewiązki (przedziały skratowania) równomiernie na długości całego pręta; UWAGA: podana liczba przewiązek uwzględnia również przewiązki podporowe (skrajne); przykładowo, zdefiniowanie liczby 4 na pręcie o długości 3.0 m spowoduje rozmieszczenie 4 przewiązek na współrzędnych (0.0 m, 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m)
- poprzez podanie wartości rozstawu l_1 pomiędzy poszczególnymi elementami łączącymi w polu edycyjnym *Rozstaw l_1* ; zakłada się, że rozstawy przewiązek lub wysokości wszystkich przedziałów skratowania są równe na długości pręta; jeżeli długość pręta nie stanowi pełnej wielokrotności rozstawów l_1 , to wówczas przewiązki rozmieszczone są równomiernie względem środka pręta: zatem zdefiniowanie rozstawu $l_1 = 1.0$ m na pręcie o długości 3.2 m spowoduje, że program rozmieści równomiernie na długości pręta 4 przewiązki na współrzędnych (0.1 m, 1.1 m, 2.1 m, 3.1 m).

Założono, że odpowiednie płaszczyzny przewiązek (skratowania) są równoległe do lokalnych osi przekroju wielogałęziowego (x - oś podłużna pręta, y - oś pozioma, z - oś pionowa). Na zakładce *Płaszczyzna XY* istnieje możliwość definiowania typów przewiązek lub skratowania leżących w płaszczyźnie równoległej do lokalnej osi y. Analogicznie na zakładce *Płaszczyzna XZ* definiowane będą parametry przewiązek lub skratowania leżących w płaszczyźnie równoległej do lokalnej osi z. Włączenie opcji *Brak skratowania*

powoduje, że w obliczeniach 'wielogałęziowość' nie jest uwzględniana i obliczenia przeprowadzane są przy założeniu pełnego zespolenia gałęzi w danej płaszczyźnie. W przypadku normy Eurocode3 wybranie opcji *Przewiązki* powoduje udostępnienie definicji podstawowych wymiarów przewiązek (wysokość, grubość). Wybranie jednego z typów kratowych (Krata1, 2, 3) powoduje, że dostępne stają się opcje pozwalające na definicję prętów skratowania. Zakłada się, że słupki i krzyżulce wykonywane są zwykle z takich samych przekrojów. W przypadku kraty typu 3 dla normy Eurocode 3 istnieje możliwość definicji różnych przekrojów dla krzyżulców i dla słupków. Naciśnięcie klawisza (...) znajdującego się na prawo opcji *Przekrój krzyżulca* (opcje: *Krzyżulec / Słupek* w przypadku normy Eurocode 3) powoduje otwarcie okna dialogowego **Wybór profilu**, w którym zdefiniowana może zostać nazwa elementu kratowego. Wybranie profilu powoduje automatyczne wpisanie jego pola powierzchni do pola edycyjnego *Ad (Av)*.

Po wykonaniu weryfikacji pręta wielogałęziowego istnieje możliwość doboru i weryfikacji elementów łączących poszczególne gałęzie pręta. Analizę połączeń gałęzi pręta wielogałęziowego można uruchomić naciskając klawisz **Skratowanie** znajdujący się w oknie dialogowym **Rezultaty szczegółowe**. Okno dialogowe **Połączenie gałęzi** składa się z dwóch zakładek zawierających potrzebne do obliczeń dane łączników leżących w płaszczyznach XY i XZ. Analiza dla każdej z płaszczyzn odbywa się w sposób niezależny.



W zależności od wcześniej zdefiniowanego typu połączenia gałęzi w poszczególnych płaszczyznach (przewiązki lub skratowanie wybrane w oknie dialogowym **Przekrój złożony** opisanym powyżej) w programie automatycznie zostanie zaproponowane możliwe rozwiązanie detali połączeń. W programie dostępne są następujące typy analizy: dla przewiązek:

- połączenie z trzonem na spoiny pachwinowe
- połączenie z trzonem na spoiny czołowe
- połączenie z trzonem na śruby zwykłe

dla skratowania:

- połączenie z trzonem na spoiny pachwinowe - połączenie z trzonem na śruby zwykłe.

Kontrola połączenia gałęzi obejmuje sprawdzenie wytrzymałości elementu łączącego gałęzie (wytrzymałość przewiązki, ściskanie z wyboczeniem krzyżulców i słupków) oraz sprawdzenie wytrzymałości spoin (śrub) łączących przewiązki (skratowanie) z trzonem słupa.

W trakcie definiowania parametrów połączenia przewiązek z trzonem słupa kontrolowane są podstawowe parametry geometryczne połączenia. W przypadku połączenia pachwinowego program sprawdza dopuszczalne wymiary spoin pachwinowych. Zakłada się, że układ spoiny pachwinowej jest zrealizowany w kształcie litery C. Jeżeli długość poziomych fragmentów spoiny nie przekracza 40 mm, to te spoiny nie są uwzględniane w obliczeniach (brane są pod uwagę tylko pionowe fragmenty spoin).

W programie prowadzone jest również kontrola geometryczna rozmieszczenia śrub w połączeniu przewiązki i w razie niepoprawności danych wyświetlany jest komunikat. W przypadku spoiny czołowej przyjmuje się, że długość spoiny jest równa wysokości przewiązki, zaś grubość jest wartością mniejszą z grubości przewiązki i grubości półek gałęzi trzonu.

Weryfikacja połączenia elementów skratowania z trzonem słupa odbywa się w sposób uproszczony. W przypadku połączenia na spoiny pachwinowe program żąda całkowitej długości spoin łączących skratowanie z trzonem i zakłada, że środek ciężkości układu spoin jest współliniowy z osią pręta (układ jest tylko ścinany bez uwzględniania ewentualnych mimośrodków). W przypadku połączenia na śruby założono również współliniowość osi przekroju i osi położenia śrub. Zatem nośność takiego połączenia jest sumą nośności wszystkich śrub wchodzących w skład połączenia.

Aby rozpocząć obliczenia połączeń gałęzi, należy nacisnąć klawisz **Obliczenia**. W oknie dialogowym **Rezultaty szczegółowe** pojawia się dodatkowa zakładka *Przewiązki/Skratowanie*, która zawiera najważniejsze wyniki weryfikacji połączeń (wykaz wszystkich danych i wyników weryfikacyjnych w formie tabelarycznej).



Zaprojektowane w ten sposób połączenia gałęzi mogą zostać zapisane wraz z prętem; służy temu klawisz **Zapisz**. Dzięki temu po zdefiniowaniu na pręcie sposobu połączenia gałęzi, podczas kolejnej weryfikacji otrzymywany jest komplet wyników włącznie z pełną weryfikacją połączenia (bez konieczności ponownego otwierania okna dialogowego **Połączenia gałęzi**). Wyniki mogą zostać również usunięte po naciśnięciu klawisza **Usuń**.

Zakłada się również, że zestaw informacji o połączeniu gałęzi słupa jest nierozdzielnie związany z konkretnym przekrojem i konkretnym typem skratowania zdefiniowanym na etapie definicji parametrów pręta. Przypisanie do pręta innego przekroju lub zmiana definicji skratowania spowoduje usunięcie informacji o połączeniu gałęzi.

W programie istnieje również możliwość definiowania połączeń gałęzi dla wielu prętów równocześnie. Można to zrobić na dwa sposoby:

Po weryfikacji grup:

Wynikiem weryfikacji grupy prętów jest wskazanie przez program najbardziej wyjątkowego reprezentanta grupy. Po otwarciu okna dialogowego **Wyniki szczegółowe** dla tego pręta istnieje możliwość zaprojektowania połączenia gałęzi trzonu. Jeżeli po zaprojektowaniu tego połączenia naciśnięty zostanie klawisz **Zapisz**, to nastąpi przypisanie definicji tego połączenia do wszystkich prętów wchodzących w skład weryfikowanej grupy. Należy jednak pamiętać, że będzie to możliwe tylko pod warunkiem, że wszystkie pręty mają ten sam przekrój i odpowiednie typy skratowania w definicji pręta. Od tego momentu weryfikacja wszystkich prętów grupy będzie prowadzona z uwzględnieniem kontroli połączeń gałęzi.

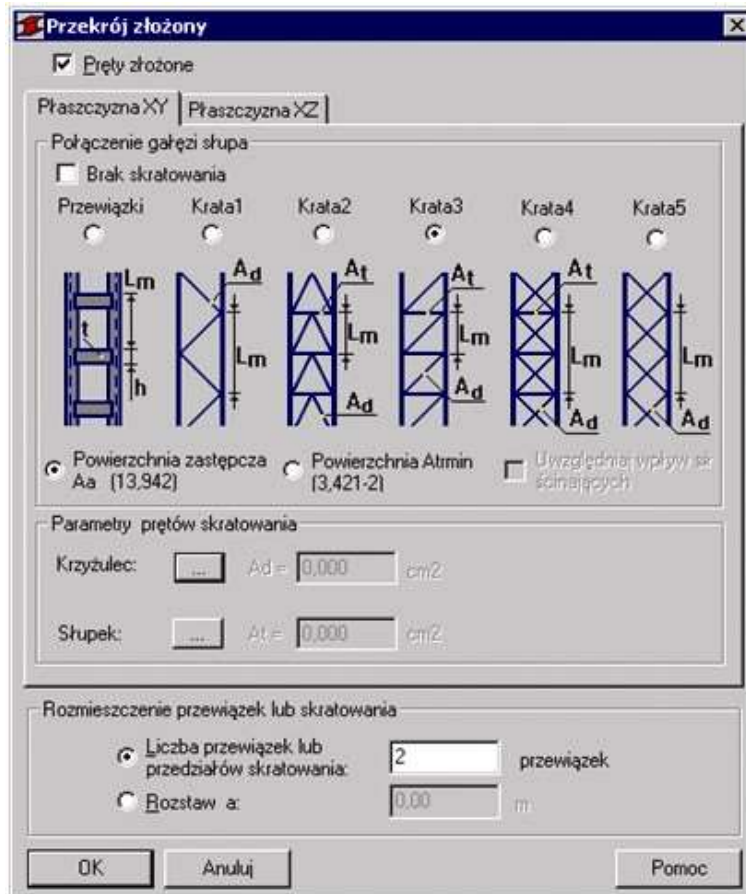
Po wymiarowaniu grup:

Wynikiem wymiarowania grupy prętów jest wskazanie przekrojów, które spośród zdefiniowanych do obliczeń rodzin prętów spełniają warunki normowe. Po otwarciu okna dialogowego **Wyniki szczegółowe** dla wybranego przekroju istnieje możliwość zaprojektowania połączenia gałęzi.

Zaprojektowane połączenie może zostać przypisane do pręta pod warunkiem równoczesnego nadania aktualnie rozpatrywanego przekroju na analizowaną grupę prętów. Jeżeli naciśnięty zostanie klawisz **Zapisz**, to nastąpi równoczesne nadanie przekroju na grupę prętów wraz z zaprojektowanym dla tego przekroju sposobem połączenia gałęzi. Od tego momentu weryfikacja wszystkich prętów grupy będzie prowadzona z uwzględnieniem kontroli połączeń gałęzi.

6.1.5. Weryfikacja prętów wielogałęziowych (francuska norma stalowa CM66)

Opcja służy do określenia parametrów prętów wielogałęziowych. Jest dostępna po naciśnięciu klawisza **Przekrój złożony** znajdującego się w oknie dialogowym **Definicja pręta - parametry**.



Włączenie opcji *Pręty złożone* powoduje, że w programie przeprowadzone zostaną obliczenia pręta z uwzględnieniem zasad podanych dla prętów wielogałęziowych zgodnie z punktem 3.42 (słupy skratowane) i 3.43 (słupy przewiązkowe) normy CM66.

W polach *Liczba przewiązek lub skratowania* zdefiniowany może zostać sposób rozmieszczenia elementów łączących poszczególne gałęzie słupa. Można tego dokonać na dwa sposoby:

- poprzez podanie liczby w polu edycyjnym *Liczba przewiązek lub przedziałów skratowania*; program automatycznie rozmieści przewiązki (przedziały skratowania) równomiernie na długości całego pręta; UWAGA: podana liczba przewiązek uwzględnia również przewiązki podporowe (skrajne); przykładowo, zdefiniowanie liczby 4 na pręcie o długości 3.0 m spowoduje rozmieszczenie 4 przewiązek na współrzędnych (0.0 m , 1.0 m , 2.0 m , 3.0 m)
- poprzez podanie wartości rozstawu *a* pomiędzy poszczególnymi elementami łączącymi w polu edycyjnym *Rozstaw a*; zakłada się, że rozstawy przewiązek lub wysokości wszystkich przedziałów skratowania są równe na długości pręta; jeżeli długość pręta nie stanowi pełnej wielokrotności rozstawów *a*, to wówczas przewiązki rozmieszczone są równomiernie względem środka pręta; zatem zdefiniowanie

rozstawu $a = 1.0$ m na pręcie o długości 3.2 m spowoduje, że program rozmieści równomiernie na długości pręta 4 przewiązki na współrzędnych (0.1 m, 1.1 m, 2.1 m, 3.1 m).

Założono, że odpowiednie płaszczyzny przewiązek (skratowania) są równoległe do lokalnych osi przekroju wielogałęziowego (x - oś podłużna pręta, y - oś pozioma, z - oś pionowa). Na zakładce *Płaszczyzna XY* istnieje możliwość definiowania typów przewiązek lub skratowania leżących w płaszczyźnie równoległej do lokalnej osi y . Analogicznie, na zakładce *Płaszczyzna XZ* definiowane będą parametry przewiązek lub skratowania leżących w płaszczyźnie równoległej do lokalnej osi z . Włączenie opcji *Brak skratowania* powoduje, że w obliczeniach 'wielogałęziowość' nie jest uwzględniana i obliczenia przeprowadzane są przy założeniu pełnego zespolenia gałęzi w danej płaszczyźnie.

Wybranie opcji *Przewiązki* powoduje udostępnienie definicji podstawowych wymiarów przewiązek. Przewiązki mogą być definiowane albo w postaci prostokątnej blachy (wysokość, grubość), albo w postaci standardowego profilu z bazy przekrojów. Wybranie jednego z typów kratowych (Krata1-5) powoduje, że dostępne stają się opcje pozwalające na definicję prętów skratowania. Użytkownik ma możliwość definicji różnych przekrojów dla krzyżulców i dla słupków. Naciśnięcie klawisza (...) znajdującego się po prawej stronie opcji *Krzyżulec* i *Słupek* powoduje otwarcie okna dialogowego **Wybór profilu**, w którym zdefiniowana może zostać nazwa elementu kratowego. Wybranie profilu powoduje automatyczne wpisanie jego pola powierzchni do pola edycyjnego A_d (A_t). Dla przypadków kratowych użytkownik może wybrać jedną z trzech dostępnych metod obliczania smukłości zastępczej pręta wielogałęziowego. Wybranie opcji *Powierzchnia zastępcza A_a* spowoduje przeprowadzenie obliczeń smukłości zastępczej zgodnie z punktem 13,942, zaś opcji *Powierzchnia A_{tmin}* zgodnie z punktem 3,421-2. Wybranie dodatkowo opcji *Uwzględniaj wpływ sił ścinających* spowoduje przeprowadzenie obliczeń zgodnie z tabelą zamieszczoną w punkcie 3,421-2.

W oknie rezultatów szczegółowych pojawia się dodatkowa zakładka *Przewiązki/Skratowanie* z wynikami dla prętów wielogałęziowych.

WYBRANE POZYCJE LITERATURY (WYMIAROWANIE KONSTRUKCJI STALOWYCH)

ANTONI BIEGUS, *Nośność graniczna stalowych konstrukcji prętowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1997

AKBAR R. TAMBOLI, *Steel Design Handbook - LRFD Method*, The McGraw-Hill Companies Inc., 1997

CHARLES G. SALMON, JOHN E. JOHNSON, *Steel Structures - Design and Behavior*, Third Edition by HarperCollins Publishers Inc., 1990

JEAN MOREL, *Calcul des structures metalliques selon l'EUROCODE 3*, Eyrolles, 1994

JEAN MOREL, *Structures Metalliques - Guide de calcul CM66 - Additif 80 - Eurocode3*, Eyrolles, 1999
Steelwork Design Guide To BS5950: PART 1: 1990 - Third Edition, Volume 1 - Section Properties, Member Capacities & Volume 2 - Worked Examples, The Steel Construction Institute in association with: The British Constructional Steelwork, 1992

T J MAC GINLEY & T C ANG, *Structural Steelwork - Design to Limit State Theory*, Second Edition, Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 1987,1992

IOANNIS VAYAS, JOHN ERMOPOULOS, GEORGE IOANNIDIS, *Anwendungsbeispiele zum Eurocode 3*, Ernst & Sohn, 1998

WARREN C. YOUNG, *Roark's Formulas For Stress & Strain - Sixth Edition*, The McGraw-Hill Companies Inc., 1989.

6.2. Wymiarowanie elementów konstrukcji żelbetowych

Moduły **Wymiarowanie belek żelbetowych**, **Wymiarowanie słupów żelbetowych**, **Wymiarowanie fundamentów bezpośrednich**, **Wymiarowanie ław fundamentowych**, **Wymiarowanie belek-ścian**, **Wymiarowanie ścian** służą do definiowania, obliczeń i wymiarowania wymienionych elementów konstrukcji żelbetowych (moduł umożliwiający wymiarowanie płyt żelbetowych opisano w rozdziale 6.6).

Obecna wersja tych modułów pozwala na projektowanie elementów konstrukcji według:

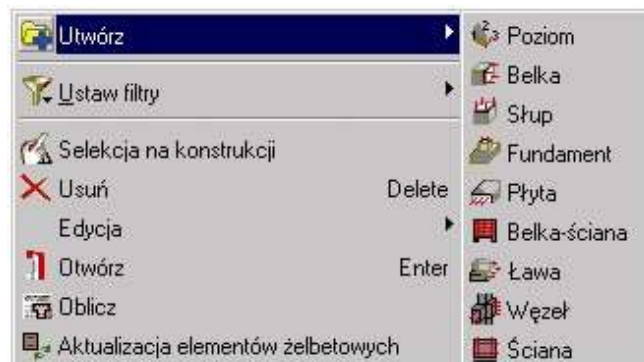
- polskich norm żelbetowych PN-84/B-03264 i PN-B-03264(2002) (belki, słupy, fundamenty PN-81/B03020, belki-ściany)
- francuskich norm żelbetowych B.A.E.L. 91 i B.A.E.L. 91 mod.99
- amerykańskich norm: ACI 318/99, ACI 318/02, ACI 318-05 i ACI 318-08 - belki, słupy, fundamenty, ściany
- kanadyjskich norm CSA A23.3-94 i CSA A23.3-04 - belki, słupy, fundamenty
- brytyjskiej normy BS 8110 - belki, słupy, fundamenty
- Eurocode 2 (belgijski NAD, włoski NAD) - belki, słupy, fundamenty
- hiszpańskiej normy EHE 98 - belki, słupy, fundamenty
- rosyjskiej normy SNiP 2.03.01-84 - belki, słupy, fundamenty
- norweskiej normy NS 3473 - belki, słupy, fundamenty
- indyjskiej normy IS 456: 2000 - belki, słupy, fundamenty
- singapurskiej normy CP65 - belki, słupy, fundamenty.

Wymienione moduły mogą stanowić integralną część całego systemu **Robot** (istnieje połączenie i wymiana danych pomiędzy modułami odpowiedzialnymi za wymiarowanie elementów konstrukcji żelbetowej a modułami, w których definiowana jest konstrukcja - z wyjątkiem belek-ścian) lub mogą być wykorzystywane jako samodzielne moduły (tzw. stand-alone), które służą tylko i wyłącznie do wymiarowania elementów konstrukcji żelbetowych.

Podczas projektowania konstrukcji użytkownik może bardzo prosto wprowadzić, przeglądnąć i zmienić parametry konstrukcji i projektowania. Jeżeli otrzymany wynik nie satysfakcjonuje użytkownika, może on powtórnie przeprowadzić obliczenia dla innych parametrów projektowania lub np. innego przekroju poprzecznego.

Po wybraniu ekranu związanego z wymiarowaniem elementu konstrukcji żelbetowej w lewej części ekranu pojawia się okno **Inspektora** służące do zarządzania zdefiniowanymi elementami konstrukcji żelbetowej i generowanymi dla nich rysunkami. Inspektor dla elementów konstrukcji żelbetowych składa się z dwóch zakładek: *Elementy konstrukcji* i *Rysunki*.

Na zakładce *Elementy konstrukcji*, po naciśnięciu prawego klawisza myszki pojawia się menu kontekstowe pokazane na poniższym rysunku.



Po rozwinięciu opcji *Utwórz* można wybrać element, który ma być dodany do konstrukcji:

- Poziom
- Belka
- Słup
- Fundament

- Płyta
- Belka-ściana
- Ława.

Wybranie opcji *Usuń* powoduje usunięcie aktualnie podświetlonego elementu (usunięcie podświetlonego elementu można wykonać poprzez naciśnięcie klawisza **Delete**).

W menu kontekstowym dostępne są również następujące opcje edycyjne:

- Kopiuj (Ctrl+C)
- Wklej (Ctrl+V)
- Zmień nazwę - wybranie tej opcji pozwala na zmianę nazwy elementu żelbetowego (dotychczasowa nazwa jest podświetlana i dostępna do edycji).

Wybranie opcji *Otwórz* powoduje otwarcie modułu żelbetowego z wybranym elementem; element konstrukcji żelbetowej może zostać również otwarty na dwa inne sposoby: dwukrotne kliknięcie w nazwę wybranego elementu lub zaznaczenie elementu i naciśnięcie klawisza **Enter**.

W dolnej części menu kontekstowego znajduje się opcja *Aktualizacja elementów żelbetowych*. Wybranie tej opcji powoduje przesłanie danych i wyników z modelu konstrukcji do modułów wymiarowania elementów żelbetowych dla wyselekcjonowanych elementów żelbetowych.

Dla zaznaczonego elementu znajdującego się drzewku Inspektora określone są właściwości. Dzieli się one na:

- Ogólne
 - stan obliczeń
 - wzorzec zbrojenia
 - wzorzec opcji obliczeniowych
- Charakterystyki materiałowe
 - beton
 - zbrojenie podłużne
 - zbrojenie poprzeczne
- Elewacja
 - długość całkowita - liczba przęseł.

W przypadku gdy wszystkie elementy na danym poziomie mają takie same właściwości, to będą one wyświetlone w dolnej części okna dialogowego; jeżeli właściwości będą się różnić, to w dolnej części okna dialogowego będzie wyświetlany komunikat *Różne wartości*.

W zakładce *Rysunki* po naciśnięciu prawego klawisza myszki pojawia się menu kontekstowe pokazane na poniższym rysunku.



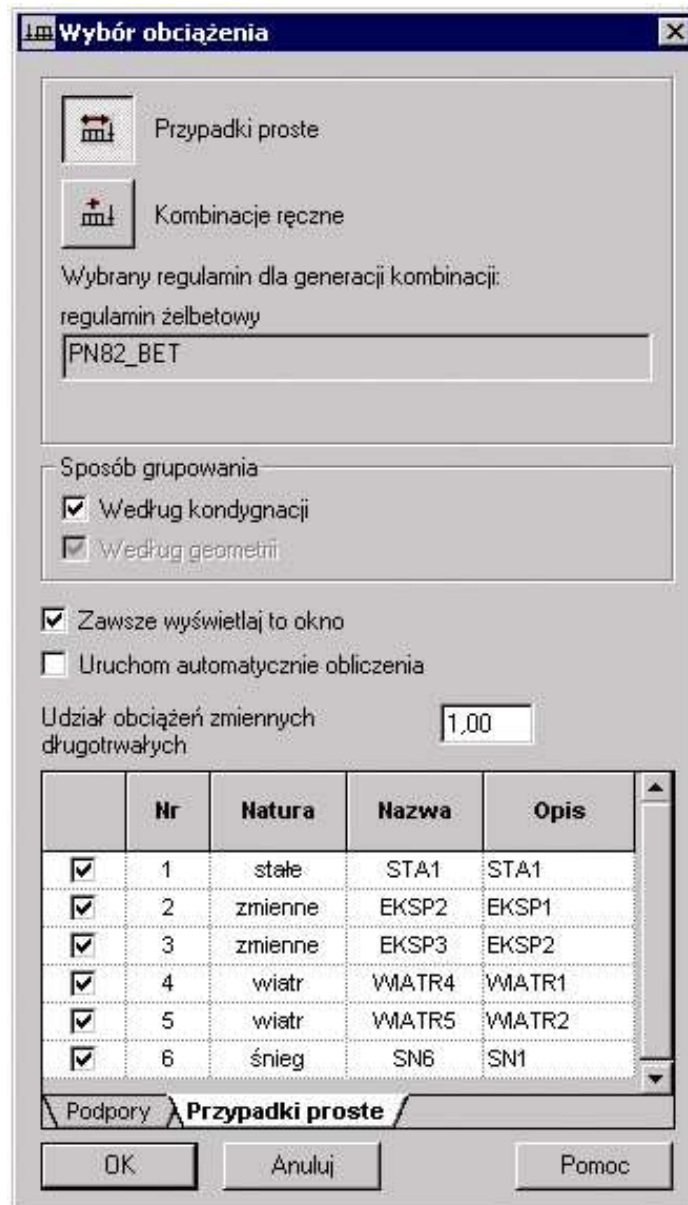
Opcja *Utwórz* pozwala na wybranie elementu, który ma być dodany do konstrukcji: - Poziom (UWAGA: poziom można dodawać również na zakładce *Elementy konstrukcji*) - Rysunek.

Aby wygenerować rysunek, należy:

- nacisnąć ikonę *Rysunki* • wybrać opcję *Plik / Zapisz jako...*
- określić poziom, na którym chcemy zapisać rysunek
- nadać nazwę rysunku
- zatwierdzić poprzez naciśnięcie klawisza **OK**.

W kolejnych rozdziałach opisano, w jaki sposób należy się posługiwać modułami służącymi do wymiarowania konstrukcji żelbetowych. Omówiono dwa tryby pracy tych modułów: jako integralną część systemu **Robot** i jako moduły pracujące samodzielnie.

Jeżeli moduły służące do wymiarowania konstrukcji żelbetowych są używane jako część programu **Robot**, to po obliczeniu sił działających w konstrukcji i przejściu do wymiarowania poszczególnych elementów konstrukcji na ekranie pojawia się okno pokazane na poniższym rysunku (prezentowane okno jest dla belek żelbetowych). Wygląd okna dialogowego jest zależny od modułu, który zostać uruchomiony (fundamenty, belki żelbetowe lub słupy żelbetowe, belki-ściany, ściany).



W przypadku belek/ław żelbetowych przejście do modułu wymiarowania belek żelbetowych możliwe jest po uprzednim zaznaczeniu belki lub grupy współliniowych przęseł i wywołaniu opcji z menu: *Analiza / Wymiarowanie belek żelbetowych*. Po wykonaniu tej czynności następuje wewnętrzne, automatyczne

przekazanie obciążeń na belkę. Obciążenia nie są widoczne w oknie dialogowym **Obciążenia**. Dla ław fundamentowych przekazywane są przemieszczenia ławy oraz współczynnik sprężystości podłoża Kz.

W momencie przejścia do modułu wymiarowania belek pojawia się okno służące do określenia, jaki rodzaj obciążeń ma być przekazany: *Przypadki proste* czy *Kombinacje ręczne*. Dla polskiej normy pojawia się dodatkowo pole do definicji udziału obciążeń zmiennych długotrwałych potrzebnych do obliczeń ugięcia. Jeśli wybrana jest opcja *Przypadki proste*, to przekazywane są obciążenia, dla których wewnętrznie tworzone są kombinacje normowe wg regulaminu dla wymiarowania elementów konstrukcji żelbetowych dostępnego w katalogu CFG w pliku z rozszerzeniem *.rgl.

Jeśli wybrana jest opcja *Kombinacje ręczne*, obliczenia przeprowadzane są dla kombinacji zdefiniowanych w programie **Robot**. Dodatkowo pojawia się lista wszystkich kombinacji ręcznych i użytkownik ma możliwość dokonania ich selekcji.

W polu *Sposób grupowania* znajdują się opcje umożliwiające automatyczne grupowanie elementów wg pewnych kryteriów (grupowanie nie działa dla ław fundamentowych):

- *według kondygnacji* - po wybraniu tej opcji program na podstawie geometrii konstrukcji dzieli ją na kondygnacje i na ich podstawie tworzy poziomy w drzewku obliczeniowym w modułach belek i słupów wraz z automatycznym przyporządkowaniem elementów do odpowiedniego poziomu
- *według geometrii* (w bieżącej wersji opcja dostępna tylko dla słupów) - po wybraniu tej opcji elementy o tej samej geometrii są traktowane jako jeden element obliczeniowy; jest on następnie wymiarowany na wiele grup kombinacji wynikłych z obciążeń przypadających na poszczególne elementy - w efekcie wszystkie elementy są wymiarowane na najbardziej niekorzystny układ obciążeń.

W dolnej części okna dialogowego znajduje się zakładka *Podpory*. Opcja przeznaczona jest do określenia przez użytkownika, które z dochodzących elementów stanowią podporę dla wybranej belki. Ustawienia te mają bezpośredni wpływ na sposób i kształt zbrojenia analizowanej belki.

W dolnej części okna dialogowego na zakładce *Podpory* wyświetlana jest tabela zawierająca wykaz dochodzących elementów (numer pręta wraz z etykietą przekroju). Podpory w postaci słupów są wykrywane automatycznie.

W przypadku słupów żelbetowych przejście do modułu wymiarowania słupów wraz z obciążeniami w węzłach słupa możliwe jest po uprzednim zaznaczeniu słupa lub grupy słupów i wywołaniu opcji z menu: *Analiza / Wymiarowanie elementów żelbetowych / Wymiarowanie słupów*.

Po wykonaniu tej czynności następuje automatyczne przekazanie obciążeń węzłowych słupa. Obciążenia widoczne są w oknie dialogowym **Obciążenia**.

W momencie przejścia do modułu wymiarowania słupów pojawia się okno służące do określenia jaki rodzaj obciążeń ma być przekazany: *Przypadki proste* czy *Kombinacje ręczne*.

W tabeli obciążeń oprócz wartości i natury obciążenia wypełniane jest pole *Grupa*. Oznacza ono numer pręta, z którego zostało przejęte obciążenie.

Jeżeli grupa słupów ma być wspólnie wymiarowana (w rezultacie obliczeń otrzymamy jeden typ słupa dla wszystkich słupów w grupie), należy wykonać selekcję grupową owych słupów i wybrać jeden ze sposobów grupowania:

- *według kondygnacji* - po wybraniu tej opcji program na podstawie geometrii konstrukcji dzieli ją na kondygnacje i na ich podstawie tworzy poziomy w drzewku obliczeniowym w modułach belek i słupów wraz z automatycznym przyporządkowaniem elementów do odpowiedniego poziomu
- *według geometrii* (w bieżącej wersji opcja dostępna tylko dla słupów) - po wybraniu tej opcji elementy o tej samej geometrii są traktowane jako jeden element obliczeniowy; jest on następnie wymiarowany na wiele grup kombinacji wynikłych z obciążeń przypadających na poszczególne elementy - w efekcie wszystkie elementy są wymiarowane na najbardziej niekorzystny układ obciążeń.

Wówczas w oknie dialogowym obciążeń pojawi się tyle grup obciążeń, ile jest wybranych słupów. W wyniku obliczeń na każdą grupę obciążeń dostajemy 'wypadkowy' słup zdolny przenieść obciążenie z każdej grupy.

Warunkiem obliczeń grupy słupów musi być taka sama geometria (przekrój i wysokość) oraz sposób podparcia słupa (opcja sposób grupowania - według geometrii).

- *łańcuch słupów* - grupowanie tego typu zachodzi, gdy importowana jest grupa słupów umieszczonych jeden nad drugim (gdy węzeł górny dolnego słupa jest jednocześnie węzłem dolnym górnego słupa). W wyniku importu, w Inspektorze składników betonowych tworzona jest osobna grupa (poziom) o nazwie

Łańcuch, wewnątrz której znajdują się słupy będące elementami pionowego ciągu. Jednocześnie, następuje automatyczne przypisanie wybranym słupom ich słupów górnych (dzięki temu możliwe jest np. wygenerowanie prętów łącznikowych).

Przejdźcie do modułu wymiarowania fundamentów wraz z reakcjami danej podpory (stanowiących obciążenie stopy) możliwe jest po uprzednim zaznaczeniu węzła lub grupy węzłów konstrukcji i wywołaniu opcji z menu: *Analiza / Wymiarowanie elementów żelbetowych / Wymiarowanie fundamentów*.

Po wykonaniu tej czynności następuje automatyczne przepisanie reakcji na górny poziom trzonu słupa. Owe reakcje widoczne są na ekranie **Fundamenty - obciążenie**.

W powyższym oknie dialogowym można:

- w przypadku importu przypadków prostych przedstawić regulaminy, które będą wykorzystywane w modułach wymiarujących przy obliczeniach
- wybrać przypadki proste z listy dostępnych przypadków
- wyświetlić nazwy przypadków prostych (skrótowe i pełne), w tym przypadków obciążeń ruchomych i całkowania równań ruchu
- wyświetlić typ kombinacji dla kombinacji ręcznych (definiowanych przez użytkownika)
- uwzględnić przypadki analizy nieliniowej (i kombinacji nieliniowej) jako kombinacje wymiarujące. W momencie przejścia do modułu wymiarowania fundamentów należy wybrać, jaki rodzaj obciążeń ma być przekazany: Przypadki proste czy Kombinacje ręczne.

Przekazane reakcje do modułu **Fundamenty** są reakcjami w układzie lokalnym konstrukcji. Jest to istotne w przypadku konstrukcji przestrzennych o zróżnicowanej orientacji słupów.

UWAGA:

Okno dialogowe **Wybór obciążenia** może być również uruchomione podczas sprawdzenia, czy fundament może przenieść nowy układ sił spowodowany zmianą przez użytkownika listy przypadków obciążeniowych. Po wybraniu opcji *Analiza / Weryfikacja na nowy zestaw sił* otwierane jest okno dialogowe, w którym znajdują się opcje, pozwalające na zweryfikowanie istniejącego fundamentu na aktualny zestaw sił.

W modułach służących do wymiarowania elementów konstrukcji żelbetowych dostępny jest również kalkulator zbrojenia (opcja uruchamiana jest poprzez wybranie opcji z menu: *Konstrukcja / Zbrojenie / Kalkulator zbrojenia*).



Średnice prętów i powierzchnie zbrojenia podawane są w jednostkach, które zostały wybrane w **Preferencjach**. Kalkulator pozwala na obliczenie następujących wielkości (d oznacza średnicę pręta zbrojeniowego) :

- powierzchnie zbrojenia: (przykładowo:
 - $7 \cdot d \ 12 = 7.92 \text{ cm}^2$
 - $7 \cdot d \ 12 + 5 \cdot d \ 16 = 17.97 \text{ cm}^2$

$$7 \cdot d_{12} + 5 \cdot d_{16} + 8 \cdot d_{10} = 24.25 \text{ cm}^2$$

...)




- wymaganą liczbę prętów zbrojeniowych (przykładowo $44/d_{14} = 29$ prętów)
- wymaganą liczbę prętów zbrojeniowych o założonej średnicy (np. 18 i 12 mm) przy dodatkowym założeniu, że w przybliżeniu równa jest liczba prętów obydwu średnic (przykładowo: $44 / d_{18} / d_{12} = 12 \cdot d_{18.0} + 12 \cdot d_{12.0}$)
- wymaganą liczbę prętów zbrojeniowych o założonej średnicy (np. 18 i 12 mm) w taki sposób, aby pręty o średnicy 12 mm stanowiły określony procent wszystkich prętów (przykładowo: $44 / d_{18} / d_{12} \%25 = 16 \cdot d_{18.0} + 5 \cdot d_{12.0}$)
- różnicę pomiędzy podaną powierzchnią (np. 44 cm²) a sumaryczną powierzchnią podanych prętów zbrojeniowych (przykładowo: $44 - 5 \cdot d_{12} = 38.35 \text{ cm}^2$).

6.2.1. Wymiarowanie belek

Moduł *Wymiarowanie belek żelbetowych* pozwala definiować, obliczać i wymiarować swobodnie podparte belki (jedno- jak i wieloprzęsłowe). Belki te mogą być obciążone pionowymi siłami skupionymi i obciążeniem ciągłym oraz dodatkowymi skupionymi momentami podporowymi. Przekrój belek może być prostokątny lub teowy (dopuszczalne są różne rodzaje połączeń belki z płytą stropową). Wymiarowanie belek betonowych może zostać rozpoczęte na dwa sposoby:

- wybierając z winietki selekcji typu konstrukcji (porównaj rozdział 2.1) wymiarowanie belki żelbetowej - moduł projektowania belek będzie pracował jako samodzielny program (stand-alone) bez połączenia (wymiany danych) z innymi częściami systemu **Robot**
- po zdefiniowaniu konstrukcji należy wyselekcjonować w niej (podświetlając w edytorze graficznym) odpowiednią listę prętów tworzącą belkę, a następnie z menu wybrać komendę *Wymiarowanie belek betonowych*. Spowoduje to uruchomienie ekranu **BELKI** i wczytanie do modułu normowego geometrii, obciążeń prętów oraz uzyskanych dla nich wyników. Ekran monitora zostanie podzielony na dwie części: pole edycyjne z widokiem wymiarowanej belki i edytor graficzny prezentujący całą zdefiniowaną konstrukcję.

Opis wymiarowania belki żelbetowej przedstawiony zostanie dla drugiego przypadku wywołania modułu wymiarowania belek żelbetowych; wspomniane będą różnice w stosunku do przypadku pierwszego. Po zgłoszeniu się modułu wymiarowania belek w górnej części ekranu pojawi się wybrana w konstrukcji belka składająca się z ciągu wyselekcjonowanych prętów. Geometria belki, jej obciążenie i wyniki obliczeń statycznych zostaną wczytane do modułu wymiarowania belek (jest to różnica w stosunku do modułu pracującego samodzielnie - użytkownik musi sam zdefiniować geometrię i obciążenia belki oraz wykonać obliczenia statyczne). Oczywiście można zmieniać zarówno geometrię, jak i przyłożone do belki obciążenia. Pozwalają na to trzy opcje:

- geometria przekroju belki dostępna z menu poprzez wybranie komendy *Konstrukcja / Typ przekroju* lub poprzez naciśnięcie ikony *Typ przekroju* 
- wymiary elewacyjne przęseł belki; opcja dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Konstrukcja / Wymiary* lub poprzez naciśnięcie ikony *Wymiary* ; możliwa jest definicja belek nachylonych
- obciążenia dostępne z menu poprzez wybranie komendy *Konstrukcja / Obciążenia* lub poprzez naciśnięcie ikony *Obciążenia* .

Geometria przekroju może być definiowana/modyfikowana w oknie pokazanym na poniższym rysunku. Aby zmodyfikować przęsło(a), należy wybrać przęsło(a), których wymiary przekroju poprzecznego będą zmieniane. Wyselekcjonowane przęsła zostaną wyróżnione kolorem czerwonym.

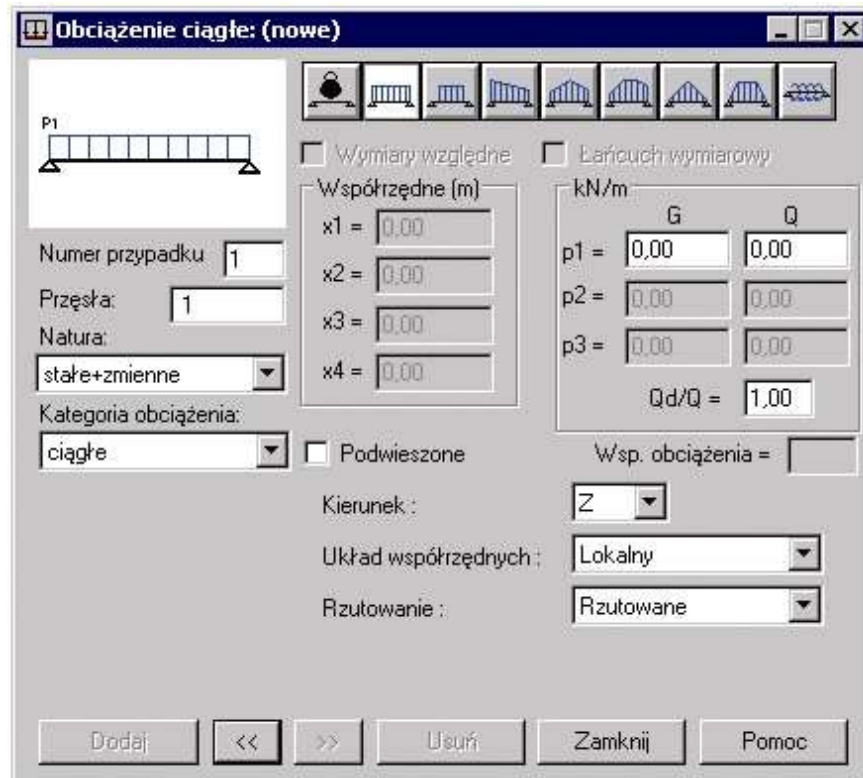


Przekrój poprzeczny belki może być prostokątny, dwuteowy lub teowy z różnymi wariantami połączenia z płytą stropową. W zależności od wyboru przekroju, w oknie dialogowym prezentowane są parametry określające wybrany typ przekroju. Okno dialogowe prezentowane powyżej określa parametry dla przekroju prostokątnego. Podobne opcje znajdują się w oknie, gdy wybrany zostanie przekrój teowy lub dwuteowy. Po wybraniu przekroju teowego z obniżonymi półkami w oknie dialogowym pojawiają się dwie dodatkowe zakładki: *Płyty* (umożliwia definicję wymiarów półki stropowej: wylewanej na budowie lub prefabrykowanej) i *Wcięcia* (umożliwia definicję wymiarów wcięć w prawej lub lewej części przekroju poprzecznego).

Automatycznie nadawane są nazwy przekrojów belek/słupów żelbetowych. Pierwsza litera B lub S odpowiada belce lub słupowi, następną określa kształt przekroju, po niej występują charakterystyczne wymiary. Tak np. B R 30x50 oznacza przekrój belkowy, prostokątny, dla którego $b=30$, $h=50$ cm.

Wymiary elewacyjne poszczególnych przęseł belki można zmienić w oknie dialogowym **Definicja elewacji**. Podobnie jak w przypadku wymiarów przekroju poprzecznego belki definicja/modyfikacja wymiarów dotyczyć będzie wybranego przęsła.

Po wybraniu opcji **Obciążenia** na ekranie pojawia się ekran **OBCIĄŻENIA** systemu **Robot** (w przypadku wersji zintegrowanej z innymi modułami) lub odpowiednie tabele do definiowania obciążeń (działanie których jest identyczne jak tabeli na ekranie **OBCIĄŻENIA**) w wersji modułów pracujących jako samodzielne programy. Okno dialogowe **Obciążenia** pokazane jest na poniższym rysunku.



Aby zdefiniować obciążenie dla belki żelbetowej, należy:

1. w polu *Przęsła* wpisać numery przęseł, do których przykładane będzie obciążenie; wpisanie w tym polu litery W (wszystkie) powoduje wybranie wszystkich przęseł belki
2. z listy natur wybrać naturę definiowanego obciążenia (stałe, zmienne, wiatr, śnieg itp.)
3. z listy *Kategoria obciążenia* wybrać rodzaj przykładanego obciążenia (ciągłe, skupione, powierzchniowe)
4. dla polskiej normy zdefiniować wartość obciążenia długotrwałego w polu Qd/Q
5. zdefiniować wartości wybranego typu obciążenia (ikony znajdujące się w górnej części okna dialogowego schematycznie prezentują dostępne typy obciążenia), współczynnik obciążenia (dla PN) i nacisnąć klawisz **Dodaj**.

Lewa strona okna dialogowego obciążenia zależy od wybranego rodzaju obciążenia. W lewym, górnym rogu okna prezentowana jest schematyczna ikona przedstawiająca wybrany typ obciążenia ciągłego, skupionego lub powierzchniowego. Z prawej strony przedstawiane są ikony umożliwiające wybór rodzaju obciążenia.

W dolnej części okna dialogowego znajdują się opcje *Kierunek*, *Układ współrzędnych*, *Rzutowanie*, które pozwalają na definiowanie dodatkowych parametrów dla obciążeń w belkach ukośnych (w przypadku belek prostych opcje te nie są wykorzystywane).





W przypadku obciążeń powierzchniowych w polu *Współrzędne* znajdują się opcje: alfa, beta i gamma; w sąsiednim polu znajduje się pole umożliwiające podanie wartości obciążenia p (obciążenie na jednostkę powierzchni). Obciążenie to zamieniane jest na obciążenie ciągłe. W programie dostępne są następujące typy obciążenia powierzchniowego: obciążenie zbierane z powierzchni pomiędzy dwoma belkami oraz dwa typy obciążenia zbieranego z powierzchni płyty zamkniętej czterema belkami.

Poniżej ikon symbolizujących typ obciążenia znajduje się opcja *Wymiary względne* (jeżeli ta opcja jest włączona - pojawia się symbol $\sqrt{\quad}$, to przy definiowaniu położenia obciążenia wykorzystywane będą względne współrzędne punktów z przedziału $\langle 0, 1 \rangle$. Jeśli opcja jest wyłączona, współrzędne punktów podawane będą w wybranych przez użytkownika jednostkach długości) oraz w przypadku wybrania obciążenia ciągłego opcja

Łańcuch wymiarowy (jeżeli ta opcja jest włączona - pojawia się symbol \surd , to przy definiowaniu obciążenia ciągłego będzie wykorzystywany tzw. łańcuch wymiarowy. Oznacza to, że wartość obciążenia ciągłego p2 przykładana będzie w punkcie o współrzędnej (x1+x2), wartość obciążenia p3 w punkcie o współrzędnej (x1+x2+x3) itd. Jeżeli opcja jest wyłączona, to obciążenie p1 jest przykładane w punkcie o współrzędnej x1, obciążenie w punkcie o współrzędnej x2 itd.).

UWAGA: *Gdy wybrane zostanie obciążenie ciągłe, to nie wszystkie pola umożliwiające definiowanie współrzędnych i wartości obciążenia są aktywne.*


Dla każdej belki mogą być zdefiniowane również następujące parametry:

- otwory (poprzez wybranie z menu komendy *Konstrukcja / Otwory* lub naciśnięcie ikony ) na ekranie pojawia się okno dialogowe, w którym zdefiniowane mogą zostać otwory dla wyselekcjonowanego przęsła belki
- parametry kondygnacji (poziom kondygnacji, kategoria rysoodporności elementu, agresywność i wilgotność środowiska, wiek betonu itp.); opcja dostępna w menu poprzez wybranie komendy *Analiza / Parametry kondygnacji* lub poprzez naciśnięcie ikony  - opcje znajdujące się w tym oknie dialogowym zależą od wybranej normy wymiarowania elementu konstrukcji żelbetowej
- opcje obliczeniowe (poprzez wybranie komendy *Analiza / Opcje obliczeniowe* lub naciśnięcie ikony ) - opcje znajdujące się w tym oknie dialogowym zależą od wybranej normy wymiarowania elementu konstrukcji żelbetowej
- parametry zbrojenia (poprzez wybranie komendy *Analiza / Parametry zbrojenia* lub naciśnięcie ikony ) - opcje znajdujące się w tym oknie dialogowym zależą od wybranej normy wymiarowania elementu konstrukcji żelbetowej.

UWAGA: *Jeżeli dokonane zostały zmiany w geometrii belki lub jej obciążeniu, wyniki analizy konstrukcji stają się nieaktualne. Aby uzyskać poprawne wyniki dla zmodyfikowanych parametrów belki, należy uaktualnić konstrukcję (wprowadzić w niej dokonane zmiany).*

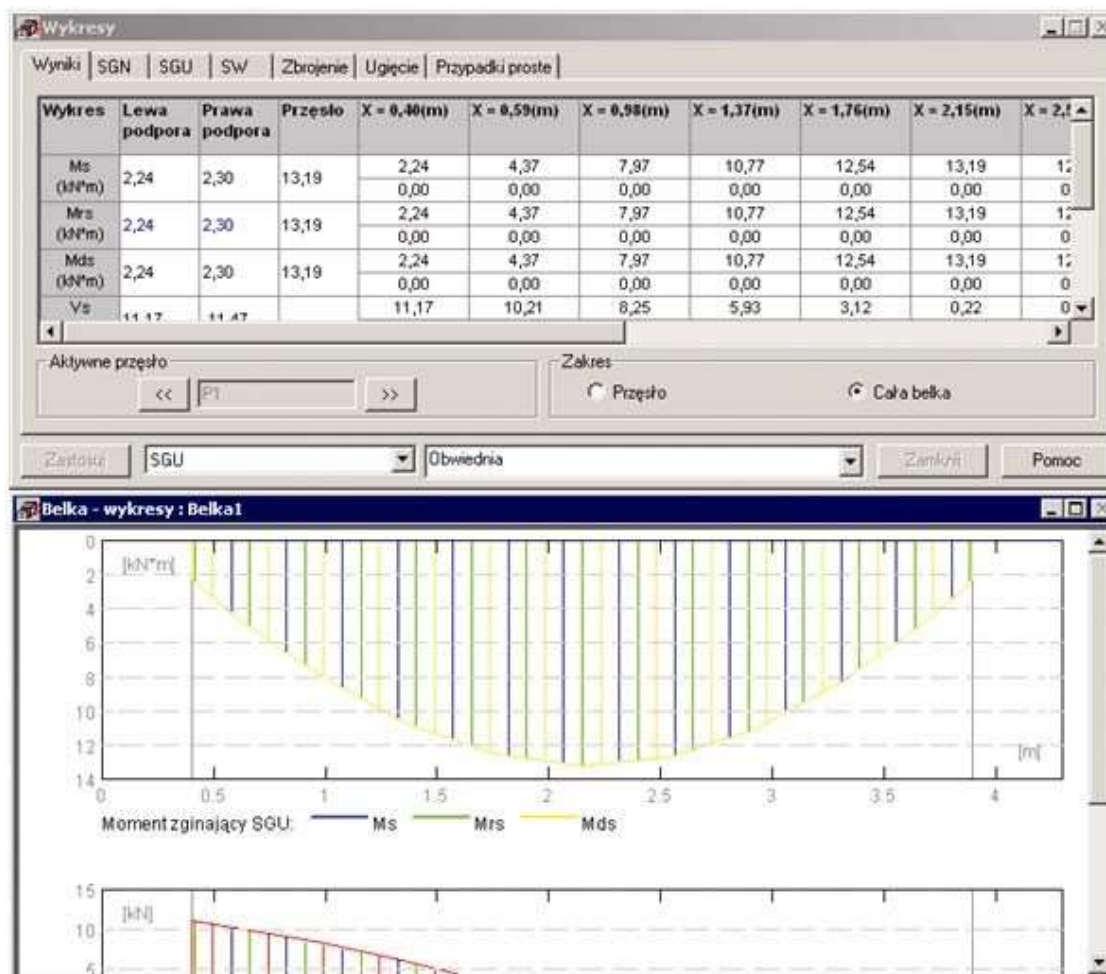
*Służy temu komenda menu *Rezultaty / Uaktualnianie konstrukcji* lub ikona . Po uaktualnieniu geometrii konstrukcji należy ponownie przeliczyć całą konstrukcję.*

Po zdefiniowaniu wszystkich parametrów belki można rozpocząć obliczanie i wymiarowanie utworzonej belki. Można zrobić na dwa sposoby: wybierając z menu komendę *Analiza / Obliczenia* lub naciskając

ikonę . Dla zdefiniowanych obciążeń obliczane są obwiednie sił przekrojowych (momenty i siły poprzeczne) oraz przemieszczenia. Aby po zakończeniu obliczeń belki przeglądać wyniki wymiarowania, należy wybrać dwa wymienione poniżej ekrany systemu **Robot**:

- **BELKI - WYNIKI** •
- **BELKI - ZBROJENIE**.

Po wybraniu ekranu **BELKI - WYNIKI** ekran monitora zostanie podzielony na dwie części: z lewej strony pole *Wykresy*, w którym prezentowane będą w formie graficznej uzyskane wyniki oraz z prawej strony okno dialogowe *Wykresy*. W tym oknie prezentowane są wyniki w formie tabelarycznej oraz wybierane mogą być wielkości, dla których prezentowane będą wykresy w lewej części ekranu (opcje znajdujące się w oknie dialogowym *Wykresy* zależą od wybranej normy wymiarowania elementu konstrukcji żelbetowej). Wśród tych wielkości wymienić należy: siły przekrojowe uzyskane dla dostępnych stanów granicznych, wyznaczone powierzchnie zbrojenia oraz deformacje. Przykładowe wykresy uzyskane dla wieloprzęsłowej belki pokazano na poniższym rysunku.




Po wybraniu ekranu **BELKI - ZBROJENIE** ekran monitora zostanie podzielony na cztery części: pole, w którym prezentowany będzie widok elewacyjny belki z wyznaczonym zbrojeniem, pole, w którym przedstawiane będzie zbrojenie w przekroju belki, tabelę zbiorczą zawierającą opis poszczególnych prętów zbrojeniowych dla belki oraz okno dialogowe **Pręty zbrojeniowe**, w którym prezentowane będą parametry wybranych prętów.

W programie dostępnych jest również kilka opcji służących do edycji wyznaczonych dla belek żelbetowych prętów zbrojeniowych:

- pręty łącznikowe - opcja służy do określania parametrów prętów zbrojeniowych łączących belkę ze słupem; opcja dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Konstrukcja / Zbrojenie / Pręty łącznikowe* lub z menu kontekstowego (opcja *Pręty łącznikowe*)
- podział prętów - opcja służy do określania punktów podziału prętów zbrojeniowych w belkach żelbetowych; opcja dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Konstrukcja / Zbrojenie / Podziel pręty*; istnieje również opcja *Połącz pręty*
- parametry (właściwości) prętów zbrojeniowych - opcja służy do przedstawiania parametrów prętów zbrojeniowych wyznaczonych podczas wymiarowania belek żelbetowych, weryfikacji prętów zbrojeniowych po dokonanych zmianach oraz kopiowania/usuwania prętów zbrojeniowych.


Dla wszystkich modułów wymiarowania elementów konstrukcji betonowych dostępne są również opcje:

- *Widoczność* - służy do wybierania typów prętów zbrojeniowych, które mają być prezentowane na ekranie graficznym w obliczonych elementach konstrukcji żelbetowych (komenda: *Konstrukcja /*

Zbrojenie / Widoczność lub ikona ). Prezentowane mogą być cztery główne typy zbrojenia elementów konstrukcji żelbetowych: zbrojenie główne, zbrojenie poprzeczne, zbrojenie konstrukcyjne oraz zbrojenie otworów (tylko dla belek lub belek-ścian).


- *Translacja* - służy do wykonywania translacji wyselekcjonowanych uprzednio prętów zbrojeniowych w elementach konstrukcji żelbetowych (komenda: *Konstrukcja / Zbrojenie / Translacja*)
- *Rozstaw strzemion* - służy do ręcznej modyfikacji rozstawu strzemion w belce (komenda: *Konstrukcja / Zbrojenie / Rozstaw strzemion*). **UWAGA:** Opcja w menu jest dostępna dopiero po wybraniu strzemion w obliczonej belce żelbetowej.

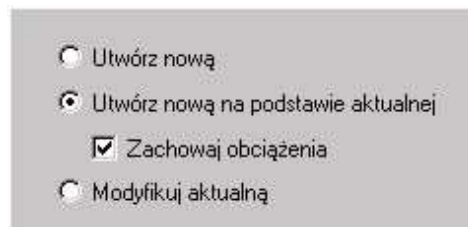
Po zakończeniu obliczeń belki można przedstawić wyniki obliczeń w postaci notki obliczeniowej (opcja *Rezultaty / Notka obliczeniowa*). Na ekranie pojawi się edytor tekstowy systemu **Robot** zawierający dane wymiarowanej belki oraz uzyskane wyniki obliczeń i wymiarowania.

Po wybraniu opcji *Rezultaty / Rysunki* w menu lub naciśnięciu ikony  uruchomiony zostanie ekran programu **Robot RYSUNKI WYKONAWCZE**, na którym prezentowany będzie rysunek wykonawczy obliczonej i zwymiarowanej belki. Na rysunku prezentowane będzie wybrane przęsto(a) belki. Rysunek wykonawczy belki będzie przedstawiany na ekranie w postaci, która odpowiada przyjętym parametrom rysunku (patrz rozdział 6.2.5).

6.2.2. Definicja belek żelbetowych - tryb interaktywny

W module **Belki żelbetowe** dostępny jest obecnie interaktywny tryb definicji belek; dotychczasowy tryb definicji i obliczeń belek żelbetowych wymaga uruchomienia kilku okien dialogowych, w których określone muszą zostać parametry belki / zbrojenia. Interaktywny tryb definicji belek żelbetowych pozwala na definicję geometrii, parametrów kondygnacji, opcji obliczeniowych i wzorca zbrojenia belek w kilku następujących po sobie oknach dialogowych (bez wielkiej znajomości opcji znajdujących się w module). Podczas definicji belek określone będą wartości parametrów w oknach dialogowych; część z tych okien dialogowych jest taka sama jak podczas dotychczasowego trybu definicji belki (ułatwia to edycję wprowadzonych wartości).

Aby rozpocząć tryb interaktywny definicji belki żelbetowej, należy wybrać komendę *Plik / Kreator belki* z menu modułu **Belki żelbetowe** lub nacisnąć ikonę  w module **Belki żelbetowe**. Na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.



W powyższym oknie dialogowym wybrana może zostać jedna z następujących opcji:

- *Utwórz nową* - wybranie tej opcji powoduje, że definiowana będzie belka z domyślnie ustawionymi parametrami; parametry mogą zostać zmienione podczas definicji belki w oknie dialogowym **Kreator belki**
- *Utwórz nową na podstawie aktualnej* - wybranie tej opcji powoduje, że definiowana będzie belka o parametrach przejętych z aktualnie prezentowanej belki; włączenie opcji *Zachowaj obciążenia* powoduje, że obciążenia zdefiniowane w wybranej belce zostaną przejęte w definiowanej belce; definiowana belka może zostać zapisana pod nową nazwą

- *Modyfikuj aktualną* - wybranie tej opcji pozwala na modyfikację istniejącej belki; modyfikowana belka może zostać zapisana pod tą samą nazwą lub pod nową nazwą.

Po naciśnięciu klawisza **Dalej >** na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.

Kreator belki

Nazwa projektu: Konstrukcja

Kondygnacja

Poziom standardowy

Poziom kondygnacji 0,00 (m)

(h)

Nazwa kondygnacji: Poziom_1

Opcje obliczeniowe

Standard

Rozpiętość obliczeniowa przęseł dla podpór betonowych

w świetle w osi

Prefabrykacja

Głębokość oparcia: (%)

Dyspozycje sejsmiczne

Zapisz jako...

Wzorzec zbrojenia

Standard

Zbrojenie przeciwskurczowe Zbrojenie transportowe

Uwzględnij w obliczeniach przerwy w betonowaniu

Zapisz jako...

Geometria

Belka o jednakowych przęsłach

Belka o różnych przęsłach

Uwzględnij płytę ściskaną Optymalizacja pórtek

Płyty kanałowe

Uwzględnij w obliczeniach ciężar własny

< Wstecz **Dalej >** Anuluj Pomoc

W górnej części okna dialogowego należy podać podstawowe informacje dotyczące definiowanej belki żelbetowej:

- nazwę projektu
- parametry kondygnacji w polu *Kondygnacja*; istnieją dwie możliwości definicji parametrów kondygnacji:

poprzez włączenie opcji i wybór na liście wyboru zdefiniowanego wcześniej pliku zawierającego parametry kondygnacji np. plik o nazwie standard - naciśnięcie klawisza (...) powoduje otwarcie okna dialogowego **Parametry kondygnacji** dla wybranej normy żelbetowej; wszystkie inne opcje w polu *Kondygnacja* nie są wtedy dostępne

wyłączenie opcji wyboru pliku z listy wyboru zawierającej pliki parametrów kondygnacji powoduje, że dostępne stają się pozostałe opcje w polu *Kondygnacja*; jeżeli takie ustawienie zostanie wybrane, to parametry zdefiniowane w tym polu będą brane do obliczeń

- parametry opcji obliczeniowych belek żelbetowych w polu *Opcje obliczeniowe*; istnieją dwie możliwości definicji opcji obliczeniowych:

poprzez włączenie opcji i wybór na liście wyboru zdefiniowanego wcześniej pliku zawierającego parametry opcji obliczeniowych np. plik o nazwie standard - naciśnięcie klawisza (...) powoduje otwarcie okna dialogowego **Opcje obliczeniowe** dla wybranej normy żelbetowej; wszystkie inne opcje w polu *Opcje obliczeniowe* nie są wtedy dostępne wyłączenie opcji wyboru pliku z listy wyboru zawierającej pliki parametrów opcji obliczeniowych powoduje, że dostępne stają się pozostałe opcje w polu *Opcje obliczeniowe*; jeżeli takie ustawienie zostanie wybrane, to parametry zdefiniowane w tym polu będą brane do obliczeń; naciśnięcie klawisza **Zapisz jako** umożliwia zapis następujących parametrów do pliku: rozpiętość obliczeniowa, prefabrykacja i dyspozycje sejsmiczne

- parametry zbrojenia w polu *Wzorzec zbrojenia*; istnieją dwie możliwości definicji parametrów zbrojenia: poprzez włączenie opcji i wybór na liście wyboru zdefiniowanego wcześniej pliku zawierającego parametry zbrojenia np. plik o nazwie standard - naciśnięcie klawisza (...) powoduje otwarcie okna dialogowego **Wzorzec zbrojenia** dla wybranej normy żelbetowej; wszystkie inne opcje w polu *Wzorzec zbrojenia* nie są wtedy dostępne

wyłączenie opcji wyboru pliku z listy wyboru zawierającej pliki parametrów zbrojenia powoduje, że dostępne stają się pozostałe opcje w polu *Wzorzec zbrojenia*; jeżeli takie ustawienie zostanie wybrane, to parametry zdefiniowane w tym polu będą brane do obliczeń; naciśnięcie klawisza **Zapisz jako** umożliwia zapis następujących parametrów do pliku: zbrojenie przeciwskurczowe (naciśnięcie tego klawisza powoduje otwarcie dodatkowego okna dialogowego), zbrojenie transportowe (naciśnięcie tego klawisza powoduje otwarcie dodatkowego okna dialogowego), uwzględnienie przerwy w betonowaniu.

W dolnej części okna dialogowego określona może zostać geometria belki żelbetowej; definicja belki żelbetowej (opcje dostępne w kolejnych oknach dialogowych) zależy od rodzaju belki żelbetowej:

- Belka o różnej geometrii przęseł (definiowane są wymiary przęseł belki żelbetowej dla każdego przęsła oddzielnie)
- Belka o identycznej geometrii przęseł (definiowana jest identyczna geometria przęsła dla wszystkich przęseł belki żelbetowej; wymiary i typ przekroju poprzecznego oraz długość przęsła).

W dolnej części okna dialogowego znajdują się również następujące opcje:

- *Uwzględnij płytę ściskaną* - włączenie tej opcji powoduje, że podczas definicji przekroju uwzględniana będzie współpraca przekroju prostokątnego z płytą ściskaną
- *Optymalizacja póltek* - włączenie tej opcji powoduje, że wysięg póltek w przekroju belki żelbetowej jest dobierany tak, aby nie było konieczne uwzględnianie zbrojenia zszywającego belki z płytą
- *Płyty kanałowe* - włączenie tej opcji powoduje, że podczas definicji przekroju uwzględniane będą wcięcia dla oparcia płyt prefabrykowanych na belce; domyślnie przyjęty zostanie taki profil dla wszystkich przęseł belki - istnieje jednakże możliwość zmiany dla wybranego przęsła
- *Uwzględnij w obliczeniach ciężar własny* - włączenie tej opcji powoduje, że ciężar własny zostanie automatycznie dodany do przypadków obciążenia.

Zatwierdzenie zdefiniowanych wartości parametrów w oknie dialogowym następuje po naciśnięciu klawisza **Dalej >** (przejdzie do kolejnego okna dialogowego); możliwy jest również powrót do wcześniejszego okna dialogowego po naciśnięciu klawisza **Wstecz <**.

Po zdefiniowaniu geometrii belki żelbetowej należy zdefiniować obciążenia działające na belkę, a następnie uruchomić obliczenia zbrojenia belki żelbetowej.


6.2.3. Wymiarowanie słupów


Moduł **Wymiarowanie słupów żelbetowych** umożliwia obliczanie, wstępne wymiarowanie i weryfikację słupów żelbetowych. Dopuszcza się obciążenie siłami pionowymi oraz momentami w dwóch kierunkach. Przekrój poprzeczny słupa może być regularny (prostokątny, kołowy lub o kształcie wielokąta foremnego) lub też posiadać nieregularny kształt (teownik, zetownik, połowa koła itp.).

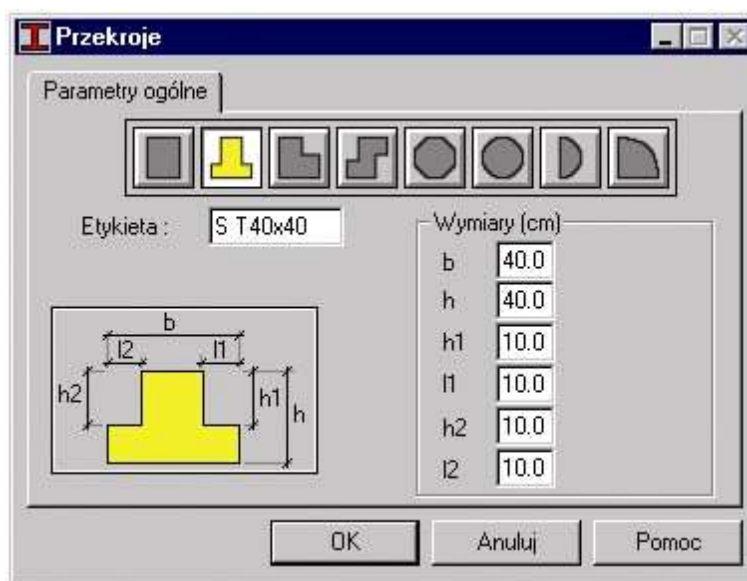
Wymiarowanie słupów betonowych może zostać rozpoczęte na dwa sposoby:

- wybierając z wianetki selekcji typu konstrukcji (porównaj rozdział 2.1) wymiarowanie słupa żelbetowego - moduł projektowania słupów będzie pracował jako samodzielny program (stand-alone) bez połączenia (wymiany danych) z innymi częściami systemu **Robot**
- po zdefiniowaniu konstrukcji należy wyselekcjonować w niej (podświetlając w edytorze graficznym odpowiednią listę prętów tworzącą słupek, a następnie z menu wybrać komendę *Wymiarowanie słupów betonowych*. Spowoduje to uruchomienie ekranu **SŁUPY** i wczytanie do modułu normowego geometrii, obciążeń prętów oraz uzyskanych dla nich wyników. Ekran monitora zostanie podzielony na dwie części: pole edycyjne z widokiem elewacji słupa i pole edycyjne z widokiem przekroju słupa.

Opis wymiarowania słupa betonowego przedstawiony zostanie dla modułu pracującego jako samodzielny program. Po wybraniu wymiarowania słupów betonowych ekran monitora zostaje podzielony na dwie części: pole, w którym prezentowany jest widok elewacyjny słupa i pole, w którym przedstawiany jest przekrój słupa. Definicja słupa obejmuje podanie następujących informacji:

- wymiarów elewacyjnych słupa - służy temu komenda *Konstrukcja / Wymiary* lub ikona 
- typu i wymiarów przekroju poprzecznego słupa - służy temu komenda *Konstrukcja / Typ przekroju* lub

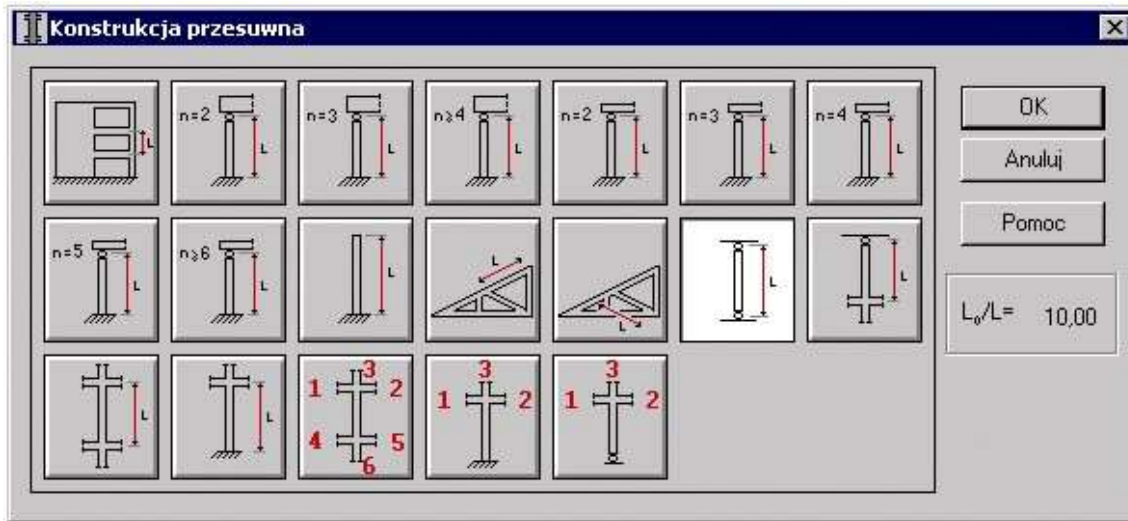
ikona ; na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno dialogowe, w którym należy wybrać typ przekroju słupa (prostokątny, kołowy, teowy, w kształcie litery Z, L, w kształcie wielokąta foremnego, połowy koła lub ćwiartki koła), a następnie podać wymiary wyselekcjonowanego typu przekroju (pokazywane są na schematycznym rysunku w prawym, górnym rogu okna); Automatycznie nadawane są nazwy przekrojów belek/słupów żelbetowych. Pierwsza litera B lub S odpowiada belce lub słupowi, następna określa kształt przekroju, po niej występują charakterystyczne wymiary. Tak np. S R 30x50 oznacza przekrój słupa, prostokątny, dla którego $b=30$, $h=50$ cm.



- modelu wyboczeniowego słupa - służy do tego komenda *Konstrukcja / Model wyboczeniowy* lub ikona



; na ekranie pojawi się okno dialogowe, w którym należy określić dla dwóch kierunków (Y i Z) schematy wybocheniowe oraz czy konstrukcja jest konstrukcją przesuwną czy nieprzesuwną (możliwe jest również wyłączenie uwzględnienia wybochenia w wybranym kierunku - oznacza to, iż w danym kierunku słup będzie traktowany jako krępy). Po naciśnięciu ikony schematycznie określającej schemat wybocheniowy słupa na ekranie pojawia się dodatkowe okno (pokazane na poniższym rysunku), w którym może zostać wybrany odpowiedni schemat wybocheniowy słupa. Opcje znajdujące się w tym oknie dialogowym zależą od wybranej normy wymiarowania elementu konstrukcji żelbetowej.

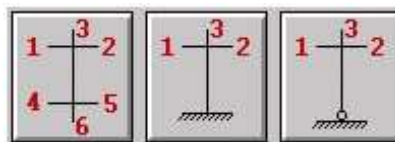


Schematy wybocheniowe prezentowane w powyższym oknie dialogowym zależą od wybranej normy żelbetowej. Oparte są na następujących zaleceniach normowych:


- ACI 318 - nomogramy z komentarza do punktu (w wydaniu ACI 318-95 punkty 10.12; 10.13)
- BAEL - z braku wytycznych normowych oparte na nomogramach zawartych w EC2 w punkcie Slenderness of Isolated Columns (w wydaniu ENV 1992-1-1 (1991) punkt 4.3.5.3.5 rysunek 4.27 wzór 4.60)
- BS 8110 - punkt 3.8.1.6
- Eurocode 2 Belgium NAD - oparte na nomogramach zawartych w EC2 w punkcie Slenderness of Isolated Columns (w wydaniu ENV 1992-1-1 (1991) punkt 4.3.5.3.5 rysunek 4.27 wzór 4.60),
- PN-B-03264 - Załącznik C.

Wartości przypisane do schematów są uproszczeniem dla typowych przypadków.

Trzy ostatnie opcje korzystają bezpośrednio z wzorów i nomogramów normowych.



Po dwukrotnym naciśnięciu pokazanych na powyższym rysunku ikon otwierane jest okno dialogowe, w którym przeprowadzona może zostać definicja sztywności węzła.


- obciążeń przyłożonych do słupa - służy do tego komenda *Konstrukcja / Obciążenia* lub ikona ; na ekranie pojawia się okno dialogowe, w którym znajduje się tabela służąca do definiowania obciążeń słupa. Podawane są: nazwa przypadku, jego natura i grupa oraz wartości siły osiowej, sił poprzecznych oraz momentów zginających przyłożonych do słupa; dla polskiej normy betonowej w tabeli do definicji



obciążeń znajdują się dodatkowo dwie kolumny: Nd/N (stosunek siły podłużnej wywołanej działaniem obciążenia długotrwałego do siły podłużnej) oraz współczynnik obciążenia.

Ponadto możliwe jest automatyczne dodanie obciążeń pochodzących ze słupa górnego oraz belki (możliwe jest pozycjonowanie słupa względem belki; wybierane są nazwy podpór belki i słupy kojarzone są z podporą belki - kolejne rekordy będące reakcjami z kolejnych przypadków prostych są wpisywane do okna dialogowego obciążeń).


Podobnie jak w przypadku belek żelbetowych mogą być zdefiniowane następujące parametry:


- parametry kondygnacji (poziom kondygnacji, kategoria rysoodporności elementu, agresywność i wilgotność środowiska, wiek betonu itp.); opcja dostępna w menu poprzez wybranie komendy *Analiza*

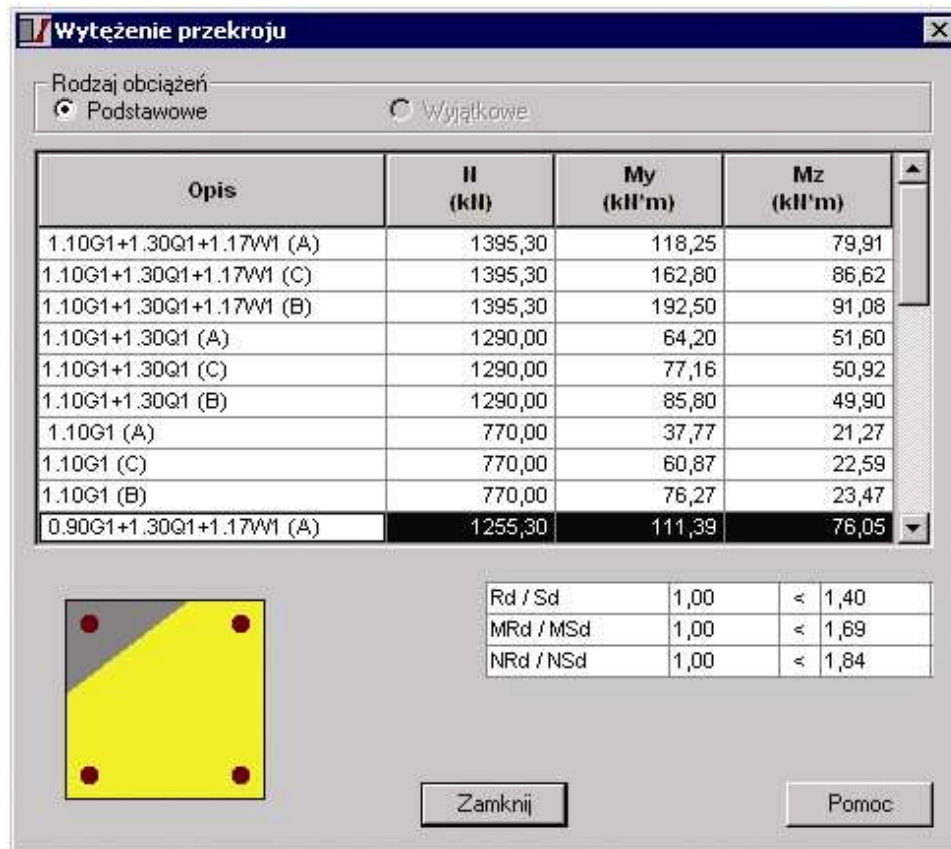
/ *Parametry kondygnacji* lub poprzez naciśnięcie ikony  - opcje znajdujące się w tym oknie dialogowym zależą od wybranej normy wymiarowania elementu konstrukcji żelbetowej

- opcje obliczeniowe (poprzez wybranie komendy *Analiza / Opcje obliczeniowe* lub naciśnięcie ikony ) - opcje znajdujące się w tym oknie dialogowym zależą od wybranej normy wymiarowania elementu konstrukcji żelbetowej
- parametry zbrojenia (poprzez wybranie komendy *Analiza / Parametry zbrojenia* lub naciśnięcie ikony ) - opcje znajdujące się w tym oknie dialogowym zależą od wybranej normy wymiarowania elementu konstrukcji żelbetowej.

Po zdefiniowaniu wszystkich parametrów słupa można rozpocząć obliczanie i wymiarowanie zdefiniowanego słupa. Można zrobić na dwa sposoby: wybierając z menu komendę *Analiza / Obliczenia*

lub naciskając ikonę  . Po zakończeniu obliczeń prezentowane mogą być wyniki wymiarowania słupa. Wytężenie w przekroju poprzecznym słupa prezentowane jest w oknie dialogowym **Wytężenie przekroju**

 prezentowanym na poniższym rysunku.



W górnej części okna prezentowana jest lista wszystkich kombinacji obciążeń uwzględnianych podczas wymiarowania słupa wraz ze wskazaniem położenia przekroju wymiarującego. Dla wybranej kombinacji przedstawiony jest przekrój słupa z zaznaczoną osią obojętną, strefą ściskaną (kolor żółty) i rozciąganą oraz odpowiednie współczynniki bezpieczeństwa. Po wykonaniu obliczeń (lub przeprowadzeniu weryfikacji) w oknie dialogowym wybrana jest najbardziej niekorzystna kombinacja obciążeń (kombinacja wymiarująca).

UWAGA: Jeżeli w powyższym oknie dialogowym występują identyczne kombinacje z różnymi wartościami sił przekrojowych obliczonych dla tych kombinacji, to oznacza to, iż wartości sił przekrojowych zostały obliczone dla różnych przekrojów na długości słupa.

W górnej części okna znajduje się arkusz opisujący listę kombinacji obciążeń. Oddzielnie prezentowany jest arkusz dla kombinacji podstawowych i wyjątkowych. Każdy wiersz przedstawia parametry jednej z kombinacji sprawdzanych przy wymiarowaniu słupa. Obok składowych danej kombinacji znajduje się oznaczenie położenia przekroju: A - przekrój górny, B - przekrój dolny oraz C - przekrój środkowy. W oknie **Wytyczenie przekroju** znajduje się tabela ze współczynnikami bezpieczeństwa, zawierająca następujące wiersze:

Rd/Sd

Pole Rd/Sd przedstawia współczynnik bezpieczeństwa Rd/Sd dla wyselekcjonowanej w liście kombinacji i położenia przekroju, gdzie: Sd - długość wektora obciążenia

Rd - długość wektora obciążenia odpowiadającego stanowi granicznemu nośności przekroju przy obciążeniu działającym na danym mimośrodku.

MRd/MSd

Pole MRd/MSd przedstawia współczynnik bezpieczeństwa MRd/MSd dla wyselekcjonowanej w liście kombinacji i położenia przekroju, gdzie:

MSd - wartość momentu (długość rzutu wektora obciążenia na płaszczyznę MyMz)

MRd - wartość momentu wektora obciążenia odpowiadającego stanowi granicznemu nośności przekroju przy obciążeniu działającym z zadaną siłą osiową oraz z efektywnym momentem w kierunku wyznaczonym przez składowe M_y , M_z .

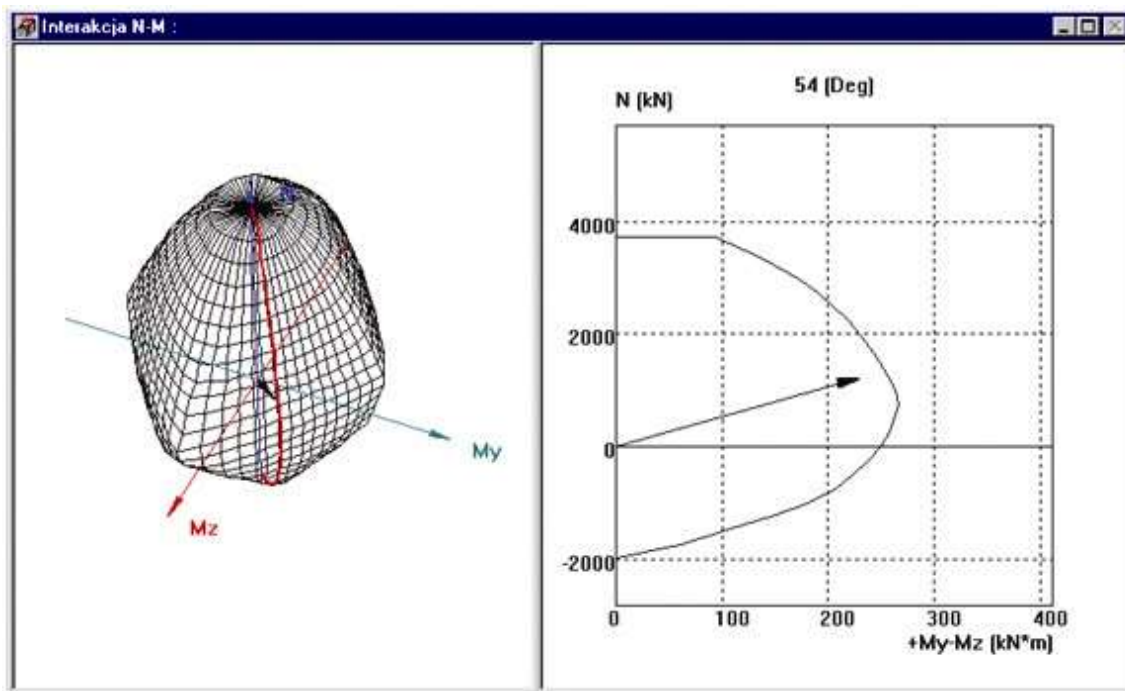
NRd/NSd

Pole NRd/NSd przedstawia współczynnik bezpieczeństwa NRd/NSd dla wyselekcjonowanej w liście kombinacji i położenia przekroju, gdzie: NSd - wartość siły osiowej wektora obciążenia
NRd - wartość siły osiowej wektora obciążenia odpowiadającego stanowi granicznemu nośności przekroju przy obciążeniu działającym z zadanym momentem.

Aby po zakończeniu obliczeń słupa przeglądnąć wyniki wymiarowania, należy wybrać dwa wymienione poniżej ekrany systemu **Robot**:

- **SŁUPY - WYNIKI** •
SŁUPY - ZBROJENIE.

Po wybraniu ekranu **SŁUPY - WYNIKI** ekran monitora zostaje podzielony na dwie części (rysunek poniżej).




W tym oknie przedstawiane są krzywe interakcji N-M dla danej kombinacji obciążeń. W lewej części ekranu przedstawiana jest trójwymiarowa powierzchnia interakcji N-Mx-My. Prawa część okna prezentuje krzywe interakcji N-M będące przecięciem trójwymiarowej powierzchni interakcji płaszczyzną N-M zawierającą aktualnie analizowaną kombinację obciążenia.

Po wybraniu ekranu **SŁUPY - ZBROJENIE** ekran monitora zostanie podzielony na cztery części: pole, w którym prezentowany będzie widok elewacyjny słupa z wyznaczonym zbrojeniem, pole, w którym przedstawiane będzie zbrojenie w przekroju poprzecznym słupa, tabelę zbiorczą zawierającą opis poszczególnych prętów zbrojeniowych dla słupa oraz okno dialogowe **Pręty zbrojeniowe**.

Podobnie jak dla belek żelbetowych w programie dostępna jest również opcja *Parametry prętów zbrojeniowych* służąca do przedstawiania parametrów prętów zbrojeniowych wyznaczonych podczas wymiarowania słupów żelbetowych.

Dodatkowo oprócz opcji *Widoczność* i *Translacja* (omówionych dla belek żelbetowych) dla słupów betonowych dostępne są również opcje *Układ strzemion* i *Pręty wypuszczone*. Opcje służą do ręcznego definiowania kształtu zbrojenia poprzecznego słupa lub prętów wypuszczonych (na poziomie przekroju poprzecznego słupa). Opcje mają zastosowanie po obliczeniu zbrojenia w słupie.

Po zakończeniu obliczeń słupa można przedstawić wyniki obliczeń w postaci notki obliczeniowej (opcja *Rezultaty / Notka obliczeniowa*). Na ekranie pojawi się edytor tekstowy systemu **Robot** zawierający dane wymiarowanego słupa oraz uzyskane wyniki obliczeń i wymiarowania.


Po wybraniu opcji *Rezultaty / Rysunki* lub naciśnięciu ikony  uruchomiony zostanie ekran programu **Robot RYSUNKI WYKONAWCZE**, na którym prezentowany będzie rysunek wykonawczy obliczonego i zwymiarowanego słupa. Rysunek wykonawczy słupa będzie przedstawiany na ekranie w postaci, która odpowiada przyjętym parametrom rysunku (patrz rozdział 6.2.5).

6.2.4. Przykład generacji zbrojenia słupa i rysunków zbrojenia (z możliwością wczytania rysunku do programu *AutoCAD Structural Detailing - Żelbet*)


Przykład pokazuje w jaki sposób obliczone może zostać zbrojenie słupa żelbetowego (z rozkładem zbrojenia po długości słupa) oraz w jaki sposób można wczytać wygenerowany rysunek zbrojenia do programu **AutoCAD Structural Detailing - Żelbet**.



Aby obliczyć wyznaczyć zbrojenie rzeczywiste w słupie żelbetowym, należy:

- zdefiniować konstrukcję, w której znajduje się słup żelbetowy
- wyznaczyć siły wewnętrzne w elementach konstrukcji (przeprowadzić analizę statyczną konstrukcji)
- wskazać słup, dla którego ma być wyznaczone zbrojenie (słup ma być podświetlony)
- wybrać opcję *Analiza / Wymiarowanie elementów żelbetowych / Wymiarowanie słupów betonowych*

lub naciśnąc ikonę 

- w oknie dialogowym **Wybór obciążenia** wybrać opcję *Przypadki proste* i naciśnąc klawisz **OK**
- w module **Słupy żelbetowe** określić:

- parametry wybozeniowe pręta  (naciskając ikonę)


- parametry zbrojenia (naciskając )  ikonę

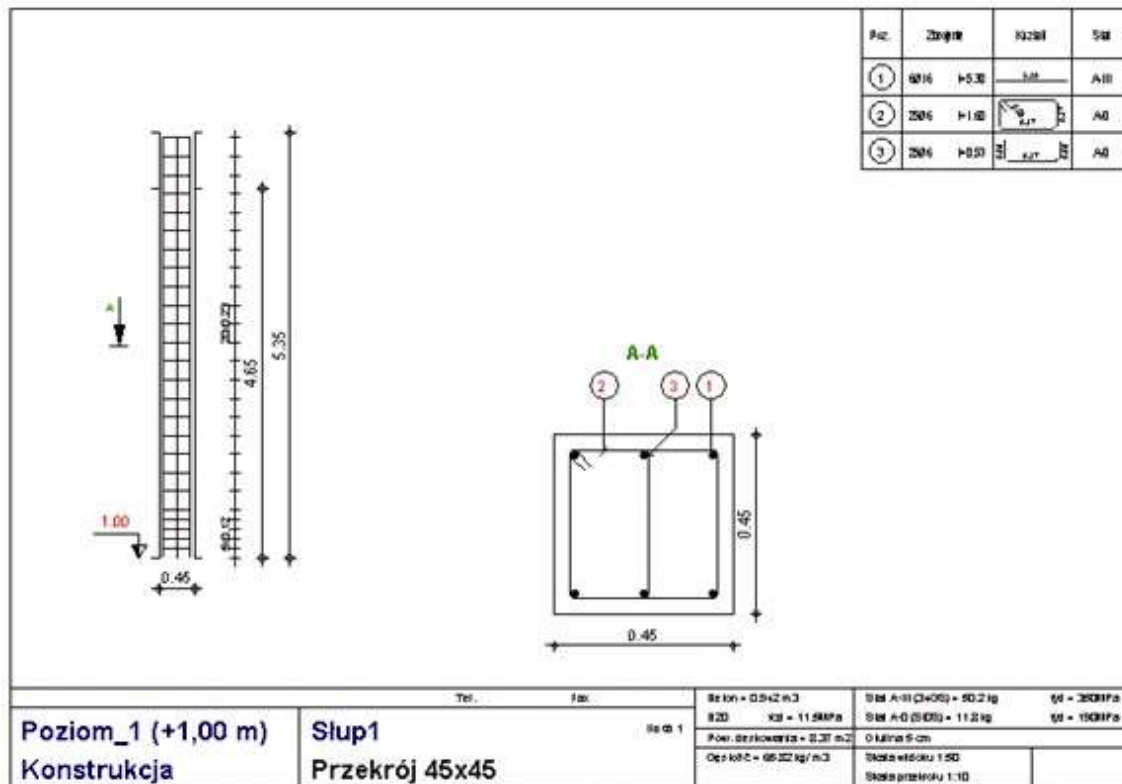
- w module **Słupy żelbetowe** rozpocząć obliczenie zbrojenia dla wybranego słupa żelbetowego



naciskając ikonę 

- wybrać ekran programu **Robot: Słupy betonowe / Słupy - zbrojenie**; na tym ekranie prezentowane jest obliczone zbrojenie słupa żelbetowego.

Po wyznaczeniu zbrojenia słupa rysunek zbrojenia może zostać wygenerowany i zapisany w następujący sposób:

- na ekranie programu **Robot: Słupy betonowe / Słupy - zbrojenie** naciśnąc ikonę *Rysunki* ; dla słupa z obliczonym zbrojeniem utworzony zostanie rysunek (patrz poniżej)



- nacisnąć ikonę  ; zapisać utworzony rysunek, aby można go było wykorzystać w programie **AutoCAD Structural Detailing - Żelbet**:
 - wybrać poziom, na którym ma znaleźć się rysunek
 - nacisnąć ikonę 
 - wskazać utworzony rysunek i nacisnąć klawisz **OK**
- zapisać projekt (zadanie programu **Robot**).

Tak utworzony rysunek może zostać wczytany do programu **AutoCAD Structural Detailing - Żelbet** (patrz podręcznik do programu **AutoCAD Structural Detailing - Żelbet**).

6.2.5. Wymiarowanie fundamentów

Moduł *Wymiarowanie fundamentów* umożliwia obliczanie, wstępne wymiarowanie i weryfikację stóp i ław fundamentowych (pod ścianę betonową). Dopuszcza się obciążenie siłami pionowymi i/lub momentami w dwóch kierunkach oraz obciążenie naziomu.

Wymiarowanie fundamentów może zostać rozpoczęte na dwa sposoby:

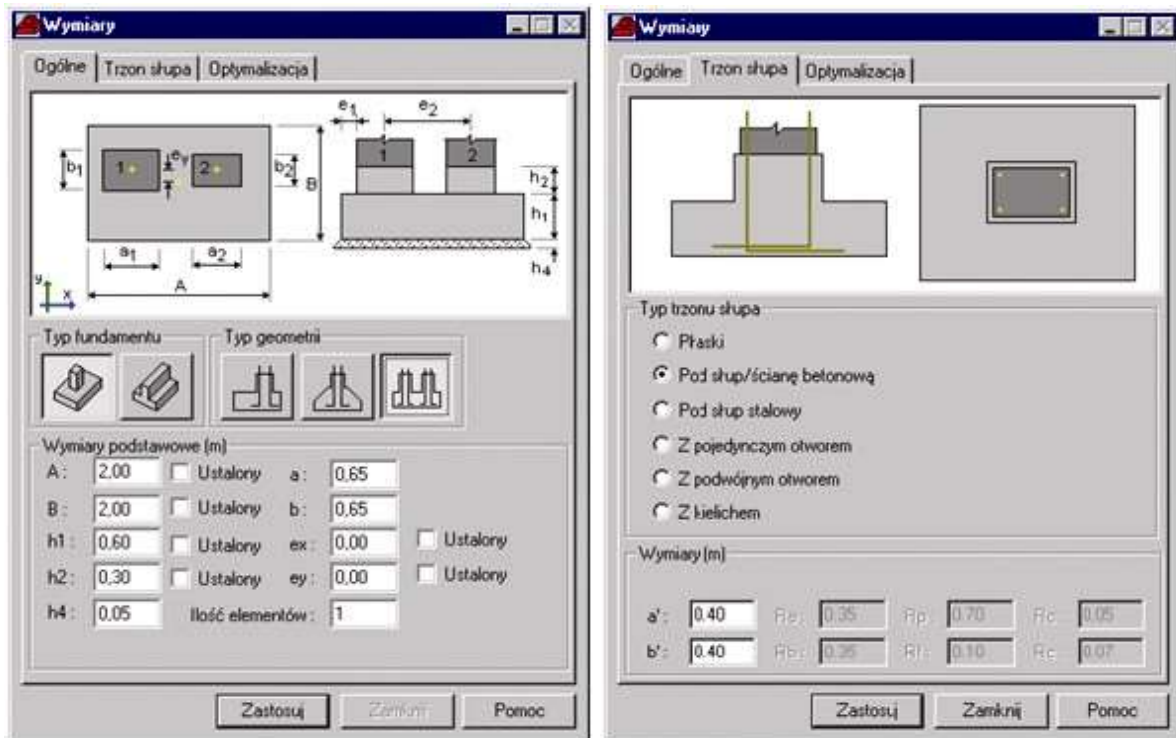
- wybierając z winiетки selekcji typu konstrukcji (porównaj rozdział 2.1) wymiarowanie fundamentu bezpośredniego - moduł projektowania fundamentów będzie pracował jako samodzielny program (stand-alone) bez połączenia (wymiany danych) z innymi częściami systemu **Robot**
- po zdefiniowaniu konstrukcji należy wyselekcjonować w niej (podświetlając w edytorze graficznym) odpowiedni węzeł podporowy konstrukcji, a następnie z menu wybrać komendę *Wymiarowanie fundamentów*. Spowoduje to uruchomienie ekranu **FUNDAMENTY-DEFINICJA**.

Po wybraniu węzła konstrukcji i wybraniu komendy *Wymiarowanie fundamentów* następuje automatyczne przepisanie reakcji na górny poziom trzonu słupa. Owe reakcje widoczne są na ekranie **FUNDAMENTY - OBCIĄŻENIE**. W tabeli oprócz wartości i natury obciążenia wypełniane jest pole *Grupa*. Oznacza ono numer węzła, z którego zostało przejęte obciążenie.

W przypadku wyboru grupy węzłów, następuje przejście reakcji z poszczególnych węzłów konstrukcji, których nazwy widoczne są w kolumnie *Grupa*. Gdy wymiarowana będzie grupa fundamentów, wynikiem obliczeń będzie fundament, który spełnia warunki dla wszystkich wybranych węzłów podporowych. Przekazane reakcje do modułu **Fundamenty** są reakcjami w układzie lokalnym konstrukcji. Jest to istotne w przypadku konstrukcji przestrzennych o zróżnicowanej orientacji słupów.

Definicja fundamentu obejmuje podanie następujących informacji:

- wybór typu fundamentu (stopa fundamentowa, ława fundamentowa pod ścianę betonową), wybór typu geometrii fundamentu (stopa lub ława prostokątna, stopa lub ława prostokątna pod dwa słupy, stopa lub ława o zmiennym przekroju), wybór stopy lub ławy na betonie chudym, wymiary fundamentu, wybór typu połączenia słupa z fundamentem (patrz poniższe okna dialogowe); w przypadku wybrania fundamentu spoczywającego na betonie chudym (opcja jest dostępna *tylko dla francuskich norm DTU 13.12 i Fascicule No 62 - Titre V*) w poniższym oknie dialogowym pojawia się dodatkowa zakładka (*Podbeton / Fundament blokowy*), na której znajdują się opcje umożliwiające definicję geometrii betonu chudego lub parametry dla fundamentu blokowego; dodatkowo na zakładce *Optymalizacja* znajdują się opcje umożliwiające dobór kształtu i wymiarów projektowanego fundamentu

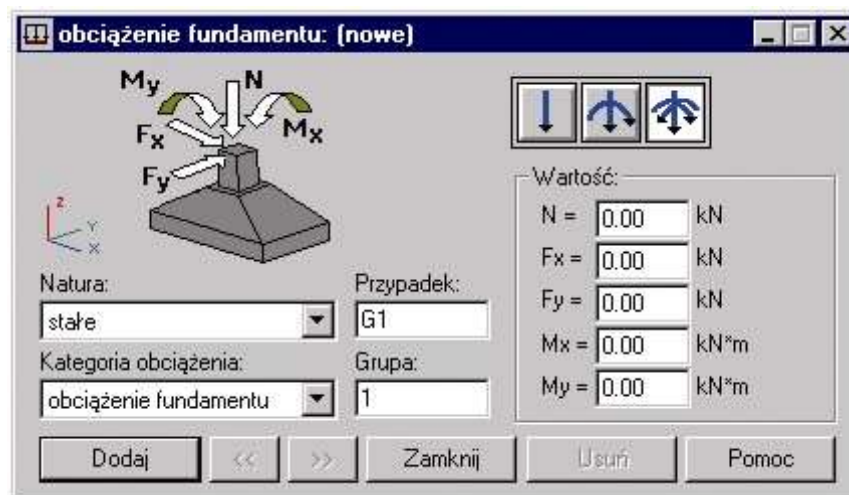


UWAGA: Nie wszystkie typy trzonu słupa (typy połączenia pomiędzy stopą fundamentową a słupem) są dostępne dla wszystkich norm żelbetowych; lista typów trzonu słupa zależy od wybranej normy żelbetowej.

- wybór położenia fundamentu w konstrukcji
- określenie parametrów gruntu - z programem dostarczana jest baza danych gruntów; umożliwia ona bezpośrednie wykorzystywanie zależności korelacyjnych opisanych w odpowiedniej normie; po zdefiniowaniu podstawowych cech gruntu w tabeli gruntów obliczane są automatycznie pozostałe parametry. Podstawowe parametry gruntu mogą być zmieniane; pola tabeli gruntów za wyjątkiem pól

zawierających parametry podstawowe nie są dostępne. W przypadku wybrania jednej z francuskich norm (DTU lub Fascicule) dostępne są opcje umożliwiające wybór metody obliczeń naprężeń (metoda laboratoryjna, presjometryczna pełna i presjometryczna naprężeniowa)

- obciążenie fundamentu (patrz okno dialogowe pokazane poniżej); w oknie dialogowym zdefiniowane może zostać obciążenie przyłożone do fundamentu. Lista dostępnych kategorii obciążeń zawiera dwie kategorie: obciążenie projektowanego fundamentu oraz obciążenie naziomu. Dostępnych jest kilka natur obciążenia: stałe, eksploatacyjne, śnieg, wiatr i sejsmiczne. Istnieją trzy rodzaje obciążenia fundamentu: obciążenia osiowe, obciążenie siłą normalną z momentem zginającym i siłą tnącą oraz obciążenie siłą normalną z momentem zginającym i siłą tnącą działającymi w dwóch kierunkach. W zależności od wybranego rodzaju obciążenia pojawiają się odpowiednie pola edycyjne umożliwiające zdefiniowanie wartości sił.



Podobnie jak w przypadku belek i słupów żelbetowych mogą być zdefiniowane następujące parametry:

- opcje obliczeniowe (poprzez wybranie komendy *Analiza / Opcje obliczeniowe* lub naciśnięcie ikony



- opcje geotechniczne (poprzez wybranie komendy *Analiza / Opcje geotechniczne* lub naciśnięcie ikony



); opcja pozwala na ustawienie parametrów geotechnicznych według których przeprowadzona będzie weryfikacja fundamentów i ich interakcja z podłożem

- parametry zbrojenia (poprzez wybranie komendy *Analiza / Parametry zbrojenia* lub naciśnięcie ikony



Po określeniu wszystkich parametrów fundamentu można rozpocząć obliczanie i wymiarowanie zdefiniowanego fundamentu. Można zrobić na dwa sposoby: wybierając z menu komendę *Analiza /*

Obliczenia lub naciskając ikonę .

Spowoduje to uruchomienie ekranu programu **Robot FUNDAMENTY - REZULTATY**. Ekran monitora podzielony zostanie na dwie części: okno graficzne z widokiem stopy/ławy fundamentowej oraz okno dialogowe **Fundamenty - rezultaty** (patrz rysunek poniżej).

Wymiarowanie fundamentu obejmuje:

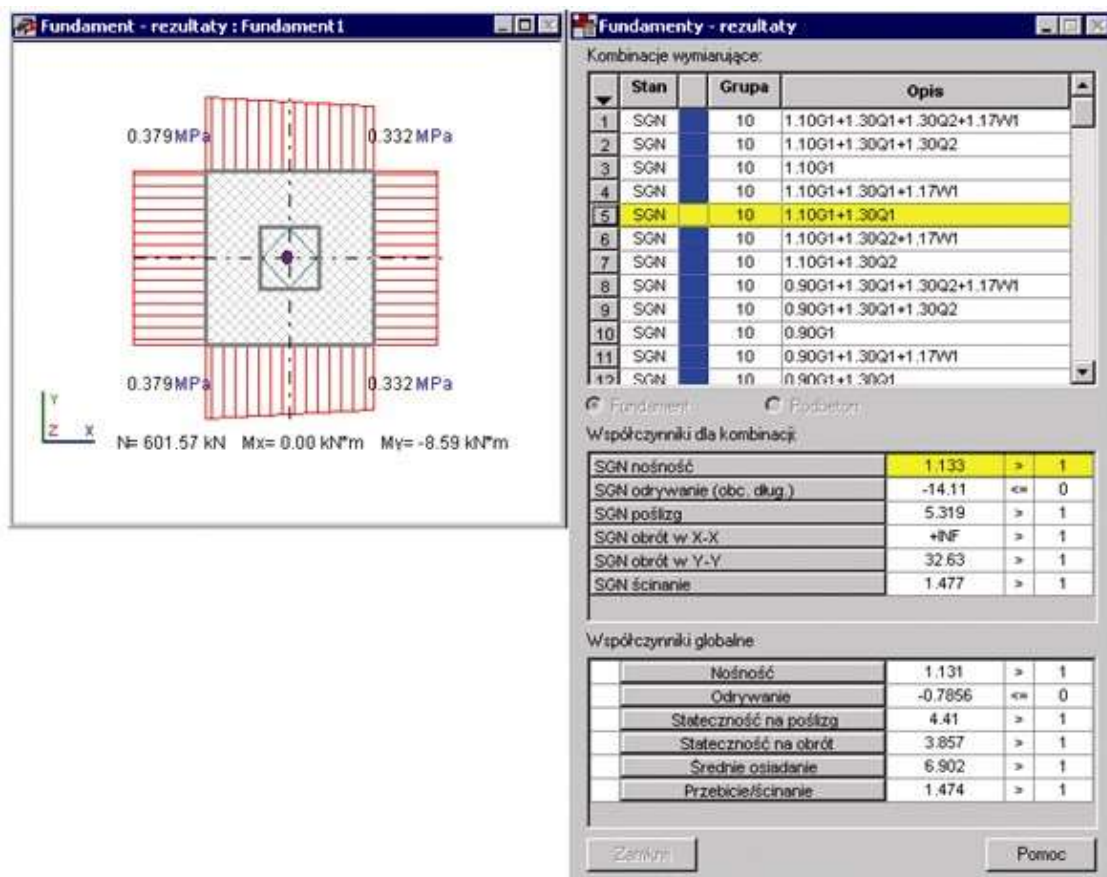
- sprawdzenie nacisku pod stopą fundamentową
- sprawdzenie stabilności na poślizg
- sprawdzenie stabilności na obrót
- sprawdzenie odrywania fundamentu
- osiadanie średnie
- uwzględnienie dyspozycji sejsmicznych (sprawdzenie poślizgu i wyrywania fundamentu)
- sprawdzenie przebicia/ścianania

- wyznaczenie odpowiedniego zbrojenia w stopie i połączeniu stopa-słup
- rozmieszczenie wyznaczonego zbrojenia w stopie i połączeniu stopa-słup
- wyznaczenie całkowitych ilości potrzebnego betonu, deskowania i zbrojenia.

UWAGA: Podczas obliczeń stopy spoczywającej na podbetonie (betonie chudym) / fundamencie blokowym, sprawdzane są następujące warunki:

- dla stopy fundamentowej: nośność, stateczność na obrót
- dla styku stopa / podbetonu/fundamentu blokowego: odrywanie (powierzchnia pracy)
- dla podbetonu / fundamentu blokowego: nośność na kierunku X / Y, nośność boczna na kierunku X / Y.

W przypadku gdy generowane jest zbrojenie łącznikowe pomiędzy stopą fundamentową a podbetonem / fundamentem blokowym, to nie jest sprawdzany warunek na poślizg.




W przypadku wymiarowania stopy fundamentowej (rysunek powyżej) w oknie graficznym prezentowane mogą być następujące wielkości:

- rzut stopy fundamentowej na płaszczyznę XY (widok stopy z góry) z położeniem trzonu słupa
- wykresy naprężeń w gruncie pod stopą z wartościami w narożach stopy
- rdzeń
- kontur brany pod uwagę przy obliczeniach stopy na przebiecie/ścinanie (oznaczany jest kolorem zielonym).

Dodatkowo na ekranie znajduje się okno graficzne, w którym przedstawiane są wyniki dotyczące obliczeń gruntu.

W przypadku wymiarowania ławy fundamentowej w oknie graficznym prezentowane są jedynie przekrój poprzeczny ławy oraz wykresy naprężeń w gruncie pod ławą.

Po zakończeniu obliczeń fundamentu można przedstawić wyniki obliczeń w postaci notki obliczeniowej (opcja *Rezultaty / Notka obliczeniowa*). Na ekranie pojawi się edytor tekstowy systemu **Robot** zawierający dane wymiarowanego fundamentu oraz uzyskane wyniki obliczeń i wymiarowania.

Po wybraniu opcji *Rezultaty / Rysunki* lub naciśnięciu ikony  uruchomiony zostanie ekran programu **Robot RYSUNKI WYKONAWCZE**, na którym prezentowany będzie rysunek wykonawczy obliczonego i zwymiarowanego fundamentu. Rysunek wykonawczy fundamentu będzie przedstawiany na ekranie w postaci, która odpowiada przyjętym parametrom rysunku (patrz rozdział 6.2.5).

6.2.5.1 Opis zasad wykorzystywanych podczas obliczeń fundamentów

Moduł **Fundamenty** pozwala na wymiarowanie geotechniczne, które w zależności od kraju opiera się na wymaganiach norm geotechnicznych, zaleceń technicznych lub bezpośrednio na zasadach mechaniki gruntów. Z tego powodu zasady wymiarowania geotechnicznego można podzielić na następujące grupy wymogów regionalnych (narodowych): PN-81/B-03020, ACI, BS 8004:1986, CSA, DTU 13.12, Eurocode 7, Fascicule 62 Titre V, SNiP 2.02.01-83.

Niezależnie od parametrów wymiarowania geotechnicznego, moduł **Fundamenty** dopuszcza wybór normy wymiarowania rzeczywistego zbrojenia stopy. Dostępne są następujące normy służące do obliczania rzeczywistego zbrojenia stopy: PN-84/B-03264, PN-B-03264 (2002), ACI 318/99, ACI 318/99 metric, BAEL 91, BAEL 91 mod. 99, BS 8110, CSA A23.3-94, EC 2 - Belgian NAD (NBN B 15-002), SNiP 2.03.01-84.

Powyższe normy mogą być wykorzystywane do obliczeń wymaganego zbrojenia, analizy przebicia i wymagań dotyczących zbrojenia rzeczywistego.

W obliczeniach geotechnicznych fundamentów przyjęto następujące możliwe stany graniczne fundamentu:

- nośność gruntu
- poślizg
- obrót (stateczność lokalna)
- położenie wypadkowej sił (odrywanie, powierzchnia kontaktu)
- wrywanie - osiadanie średnie - różnica osiadań.

Poniżej przedstawione zostaną zasady obliczeń dla każdej z dostępnych w programie norm dla dwóch podstawowych elementów weryfikacji fundamentu: nośności i poślizgu; omówienie pozostałych elementów weryfikacji fundamentu znajduje się w pomocy programu **Robot**.

NOŚNOŚĆ

Jest to podstawowy stan graniczny wymiarowania fundamentu, dlatego (w przeciwieństwie do innych stanów granicznych) nie może być wyłączony podczas wymiarowania lub analizy fundamentu. Analiza tego stanu polega na porównaniu maksymalnej wartości siły lub naprężenia pochodzących od obciążeń zewnętrznych z wartościami dopuszczalnymi.

Wartości dopuszczalne mogą być definiowane przez użytkownika lub obliczane przez program na podstawie parametrów gruntów.

W przypadku wartości obliczanych przez program istnieje możliwość analizy podłoża warstwowego. Dla zadawanej przez użytkownika wartości naprężeń dopuszczalnych wartości są porównywane bezpośrednio pod podstawą fundamentu.

Jeżeli nośność gruntu zadawana jest przez użytkownika, to wartość ta jest porównywana z:

- maksymalną wartością naprężeń pod stopą dla ACI \ BS 8004:1986 \ CSA \ Eurocode 7 -
- maksymalną wartością średnią dla DTU 13.12 \ Fascicule 62 Titre V \ SNiP 2.02.01-83 -
- wartością średnią i wartością maksymalną podzieloną przez 1,2 dla PN-81/B-03020.

UWAGA: Dla wszystkich w przypadku obciążenia mimośrodowego we wzorach są używane zastępcze wymiary fundamentu $B' = B - 2 e_B$, $L' = L - 2 e_L$, powierzchnia zastępcza $A' = B' * L'$, przy czym wymiary fundamentu spełniają nierówność $B \leq L$.

Obliczenia dla poszczególnych norm

1. PN-81/B-03020

Analiza nośności gruntu jest oparta na punkcie 3.3.3, Załączniku 1. Ogólny warunek nośności:

$$Q_r < m \cdot Q_f$$

może zostać zastrzyżony poprzez wprowadzenie współczynnika bezpieczeństwa większego od 1.0 (w oknie dialogowym **Opcje geotechniczne**):

$$\frac{m \cdot Q_f}{Q_r} \geq 1,0$$

Obliczenia wartości nośności przebiegają w następujący sposób (Z1-2):

$$Q_{pWB} = \bar{B} \cdot \bar{L} \cdot \left[\begin{array}{l} \left(1 + 0,3 \cdot \frac{\bar{B}}{\bar{L}}\right) \cdot N_c \cdot c_u \cdot i_c + \left(1 + 1,5 \cdot \frac{\bar{B}}{\bar{L}}\right) \cdot N_d \cdot \rho_d \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_d + \dots \\ \dots + \left(1 - 0,25 \cdot \frac{\bar{B}}{\bar{L}}\right) \cdot N_B \cdot \rho_B \cdot g \cdot \bar{B} \cdot i_r \end{array} \right]$$

współczynniki bezwymiarowe nośności wynoszą:

$$N_D = e^{\alpha \cdot \tan(\phi)} \cdot \tan^2(45 + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\phi)$$

$$N_r = 0,75 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi)$$

współczynniki bezwymiarowe i są wyznaczane na podstawie normowych nomogramów (rys Z1-2).

2. ACI \ BS 8004:1986 \ CSA

W literaturze przedstawiono kilka podstawowych metod wyznaczania nośności gruntu. Metody te sprowadzają obliczenia do wyliczenia naprężeń dopuszczalnych gruncie lub odpowiadającej im dopuszczalnej siły. Wymieniając chronologicznie są to metody: Terzagiego (1943), Meyerhofa (1963), Hansena (1970), Versiá (1973, 1975). W module wykorzystano metodę Hansena wraz z wytycznymi dla tej metody przedstawionymi w literaturze.

Podstawowy wzór na nośność wg Hansena:

$$\phi > 0,0$$

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + \bar{q} \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_r \cdot s_r \cdot d_r \cdot i_r \cdot g_r \cdot b_r$$

$$\phi = 0,0$$

$$q_{ult} = 5,14 \cdot s_c \cdot (1 + s'_c + d'_c - i'_c - g'_c - b'_c) + \bar{q}$$

Na potrzeby programu został on ograniczony do przypadków, które mogą być analizowane w module stóp fundamentowych. Założono, że współczynniki odpowiadające za pochylenie stopy b i pochylenie naziomu g są równe 1.0.

Ponieważ w module nie jest dopuszczalne użycie gruntów o kącie tarcia $\phi = 0,0$ stopni, stosuje się jedynie pierwszy z wzorów Hansena. Końcowy wzór na obliczane naprężenie dopuszczalnych dla ACI \ BS 8004:1986 \ CSA jest przedstawiony poniżej:

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \bar{q} \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_r \cdot s_r \cdot d_r \cdot i_r \quad \text{gdzie}$$

odpowiednie współczynniki wynoszą:

$$N_q = e^{\alpha \cdot \tan(\phi)} \cdot \tan^2(45 + \phi / 2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\phi)$$

$$N_r = N_r = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi)$$

$$i_q = \left[1 - \frac{0,5 \cdot H}{V + A' \cdot c_a \cot(\phi)} \right]^{2,5}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_r = \left[1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + A' \cdot c_a \cot(\phi)} \right]^{3,5}$$

przy czym powierzchnia efektywna $A' = B' \cdot L'$

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin(\phi)$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'}$$

$$s_r = 1 - 0,4 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,6$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \cdot k$$

$$d_c = 1 + 0,4 \cdot k$$

$$d_r = 1,0$$

gdzie:

$$k = \begin{cases} \frac{D}{B} \leq 1 & \frac{D}{B} \\ \frac{D}{B} > 1 & \arctan\left(\frac{D}{B}\right) \end{cases}$$

Obliczona wartość q_{ult} podzielona przez współczynnik bezpieczeństwa $SF=3.0$ jest porównywana z maksymalnym średnim naprężeniem w gruncie wywołanym w stanie SGU:

$$\frac{q_{ult}}{3} \leq q_{SGS}$$

3. DTU 13.12 i Fascicule 62 Titre V

Dla norm francuskich dostępne są następujące metody obliczania nośności gruntu:

- laboratoryjna w tej metodzie dla obu norm przeprowadzane są obliczenia według punktu 3.21 normy DTU 13.12 (norma Fascicule nie zawiera wytycznych odnośnie metody laboratoryjnej). Ogólny warunek nośności można wyrazić w następujący sposób:

$$q_{rqs} \leq q_{lim} = \frac{q_u}{\gamma_g}$$

Obliczenia wartości nośności przebiegają w następujący sposób:

$$q_u = 0,5 \cdot s_r \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_r \cdot i_r + s_c \cdot c \cdot N_c \cdot i_c + \gamma \cdot D_{min} \cdot N_q \cdot i_q$$

współczynniki bezwymiarowe nośności wynoszą:

$$N_q = e^{-\tan(\phi)} \cdot \tan^2(45 + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\phi)$$

$$N_r = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi)$$

$$\eta = \begin{cases} \phi < 30^\circ & 0,9 \\ \phi \geq 30^\circ & 0,8 \cdot \frac{\phi}{300} - 0,01 \cdot \sin(24 \cdot \phi - 720) \end{cases}$$

współczynniki

bezwymiarowe kształtu wynoszą:

$$s_r = 1 - 0,2 \cdot (B'/L')$$

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot (B'/L')$$

współczynniki bezwymiarowe nachylenia obciążenia wywołany przez siłę poziomą H wynoszą:

$$i_r = \left(1 - \frac{\delta}{\phi}\right)^2$$

$$i_c = \left(1 - \frac{2 \cdot \delta}{\pi}\right)^2$$

$$i_q = i_c$$

$$\delta = \frac{H}{N}$$

- presjometryczna pełna

W tej metodzie obliczenia przeprowadzane są w oparciu o zdefiniowaną przez użytkownika krzywą będącą wynikiem polowych badań presjometrycznych. Istotnym parametrem jest również typ gruntu w poziomie posadowienia fundamentu (od typu gruntu zależą współczynniki wykorzystywane w obliczeniu nośności). Typy gruntów przyjęte są w oparciu o załącznik E.1. normy Fascicule 62 Titre V.

Norma DTU 13.12

Ogólny warunek nośności można wyrazić w następujący sposób:

$$q_{req} \leq q_{lim} = \frac{q_u}{\gamma_g} \quad (\text{analogicznie jak w metodzie laboratoryjnej})$$

Obliczenia wartości nośności q_u przebiegają w oparciu o punkt 3.22 normy*Norma Fascicule 62 Titre 62*

Ogólny warunek nośności można wyrazić w następujący sposób:

$$q_{req} \leq q_{lim} = \frac{1}{\gamma_g} k_p \cdot p_{ie} \cdot i_{sp} + q'_0$$

Wszystkie wartości w powyższym wzorze przyjęte są zgodnie z normą, w oparciu o punkt B.3.1,1, a także załączniki B.1., E.2., F.1.

- presjometryczna naprężeniowa

Nośność gruntu dla tej metody przyjmowana jest w oparciu o wartość podaną bezpośrednio przez użytkownika. Wartość q_u zdefiniowana przez użytkownika jako dopuszczalna (charakterystyczna), SGN lub SGU, przeliczana jest zawsze na wartość charakterystyczną q_u , a następnie w oparciu o tę wartość obliczana jest graniczna wartość naprężenia q_{lim} , według wzorów:

Norma DTU 13.12

$$q_{req} \leq q_{lim} = \frac{q_u}{\gamma_g}$$

Norma Fascicule 62 Titre 62

$$q_{req} \leq q_{lim} = \frac{1}{\gamma_g} (q_u - q'_0) + q'_0$$

4. Eurocode 7

Analiza nośności gruntu jest oparta na punkcie 6.5.1, 6.5.2 i Załączniku B normy EC 7. Ogólny warunek nośności: $V_d < R_d$ może zostać zastrzyżony poprzez wprowadzenie współczynnika bezpieczeństwa większego od 1.0 (w oknie dialogowym **Opcje geotechniczne** na zakładce **Ogólne**):

$$\frac{R_d}{V_d} \geq 1,0$$

Obliczenia wartości nośności przebiegają w następujący sposób:

- Dla warunków z drenażem wzór B.2:

$$R_d / A' = q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_c + 0.5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_r \cdot s_r \cdot i_r \cdot d_c$$

współczynniki bezwymiarowe nośności wynoszą:

$$N_q = e^{\alpha \cdot \tan(\phi')} \cdot \tan^2(45 + \phi' / 2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\phi')$$

$$N_r = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi')$$

współczynniki bezwymiarowe kształtu wynoszą:

$$s_q = 1 + (B' / L') \cdot \sin(\phi')$$

$$s_r = 1 - 0,3 \cdot (B' / L')$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

współczynniki bezwymiarowe nachylenia obciążenia wywołane przez siłę poziomą H odpowiednio równoległe do dłuższego i krótszego boku wynoszą:

$H \parallel L'$

$$i_q = i_r = 1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot \cot(\phi')}$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

 $H \parallel B'$

$$i_q = 1 - \left(\frac{0,7 \cdot H}{V + A' \cdot c' \cdot \cot(\phi')} \right)^3$$

$$i_r = 1 - \left(\frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot \cot(\phi')} \right)^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

współczynniki głębokości posadowienia wynoszą:

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin(\phi)$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'}$$

$$s_r = 1 - 0,4 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,6$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \cdot k$$

$$d_c = 1 + 0,4 \cdot k$$

$$d_r = 1,0$$

gdzie:

$$k = \begin{cases} \frac{D}{B} \leq 1 & \frac{D}{B} \\ \frac{D}{B} > 1 & \arctan\left(\frac{D}{B}\right) \end{cases}$$

- Dla warunków bez drenażu wzór B.1:

$$R / A' = q_{ult} = (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

współczynnik bezwymiarowy kształtu wynosi: $s_c = 1,2 + 0,2 \cdot (B' / L')$ współczynnik bezwymiarowy nachylenia obciążenia wywołany przez siłę poziomą H wynosi:

$$i_c = 0,5 \cdot \sqrt{1 - \frac{H}{A' \cdot c_u}}$$

UWAGA: Wykorzystywany jest parametr gruntu: Spójność bez drenażu - c_u .

5. SNiP 2.02.01-83

Analiza nośności gruntu jest oparta na punkcie 2.58 -2. Ogólny warunek nośności (11):

$$F \leq \frac{\gamma_c \cdot F_u}{\gamma_n}$$

gdzie:

γ_c - współczynnik warunków pracy γ_n - współczynnik niezawodności uwzględniający przeznaczenie budowli

Oba te współczynniki mogą być zmienione w oknie dialogowym **Opcje geotechniczne** zgodnie z przedstawionym tam wzorem:

$$\frac{\gamma_c \cdot F_u}{F} \geq \gamma_n$$

Jako wynik wymiarowania otrzymujemy współczynnik niezawodności konstrukcji równy:

$$\frac{\gamma_c \cdot F_u}{F}$$

Obliczenia wartości nośności przebiegają w następujący sposób (16):

$$N_u = b' \cdot l' \cdot (N_r \cdot \xi_c \cdot b' \cdot \gamma_I + N_q \cdot \xi_q \cdot \gamma_I \cdot d + N_c \cdot \xi_c \cdot c_u)$$

Współczynniki bezwymiarowe nośności N wyznaczone są zgodnie z tabelą 7 normy (UWAGA: pomiędzy wartościami tabelarycznymi dokonywana jest interpolacja liniowa). Współczynniki bezwymiarowe kształtu ξ są ustalane na podstawie wzorów (17):

$$\xi_c = 1 - \frac{0,25}{\eta}$$

$$\xi_q = 1 + \frac{1,5}{\eta}$$

$$\xi_c = 1 + \frac{0,3}{\eta}$$

$$\eta = \frac{l'}{b'}$$

POŚLIZG

Analiza tego stanu może być wymagana w przypadku, gdy udział sił poziomych oddziałujących na fundament jest duży w porównaniu z siłami pionowymi. Sytuacja taka powoduje możliwość zniszczenia gruntu spowodowanego poślizgiem stopy fundamentu po gruncie lub poślizgiem pomiędzy warstwami gruntów warstwowanych, gdy warstwy zalegające poniżej są słabsze od warstw bezpośrednio stykających się ze stopą. W celu bezpośredniego uniknięcia utraty stateczności na przesunięcie zalecane jest stosowanie poniższych rozwiązań:

- zwiększenie ciężaru fundamentu
- wykonanie podsypki z gruntu niespoistego o kontrolowanym stopniu zagęszczenia - zaprojektowanie tzw. ostrogi (opcja niedostępna w module fundamentów).

Przy analizie poślizgu należy zwrócić uwagę na fakt, że spójność gruntu przylegającego bezpośrednio do fundamentu może być zmieniona podczas prac wykonawczych lub z powodu zmiennej położenia zwierciadła wody. W takich przypadkach należy zredukować wartość spójności gruntu.

UWAGA: W module fundamentów nie jest uwzględniane parcie boczne wywołane przemieszczeniem fundamentu, co może powodować zaniżenie nośności fundamentu na poślizg.

Obliczenia dla poszczególnych norm

1. PN-81/B-03020

Norma PN-81/B-03020 [A3] nie przedstawia bezpośrednio warunku na poślizg fundamentu. Poniższy opis odwołuje się bezpośrednio do normy PN-83/B-03010 [A4]. Ogólny warunek stateczności na poślizg według tej normy oraz literatury można przedstawić w następujący sposób:

$$F_r \leq m \cdot N_r = m \cdot \min \begin{cases} N \cdot \tan(\phi) + c_r \cdot A_c & (1) \\ N \cdot \mu + c_u \cdot A_c & (2) \end{cases}$$

dla warstwy położonej poniżej poziomu kontaktu:

$$F_r \leq m \cdot N_r = m \cdot N \cdot \tan(\phi) + c_u \cdot A'_c$$

gdzie:

F_r - obliczeniowa siła przesuująca

N - obliczeniowa siła pionowa w poziomie posadowienia

A'_c - zredukowane pole podstawy fundamentu ϕ - obliczeniowy kąt tarcia wewnętrznego gruntu

A_c - powierzchnia kontaktu fundament-grunt (zredukowane pole podstawy fundamentu)

μ - współczynnik tarcia fundament-grunt c_r - zredukowana wartość spójności = (0.2 do 0.5) * c_u c_u - obliczeniowa wartość spójności gruntu m - współczynnik korekcyjny.

Wynikiem wymiarowania na ten stan graniczny jest współczynnik bezpieczeństwa konstrukcji:

$$\frac{m \cdot N_r}{F_r} \geq 1$$

Włączenie analizy tego stanu granicznego oraz ustalenie granicznej wartości współczynnika jest możliwe w oknie dialogowym **Opcje geotechniczne**.

2. ACI \ CSA

Wymiarowanie na poślizg nie jest dostępny w wymienionych normach. Jeżeli taka analiza jest wymagana, konieczne jest ręczne sprawdzenie tej wartości.

3. BS 8004:1986

Ogólny warunek stateczności na poślizg można przedstawić w następujący sposób:

$H \leq H_{\text{FRICTION}}$ gdzie:

H - siła pozioma

$$H_{\text{FRICTION}} = V \cdot \tan(\phi) + c \cdot A_c$$

V - siła pionowa

ϕ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu

c - spójność

A_c - powierzchnia kontaktu fundament-grunt.

W wyniku wymiarowania na ten stan otrzymujemy współczynnik bezpieczeństwa konstrukcji: H_{FRICTION} / H , którego wartość jest większa lub równa 1.0.

Włączenie analizy tego stanu granicznego oraz ustalenie granicznej wartości współczynnika jest możliwe w oknie dialogowym **Opcje geotechniczne**.

4. DTU 13.12

Ogólny warunek stateczności na poślizg można przedstawić w następujący sposób:

$Q_{tf} \leq Q_f = N \cdot \tan(\phi) + c \cdot A_c$ gdzie:

Q_{tf} - siła pozioma

N - siła pionowa

ϕ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu, przy czym przyjmowana wartość $\tan(\phi)$ jest nie większa niż 0.5
 c - spójność gruntu (lecz nie więcej niż 75 kPa) A_c - powierzchnia kontaktu fundament-grunt.

W przypadku oddziaływań sejsmicznych zgodnie z literaturą pomijana jest spójność gruntu, co powoduje redukcję wzoru na poślizg do postaci:

$$Q_{\text{tr}} \leq Q_f = N \cdot \tan(\phi)$$

W przypadku analizy poślizgu pomiędzy fundamentem a podbetonem, który nie jest powiązany zbrojeniem łącznikowym z fundamentem, wprowadzany jest współczynnik tarcia beton-podbeton, którego wartość jest równa 0.75.

$$Q_{\text{tr}} \leq Q_f = N \cdot \mu$$

$$\mu = 0,75$$

Jeżeli występują pręty łącznikowe, które zapewniają trwałe połączenie fundamentu z podbetonem, to warunek ten nie jest sprawdzany.

Wynikiem wymiarowania na ten stan graniczny jest współczynnik bezpieczeństwa konstrukcji: Q_{tr} / Q_f , którego wartość jest większa lub równa 1.0.

Włączenie analizy tego stanu granicznego oraz ustalenie granicznej wartości współczynnika jest możliwe w oknie dialogowym **Opcje geotechniczne**.

5. Eurocode 7

Analiza poślizgu jest prowadzona zgodnie z punktem 6.5.3.

- Dla warunków z drenażem wzór (6.3):

$$S_d = V'_d \cdot \tan(\delta_d)$$

UWAGA: Przyjmuje się, że parametr δ_d jest przyjmowany jak dla fundamentów formowanych in situ, co oznacza $\delta_d = \phi_d'$ 6.5.3 (8).

Ponieważ norma EC7 nie zabrania uwzględniania spójności gruntu przy analizie poślizgu 6.5.3 (8), możliwe jest częściowe lub całkowite wykorzystanie spójności wprowadzając do wzoru dodatkowy człon uwzględniający zredukowaną spójność.

$$S_d = V'_d \cdot \tan(\delta_d) + \varphi \cdot A' \cdot c'$$

gdzie:

współczynnik φ zawierający się w przedziale $\langle 0.0, 1.0 \rangle$ może zostać zdefiniowany w oknie dialogowym **Opcje geotechniczne**

A' - powierzchnia pracy fundamentu (powierzchnia kontaktu fundament-grunt) c' - obliczeniowa efektywna spójność gruntu.

W przypadku wprowadzenia współczynnika 0.0 wzór ten przyjmuje dokładnie postać normową (6.3).

- Dla warunków bez drenażu wzór (6.4): $S_d = A' \cdot c_u$

UWAGA: Wykorzystywany jest parametr gruntu: Spójność bez drenażu - c_u .

Dodatkowo gdy powierzchnia pracy nie jest równa powierzchni fundamentu (występuje odrywanie), to sprawdzany jest warunek (6.5): $S_d < 0.4 V_d$

6. Fascicule 62 Titre V

Ogólny warunek stateczności na poślizg można przedstawić w następujący sposób:

$$Q_{tf} \leq Q_f = \frac{N \cdot \tan(\phi)}{\gamma_1} + \frac{c \cdot A_c}{\gamma_2}$$

$$\gamma_1 = 1,2$$

$$\gamma_2 = 1,5$$

gdzie:

Q_{tf} - siła pozioma N -

siła pionowa

ϕ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu c - spójność

gruntu (lecz nie więcej niż 75 kPa) A_c -

powierzchnia kontaktu fundament-grunt.

W przypadku oddziaływań sejsmicznych zgodnie z literaturą pomijana jest spójność gruntu, co powoduje redukcję wzoru na postać:

$$Q_{tf} \leq Q_f = \frac{N \cdot \tan(\phi)}{\gamma_1}$$

$$\gamma_1 = 1,2$$

W przypadku analizy poślizgu pomiędzy fundamentem a podbetonem, który nie jest powiązany zbrojeniem łącznikowym z fundamentem, wprowadzany jest współczynnik tarcia beton-podbeton, którego wartość jest równa 0.75.

$$Q_{tf} \leq Q_f = \frac{N \cdot \mu}{\gamma_1}$$

$$\gamma_1 = 1,2$$

Jeżeli występują pręty łącznikowe, które zapewniają trwałe połączenie fundamentu z podbetonem, to warunek ten nie jest sprawdzany.

Wynikiem wymiarowania na ten stan graniczny jest współczynnik bezpieczeństwa konstrukcji: $Q_{tf} /$

Q_f , którego wartość jest większa lub równa 1.0.

Włączenie analizy tego stanu granicznego oraz ustalenie granicznej wartości współczynnika jest możliwe w oknie dialogowym **Opcje geotechniczne**.

7. SNiP 2.02.01-83

Ogólny warunek stateczności na poślizg można przedstawić w następujący sposób:

$$\frac{\gamma_c \cdot F_{r,s}}{F_{r,d}} \geq \gamma_n$$

gdzie:

H - siła pozioma γ_c - współczynnik warunków pracy γ_n - współczynnik niezawodności uwzględniający przeznaczenie budowli V - siła pionowa

ϕ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu

c - spójność gruntu

A_c - powierzchnia kontaktu fundament-grunt.

Wynikiem wymiarowania na ten stan graniczny jest współczynnik bezpieczeństwa konstrukcji:

$$\frac{\gamma_c \cdot F_u}{F}$$

Włączenie analizy tego stanu granicznego oraz ustalenie granicznej wartości współczynnika jest możliwe w oknie dialogowym **Opcje geotechniczne**.

6.2.6. Wymiarowanie łąw fundamentowych

Moduł **Wymiarowanie łąw fundamentowych** umożliwia obliczanie, wstępne wymiarowanie i weryfikację łąw fundamentowych (pod grupę słupów).

Wymiarowanie łąwy fundamentowej może zostać rozpoczęte po wybraniu z winietki selekcji typu konstrukcji (porównaj rozdział 2.1) wymiarowania łąwy fundamentowej - moduł projektowania łąw fundamentowych będzie pracował jako samodzielny program (stand-alone) bez połączenia (wymiany danych) z innymi częściami systemu **Robot**.

Opcje znajdujące się w tym module działają w podobny sposób jak w przypadku wymiarowania belek żelbetowych. Jedyną nową opcją jest opcja *Grunty*. Opcja służy do definiowania warstw gruntu znajdującego się pod łąwą fundamentową. Opcja dostępna jest po:

- naciśnięciu ikony *Grunty* 
- wybraniu komendy *Konstrukcja / Grunty* z menu
- wybraniu ekranu **ŁAWY FUNDAMENTOWE - GRUNTY**.

Polska Norma *PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie* umożliwia określenie parametrów fizycznych i wytrzymałościowych gruntu na podstawie trzech jego cech (metoda B):

- dla gruntów spoistych: nazwy, I_L i symbolu gruntu
- dla gruntów niespoistych: nazwy, I_D i stanu wilgotności.

Relacje między wymienionymi parametrami, a charakterystykami gruntów są przedstawione w Normie tabelarycznie (Tablice: 1, 2, 3 Normy) oraz przy pomocy wykresów (Rysunki: 3, 4, 5, 6, 7).

Dostarczana wraz z programem baza danych oparta na tej Normie umożliwia bezpośrednie wykorzystywanie tych zależności korelacyjnych. Dodatkowo baza zawiera dane dotyczące parametrów gruntów opisanych w innych normach i literaturze, takich jak graniczne opory gruntu na pobocznicy i pod podstawą pała (PN-83/B-02482 Tablice: 1, 2), współczynnik tarcia fundament - grunt (PN-83/B-03010 Tablica: 3) i orientacyjne współczynniki filtracji.

Po zdefiniowaniu podstawowych cech gruntu obliczane są automatycznie i wyświetlane w tabeli wszystkie inne parametry. W polu nazwa znajduje się lista predefiniowanych gruntów. Po wyborze jednego z nich tabela jest wypełniana danymi.

W tabeli są przedstawiane jedynie te cechy gruntu, które są wykorzystywane podczas obliczeń dla łąwy fundamentowej.

Podstawowe parametry gruntu mogą być zmieniane; po zatwierdzeniu nowych wartości automatycznie zostaną wyliczone i wyświetlone w tabeli pozostałe parametry. Pola tabeli za wyjątkiem pól z parametrami podstawowymi nie są aktywne.

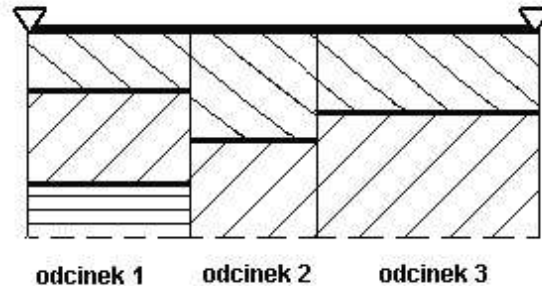
Możliwość definicji korekt parametrów fizycznych jest możliwa dla metody A i C. W takim wypadku jedynie wybór innego gruntu powoduje odczyt nowych danych, a wszystkie inne pola umożliwiają wprowadzenie własnych danych. W dolnej części okna dialogowego użytkownik może wybrać rodzaj metody, według której oznaczane są parametry geotechniczne, a także zdefiniować wartości współczynników materiałowych gruntu.

W module łąw fundamentowych istnieje możliwość zapisu (umożliwia to klawisz **Zapisz**) zdefiniowanego profilu gruntowego w celu wykorzystania go w kalkulatorach. Profil jest zapisywany w postaci bazy MS Access (*.mdb).

UWAGA: Ręczna modyfikacja pliku bezpośrednio w programie MS Access nie jest zalecana z uwagi na możliwość łatwego usunięcia danych niezbędnych do prawidłowego działania aplikacji.

Profil gruntowy zawiera wszystkie informacje o parametrach gruntu i może być dowolnie przenoszony między stanowiskami i wykorzystywany w innych modułach programu **Robot** oraz kalkulatorach.

Grunt znajdujący się pod ławą fundamentową może być podzielony na odcinki, które charakteryzują się różnym uwarstwieniem gruntu. Pokazuje to przedstawiony poniżej rysunek. Geometria odcinka jest definiowana poprzez podanie współrzędnych początku i końca odcinka.



UWAGA: Ława fundamentowa obliczana jest jako element belkowy leżący na podłożu sprężystym; z tego powodu musi być zdefiniowany współczynnik sprężystości podłoża K_z . Jeśli użytkownik nie zdefiniował żadnej warstwy gruntu, to nie zostaną sprawdzone naprężenia w gruncie ani warunki na zginanie półki fundamentu, a w obliczeniach przyjęta zostanie domyślna wartość współczynnika sprężystości $K_z = 10000 \text{ kPa}$.

Współczynnik sprężystości obliczony automatycznie dla danych warunków gruntowych, może być modyfikowany przez użytkownika.

W programie istnieje również możliwość definicji poziomu występowania lustra wody gruntowej oraz poziomu posadowienia. Ponadto, użytkownik może zdefiniować miąższości naziomów (po jednej lub obu stronach ławy). Obciążenie pionowe od gruntu naziomu jest wtedy wyliczane automatycznie przez program.

Opcja *Naprężenia gruntu* określa w jaki sposób przyjmowane są dopuszczalne naprężenia w gruncie. Jeżeli włączona jest opcja *wyliczane*, to wartość dopuszczalnego naprężenia w gruncie zostanie obliczona automatycznie według przyjętej normy dla gruntów zdefiniowanych w tabeli. Opcja *dopuszczalne* pozwala użytkownikowi na określenie własnej wartości naprężenia dopuszczalnego w gruncie.



6.2.7. Wymiarowanie belek-ścian

Moduł **Wymiarowanie belek-ścian** pozwala definiować, obliczać i wymiarować swobodnie podparte belki-ściany (jedno- jak i wieloprzęsłowe) - wymiarowanie może być wykonywane na podstawie polskiej normy PN-B-03264 (2002) lub francuskiej normy BAEL91. Belka-ściana wyróżnia się tym, że wysokość przekroju poprzecznego takiej belki jest znacznie większy od szerokości przekroju poprzecznego. Sposób definiowania belki-ściany jest podobny do definicji belki żelbetowej (patrz rozdział 6.2.1). Belki-ściany mogą być obciążone pionowymi siłami skupionymi i obciążeniem ciągłym oraz dodatkowymi skupionymi momentami podporowymi; obciążenia mogą być przyłożone do górnej lub dolnej powierzchni belki-ściany. Przekrój belek może być prostokątny lub teowy (dopuszczalne są różne rodzaje połączeń belki z płytą stropową).



Wymiarowanie belek betonowych może zostać rozpoczęte wybierając z winietki selekcji typu konstrukcji (porównaj rozdział 2.1) wymiarowanie belki-ściany - moduł projektowania belek-ścian będzie pracował jako samodzielny program (stand-alone) bez połączenia (wymiany danych) z innymi częściami systemu **Robot**.

Aby zdefiniowana została belka-ściana, należy:

- określić geometrię przekroju belki (komenda *Konstrukcja / Typ przekroju* lub ikona *Typ przekroju* )

- podać wymiary elewacyjne przęseł belki (komenda *Konstrukcja / Wymiary* lub ikona *Wymiary* ) i sposób podparcia belki-ściany zależny m.in. od metody obliczeń belek-ścian (dla MES: podparcie, utwierdzenie, pilaster, dla metody uproszczonej BAEL: podpora skrajna - przegub, podpora pośrednia)
- zdefiniować obciążenia (komenda *Konstrukcja / Obciążenia* lub ikona *Obciążenia* )
- ewentualnie zdefiniować otwory znajdujące się w belce-ścianie.

Podobnie jak w przypadku belek i słupów żelbetowych mogą być zdefiniowane następujące parametry:

- opcje obliczeniowe (komenda *Analiza / Opcje obliczeniowe* lub ikona )
- parametry zbrojenia (komenda *Analiza / Parametry zbrojenia* lub ikona )

W programie dostępnych jest również kilka opcji służących do edycji wyznaczonych dla belek-ścian żelbetowych prętów zbrojeniowych:

- pręty łącznikowe - opcja służy do określania parametrów prętów zbrojeniowych łączących belkę-ścianę z płytą; opcja dostępna jest z menu poprzez wybranie komendy *Konstrukcja / Zbrojenie / Pręty łącznikowe* lub z menu kontekstowego (opcja *Pręty łącznikowe*)
- parametry (właściwości) prętów zbrojeniowych - opcja służy do przedstawiania parametrów prętów zbrojeniowych wyznaczonych podczas wymiarowania belek-ścian, weryfikacji prętów zbrojeniowych po dokonanych zmianach oraz kopiowania/usuwania prętów zbrojeniowych.

Belki-ściany mogą być obliczane przy pomocy dwóch metod:

- na podstawie zaleceń zawartych we francuskiej normie BAEL - obliczenia statyczne wykonywane są wg metody uproszczonej opisanej w normie BAEL 91 (aneks E1); obliczenia zbrojenia wykonywane są wg metody opisanej w normie BAEL 91 (aneks E5); ograniczenia metody: maksymalna różnica wysokości między sąsiednimi przęsłami wynosi 1m, a otwór nie może być położony bliżej od krawędzi ściany niż jego szerokość; dla belek-ścian obliczanych według metody BAEL uzyskiwane są jedynie wartości ekstremalne sił przekrojowych, dlatego też w oknie graficznym nie są prezentowane żadne wyniki
- wykorzystując Metodę Elementów Skończonych - obliczenia przy użyciu Metody Elementów Skończonych wykonywane są przy założeniu pracy konstrukcji w Płaskim Stanie Naprężenia. Oznacza to, że belka-ściana obliczana jest jako płaska tarcza obciążona w swej płaszczyźnie (składowa główna naprężenia w kierunku prostopadłym do tarczy jest równa zero). Na podstawie geometrii belki-ściany zdefiniowanej przez użytkownika automatycznie generowany jest model dla metody elementów skończonych; w przypadku wyboru tej opcji należy określić preferowaną wielkość elementu skończonego. Po obliczeniach belek-ścian tą metodą wyniki prezentowane są w postaci izolinii (podobnie jak wyniki dla płyt żelbetowych).

Jedną z rzeczy wyróżniających belki-ściany jest możliwość zbrojenia ich przy pomocy siatek zbrojeniowych. W programie **Robot** dostępna jest baza siatek zbrojeniowych, które mogą być wykorzystywane podczas obliczania zbrojenia dla belek-ścian. Po naciśnięciu klawisza **Edycja bazy** znajdującego się na zakładce *Siatki* okna dialogowego **Opcje obliczeniowe** dla belek-ścian na ekranie pojawia się dodatkowe okno (przeglądarka) pokazane na poniższym rysunku służące do prezentacji informacji o dostępnych siatkach zbrojeniowych.

Lp.		Nazwa	S (cm ² /m)	s (cm ² /m)	E (mm)	e (mm)	D (mm)	d (mm)	L (m)	l (m)	AR (mm)	AV (mm)	ag (mm)	ad (mm)	R (m)	R (m)
1	<input checked="" type="checkbox"/>	P 636C	6.36	6.36	100.0	100.0	9.0	9.0	6.00	2.40	50.0	50.0	50.0	50.0	3.00	0.00
2	<input checked="" type="checkbox"/>	P 385C	3.85	3.85	100.0	100.0	7.0	7.0	6.00	2.40	50.0	50.0	50.0	50.0	3.00	0.00
3	<input checked="" type="checkbox"/>	P 221C	2.21	2.21	100.0	200.0	6.5	7.5	6.00	2.40	100.0	100.0	75.0	75.0	3.00	0.00
4	<input checked="" type="checkbox"/>	P 636R	6.36	2.12	100.0	300.0	9.0	9.0	6.00	2.40	150.0	150.0	50.0	50.0	3.00	0.00
5	<input checked="" type="checkbox"/>	P 503R	5.03	1.77	100.0	250.0	8.0	7.5	6.00	2.40	125.0	125.0	50.0	50.0	3.00	0.00
6	<input checked="" type="checkbox"/>	P 385R	3.85	1.47	100.0	300.0	7.0	7.5	6.00	2.40	150.0	150.0	50.0	50.0	3.00	0.00
7	<input checked="" type="checkbox"/>	P 283R	2.83	0.95	100.0	250.0	6.0	5.5	6.00	2.40	125.0	125.0	50.0	50.0	3.00	0.00
8	<input checked="" type="checkbox"/>	P 221R	2.21	0.95	150.0	250.0	6.5	5.5	6.00	2.40	125.0	125.0	75.0	75.0	3.00	0.00
9	<input checked="" type="checkbox"/>	P 188R	1.88	0.95	150.0	250.0	6.0	5.5	6.00	2.40	125.0	125.0	75.0	75.0	3.00	0.00
10	<input checked="" type="checkbox"/>	P 131R	1.31	0.95	150.0	250.0	5.0	5.5	4.75	2.40	125.0	125.0	75.0	75.0	3.00	0.00
11	<input type="checkbox"/>	P 99V	0.80	0.99	200.0	160.0	4.5	4.5	3.20	2.40	25.0	135.0	100.0	100.0	3.00	0.00
12	<input type="checkbox"/>	P 80C	0.80	0.80	200.0	200.0	4.5	4.5	3.60	2.40	100.0	100.0	100.0	100.0	3.00	0.00
13	<input type="checkbox"/>	R 80C	0.80	0.80	200.0	200.0	4.5	4.5	40.00	2.40	100.0	100.0	100.0	100.0	3.00	0.00

Przeglądarka baz siatek pokazana na powyższym rysunku jest podzielona na dwie części:

- pasek narzędziowy z ikonami
- tabelę, w której prezentowane są dane dostępnych siatek zbrojeniowych.

Dla każdego typu siatki prezentowane są następujące informacje:

w trzech pierwszych kolumnach tabeli podawany jest numer siatki, informacja, czy siatka ma być brana pod uwagę podczas obliczeń (opcja włączona - pojawia się symbol - siatka brana pod uwagę, opcja wyłączona - siatka nie uwzględniana w obliczeniach) oraz nazwa siatki. W kolejnych kolumnach tabeli przedstawiane są dane dotyczące siatek: przekrój, rozstaw i średnica zbrojenia, informacje dotyczące zakończeń prętów oraz ewentualne zakłady zbrojenia.

6.2.8. Rysunki wykonawcze

Rysunki wykonawcze obliczonego zbrojenia elementów żelbetowych stanowią osobny ekran programu **Robot**. Na tym ekranie programu **Robot** znajdują się specyficzne opcje, przydatne jedynie do obsługi rysunków. Omówione zostaną najważniejsze z nich:

- *Widok normalny* (menu *Widok*) - wywołując rysunek dowolnego elementu program automatycznie przechodzi na ekran rysunków i zgłasza się w trybie widok normalny. Jest to ogólny widok zawartości całej strony rysunku, bez możliwości wstawienia, usunięcia lub zmiany zawartości rysunku. Omawiany tryb jest przydatny do aranżacji i kompozycji rysunków na końcowym formacie wydruku
- *Układ strony* (menu *Widok*) jest to tryb, w którym możliwa jest korekta ułożenia i rozmiarów elementów rysunku (tzw. viewport). Każdy element rysunku posiada w narożach uchwyty, przy pomocy którym możliwa jest ich edycja. Po zakończeniu zmian należy przejść na inny tryb wyświetlania. Wówczas program dokona regeneracji rysunku, dopasowując zawartość rysunku do nowych rozmiarów elementów rysunku
- *Składowe rysunku* (menu *Widok*) jest to tryb, który przedstawia zakres elementów rysunku oraz ich zawartość. Zaznaczając dany element rysunku (podświetlany jest kolorem czerwonym) sygnalizujemy gotowość edycji jego zawartości. W obrębie aktywnego obszaru możliwe są następujące operacje:
 - zmiana skali rysunku lub położenia przekroju
 - edycja tekstu (po wskazaniu kursorem tekstu następuje podświetlenie tekstu kolorem żółtym) wywołując opcję *Edytuj tekst* z menu kontekstowego po naciśnięciu prawego klawisza myszy

- usunięcie tekstu - po podświetleniu tekstu usunięcie jest możliwe poprzez naciśnięcie klawisza **DELETE**
- przesunięcie tekstu; po podświetleniu należy kliknąć na tekst; kursor zmieni kształt na strzałkę, umożliwiając przesunięcie tekstu w obrębie elementu rysunku (viewport)
- edycja wymiaru (po wskazaniu kursorem wymiaru następuje jego podświetlenie kolorem żółtym) zaczepiając kursor na końcu wymiaru mamy możliwość zmiany jego długości wraz z wartością opisującą wymiar. W przypadku wymiarów łańcuchowych zmianie ulegają wymiary sąsiadujące z edytowanym punktem
- usunięcie + przesunięcie linii wymiarowej (opcja działa na podobnej zasadzie jak edycja tekstu). W przypadku przesuwania wymiaru możliwe jest jedynie jego przesunięcie równoległe w stosunku do pierwotnego położenia
- dodanie linii, okręgu, tekstu oraz wymiaru.

UWAGA: Po zakończeniu edycji należy nacisnąć klawisz **ESC**, aby móc przejść do edycji innego elementu rysunku (viewport).

- **Końcowy format wydruku** (menu *Widok*) - jest to opcja pozwalająca na przejście z aktualnie widocznymi rysunkami na jeden wspólny arkuszu papieru. Po uruchomieniu opcji program przełącza się na inny tryb pracy. Domyślnie końcowy format jest ustawiony na A4. Aby zmienić wielkość formatu, należy z menu *Plik* wybrać opcję *Układ strony* i wskazać docelowy format arkusza papieru. Wówczas wszystkie załadowane rysunki zostaną poukładane automatycznie
- **Automatyczny układ rysunków** (menu *Widok*) - opcja odpowiada za automatyczne rozmieszczenie rysunków na dużym formacie i działa w powiązaniu z inną opcją omawianą powyżej. Jeżeli automatyczne rozmieszczenie rysunków nie spełnia oczekiwań użytkownika, możliwe jest wyłączenie tej opcji. Po wskazaniu konkretnego rysunku (trzeba przejść na *Widok normalny*) i przy wciśniętym lewym klawiszu myszy uzyskujemy możliwość przesunięcia rysunku.

UWAGA: Aby móc dokładnie umieścić rysunek na żądanym miejscu, należy wykonać operację przesuwania z wciśniętym klawiszem **CTRL**.

- **Cofnij, powtórz** (menu *Edycja*) - są to opcje umożliwiające cofnięcie i przywrócenie ostatnio wykonanej czynności. Pamiętać należy jednak, że konsekwencją ich działania jest utrata możliwości wykonania np. skalowania elementów rysunku (viewport), czy wstawienia zbiorczej tabeli zbrojenia
- **Wytnij, wklej** (menu *Edycja*) - są to standardowe opcje działające w odniesieniu do całego rysunku. Dzięki ich zastosowaniu mamy możliwość wycięcia dowolnego rysunku i wstawienia go w inne miejsce - na inną stronę. Operacja ta jest szczególnie przydatna podczas aranżacji rysunków na większym formacie, kiedy liczba stron jest większa od 1
- **Rysunek** (menu *Wstaw*) - w przypadku wcześniejszego zapisu rysunku jako składnika projektu, dzięki tej opcji mamy możliwość przywołania i wstawienia rysunku bądź ich listę. Pamiętać należy jednak, że po wstawieniu zapisanego wcześniej rysunku nie ma możliwości wykonania dla niego skalowania, ani też nie będzie uwzględniony przy tworzeniu zbiorczej tabeli zbrojenia
- **Nową stronę** (menu *Wstaw*) - wywołanie tej opcji wstawia nową, pustą stronę o formacie zgodnym z ustawieniami **Układu strony**
- **Tabelkę** (menu *Wstaw*) - wywołanie tej opcji powoduje wstawienie tabeli dla rysunków o większym formacie. Załączona w programie tabelka (plik w katalogu *USR: default.lay*) jest przykładową i możliwa jest jej modyfikacja bądź utworzenie nowej przy pomocy programu *Pl0Edit*
- **Zbiorczą tabelę zbrojenia** (menu *Wstaw*) - opcja, która powinna być wywoływana po zakończeniu zmian aranżacji rysunków na dużym formacie. Jej działanie polega na utworzeniu zbiorczej tabeli zbrojenia odnoszącej się do aktywnych rysunków. W trakcie tworzenia tabeli wykonywana jest automatycznie renumeracja wszystkich pozycji zbrojenia na rysunkach.


WYDRUK NA DUŻYM FORMACIE

W przypadku gdy dysponujemy drukarką, która nie obsługuje pewnych formatów, wówczas w oknie dialogowym **Układ strony** widoczne będą formaty, które są obsługiwane przez aktualnie podpiętą drukarkę. Pozostałe formaty (nieobsługiwane przez urządzenie wyjścia) będą wyświetlane, a ich opis będzie

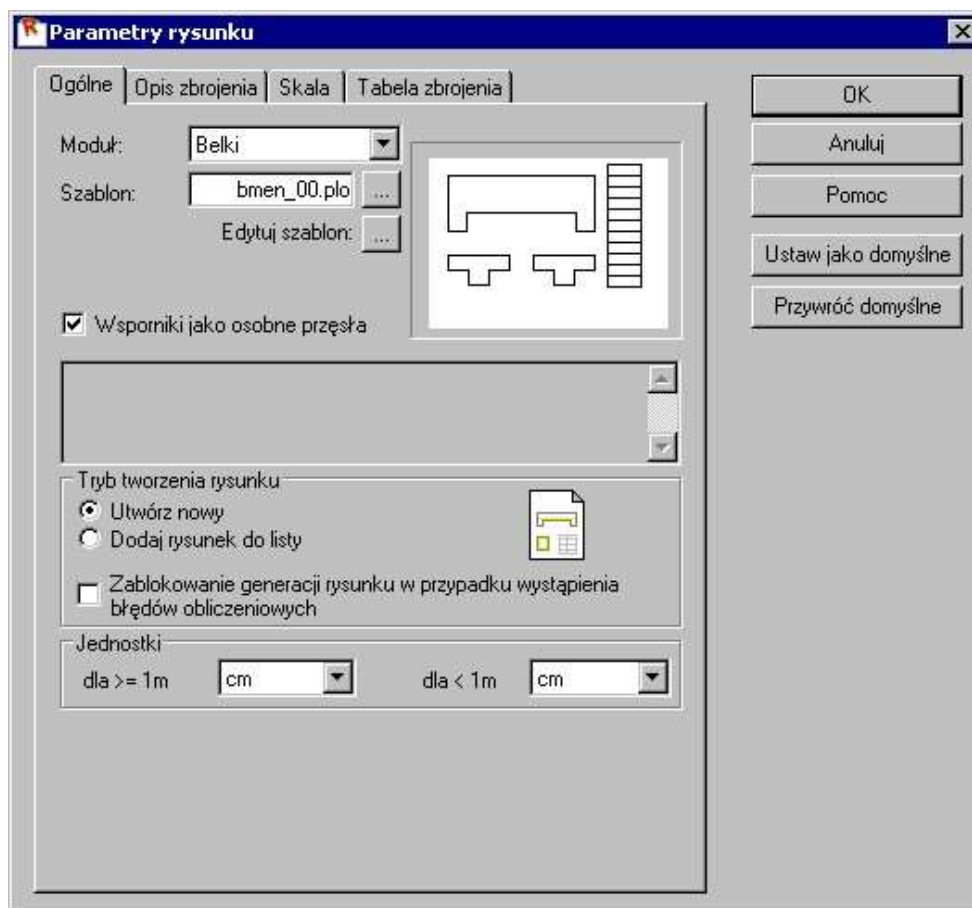
wyświetlany szarą czcionką. Dla 'szarego' formatu możliwa jest aranżacja rysunków, lecz podgląd i wydruk będzie poprzedzony stosownym komunikatem: 'Wybrany format nie jest obsługiwany przez aktywną drukarkę'.

W przypadku instalacji sterowników do drukarki, która fizycznie nie jest podłączona do komputera, dostępne formaty pochodzące z zainstalowanego urządzenia wyjścia będą opisane kolorem czerwonym. Podgląd jak i wydruk będzie również poprzedzony stosownym komunikatem.

Rysunki wykonawcze prezentowane są na ekranie zgodnie z parametrami przyjętymi w oknie dialogowym **Parametry rysunku**. Opcja ta służy do wyboru parametrów wyświetlania, prezentacji rysunków i szczegółów rysunkowych dla elementów konstrukcji żelbetowych. Opcja może zostać uruchomiona poprzez:

- naciśnięcie ikony *Parametry rysunku* 
- wybranie komendy *Analiza / Parametry rysunku* z menu.

Opcje znajdujące się w oknie dialogowym służą do parametryzacji wyświetlania i prezentacji określonych fragmentów rysunku oraz sposobu zachowania się rysunków. Okno dialogowe składa się z czterech zakładek: *Ogólne*, *Opis zbrojenia*, *Skala* i *Tabela zbrojenia*.



W powyższym oknie dialogowym wybrany może zostać ogólny szablon rysunkowy. Pierwsze litery nazw standardowych szablonów dostarczanych z programem oznaczają: **bm** - belki/ławy fundamentowe **bc** - słupy **bf** - fundamenty **bs** - płyty **bw** - belki-ściany.

Wszystkie standardowe szablony znajdują się w katalogu *CFG* instalacji programu **Robot** i mają rozszerzenie *.plo. Aby dokonać zmian w istniejącym szablonie rysunkowym lub utworzyć nowy szablon, należy nacisnąć

klawisz (...), znajdujący się w linii *Edytuj szablon*. Powoduje to uruchomienie programu PLOEDIT, będącego edytorem szablonów rysunkowych. Program ten jest instalowany podczas instalacji programu **Robot**.

Po wybraniu szablonu dla modułu służącego do wymiarowania elementów konstrukcji żelbetowych w prawej części okna dialogowego prezentowany jest podgląd szablonu. Poza wyborem szablonu na tej zakładce istnieje również możliwość ustawienia trybu (sposobu) tworzenia rysunku.

Wybranie pierwszego trybu (*Utwórz nowy*) powoduje, że po wywołaniu rysunku będzie widoczny tylko rysunek danego elementu betonowego lub listy elementów. Każde ponowne wywołanie rysunku będzie usuwało poprzedni rysunek.

Wybranie opcji *Dodaj rysunek do listy* zmienia działanie i zachowanie się rysunków. Wybranie tej opcji powoduje, że wywołany rysunek nie będzie usuwany po ponownym wywołaniu nowego, ale zostanie dołączony do wspólnej listy. Opcja ta została stworzona z myślą tworzenia (komponowania) rysunków dla różnych elementów (belki ze słupami itd.) i ich aranżacji na wspólnym większym arkuszu.

Na zakładce *Opis zbrojenia* określony może zostać sposób opisu elementów zbrojenia. Poza włączonym na stałe numerem pozycji zbrojenia możliwe jest wyświetlenie na rysunku:

- *Liczby prętów i średnicy zbrojenia* - wyświetlona zostaje wraz z numerem pozycji zbrojenia liczba identycznych prętów wraz ze średnicą
- *Długości pręta* - jeżeli ta opcja jest włączona, to wyświetlane zostaną informacje o całkowitej długości oznaczonego elementu zbrojenia
- *Rozstawu zbrojenia* - w przypadku belek rozstaw dotyczy jedynie zbrojenia zsiwywającego; dla słupów rozstaw jest prezentowany w odniesieniu do strzemion w środkowej części słupa; dla fundamentów opis rozstawów zbrojenia odnosi się do zbrojenia głównego fundamentu; dla belek-ścian i płyt opis rozstawów odnosi się do każdego elementu zbrojenia w postaci pręta
- Opcja *Opis zbrojenia podłużnego na przekroju* została stworzona w głównej mierze dla belek. W przypadku słupów i belek-ścian na przekroju wyświetlane są zawsze opisy zbrojenia podłużnego; Dla stóp i płyt opcja ta nie ma zastosowania.

Przy pomocy opcji znajdujących się na zakładce *Skala* istnieje możliwość wymuszenia w jaki sposób mają być skalowane poszczególne składniki rysunku:

- włączenie opcji *Jednakowa skala dla wszystkich stron* wymusza zachowanie takiej samej skali dla całości stron rysunku jednego elementu; przykładowo dla belki zawierającej kilka pręseł prezentowanych każde pręseło na osobnej stronie zastosowanie tej opcji powoduje zachowanie jednakowego skalowania na wszystkich stronach rysunku danej belki
- włączenie opcji *Jednakowa skala dla elewacji i przekroju* powoduje rysowanie przekroju elementu oraz jego widoku w identycznej skali
- włączenie opcji *Jednakowa skala w obydwu kierunkach na elewacji* powoduje, że widok elementu nie będzie skalowany po długości i wysokości w dwóch różnych skalach
- włączenie opcji *Skala użytkownika* pozwala na ustawienie skali rysunków użytkownika (widoków i przekrojów) przed generacją rysunku (dotychczas rysunki generowały się według własnych ustawień i konieczna była ręczna modyfikacja skali dla każdego widoku / przekroju); po włączeniu tej opcji dostępne stają się następujące opcje:

Skala elewacji - lista umożliwiająca wybór skali dla widoku elewacyjnego

Skala przekroju - lista umożliwiająca wybór skali dla widoku przekroju poprzecznego

Dopasuj - opcja dostępna dla obydwu powyższych opcji; po jej włączeniu skala dopasowana jest do rozmiarów widoku i obiektu

Notacja 1:n - umożliwia podanie skali jako 1:n (zapis standardowy np : 1:50)

Notacja n cm = 1 m - umożliwia podanie skali jako w relacji: ile cm na rysunku stanowi 1 m obiektu.

Opcje znajdujące się na zakładce *Tabela zbrojenia* służą do parametryzacji wyświetlania w zbiorczej tabeli zbrojenia umożliwiając dodanie lub usunięcie odpowiedniej kolumny tabeli. W dolnej części tej zakładki znajduje się grupa opcji, które odnoszą się do grupowania prętów zbrojeniowych. Podczas grupowania wykorzystywane są następujące cechy pręta: typ stali, średnica, geometria, kod kształtu.

6.3. Wymiarowanie prętów żelbetowych

Moduły **Belki**, **Słupy** i **Fundamenty** opisane w poprzednich rozdziałach i znajdujące się do tej pory w programie **Robot** umożliwiają wyznaczenie potrzebnej powierzchni zbrojenia i rozmieszczenie prętów zbrojeniowych w przekroju elementu konstrukcji żelbetowej.


Moduł **Pręty - zbrojenie teoretyczne (Wymiarowanie prętów żelbetowych)** pozwala na obliczenie teoretycznej powierzchni zbrojenia dla wybranych prętów. Opcja dostępna jest po wybraniu:

- ekranu **PRĘTY - ZBROJENIE TEORETYCZNE** znajdującej się w grupie ekranów **WYMIAROWANIE**
- komendy *Analiza / Wymiarowanie elementów żelbetowych / Wymiarowanie prętów żelbetowych / Obliczenia* znajdującej się w menu.

Moduł dostępny jest w aktualnej wersji programu dla następujących norm:

- polska norma PN-84/B-03264
- polska norma PN-B-03264 (2002)
- Eurocode 2 ENV 1992-1-1: 1991
- Eurocode 2 ENV 1992-1-1: 1991 (francuski NAD)
- Eurocode 2 ENV 1992-1-1: 1991 (belgijski NAD)
- Eurocode 2 ENV 1992-1-1: 1991 (holenderski NAD)
- Eurocode 2 ENV 1992-1-1: 1991 (włoski NAD)
- Eurocode 2 ENV 1992-1-1: 1991 (niemiecki NAD)
- Eurocode 2 ENV 1992-1-1: 1991 (fiński NAD)
- francuskie normy BAEL91 i BAEL 91 mod. 99
- brytyjska norma BS 8110
- amerykańskie normy: ACI 318/99 i ACI 318/02
- kanadyjska norma CSA A23.3-94
- holenderska norma NEN 6720: 1995/A3:2004
- hiszpańskie normy EH91, EHE98
- rosyjska norma SNiP 2.03.01-84
- rumuńska norma STAS 10107/0-90
- norweska norma NS 3473: 2004
- włoska norma DM 9/1/96
- singapurska norma CP65
- chińska norma GB 50010-2002
- japońska norma AIJ 1985.


Podstawowym elementem w obliczeniach w module **Pręty - zbrojenie teoretyczne** jest PRĘT. Z reguły jest to element konstrukcyjny o określonym typie taki jak belka żelbetowa czy słup żelbetowy. Określenie typu pręta pozwala we właściwy sposób obliczyć zbrojenie teoretyczne z uwzględnieniem odpowiednich wymagań normowych. W niektórych przypadkach pręt można zdefiniować jako ciąg kilku po sobie następujących prętów wprowadzonych w trakcie definicji konstrukcji. Do definiowania typu pręta żelbetowego w konstrukcji służy opcja, która dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Geometria / Parametry normowe / Typ pręta betonowego*
- z paska narzędziowego poprzez naciśnięcie ikony .

Proces definiowania typu pręta w konstrukcji jest identyczny jak sposób definiowania innych atrybutów konstrukcji. Typ pręta żelbetowego zależy od wyboru normy żelbetowej, która wykorzystywana jest do wymiarowania prętów konstrukcji. Podczas pracy z daną normą jest możliwość edycji i wykorzystania jedynie prętów zdefiniowanych według tej normy. Wygląd okna dialogowego służącego definicji typu pręta żelbetowego zależy również od rodzaju pręta; inaczej wygląda podczas definicji parametrów typu belki betonowej, a inaczej przy definicji parametrów typu słupa betonowego. Belki żelbetowe mogą być wymiarowane z uwagi na wybrany zestaw sił: - siłę osiową N_x
- moment zginający i siłę poprzeczną M_y / F_z -
moment zginający i siłę poprzeczną M_z / F_y -
moment skręcający M_x .

W obecnej wersji programu istnieje możliwość definicji i wymiarowania belek żelbetonowych współpracujących z płytami (belki z płytą współpracującą można definiować dla dwóch typów konstrukcji: Powłoka 3D i Płyta).

Przed rozpoczęciem obliczeń powierzchni zbrojenia dla prętów należy określić jeszcze parametry obliczeniowe. Opcja dostępna jest:

- z menu poprzez wybranie komendy *Analiza / Wymiarowanie elementów żelbetonowych / Wymiarowanie prętów żelbetonowych / Parametry obliczeniowe*
- na ekranie **WYMIAROWANIE/ PRĘTY - ZBROJENIE TEORETYCZNE**, z paska narzędziowego poprzez naciśnięcie ikony .

Proces definiowania parametrów obliczeniowych dla prętów konstrukcji jest identyczny jak sposób definiowania innych atrybutów konstrukcji. Po naciśnięciu ikony *Nowy zestaw parametrów obliczeniowych* w oknie dialogowym **Parametry obliczeniowe** na ekranie pojawia się okno dialogowe, które składa się z trzech zakładek:

- *Ogólne*
- *Zbrojenie podłużne* • *Zbrojenie poprzeczne.*



W powyższym oknie dialogowym (przykładowo pokazano okno dialogowe dla polskiej normy) zostały zgrupowane parametry potrzebne do wymiarowania elementu żelbetonowego, które nie są związane z jego geometrią, takie jak: charakterystyki stali i betonu, typy użytych prętów, otuliny, itp. Włączenie opcji *Konstrukcje o specjalnym znaczeniu* powoduje, że wartości współczynników α_{cc} i α_{ct} są przyjmowane jak dla elementów konstrukcyjnych o wyjątkowym znaczeniu (patrz punkt 2.1.2 normy polskiej normy). Pozostałe parametry normowe, zależne od geometrii, definiowane są w oknie dialogowym **Typ pręta żelbetonowego**. Zawartość poszczególnych zakładek okna dialogowego **Definicja parametrów obliczeniowych** zależy od wybranej normy żelbetowej.

W oknie dialogowym pokazanym na powyższym rysunku na zakładce *Ogólne* znajdują się dwa zasadnicze pola: wyróżnione ramką parametry betonu oraz dodatkowe parametry wymagane w obliczeniach. Na zakładce *Zbrojenie podłużne* określone mogą zostać: parametry stali, typy prętów zbrojeniowych i otulinę (do

krawędzi lub osi zbrojenia dolnego). Na zakładce *Zbrojenie poprzeczne* określone mogą zostać: parametry stali dla zbrojenia poprzecznego, typ zbrojenia i jego parametry.

Rozpoczęcie obliczeń zbrojenia teoretycznego dla prętów żelbetowych powoduje otwarcie okna dialogowego przedstawionego na poniższym rysunku.



W trakcie tworzenia modelu konstrukcji użytkownik definiuje geometryczne parametry belek i słupów żelbetowych (parametry wybozeniowe, dopuszczalne wartości ugięć i przesuwów końców). Parametry normowe elementów konstrukcji żelbetowej (parametry stali i betonu, typy prętów zbrojeniowych) definiowane są w oknie dialogowym **Parametry obliczeniowe**. W powyższym oknie dialogowym znajdują się następujące opcje:

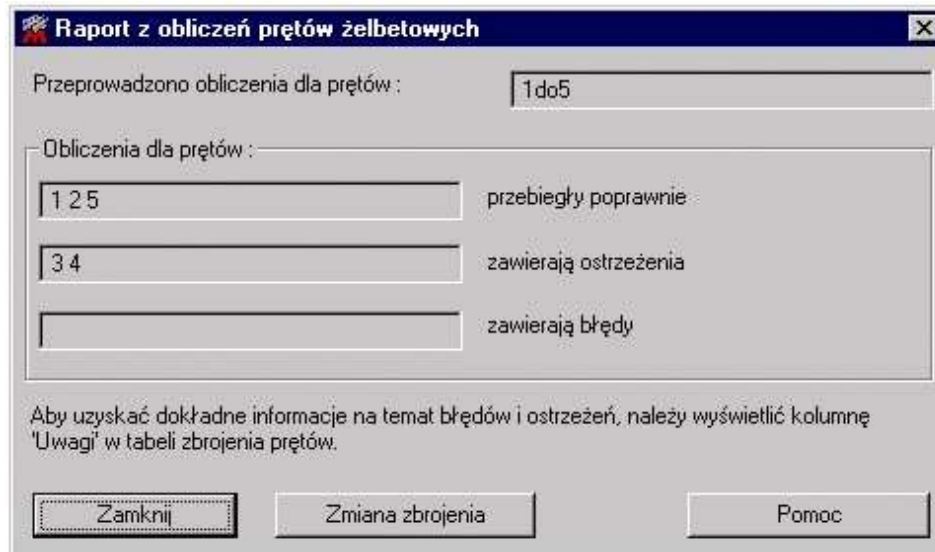
- w polu *Rodzaj obliczeń*:
 - Wymiarowanie
 - Sprawdzanie nośności (opcja obecnie niedostępna)
- w polu *Obliczenia dla* elementybrane pod uwagę w obliczeniach:
 - pręty
 - grupy prętów (opcja obecnie nie dostępna)

Listy elementów branych pod uwagę podczas obliczeń można definiować na trzy sposoby:

- ręcznie wpisując numery prętów w odpowiednim polu edycyjnym
- uruchomić okno dialogowe selekcji klawiszem '...' - wskazując elementy na ekranie z widokiem konstrukcji
- Przypadki wymiarujące:
 - kombinacje normowe
 - listy przypadków dla każdego z analizowanych stanów granicznych
 Zestaw aktywnych pól jest różny dla różnych norm. Pola wyboru kombinacji normowych są aktywne jedynie wtedy, gdy kombinacje takie zostały wcześniej utworzone i policzone. Lista przypadków może być wpisana w odpowiednim polu edycyjnym lub w oknie dialogowym **Selekcja** uruchamianym klawiszem '...'
- liczba punktów obliczeniowych dla belek; może być ona definiowana na dwa sposoby:
 - poprzez określenie liczby punktów obliczeniowych na długości belki (min. = 3, maks. = 100) podając co jaką jednostkę długości należy prowadzić obliczenia; jako punkt początkowy jest przyjmowany punkt wynikający z opcji przyjętych w oknie dialogowym **Definicja belki żelbetowej**.

Wyniki obliczeń teoretycznych powierzchni zbrojenia dla prętów żelbetowych dostępne są w formie tabelarycznej; można również przedstawiać wyniki w postaci wykresów na długości prętów (patrz rozdział 5.1).

Po zakończeniu procesu wymiarowania prętów żelbetowych na ekranie wyświetlane jest okno dialogowe **Raport z obliczeń dla prętów żelbetowych** pokazane na poniższym rysunku.



W powyższym oknie dialogowym przedstawiane są następujące informacje:

- lista wymiarowanych prętów żelbetowych
- lista prętów, dla których obliczenia przebiegły poprawnie
- lista prętów, dla których w trakcie obliczeń pojawiły się ostrzeżenia
- lista prętów, dla których wystąpił błąd w obliczeniach • uwagi dodatkowe.

W polu *Przeprowadzono obliczenia dla prętów*: podawane są numery prętów żelbetowych, które były wymiarowane; muszą to być pręty typu belka lub słup żelbetowy, gdyż jedynie dla takich elementów wyznaczana może być teoretyczna powierzchnia zbrojenia w prętach żelbetowych.

Trzy kolejne pola dostępne w oknie dialogowym przedstawiają skrótową informację na temat przebiegu obliczeń prętów żelbetowych. Grupują one pręty, dla których obliczenia zostały zakończone z takim samym wynikiem:

- pierwsze pole *Obliczenia przebiegły poprawnie* zawiera numery pręty, dla których nie wystąpiły ostrzeżenia lub błędy w trakcie wymiarowania
- drugie pole *Obliczenia zawierają ostrzeżenia* grupuje pręty, dla których wystąpiły ostrzeżenia w trakcie obliczeń prętów żelbetowych. Należy zauważyć, że w tym oknie dialogowym ostrzeżenie jest traktowane bardziej ogólnie niż w tabeli wyników dla prętów żelbetowych. Ostrzeżeniem jest więc zarówno przekroczenie maksymalnego stopnia zbrojenia (w tabeli przedstawiane jest na czerwono - nie są spełnione wymagania normowe), jak również informacja o zastosowaniu maksymalnego dopuszczalnego rozstawu strzemion (w tabeli pojawia się jedynie komunikat informacyjny w kolumnie *Uwagi*).
- trzecie pole *Obliczenia zawierają błędy* grupuje pręty, dla których wystąpiły błędy w trakcie obliczeń prętów żelbetowych; dla tych prętów obliczenia nie zostały przeprowadzone. W tabeli wyników pręty takie są oznaczone poprzez wpisanie słowa: *błąd*. Błędy w trakcie obliczeń mogą być wynikiem:
 - błędnej definicji pręta; może istnieć niespójność następujących danych: przekroju, typu pręta oraz parametrów zbrojenia. Wszystkie dane powinny być związane z jedną normą i parametrami opisującymi pręt żelbetowy. Niedopuszczalne jest mieszanie profili z nie odpowiadającymi im typami prętów w tym również profili o takiej samej geometrii

- wymaganiami normowymi, które uniemożliwiają obliczenia (przekroczenie dopuszczalnej smukłości, maksymalnej siły ścinającej lub momentu).

Jeżeli wystąpiły błędy lub ostrzeżenia w trakcie obliczeń prętów żelbetowych, to w dolnej części okna dialogowego pojawia się komunikat informujący użytkownika, w jaki sposób można uzyskać informacje na temat występujących błędów lub ostrzeżeń.

Jeżeli co najmniej jeden z elementów wymiarowanych był belką zginaną względem osi Z lub belką zginaną dwukierunkowo, to w dolnej części okna dialogowego pojawi się również komunikat informujący o prezentacji w tabeli wyników dla takich elementów.

W dolnej części okna dialogowego może się znajdować klawisz **Zmiana zbrojenia**. Jest on dostępny w sytuacji, gdy obliczenia zbrojenia prętów żelbetowych były prowadzone dla normy, w której mogą być obliczane ugięcia oraz gdy przynajmniej jeden pręt nie został zweryfikowany z uwagi na ugięcie. Po naciśnięciu tego klawisza otwierane jest okno dialogowe **Zmiana zbrojenia**. Opcja umożliwia półautomatyczną korektę obliczonego zbrojenia w elementach, dla których zostało przekroczone dopuszczalne ugięcie. W programie dostępna jest obecnie możliwość obliczania ugięcia (w stanie granicznym użytkowania) dla następujących norm żelbetowych: • polskie normy żelbetowe PN-84/B-03264 i PN-B-03264 (2002)

- Eurocode 2 (wraz z różnymi dokumentami aplikacji narodowych)
- francuskie normy żelbetowe BAEL 91 i BAEL 91 mod.99 • amerykańskie normy żelbetowe ACI 318/99 i ACI 318/02
- brytyjska norma żelbetowa BS 8110.



W górnej części okna dialogowego znajduje się tabela z zestawieniem prętów; tabela zawiera w poszczególnych kolumnach:

- numer pręta
- informację o tym, czy pręt został zweryfikowany, czy nie
- nazwę przyjętych parametrów zbrojenia

- aktualne ugięcie pręta
- ugięcie dopuszczalne
- proporcję - stosunek wartości aktualnego ugięcia do ugięcia dopuszczalnego.

W tabeli możliwa jest selekcja (multiselekcja) prętów oraz sortowanie w kolumnach.

W środkowej części okna dialogowego znajdują się opcje zgrupowane w polach *Metoda zmiany zbrojenia* i *Lista przypadków*. W polu *Metoda zmiany zbrojenia* dostępne są trzy opcje:

- *Proporcjonalne do powierzchni teoretycznej* - procent zbrojenia teoretycznego zostaje zwiększony o zadanej wartości w taki sposób, aby proporcje powierzchni górnej i dolnej były zachowane
- *Zmiana powierzchni teoretycznej* - jeżeli w danym przekroju pręta powierzchnia teoretyczna (górną lub dolną) jest różna od zera, to jest ona powiększana o zadaną wartość
- *Zmiana ilości prętów* - jeżeli w danym przekroju pręta liczba prętów (u góry lub dołu) jest różna od zera, to jest ona powiększana o zadaną liczbę prętów zbrojeniowych.

W zależności od wybranej opcji w polu edycyjnym znajdującym się poniżej należy podać:

- $dA = \dots$ [%] - przyrost procentu powierzchni teoretycznej • $dA = \dots$ [cm²] - przyrost powierzchni
- $dn = \dots$ - przyrost liczby prętów.

Wartości podawane w tym polu edycyjnym oznaczają przyrost odpowiedniej wielkości w stosunku do już istniejących wartości. Naciśnięcie klawisza **Zastosuj** powoduje przeliczenie i zapisanie odpowiednich wartości dla wybranych prętów; jeżeli wybrany był jeden pręt, to wartości dostępne w tabeli znajdującej się w dolnej części okna dialogowego zostaną uaktualnione.

W polu *Lista przypadków* prezentowana jest lista przypadków obciążeniowych (pole nie jest dostępne), które zostały wykorzystane podczas obliczeń ugięcia w stanie granicznym użytkownika.

W dolnej części okna dialogowego znajduje się tabela zawierająca informacje dotyczące powierzchni zbrojenia dla wybranej belki (jeżeli w górnej tabeli wybranych zostało kilka prętów, tabela w dolnej części okna dialogowego jest pusta). W tabeli może zostać zmieniona dowolna wartość. Tabela zawiera następujące informacje:

- pozycje na długości pręta
- zbrojenie teoretyczne górne i dolne
- liczba prętów górna i dolna • procent zbrojenia (teoretyczny)
- sztywność.

Należy tu zwrócić uwagę, że:

- podanie nowej wartości procentu zbrojenia teoretycznego powoduje wyznaczenie nowych powierzchni teoretycznych i liczby prętów
- podanie nowej wartości powierzchni teoretycznej powoduje obliczenie nowej wartości procentu zbrojenia i liczby prętów.

Obliczenia przebiegają dla powierzchni wynikających z ilości prętów. Po naciśnięciu klawisza **Weryfikuj** przeprowadzane są obliczenia dla wybranych prętów. Po obliczeniach uaktualniane są dane w tabeli. Jeżeli weryfikacja przebiegnie poprawnie, zmienia się ikona w tabeli; lista elementów z niespełnionymi warunkami jest odświeżana tylko w momencie otwarcia okna dialogowego, podczas pracy w oknie dialogowym są jedynie odpowiednio odświeżane wyniki dla istniejącej listy.

Aby dokonać zmiany zbrojenia dla prętów żelbetowych, należy:

- dokonać obliczeń zbrojenia teoretycznego dla prętów żelbetowych; po ich przeprowadzeniu na ekranie pojawia się okno dialogowe **Raport z obliczeń prętów żelbetowych**
- nacisnąć klawisz **Zmiana zbrojenia** znajdujący się w oknie dialogowym **Raport z obliczeń prętów żelbetowych**; otwierane jest okno dialogowe **Zmiana zbrojenia**
- dokonać selekcji pręta(-ów), wybrać metodę zmiany zbrojenia
- nacisnąć klawisz **Zastosuj** • nacisnąć klawisz **Weryfikuj**.

Po obliczeniach należy sprawdzić współczynniki w tabeli prezentowanej w górnej części okna dialogowego. Te operacje należy wykonywać tak długo, aby osiągnąć zamierzoną wartość ugięcia dla wszystkich prętów.

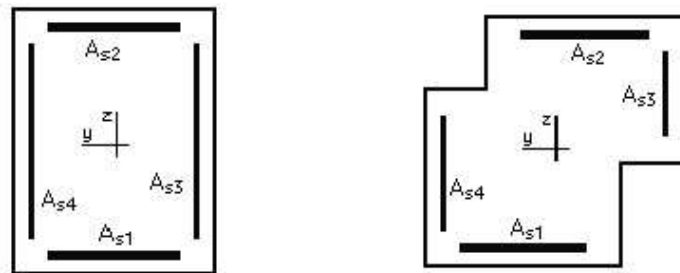
Otrzymane po obliczeniach zbrojenie teoretyczne w prętach żelbetowych jest interpretowane w następujący sposób:

1. Zbrojenie podłużne

Dla słupów dwukierunkowo zginanych o przekroju: prostokątnym, T-owym, L-owym, Z-towym powierzchnie zbrojenia należy interpretować w następujący sposób:

$A_{s1} = A_{s2} =$ Zbrojenie wzdłuż b $A_{s3} =$

$A_{s4} =$ Zbrojenie wzdłuż h



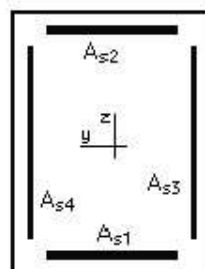
Dla słupów, których przekrój poprzeczny jest opisany przez: wielokąt foremny, okrąg, połowę okręgu lub ćwiertć okręgu powierzchnie zbrojenia należy interpretować w następujący sposób: $A_{s1} =$ Zbrojenie wzdłuż b - równomiernie rozłożone wzdłuż krawędzi



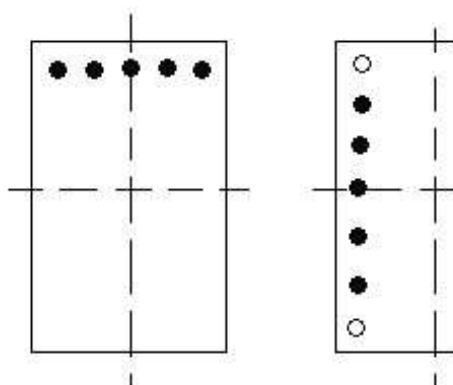
Dla belek prostokątnych dwukierunkowo zginanych:

$A_{s1} =$ Zbrojenie dolne $A_{s2} =$ Zbrojenie górne

$A_{s3} =$ Zbrojenie dolne (oś Z) $A_{s4} =$ Zbrojenie górne (oś Z)



Dla elementów zbrojonych w obu płaszczyznach wyniki należy interpretować w następujący sposób:

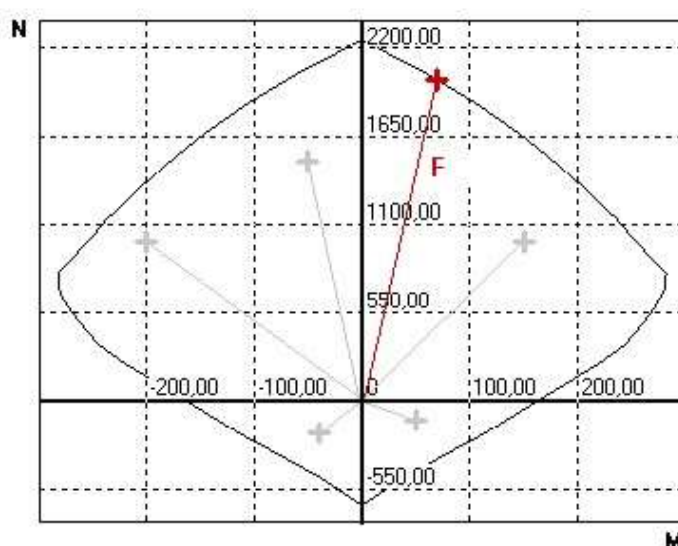


Powierzchnie traktowane są niezależnie - nie mają części wspólnych na narożach. Narożna powierzchnia zbrojenia przekroju jest przypisana do powierzchni wynikłej ze zginania w płaszczyźnie Y.

2. Zbrojenie poprzeczne:

- teoretyczny rozstaw strzemion (Rozstaw strzemion) - to wymagany w danym przekroju rozstaw zdefiniowanych strzemion
- rzeczywisty rozkład strzemion - to rozkład jaki jest przyjmowany w danej sekcji po zastosowaniu podziału elementu na N równych części (zdefiniowanych wcześniej w oknie dialogowym **Parametry obliczeniowe**) i wyliczeniu rozkładu w każdej ze stref
- Zbrojenie poprzeczne typ / rozkład przedstawia typ strzemion i ich rozkład w zdefiniowanej wcześniej w oknie dialogowym **Parametry obliczeniowe** ilości stref. Typ zbrojenia jest opisany przez ilość prętów i ich średnicę połączonych literą f lub klasą stali (w zależności od normy). Oznaczenie 5f8 (4HA8, 4T8) oznacza strzemiona czterocięte wykonane z prętów $\phi 8$. Opis rozkładu zawiera dla każdej strefy ilość sztuk strzemion i ich rozstaw połączone znakiem mnożenia, strefy łączy znak dodawania. Opis $20*4.0+10*8.0+20*4.0$ oznacza trzy strefy rozkładu strzemion: w pierwszej i trzeciej jest po 20 strzemion w rozstawie 4.0 jednostek wymiaru przekroju, a w środkowej 10 sztuk w rozstawie 8.0 jednostek wymiaru przekroju. Jednostkami obowiązującymi są jednostki według których dokonano obliczeń.

UWAGA: W tabeli rezultatów za kombinację wymiarująca uważa się taką kombinację, dla której przy wyliczonym ze wszystkich kombinacji zbrojeniu, osiągnięty zostaje największy współczynnik wyczerpania przekroju. Dla tak rozumianej kombinacji wymiarującej są przedstawiane siły przekrojowe.



Kombinacja wymiarująca pokazuje najbardziej krytyczny układ sił dla danego przekroju. Jest ona tylko jedną ze składowych obwiedni układów sił. Każdy z tych układów może jednak mieć wpływ na końcową wymaganą powierzchnię zbrojenia. Z tego też powodu kombinacja wymiarująca jako pojedyncza składowa nie może być użyta do wymiarowania całego przekroju.

WYBRANE POZYCJE LITERATURY (WYMIAROWANIE KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH)

Część ogólna

P.CHARON, *Calcul des ouvrages en beton arme*, Eyrolles, Paris 1986
V.DAVIDOVICI, *Formulaire du beton arme*, Le Moniteur, Paris 1996
J.EIBLE (ED.), *Concrete Structures Euro-Design Handbook*, Ernst & Sohn, Berlin 1994/96
J.G.MACGREGOR, *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, Prentice Hall, New Jersey 1988

EC:

A.W. Beeby, R.S.Narayanan, *Designers' Handbook to Eurocode 2 Part 1.1: Design of concrete structures*, Thomas Telford, London 1995

BAEL:

J.PERCHAT, J. ROUX, *Pratique du BAEL 91 Cours avec exercices corriges*, Eyrolles, Paris 1998
H.THONIER, *Conception et calcul des structures de batiment*, Presses de l'ecole nationale des Pny et chaussees, Paris 1992
BAEL Regles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en beton arme, suivant la methode des etats limites, Eyrolles, Paris 1992

ACI:

Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95), ACI, Farmington Hills 1995
E.G.NAWY, *Reinforced concrete: a fundamental approach*, Prentice Hall, New Jersey 1996
S.K.GHOSH, D.FANELLA, B.RABBAT (ED.), *Notes on ACI 318-95*, Portland Cement Association, Illinois 1996

BS:

Structural Use of Concrete. BS 8110, BSI, London 1998
Handbook to British Standard BS 8110:1995. Structural Use of Concrete, Palladian Publications Ltd, London 1987
CH.E.REYNOLDS, J.STEEDMAN, *Examples of the design of reinforced concrete buildings to BS8110*, E & FN Spon, London 1992
W.MOSLEY, J.BUNGEY, *Reinforced Concrete Design*, McMillan Education Ltd, London 1987
F.KONG, R.EVANS, *Reinforced and Prestressed Concrete*, Van Nostrand Reinhold (UK), Berkshire 1987

EH/EHE:

Instruccion para el proyecto y la ejecucion de obras de hormigon en masa o armado EH-91, Ministerio de Fomento, 1998
Instruccion de hormigon estructural (EHE), Ministerio de Fomento 1999
R.FERRARAS, *Manuel de hormigon armado*, Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, Madrid 1999

PN:

PN-84/B-03264 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone - Obliczenia statyczne i projektowanie, Wyd. Norm. ALFA, Warszawa 1987

PN-B-03264 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone - Obliczenia statyczne i projektowanie, PKN Warszawa 1987

K.GRABIEC, Projektowanie przekrojów w konstrukcjach z betonu, Arkady, Warszawa 1995

6.4. Wymiarowanie połączeń

Po wybraniu ekranu **POŁĄCZENIA** ekran monitora dzielony jest dwie zasadnicze części: okno **Inspektora** służące do zarządzania zdefiniowanymi połączeniami i okno graficzne z widokiem całej konstrukcji, schematem lub widokiem połączenia i wynikami obliczeń połączenia. Okno graficzne składa się z kilku zakładek:

- *Schemat* (schematyczny rysunek połączenia)
- *Widok 3D* (widok 3D zdefiniowanego połączenia z możliwością obrotów, powiększania, przesuwania)
- *Konstrukcja* (widok całej konstrukcji)
- *Rezultaty* (notka obliczeniowa z wynikami obliczeń połączenia; dostępna dopiero po wykonaniu obliczeń).

Zakładka *Połączenia Stalowe* okna **Inspektora** służy do definiowania, przeglądania i edycji obiektów związanych z wymiarowaniem połączeń stalowych. W bloku właściwości w dolnej części okna dialogowego możliwa będzie edycja atrybutów dla wybranych obiektów. Zakładka jest dostępna na ekranie **Połączenia stalowe**.



Zakładka *Połączenia Stalowe Inspektora* ma postać podobną do zakładki *Inspektor obiektów* (patrz opis w rozdziale 2.2.2).



W górnej części okna dialogowego wyświetlana jest lista zdefiniowanych połączeń; dla każdego połączenia prezentowane są następujące informacje:

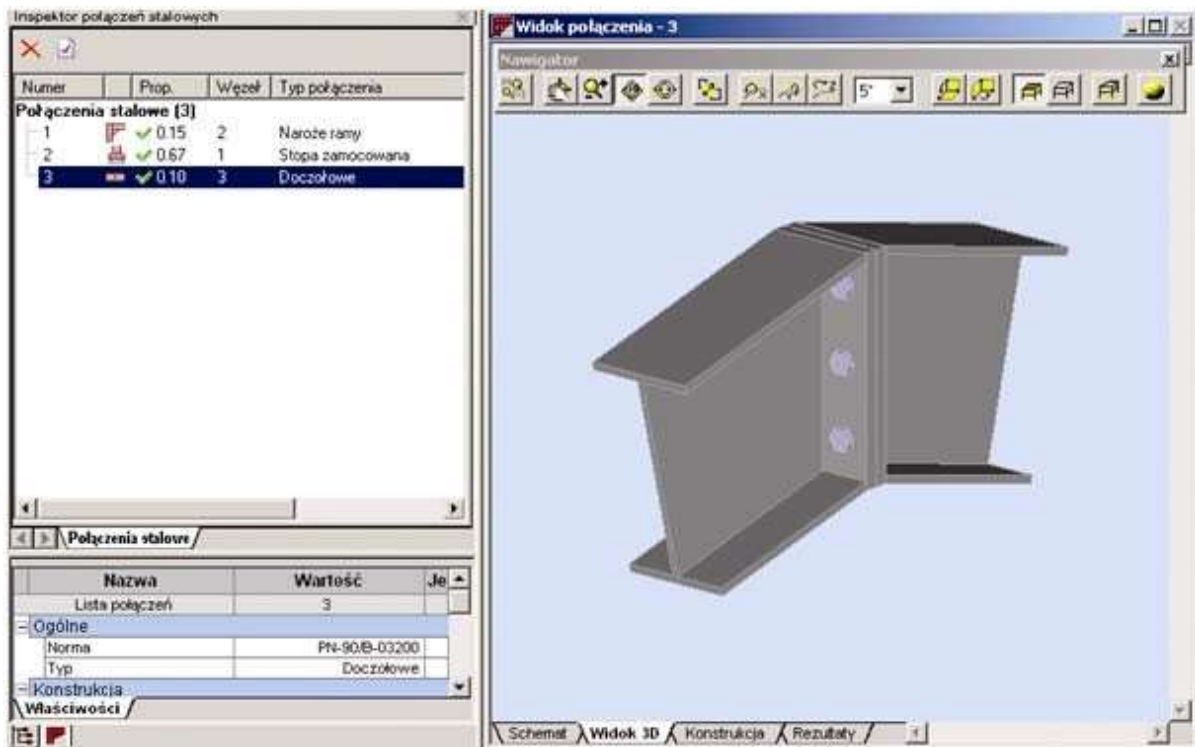
- numer połączenia z typem połączenia (ikona)
- wartość wyteżenia - nazwa połączenia.

W górnej części okna dialogowego znajdują się następujące ikony:









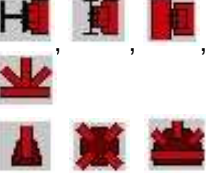
- naciśnięcie  ikony pozwala na usunięcie wybranego połączenia
- naciśnięcie  ikony pozwala na definicję parametrów wybranego połączenia.

Wymiarowanie połączeń elementów konstrukcji stalowych w systemie **Robot** może być przeprowadzone obecnie zgodnie z wymogami trzech norm stalowych:

- polska norma PN-90/B-03200 (niektóre typy połączeń)
- francuska norma CM66
- Eurocode 3 (ENV 1993-1-1:1992 oraz EN 1993-1-8:2005).



W systemie **Robot** dostępne są następujące typy połączeń:

-  połączenie doczołowe (oznaczenie w tabeli: KOL)
-  naroże ramy (oznaczenie w tabeli: KOL)
-  połączenie słup-belka (oznaczenie w tabeli: KOL)
-  połączenie belka-słup dwustronne (oznaczenie w tabeli: KOL2)
-  połączenie stopy ze słupem - utwierdzenie (oznaczenie w tabeli: UTW)
-  połączenie stopy ze słupem - przegub (oznaczenie w tabeli: PRZ)
-  połączenie stopy ze słupem - stopa zabetonowana (oznaczenie w tabeli: BET)
-  połączenie na kątowniki (oznaczenie w tabeli: KĄT)
-  połączenie rurowe (oznaczenie w tabeli: RURA)

- - połączenie z wykorzystaniem blachy węzłowej: dla pojedynczego pręta, dla węzła wewnętrznego i dla pasa kratownicy (oznaczenie w tabeli: BLA).

Dla nowej edycji normy Eurocode 3 (2005) dostępne są następujące typy połączenia doczołowego: 'belkabelka' i 'belka-słup'. Połączenia te mogą być projektowane w wariacie spawanym i śrubowym. Program dopuszcza stosowanie śrub zarówno zwykłych jak i sprężających.

Program weryfikuje wytrzymałość wszystkich komponentów połączenia [6.2], wyznacza jego sztywność [6.3] oraz sprawdza warunki zdolności połączenia do obrotu gwarantujące powstanie przegubu plastycznego [6.4].

W ogólnym przypadku wykonywana jest kontrola następujących komponentów połączenia: - panel środkika przy ścinaniu [6.2.6.1]

- środkik słupa przy ściskaniu [6.2.6.2]
- środkik słupa przy rozciąganiu [6.2.6.3]
- półka słupa przy zginaniu [6.2.6.4]
- płyta czołowa przy zginaniu [6.2.6.5]
- środkik i półka belki przy ściskaniu [6.2.6.7]
- środkik belki przy rozciąganiu [6.2.6.8]
- śruby przy rozciąganiu [3.6]
- śruby przy ścinaniu [3.6] - poślizg styku sprężającego [3.9] - spoiny [4.5.3].

Program pozwala również na zdefiniowanie i weryfikację uźebrowanej lub nieuźebrowanej stopy przegubowej i zamocowanej słupa. Dopuszcza się stosowanie trzonów słupów wykonanych z przekrojów dwuteowych, skrzynkowych lub rurowych.




Podczas weryfikacji program korzysta z następujących przepisów normowych:

- norma stalowa dla prętów EN 1993-1-1
- norma stalowa dla połączeń EN 1993-1-8
- norma betonowa EN 1992-1
- CEB (COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON) Guide, Thomas Telford 1997.



Program w trakcie analizy połączenia kontroluje nośność wszystkich składników połączenia. Są to:

1. Nośność betonu fundamentu na docisk F_{CRd} - zgodnie z EN1993-1-8 paragraf 6.2.5.(3) oraz z EN1992-1 punkt 6.7.(2)
2. Nośność kotwi przy rozciąganiu $F_{T,Rd}$ jako minimum z następujących nośności: - nośność na wyrwanie z fundamentu - zgodnie z EN 1992-1 punkt 6.4.2.(2)
- nośność na zerwanie - zgodnie z EN1993-1-8 paragraf 6.2.6.12.i Tablicą 3.4.2
- nośność na wyrwanie bloku betonu nad płytką kotwiącą - CEB Guide
- nośność na zniszczenie stożkowe betonu - CEB Guide
- nośność na rozsadzanie betonu - CEB Guide
3. Nośność kotwi na ścinanie $F_{1vb,Rd}$ i docisk do betonu $F_{2vb,Rd}$ - zgodnie z EN1993-1-8 paragraf 6.2.2 (7,8) i Tablicą 3.4
4. Nośność na wyważanie stożka betonu $F_{v,Rd,op}$ - CEB Guide
5. Nośność na zniszczenie krawędzi betonu $F_{v,Rd,c}$ - CEB Guide
6. Nośność na poślizg płyty podstawy przy ścinaniu $F_{f,Rd}$ - zgodnie z EN1993-1-8 paragraf 6.2.2 (6)
7. Nośność na docisk klina oporowego do betonu $F_{v,Rd}$ - zgodnie z EN1992-1
8. Nośność rozciąganego środkika słupa - zgodnie z EN1993-1-8 paragraf 6.2.6.3
9. Nośność ściskanej półki i środkika słupa - zgodnie z EN1993-1-8 paragraf 6.2.6.7
10. Nośność zginanej płyty podstawy w strefie rozciąganej - zgodnie z EN1993-1-8 paragraf 6.2.6.11
11. Nośność spoin między słupem i płytą podstawy oraz spoin pionowych i poziomych łączących żebra - zgodnie z EN1993-1-8 paragraf 4.5.3
12. Nośność żeber - zgodnie z EN1993-1-1 paragraf 6.2.1.

Aby rozpocząć obliczanie połączenia w konstrukcji, należy:

- na zakładce *Konstrukcja* w konstrukcji wybrać pręty tworzące połączenie (wyselekcjonowane pręty będą podświetlone w edytorze graficznym)
- nacisnąć ikonę  lub wybrać opcję *Połączenia / Nowe połączenie dla wybranych prętów* z menu. Wybranemu połączeniu automatycznie zostanie nadany odpowiedni typ (naroże ramy, połączenie doczołowe, połączenie stopy ze słupem itp.). Zdefiniowane połączenie zostanie dopisane do listy połączeń prezentowanych w oknie dialogowym **Inspektor**
- zdefiniować dla wybranego typu połączenia parametry w oknie dialogowym **Definicja połączenia**;
aby powrócić do definicji parametrów połączenia, należy nacisnąć ikonę  znajdującą się w oknie dialogowym **Inspektora**
- rozpocząć obliczenia połączenia naciskając ikonę .















Aby rozpocząć obliczanie połączenia zdefiniowanego ręcznie (wybrany typ połączenia i podane wartości sił działających w połączeniu), należy:


- na zakładce *Schemat* wybrać typ połączenia; zdefiniowane połączenie zostanie dopisane do listy połączeń prezentowanych w oknie dialogowym **Inspektor**
- zdefiniować dla wybranego typu połączenia odpowiednie parametry; w tym celu należy nacisnąć ikonę  znajdującą się w oknie dialogowym **Inspektora**
- rozpocząć obliczenia połączenia naciskając ikonę .

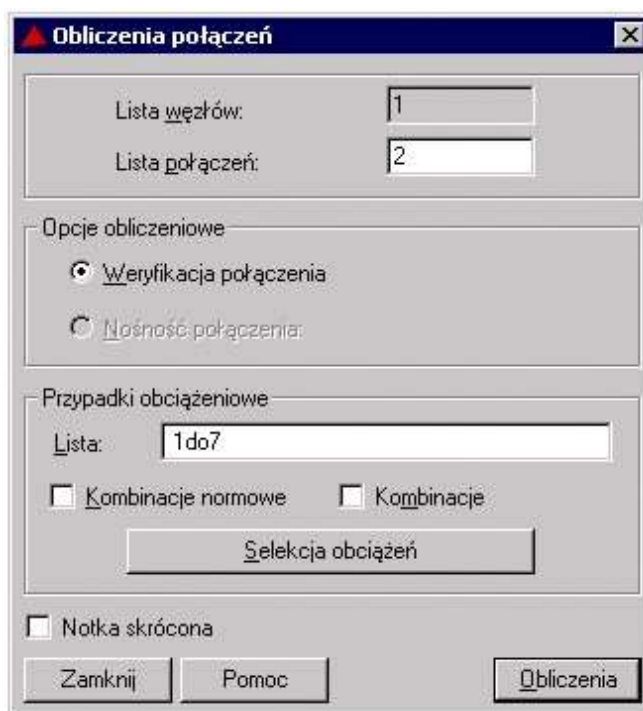
Następujące parametry mogą być zdefiniowane dla poszczególnych typów połączeń:

- naroże ramy, połączenie doczołowe i połączenie słup-belka:
 - parametry profili prętów
 - parametry stopy
 - parametry żeber
 - parametry zakotwienia –
 - parametry betonu, spoin i klina
- połączenie stopy ze słupem: – parametry profili prętów
 - parametry wzmocnienia
 - parametry śrub
 - parametry żeber i płyt
 - dla stopy zabetonowanej - zagłębienie
- połączenie na kątowniki:
 - parametry profili prętów
 - parametry kątowników
 - parametry śrub
 - wymiary wycięć, odległości itp.
- połączenie rurowe:
 - typ połączenia (jednostronne, dwustronne)
 - parametry prętów dochodzących (krzyżulców)
 - parametry wzmocnień
 - parametry spoin
- połączenie - blacha węzłowa:
 - rodzaj połączenia (spawane, na śruby) i jego parametry
 - parametry prętów itp.

UWAGA: Jeżeli zdefiniowane zostało połączenie, to istnieje możliwość zmiany typu połączenia.

- Służą temu opcje znajdujące się w pasku narzędziowym *Zmiana typu połączenia*  :
-  zmiana na stopę przegubową
 -  zmiana na stopę zamocowaną
 -  zmiana na stopę zabetonowaną
 -  zmiana na połączenie doczołowe
 -  zmiana na naroże ramy
 -  zmiana na połączenie słup-belka
 -  zmiana na połączenie słup-belka dwustronne
 -  zmiana na połączenie na kątowniki
 -  zmiana na połączenie rurowe
 -  zmiana na połączenie blachą
 -  węzłową (pojedynczy pręt) zmiana na połączenie blachą węzłową
 -  (węzeł wewnętrzny)
 -  zmiana na połączenie blachą węzłową (węzeł pasa kraty).

Po naciśnięciu ikony *Obliczenia*  znajdującej się w pasku narzędziowym lub wybraniu komendy menu *Połączenia / Obliczenia* na ekranie pojawia się pokazane na poniższym rysunku okno dialogowe.



Po wybraniu przypadków obciążeniowych (z możliwością wyboru kombinacje normowych i /lub kombinacji), które będą brane pod uwagę w obliczeniach połączenia (obecnie dostępna jest jedynie opcja *Weryfikacja połączenia*) i naciśnięciu klawisza **Obliczenia** odczytane zostaną siły wewnętrzne działające w połączeniu i zweryfikowana poprawność połączenia.

Każdy z dostępnych typów połączenia może zostać również przeliczony ręcznie. W menu należy wybrać opcję *Połączenia / Obliczenia ręczne*. Na ekranie pojawia się pokazane poniżej okno dialogowe.

The dialog box titled "Weryfikacja ręczna połączenia" has the following fields and values:



- Numer węzła: 2
- Numer połączenia: 1
- Siły wewnętrzne w połączeniu:
 - Moment zginający M: 50.00 kN*m
 - Siła poprzeczna Q: 0.00 kN
 - Siła osiowa N: 0.00 kN

Buttons: Zamknij, Obliczenia

Po wpisaniu wartości sił wewnętrznych w połączeniu wybrany typ połączenia jest weryfikowany.

UWAGA: Zawartość powyższego okna dialogowego zależy od wybranego typu połączenia.

Po zakończeniu obliczeń (weryfikacji) połączenia, w oknie dialogowym **Inspektor obiektów** na zakładce *Połączenia stalowe* prezentowane są podstawowe dane i wyniki obliczeń połączenia zdefiniowanego w konstrukcji lub weryfikacji ręcznej połączenia :

- numer połączenia
- typ połączenia: połączenie doczołowe (DOC), połączenie kolankowe (naroże ramy, połączenie belkastup lub połączenie belka-słup dwustronne) (KOL lub KOL2), stopa słupa utwierdzonego (UTW), stopa słupa przegubowego (PRZ), stopa zabetonowana (BET), połączenie na kątowniki (KAŁ), połączenie rurowe (RUR) i połączenie z wykorzystaniem blachy węzłowej (BLA)
- norma, która jest wykorzystywana podczas obliczeń połączenia
- pręty wchodzące w skład utworzonego połączenia
- węzeł, dla którego zostało utworzone połączenie
- siły działające w połączeniu
- proporcja (wytężenie) - wskaźnik określający maksymalne wytężenie w elementach połączenia (śruby, blacha, spawy itp.). Liczba określa najbardziej niekorzystny stosunek wytężenia w elemencie połączenia do nośności tego elementu połączenia. Po przeliczeniu połączenia w tej kolumnie tabeli schematycznie pokazywane jest czy połączenie jest zgodne z wymogami normy (symbol ) , czy nie spełnia wymogów normy (symbol ) .

Zdefiniowane i obliczone połączenie może być zapisane do pliku o następujących formatach: dxf, dwg, stp, wrf, anf, sat, pep.

Po zakończeniu obliczeń połączenia na ekranie pojawia się notka obliczeniowa zawierająca dane dotyczące połączenia oraz wyniki obliczeń (zakładka *Rezultaty*).

	Robot	
	Obliczenia stóp słupów utwierdzonych PN-B-03215:1998	

OGÓLNE

Węzeł konstrukcji: 3
Pręty konstrukcji: 2

GEOMETRIA

SLUP

Profil:	IPB 100		
Nr pręta:	2		
$\alpha =$	0.0	[Deg]	Kąt nachylenia
$h_s =$	100	[mm]	Wysokość przekroju słupa
$b_{fs} =$	55	[mm]	Szerokość przekroju słupa
$t_{ws} =$	4	[mm]	Grubość środnika przekroju słupa
$t_{fs} =$	6	[mm]	Grubość półki przekroju słupa
$r_s =$	7	[mm]	Promień zaokrąglenia przekroju słupa
$A_s =$	10.300	[cm ²]	Pole przekroju słupa
$I_{ys} =$	171.000	[cm ⁴]	Moment bezwładności przekroju słupa
Materiał:	STAL		
$f_{ds} =$	215.00	[MPa]	Wytrzymałość

W dolnej części ekranu znajdują się ikony, które pozwalają na:



- zapis notki w formacie HTML



- wysłanie notki w formacie HTML pocztą elektroniczną - eksport notki w formacie HTML do programu



MS Word©



- eksport notki w formacie HTML do programu MS Excel©.

W obecnej wersji programu istnieje również możliwość nadania zdefiniowanego połączenia na inne węzły konstrukcji (musi to być połączenie o podobnym typie). Aby tego dokonać, należy:

- wybrać (podświetlić) połączenie, które ma być kopiowane
- wybrać odpowiednie pręty konstrukcji
- będąc w widoku połączenia wybrać następującą opcję z menu *Połączenia / Kopiowanie połączenia dla wybranych prętów*.

Po wykonaniu tych operacji połączenie (wraz z aktualnymi parametrami) zostaje skopiowane; brane są pod uwagę profile, materiały i kąty nachylenia występujące w "nowym" połączeniu.

Dla normy Eurocode 3 (2005) dostępne są dodatkowo obliczenia sztywności dla połączeń z płytą czołową typu belka-słup i belka-belka.

UWAGA: Analiza podatności wymusza użycie algorytmu DSC; z tego powodu nie możliwe używanie analizy podatności dla konstrukcji zawierającej offsety.

W trakcie obliczeń dla zdefiniowanych połączeń określany jest typ połączenia; jest on prezentowany w notce obliczeniowej dla każdego połączenia. Ze względu na sztywność połączenia podzielono na:

- nominalnie przegubowe
- sztywne
- pół-sztywne.

Ze względu na nośność połączenia dzielą się na:

- nominalnie przegubowe
- w pełni nośne • częściowo-nośne.

UWAGA: Aby uruchomić analizę podatności, należy obliczyć najpierw połączenia (również po każdej zmianie parametrów połączenia - np. geometrii).

Analiza podatności i aktualizacja rezultatów składa się z kilku etapów:

- nadanie zwolnień sprężystych na końcach prętów konstrukcji odpowiadającym prętom w obliczonych połączeniach; dla poszczególnych prętów konstrukcji automatycznie definiowane są odpowiednie typy zwolnień; te typy będą nadpisywane przy powtórnym przeliczeniu sztywności dla tych samych węzłów
- przeliczenie konstrukcji (z uwzględnieniem nadanych zwolnień)
- powtórne obliczenia wszystkich połączeń z uwzględnieniem nowych wartości sił przekrojowych.

Poniżej przedstawione zostały rysunki prezentujące siły występujące w połączeniach stalowych oraz kierunki działania sił dla wszystkich typów połączeń dostępnych w programie **Robot**.

TYP POŁĄCZENIA

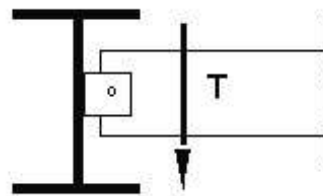
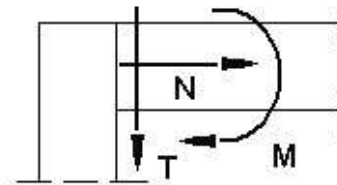
doczołowe, naroże rami, słup-belka, słup-belka dwustronne



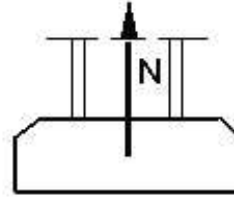
na kątowniki



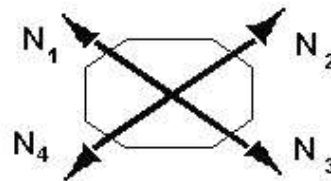
KIERUNKI DZIAŁANIA SIŁ W POŁĄCZENIU



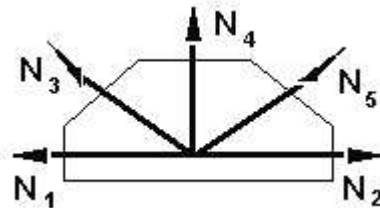
Blacha węzłowa: pojedynczy pręt



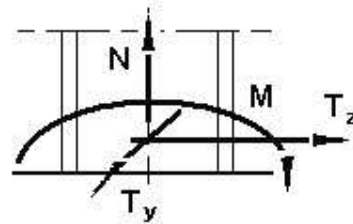
Blacha węzłowa: węzeł wewnętrzny



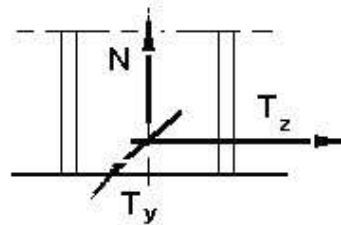
Blacha węzłowa: węzeł pasa kraty



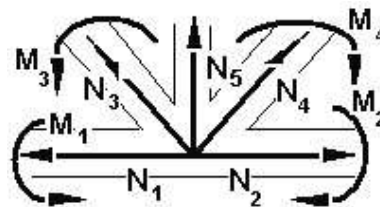
Stopa zamocowana



Stopa przegubowa



Połączenie rurowe



6.4.1. Wymiarowanie połączeń - szczegóły dla polskiej normy PN-90/B-03200

Polska norma stalowa umożliwia obecnie projektowanie połączeń doczołowych typu 'belka-belka' i 'belkastup', połączenia stopy słupa przegubowego, połączenia stopy słupa zamocowanego, połączenia stopy słupa zabetonowanej i połączenia podciąg-belka.

Połączenia doczołowe

Norma PN-90/B-03200 w tablicy 13 definiuje 3 kategorie śrubowych połączeń doczołowych (D, E i F). Połączenia kategorii D należy sprawdzać na zerwanie śrub w stanie granicznym nośności (SGN). Połączenia kategorii E powinny być kontrolowane na zerwanie śrub w stanie granicznym nośności (SGN) i na rozwarcie styku w stanie granicznym użytkowania (SGU). Połączenie kategorii F należy sprawdzać na rozwarcie styku w stanie granicznym nośności (SGN).

Do obliczeń połączeń w stanie granicznym nośności (SGN) brane są następujące obciążenia:

- przypadki proste
- kombinacje użytkownika typu SGN - kombinacje normowe typu SGN.

Do obliczeń połączeń w stanie granicznym użytkowania (SGU) brane są następujące obciążenia:

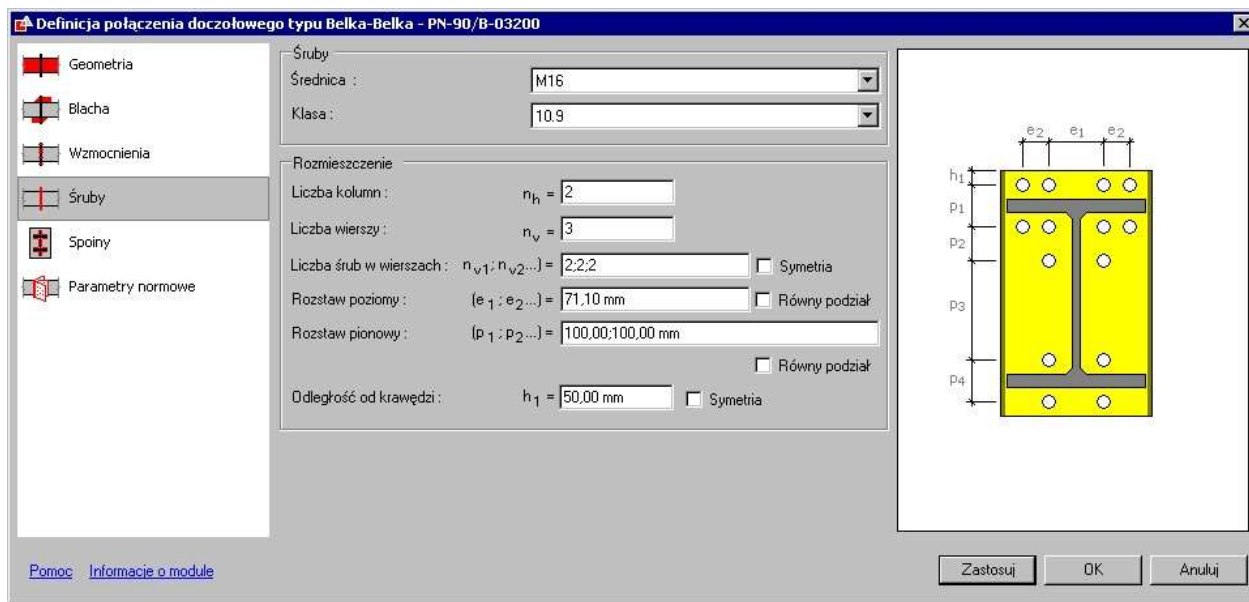
- przypadki proste
- kombinacje użytkownika typu SGU - kombinacje normowe typu SGU.

*UWAGA: Ręcznie zdefiniowany zestaw sił wewnętrznych działających na połączenie (w oknie dialogowym **Weryfikacja ręczna połączenia**) traktowany jest przez program jak przypadek prosty.*

W zależności od kategorii połączenia zdefiniowanej na zakładce *Parametry normowe* program automatycznie rozpoznaje przypadki obciążeniowe zdefiniowane w oknie dialogowym **Obliczenia połączeń** i wykonuje stosowne obliczenia. Kontrola połączenia może zostać prowadzona równocześnie ze względu na wszystkie typy przypadków obciążenia; jeżeli zatem dla połączenia kategorii E zdefiniowane zostaną zarówno przypadku typu SGN jak i SGU, to program do kontroli połączenia na zerwanie śrub weźmie automatycznie wszystkie przypadki SGN, zaś do kontroli rozwarcia styku wszystkie przypadku SGU.

W przypadku polskiej normy należy zwrócić szczególną uwagę na dwie zakładki opisane poniżej, które różnią się od zakładek dotychczas istniejących w programie.

Zakładka *Śruby*



Opcje znajdujące się na powyższej zakładce pozwalają na zdefiniowanie średnicy i klasy śrub używanych w połączeniu oraz na precyzyjne rozmieszczenie śrub w stosunku do krawędzi blachy czołowej. Liczbę wierszy i kolumn należy zdefiniować w polach *Liczba wierszy* (n_v) i *Liczba kolumn* (n_h). Możliwa jest również definicja różnych liczb śrub w poszczególnych wierszach. Pole edycyjne *Liczba śrub wierszach* $\{n_{v1}, n_{v2}, \dots\}$ zawiera listę ilości śrub w kolejnych wierszach połączenia; w programie domyślnie proponowana jest w każdym wierszu liczba śrub odpowiadająca liczbie kolumn.

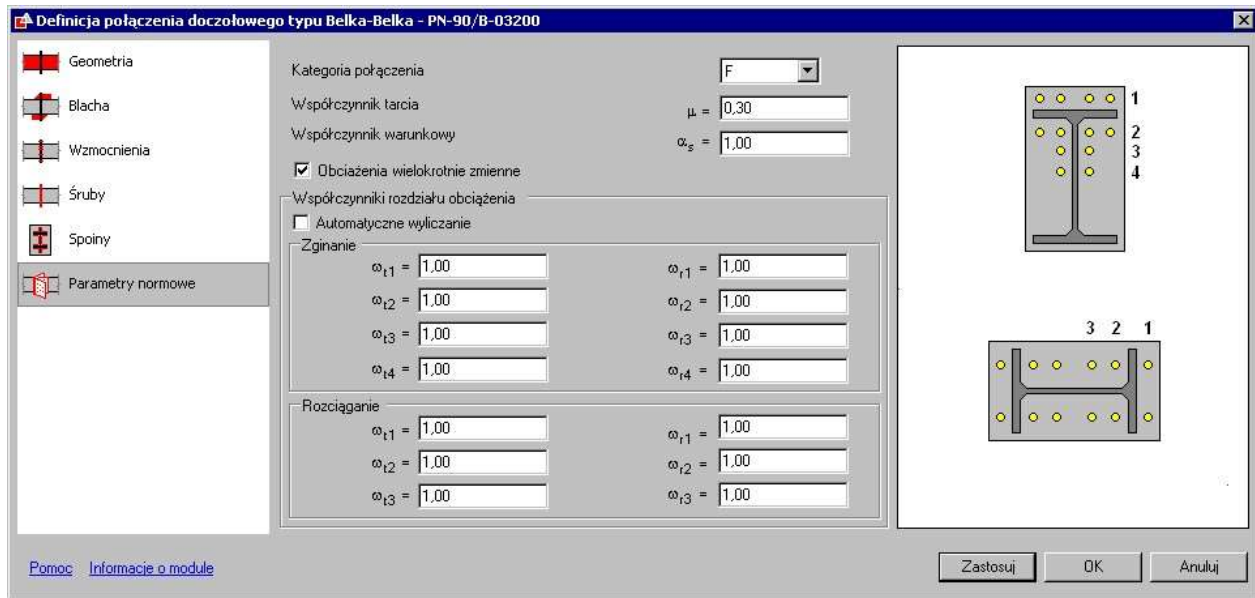
Aby zdefiniować następujący układ śrub: 4 śruby w 2 górnych wierszach, 2 śrubami w 2 kolejnych wierszach i 4 śrubami w najniższym wierszu, należy przyjąć następujące dane w polach edycyjnych: - *Liczba wierszy* (n_v): 5

- *Liczba kolumn* (n_h): 4

- *Liczba śrub wierszach* n_{v1}, n_{v2}, \dots : 4; 4; 2; 2; 4.

Pola edycyjne *Odległość od krawędzi* h_1 , *Rozstaw pionowy* i *Rozstaw poziomy* pozwalają na ustalenie położenia wierszy i kolumn względem siebie oraz górnego wiersza względem górnej krawędzi blachy czołowej. Włączenie opcji *Równy podział* powoduje, że dobrane zostaną takie same wartości dla wszystkich elementów listy (jako miarodajny brany jest zawsze pierwszy element z listy).

Zakładka *Parametry normowe*



Opcje znajdujące się na powyższej zakładce pozwalają na definicję następujących parametrów normowych:

- kategorię połączenia (D, E lub F)
- *Obciążenie wielokrotnie zmienne* - włączenie tej opcji powoduje, że program rozpatruje połączenie jako obciążone dynamicznie
- *Współczynnik tarcia* - należy zdefiniować dla połączeń kategorii F zgodnie z tabelą Z2-1
- *Współczynnik warunkowy (alfa s)* - należy dobierać zgodnie z zaleceniami podanymi w tabelicy 16
- *Współczynniki rozdziału obciążenia - Automatyczne wyliczanie* - włączenie tej opcji powoduje automatyczne dobranie wartości współczynników rozdziału dla poszczególnych wierszy śrub; dobór ten odbywa się zgodnie z zaleceniami Tabelicy 17 (zginanie) i rysunkiem 17 (rozciąganie); jeżeli opcja *Automatyczne wyliczanie* jest wyłączona, to użytkownik ma możliwość zdefiniowania własnych współczynników rozdziału obciążenia (należy pamiętać, że wartości tych współczynników powinny się mieścić w przedziale (0, 1]).

Stopa słupa przegubowego

Program pozwala na zdefiniowanie i weryfikację uźebrowanej lub nieuźebrowanej stopy przegubowej słupa. Dopuszcza się stosowanie trzonów słupów wykonanych z przekrojów dwuteowych, skrzynkowych lub rurowych.

Kontrola fundamentu pod stopą słupa (docisk do betonu), kotwi fundamentowych oraz grubości płyty podstawy prowadzona jest zgodnie z normą PN-B-03215 'Konstrukcje stalowe i projektowanie - Połączenia z fundamentami - Projektowanie i wykonanie'.

Weryfikacja spoin pachwinowych między trzonem słupa a płytą podstawy odbywa się z uwzględnieniem pełnego zestawu sił wewnętrznych zgodnie z zaleceniami normy PN-90/B-03200 'Konstrukcje stalowe - Obliczenia statyczne i projektowanie'. Nośność połączenia określa się przyjmując, że 25 % obciążenia przenoszone jest przez spoiny, a 75 % przez docisk przekroju słupa, przy czym trzon słupa powinien być ucięty maszynowo lub po ucięciu frezowany. Jeżeli czoło trzonu jest niefrezowane, to przyjmuje się, że spoiny przenoszą 75 % siły ściskającej w słupie.

W połączeniach uźebrowanych program sprawdza dodatkowo wytrzymałość każdego żebra oraz kontroluje wyężenie spoin łączących żebra z trzonem słupa (spoiny pionowe) i blachą podstawy (spoiny poziome).

Podczas weryfikacji nieuźebrowanej płyty podstawy domyślnie stosowany jest model podstawy o pełnej efektywności (model sprężysty). W takim przypadku pole powierzchni docisku jest równe polu powierzchni blachy podstawy $A_c = A_b$. Jeżeli jednak zdefiniowana grubość płyty jest niewystarczająca (momenty w płycie

przekraczają nośność sprężystą $m > m_{R,el}$), to program automatycznie rozpatruje przypadek podstawy o niepełnej efektywności (model plastyczny) wliczając zredukowane efektywne pole docisku $A_c = A_{be}$ [5.2.1-(10)].

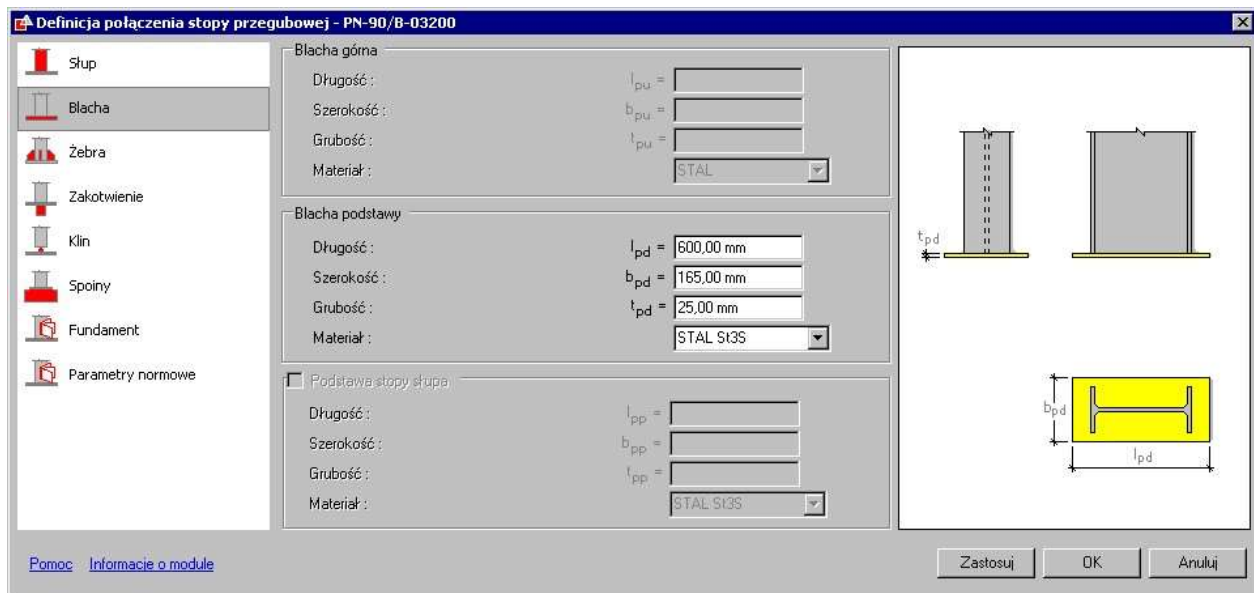
Dla stóp uźebrowanych program stosuje zawsze model sprężysty.

Okno dialogowe składa się z kilku zakładek.

Opcje znajdujące się na zakładce *Stup* pozwalają na zdefiniowanie przekroju trzonu słupa oraz materiału, z którego stupa ma być wykonany.

Wyboru typu usztywnienia blachy podstawy słupa można dokonać w polu *Uźebrowania słupa*. Wybranie któregoś z typów uźebrowania powoduje, że w oknie dialogowym pojawia się dodatkowa zakładka *Żebra* pozwalająca na definicję potrzebnych wymiarów żebra.

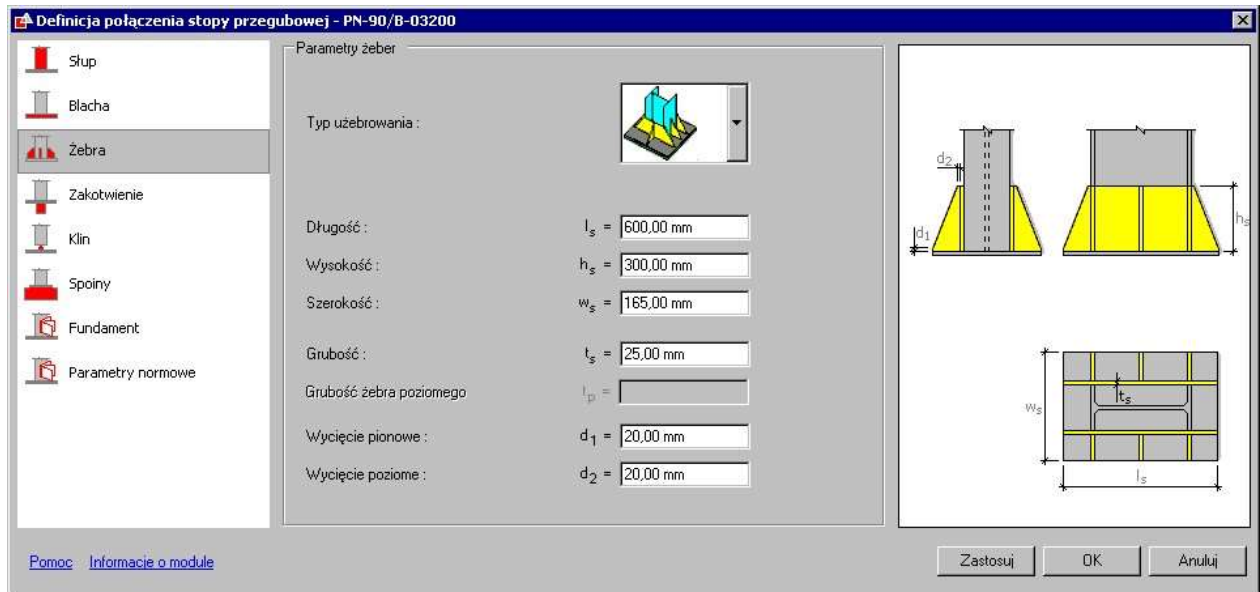
Opcje znajdujące się na zakładce *Blacha* umożliwiają definicję podstawowych parametrów geometrycznych blachy podstawy słupa jak również materiału, z którego ma zostać wykonana.



Opcje znajdujące się na zakładce *Żebra* pozwalają na definicję parametrów geometrycznych uźebrowania. W przypadku długości i szerokości żebra przyjęto uproszczony sposób definicji polegający na określeniu odległości pomiędzy końcami blachy trapezowej lub końcami współliniowo usytuowanych trójkątnych żebra.

- Długość: długość blachy trapezowej lub żebra trójkątnych leżących w płaszczyźnie równoległej do poziomej krawędzi płyty podstawy
- Wysokość: wysokość żebra
- Grubość: grubość wszystkich żebra
- Szerokość: długość żebra trójkątnych leżących w płaszczyźnie prostopadłej do poziomej krawędzi płyty podstawy.

Nie zaleca się definiowania żebra wystających poza obrys płyty podstawy.

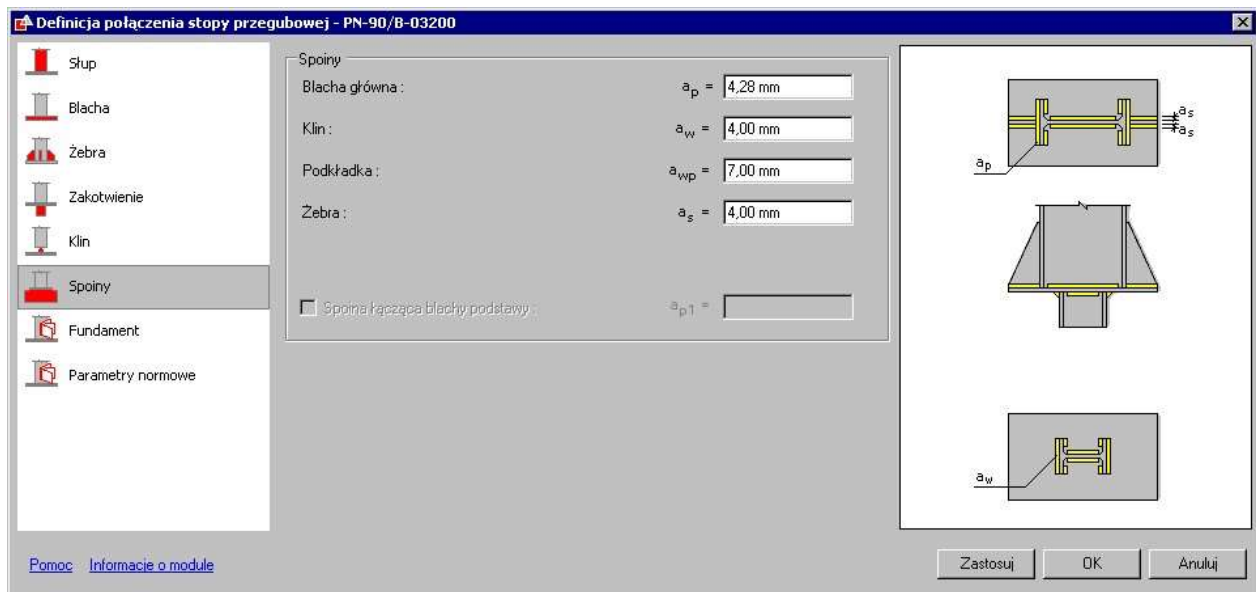


Opcje znajdujące się na zakładce *Zakotwienie* pozwalają na definicję układu i rozmieszczenia śrub kotwiących. W zależności od wybranego układu kotwi program umożliwia definicję odpowiednich odległości pomiędzy śrubami w polach *Rozstaw poziomy* i *Rozstaw pionowy*.

Dodatkowo na tej zakładce możliwa jest definicja parametrów śrub kotwiących. W polu *Typ* można wybrać jeden spośród 4 rodzajów śrub kotwiących oraz zdefiniować średnicę śruby i materiał, z którego zostanie wykonana. Pola *Wymiar* zawierają informację dotyczącą długości poszczególnych odcinków śruby (L1, L2 itd.).

Opcje znajdujące się na zakładkach *Spoiny* i *Klin* pozwalają na zdefiniowanie parametrów klina wzmacniającego pracę stopy na ścinanie. Klin może być zdefiniowany w postaci krótkiego odcinka standardowego profilu lub w postaci dwóch blach połączonych krzyżowo.

Pole *Spoiny* zawiera pola pozwalające na definicję spoin łączących poszczególne elementy stopy.



Na zakładce *Fundament* należy zdefiniować wymiary fundamentu oraz określić klasę betonu, z którego zostanie wykonany fundament. Program w trakcie obliczeń wylicza naprężenia dociskowe pod płytą podstawy i porównuje je z wytrzymałością na docisk f_b . Program domyślnie przyjmuje wytrzymałość dociskową równą 80% wytrzymałości obliczeniowej na ściskanie $f_b = 0.8 \cdot f_{cd}$. Użytkownik ma jednak możliwość zmiany zaproponowanej wytrzymałości dociskowej w polu *Wytrzymałość obl. Na docisk f_b* .

Stopa słupa zamocowanego

Program pozwala na zdefiniowanie i weryfikację uźebrowanej lub nieuźebrowanej stopy zamocowanej słupa. Dopuszcza się stosowanie trzonów słupów wykonanych z przekrojów dwuteowych, skrzynkowych lub rurowych.

Kontrola fundamentu pod stopą słupa (docisk do betonu), kotwi fundamentowych oraz grubości płyty podstawy prowadzona jest zgodnie z normą PN-B-03215 'Konstrukcje stalowe i projektowanie - Połączenia z fundamentami - Projektowanie i wykonanie'.

Obliczenia nośności połączenia mogą być prowadzone zgodnie z modelem plastycznym opisanym w punkcie 5.2.4 normy (dla dowolnego przypadku obciążenia), jak również zgodnie z modelem sprężystym zdefiniowanym w punkcie 5.2.5 (dla ściskania i zginania).

Istnieje możliwość zdefiniowania górnej płyty opartej na żebrach, do której podczepione zostaną kotwie fundamentowe. Wymiary tej płyty mogą wykraczać poza wymiary płyty podstawy. Daje to możliwość zwiększenia ramienia działania kotwi fundamentowych poza obrys płyty podstawy.

Weryfikacja spoin pachwinowych między trzonem słupa a płytą podstawy odbywa się z uwzględnieniem pełnego zestawu sił wewnętrznych zgodnie z zaleceniami normy PN-90/B-03200 'Konstrukcje stalowe - Obliczenia statyczne i projektowanie'. Nośność połączenia ściskanego określa się przyjmując, że 25 % siły ściskającej przenoszone jest przez spoiny, a 75 % przez docisk przekroju słupa, przy czym trzon słupa powinien być ucięty maszynowo lub po ucięciu frezowany. Jeżeli czoło trzonu jest niefrezowane, to przyjmuje się, że spoiny przenoszą 75 % siły ściskającej w słupie. W przypadku połączeń rozciąganych cała siła przenoszona jest przez układ spoin łączących trzon z płytą podstawy.

W połączeniach uźebrowanych program sprawdza dodatkowo wytrzymałość każdego żebra oraz kontroluje wyężenie spoin łączących żebra z trzonem słupa (spoiny pionowe) i blachą podstawy (spoiny poziome).

Podczas weryfikacji nieuźebrowanej płyty podstawy domyślnie stosowany jest model płyty podstawy o pełnej efektywności (model sprężysty). W takim przypadku pole powierzchni docisku jest równe polu powierzchni blachy podstawy $A_c = A_b$. Jeżeli jednak zdefiniowana grubość płyty jest niewystarczająca (momenty w płycie przekraczają nośność sprężystą $m > m_{R,el}$), to program automatycznie rozpatruje przypadek podstawy o niepełnej efektywności (model plastyczny) wyliczając zredukowane efektywne pole docisku $A_c = A_{be}$ [5.2.1-(10)].

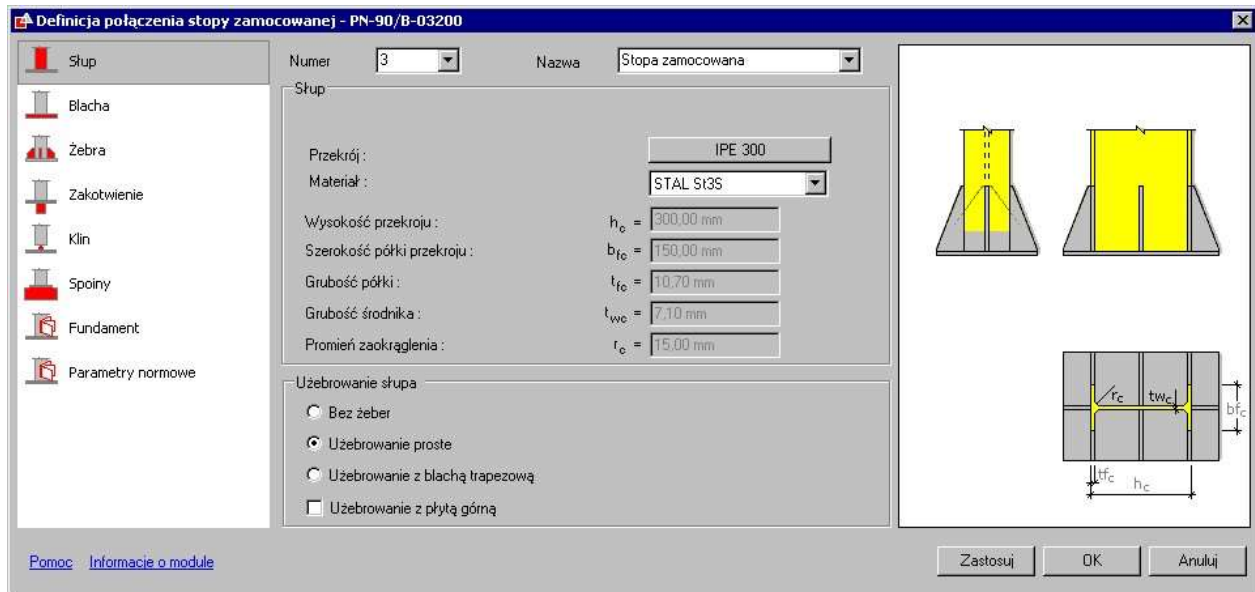
Dla stóp uźebrowanych program stosuje zawsze model sprężysty.

Okno dialogowe składa się z kilku zakładek.

Opcje znajdujące się na zakładce *Słup* pozwalają na zdefiniowanie przekroju trzonu słupa oraz materiału, z którego słup ma być wykonany.

Wyboru typu usztywnienia blachy podstawy słupa można dokonać w polu *Uźebrowania słupa*. Wybranie któregoś z typów uźebrowania powoduje, że w oknie dialogowym pojawia się dodatkowa zakładka *Żebra* pozwalająca na definicję potrzebnych wymiarów żeber.

Opcje znajdujące się na zakładce *Blacha* umożliwiają definicję podstawowych parametrów geometrycznych blachy podstawy słupa jak również materiału, z którego ma zostać wykonana.



Opcje znajdujące się na zakładce *Blacha* umożliwiają definicję podstawowych parametrów geometrycznych blachy podstawy słupa oraz płyty górnej stopy słupa; wybrany może również zostać materiał, z którego płyty mają zostać wykonane.

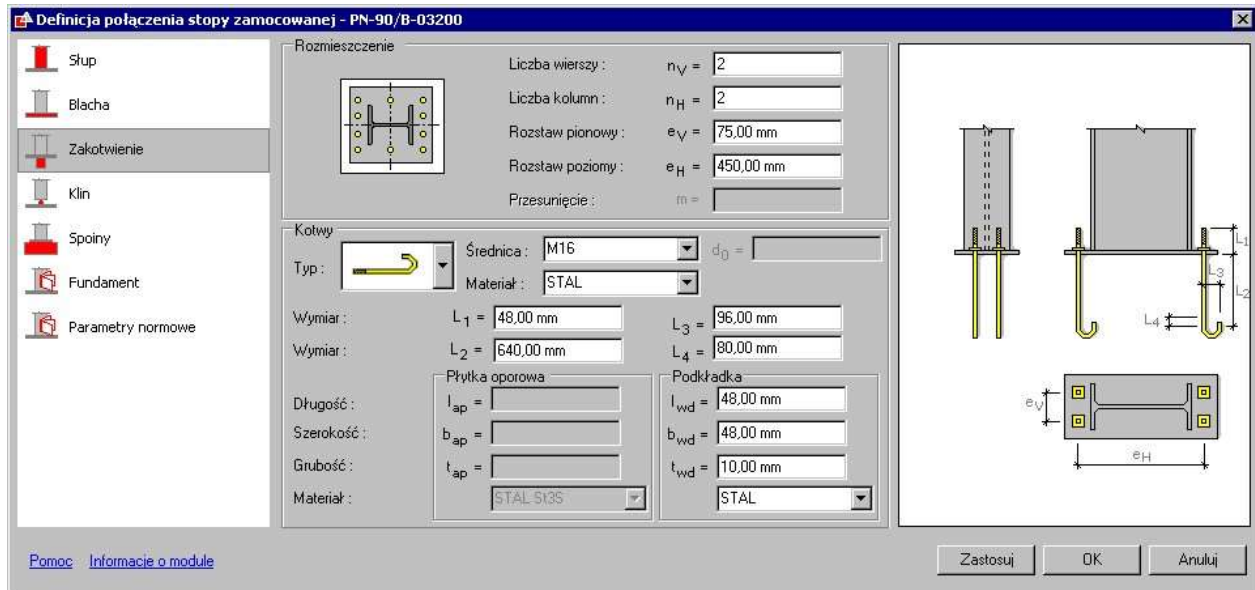
Opcje znajdujące się na zakładce *Żebra* pozwalają na definicję parametrów geometrycznych uźebrowania. Sposób uźebrowania płyty podstawy można zdefiniować wybierając odpowiednią ikonę z rozwijalnej listy *Typ uźebrowania stopy słupa*.

W przypadku długości i szerokości żeber przyjęto uproszczony sposób definicji polegający na określeniu odległości pomiędzy końcami blachy trapezowej lub końcami współliniowo usytuowanych trójkątnych żeber.

- Długość (l): długość blachy trapezowej lub żeber trójkątnych leżących w płaszczyźnie równoległej do poziomej krawędzi płyty podstawy
- Wysokość (h): wysokość żeber
- Grubość (b): grubość wszystkich żeber
- Szerokość (t): długość żeber trójkątnych leżących w płaszczyźnie prostopadłej do poziomej krawędzi płyty podstawy. Nie zaleca się definiowania żeber wystających poza obrys płyty podstawy
- Wycięcie (d1,d2): dodatkowe wymiary żeber.

Opcje znajdujące się na zakładce *Zakotwienie* pozwalają na definicję układu i rozmieszczenia śrub kotwiących. W zależności od wybranego układu kotwi program umożliwia definicję odpowiednich odległości pomiędzy śrubami w polach *Rozstaw poziomy* i *Rozstaw pionowy*.

Dodatkowo na tej zakładce możliwa jest definicja parametrów śrub kotwiących. W polu *Typ* można wybrać jeden spośród 4 rodzajów śrub kotwiących oraz zdefiniować średnicę śruby i materiał, z którego zostanie wykonana. Pola *Wymiar* zawierają informację dotyczącą długości poszczególnych odcinków śruby (L1, L2 itd.).



Opcje znajdujące się na zakładkach *Spoiny* i *Klin* pozwalają na zdefiniowanie parametrów klina wzmacniającego pracę stopy na ścinanie. Klin może być zdefiniowany w postaci krótkiego odcinka standardowego profilu lub w postaci dwóch blach połączonych krzyżowo.

Pole *Spoiny* zawiera pola pozwalające na definicję spoin łączących poszczególne elementy stopy.

Na zakładce *Fundament* należy zdefiniować wymiary fundamentu oraz określić klasę betonu, z którego zostanie wykonany fundament. Program w trakcie obliczeń wylicza naprężenia dociskowe pod płytą podstawy i porównuje je z wytrzymałością na docisk f_b . Program domyślnie przyjmuje wytrzymałość dociskową równą 80% wytrzymałości obliczeniowej na ściskanie $f_b = 0.8 \cdot f_{cd}$. Użytkownik ma jednak możliwość zmiany zaproponowanej wytrzymałości dociskowej w polu *Wytrzymałość obl. Na docisk f_b* .

Stopa słupa zabetonowanego

Program pozwala na zdefiniowanie i weryfikację stopy, w której zabetonowano słup stalowy. Dopuszcza się stosowanie trzonów słupów wykonanych z przekrojów dwuteowych, a z zakresie definicji stopy fundamentowej dopuszcza się stosowanie stóp prostokątnych, schodkowych i kielichowych.

Program sprawdza następujące warunki:

- nośność ze względu na docisk blachy podstawy słupa do betonu
- nośność ze względu na docisk powierzchni bocznej słupa do betonu - nośność ze względu na zakotwienie blachy podstawy przy sile rozciągającej - nośność ze względu na przebiecie stopy fundamentowej.

Trzy pierwsze punkty przeprowadzane są zgodnie z normą PN-B-03215 'Konstrukcje stalowe i projektowanie - Połączenia z fundamentami - Projektowanie i wykonanie', a ostatni zgodnie z normą PNB-03264:2002 'Konstrukcje betonowe żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie'.

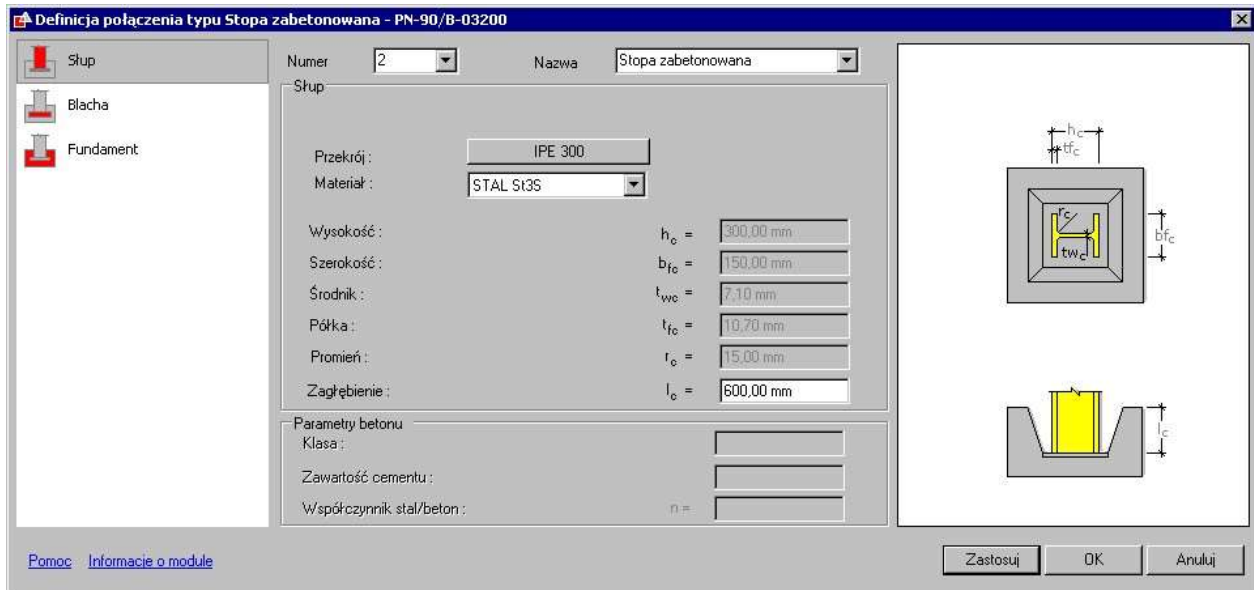
Podczas weryfikacji płyty podstawy słupa stosowany może być model podstawy o pełnej (model sprężysty) lub niepełnej (model plastyczny) efektywności. W pierwszym przypadku pole powierzchni docisku jest równe polu powierzchni blachy podstawy $A_c = A_b$. Jeżeli wybrany zostanie model plastyczny, to program będzie rozpatrywał przypadek podstawy o niepełnej efektywności, wyliczając zredukowane efektywne pole docisku $A_c = A_{be}$ [5.2.1-(10)].

Okno dialogowe składa się z kilku zakładek.

Opcje znajdujące się na zakładce *Słup* pozwalają na:

- określenie przekroju trzonu słupa oraz materiału, z którego słup ma być wykonany

- zdefiniowanie wartości zagłębienia l_a trzonu słupa w stopie; wartość ta jest definiowana jako odległość od krawędzi górnej fundamentu do krawędzi górnej płyty podstawy słupa
- określenie parametrów betonu.



Opcje znajdujące się na zakładce *Blacha* umożliwiają definicję podstawowych parametrów geometrycznych płyty podstawy słupa oraz wybór modelu obliczeniowego płyty podstawy.

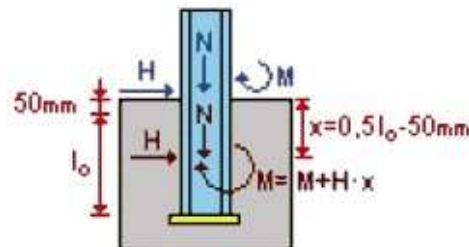
Opcje znajdujące się na zakładce *Fundament* pozwalają na określenie typu fundamentu oraz zdefiniowanie geometrii fundamentu.

W polu *Wymiary* należy zdefiniować wymiary fundamentu, które mogą być podane bezpośrednio lub w sposób relatywny poprzez podanie odpowiedniego współczynnika relacji oraz klasę betonu, z którego zostanie wykonany fundament.

Założenia obliczeniowe

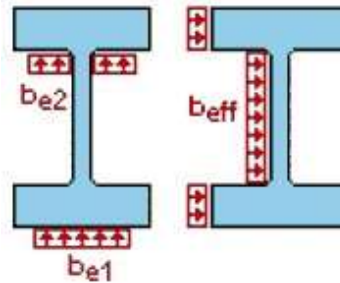
Obliczenia prowadzone są dla pełnego zestawu sił z wyjątkiem sprawdzenia nośności na przebicie w przypadku siły montażowej (tylko siła osiowa).

Przy obliczaniu naprężeń dociskowych bocznych słupa brany jest zestaw sił zredukowany do połowy zagłębienia słupa w stopie fundamentowej. Z tego powodu momenty wyjściowe powiększone są o wartość wynikającą z działania siły poziomej na ramieniu x . To przejście prezentowane jest na poniższym rysunku i prowadzone jest dla obu kierunków.



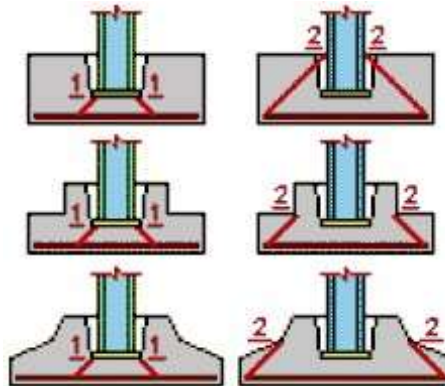
Szerokość efektywna docisku b_{eff} jest obliczana w następujący sposób:

- względem największej osi bezwładności zgodnie z normą wg 5.5
- względem drugiej osi $b_{eff}=h$ przekroju słupa.



Przebiecie sprawdzane jest w dwóch przekrojach: -
w przekroju 1-1 na obciążenie montażowe
- w przekroju 2-2 na obciążenie obliczeniowe.

Przekroje dla poszczególnych typów stopy fundamentowej pokazane są na poniższym rysunku. Obliczanie polega na wyznaczeniu pola powierzchni odciętej przekrojami przebiecia oraz obliczenia rzeczywistego rozkładu naprężeń pod stopą. Uzyskana w ten sposób siła przebijająca porównywana jest z wartością dopuszczalną. Siła przebijająca wyliczana jest w oparciu o rozkład naprężeń powstałych przy pominięciu ciężaru własnego stopy oraz nadległego gruntu. Wartość dopuszczalna przebiecia wyznaczana jest jako $N_{Rd} = f_{ctd} \cdot u_p \cdot d$ (wzór [85] wg art. 5.6.2) przy osiowym obciążeniu stopy i $N_{Rd} = f_{ctd} \cdot b_m \cdot d$ (wzór [87] wg art. 5.6.2) przy mimośrodowym obciążeniu stopy. W przypadku sprawdzania przebiecia przy mimośrodowym obciążeniu stopy sprawdzana jest szerokość szczeliny między podłożem a podstawą fundamentu według PN-81/B-03020 w każdym z dwóch kierunków; musi być spełniony warunek $c < l/4$ i $c < b/4$.



Połączenie belka-podciąg

W programie dostępne są następujące typy połączenia dla polskiej normy:

- belka - podciąg (do środka podciągu) - belka - podciąg (do półki podciągu).

Dla połączenia do środka podciągu możliwa jest definicja połączenia jednostronnego lub dwustronnego, a w przypadku połączenia do półki podciągu połączenia jednostronnego. Wszystkie elementy łączące podciąg z belką można łączyć śrubami lub spoinami.

UWAGA:

Dla połączenia dwustronnego istnieje możliwość ustawienia połączenia symetrycznego (opcja Symetria). Wszystkie elementy zdefiniowane dla prawej strony połączenia zostaną skopiowane na lewą stronę.

W zależności od rodzaju elementu łączącego możliwe jest zastosowanie połączenia belki do elementu łączącego za pomocą śrub lub spoin, a w przypadku stołków podporowych połączenia stołka do podciągu. W połączeniu w obecnej wersji nie ma rozróżnienia na kategorie połączenia; wszystkie klasy śrub traktowane są jako zwykłe.

Połączenie do środka podciągu

Dostępne są następujące typy połączeń (w zależności od elementu łączącego podciąg z belką): - kątownik

- żebro (krótkie, długie)
- stołek podporowy
- kątownik + stołek podporowy.

Sposoby łączenia poszczególnych elementów połączenia:

- płytki (z jednej lub dwóch stron belki)
- kątowniki
- żebro krótkie i długie
- stolki podporowe typu L
- płytki (z jednej lub dwóch stron belki) + stolki podporowe typu L - kątowniki ze stolkami podporowymi typu L.

Połączenie do półki podciągu

Dostępne są następujące typy połączeń (w zależności od elementu łączącego podciąg z belką):

- płytki (z jednej lub dwóch stron belki) - kątowniki.

Sposoby łączenia poszczególnych elementów połączenia:

- kątowniki (połączenie na śruby)
- płytka (połączenie na śruby lub połączenie spawane).

Obliczenia prowadzone są dla następujących sił wewnętrznych:

- siły podłużnej F_x
- siły ścinającej F_z
- momentu zginającego M_y .

Siły wewnętrzne redukowane są do środka ciężkości grupy śrub lub środka ciężkości grupy spoin łączących element (kątownik, płytkę, żebro) z belką do wartości:

- F_x siła podłużna
- F_z siła poprzeczna
- $M_0 = M_y + F_z \cdot e$ momentu zginającego.

Podczas weryfikacji połączenia sprawdzane są następujące nośności elementów składowych połączenia:

Śruby: [6.2.4.2]

- nośności obliczeniowe śrub w stanie granicznym zerwania trzpienia [Tablica 16]
- nośności obliczeniowe śrub w stanie granicznym ścięcia [Tablica 16]
- nośności obliczeniowe śrub w stanie granicznym uplastycznienia ścianki otworów (docisk) [Tablica 16]

Weryfikacja nośności połączenia ze względu na siły działające na śruby [6.2.4.2]

- śruby łączące element (kątownik, żebro, płytkę) z belką
- śruby łączące kątownik z podciągami

Belka:

- weryfikacja nośności przekroju belki ze względu na osłabienie otworami
- weryfikacja nośności środka belki na ścięcie i rozerwanie

Elementy łączące:

- weryfikacja nośności przekroju kątownika ze względu na osłabienie otworami [4.1.2]
- weryfikacja nośności kątownika na ścięcie i rozerwanie
- weryfikacja nośności przekroju żebra ze względu na osłabienie otworami [4.1.2]
- weryfikacja nośności płytki na ścięcie i rozerwanie
- weryfikacja stołka podporowego ze względu na osłabienie otworami.

W przypadku połączenia na stołki podporowe przeprowadzana jest analiza geometrii stołka podporowego:

- długość ramienia stołka
- grubość ramienia stołka.

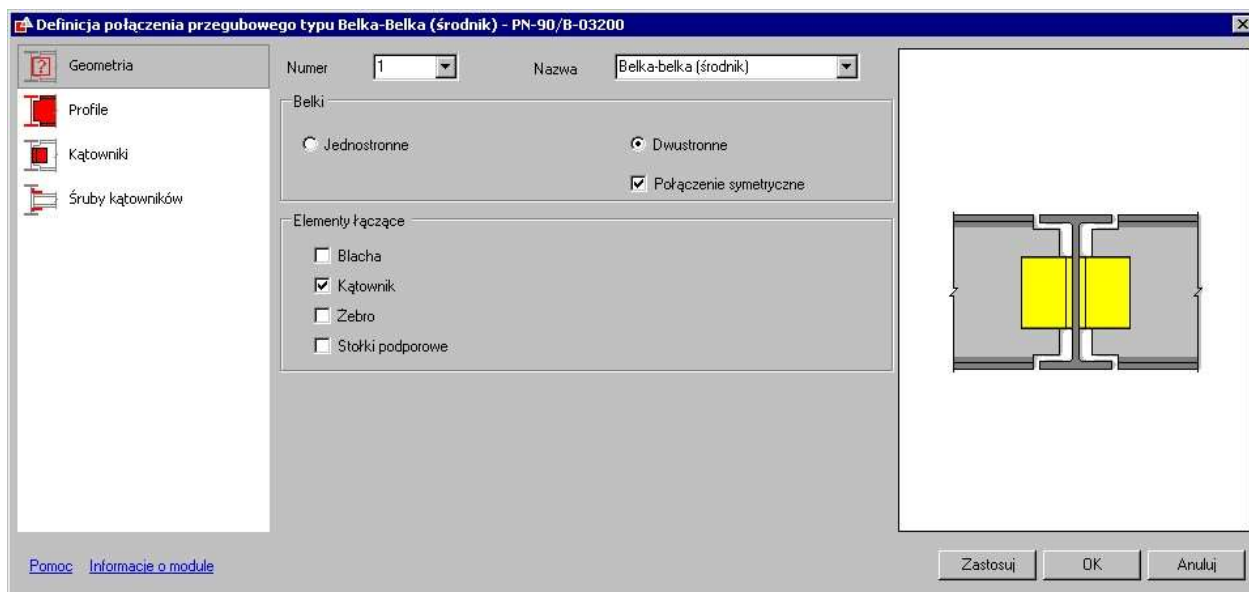
W przypadku spoin:

- weryfikacja nośności spoiny łączącej kątownik z podciągami
- weryfikacja nośności spoiny łączącej kątownik z belką
- weryfikacja nośności spoiny łączącej płytkę z belką
- weryfikacja nośności spoiny łączącej płytkę z półką podciągu
- weryfikacja nośności spoiny łączącej stołek górny z podciągami i z belką • weryfikacja nośności spoiny łączącej stołek dolny z podciągami i z belką.

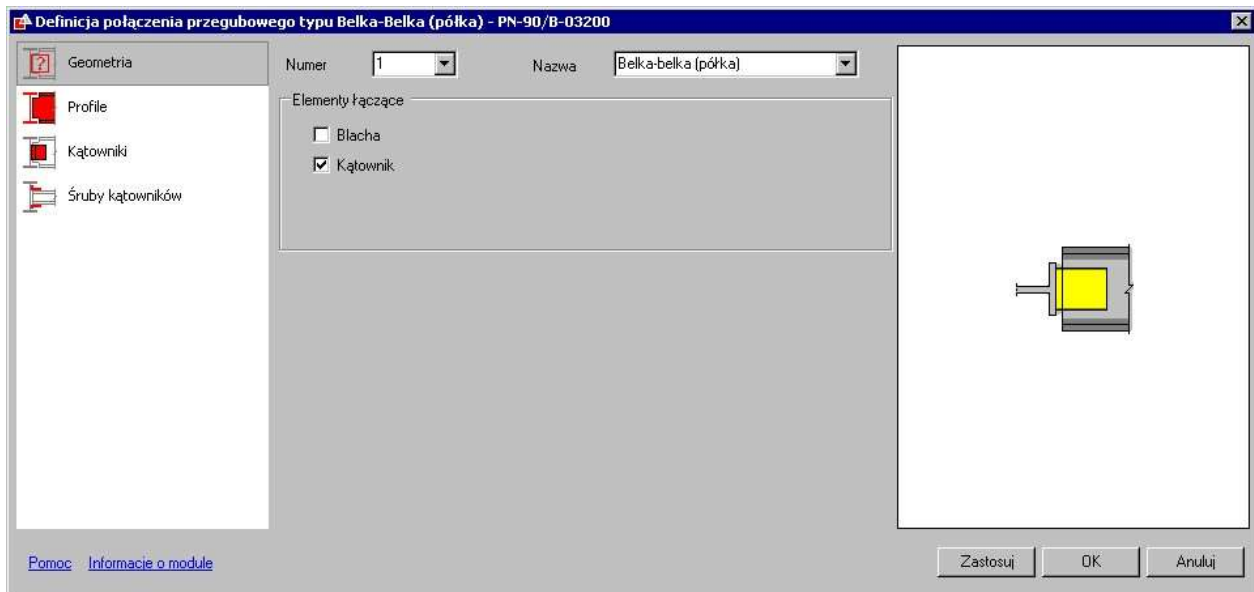
Okno dialogowe składa się z kilku zakładek.

Opcje znajdujące się na zakładce *Połączenie* pozwalają na zdefiniowanie podstawowych elementów połączenia:

- usytuowania podciągu i belki względem siebie
- wyboru typu połączenia (jednostronne lub dwustronne) - wyboru elementu łączącego podciąg z belką.

Połączenie do środka podciągu

Połączenie do półki podciągu



Opcje znajdujące się na zakładce *Geometria* pozwalają na definicję geometrii połączenia oraz elementów łączących (blacha, kątowniki, żebro, stołki podporowe). W zależności od wybranego typu łącznika pojawiają się dodatkowe zakładki w oknie dialogowym.

Opcje znajdujące się na zakładce *Profile* umożliwiają definicję przekrojów poprzecznych elementów wchodzących w skład połączenia.

Opcje znajdujące się na zakładce *Kątowniki* pozwalają na definicję parametrów kątownika (przekrój poprzeczny, materiał, długość i położenie kątownika).

Opcje znajdujące się na zakładce *Żebra* pozwalają na definicję parametrów żebra (geometria, wycięcia, materiał, sposób połączenia do belki).

Opcje znajdujące się na zakładce *Stołki podporowe* pozwalają na definicję parametrów stołków podporowych (przekroje poprzeczne stołków podporowych górnego i dolnego, materiał, sposób połączenia do środniczka podciągu).

Opcje znajdujące się na zakładce *Śruby* pozwalają na definicję parametrów używanych śrub (średnica, klasa, współczynnik tarcia, liczby śrub, położenia śrub).

Połączenie belka-słup

Dla połączenia założono wzajemne położenie słupa i belki:

- belka połączona do półki słupa - belka połączona do środniczka słupa.

Dla połączenia do półki słupa możliwa jest definicja połączenia jednostronnego, a w przypadku połączenia do środniczka słupa możliwa jest definicja połączenia jednostronnego lub dwustronnego. Wszystkie elementy łączące słup z belką będzie można łączyć śrubami lub spoinami.

Połączenie do półki słupa

Możliwe są następujące typy połączeń:

<i>Element łączący słup z belką</i>	<i>Połączenie jednostronne</i>
Płytki (z jednej lub dwóch stron belki)	
Kątowniki	
Stożki podporowe typu L i T	
Płytki (z jednej lub dwóch stron belki) + stożki podporowe typu L i T	
Kątowniki + stożki podporowe typu L i T	
Płytki (z jednej lub dwóch stron belki) + wzmocnienie pólki belki	
Kątowniki + wzmocnienie pólki belki	

Połączenie do środka słupa

Możliwe są następujące typy połączeń:

<i>Elementy łączące słup z belką</i>	<i>Połączenie jednostronne</i>	<i>Połączenie dwustronne</i>
Płytki (z jednej lub dwóch stron belki)		
Kątowniki		
Stożki podporowe typu L i T		
Płytki (z jednej lub dwóch stron belki) + stożki podporowe typu L i T		

Kątowniki + stołki podporowe typu L i T		
Płytki (z jednej lub dwóch stron belki) + wzmocnienia półek belki		
Kątowniki + wzmocnienia półek belki		

Obliczenia prowadzone są dla następujących sił wewnętrznych:

- siły podłużnej F_x
- siły ścinającej F_z
- momentu zginającego M_y .

Siły wewnętrzne redukowane są do środka ciężkości grupy śrub lub środka ciężkości grupy spoin łączących element (kątownik, płytkę) z belką do wartości:

- F_x siła podłużna
- F_z siła poprzeczna
- $M_o = M_y + F_z \cdot e$ momentu zginającego

Dla połączenia na śruby: e - odległość środka ciężkości grupy śrub od środka półki słupa (połączenie do półki słupa) e - odległość środka ciężkości grupy śrub od środka środnika słupa (połączenie do środnika słupa)

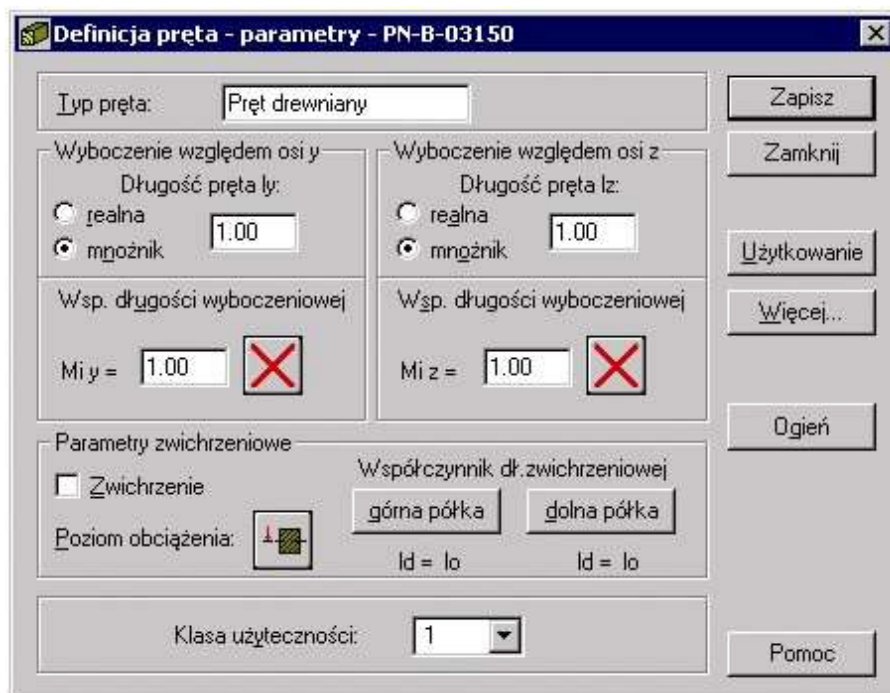
Dla połączenia na spoiny: e - odległość środka ciężkości grupy spoin od środka półki słupa (połączenie do półki słupa) e - odległość środka ciężkości grupy spoin od środka środnika słupa (połączenie do środnika słupa)

6.5. Wymiarowanie drewna

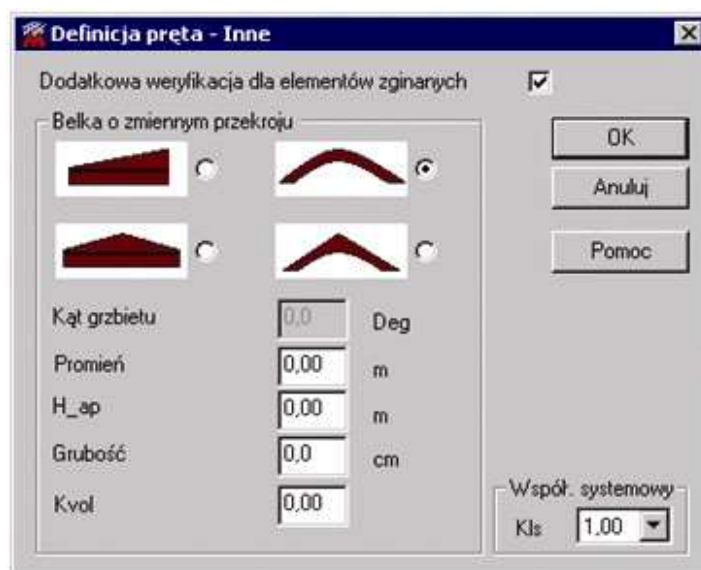
Wymiarowanie prętów drewnianych prowadzone jest w programie **Robot** w podobny sposób jak wymiarowanie prętów stalowych. Wymiarowanie i obliczenia przeprowadzone mogą zostać dla pojedynczych prętów konstrukcji drewnianej lub dla grup prętów. Definicja prętów i grup prętów odbywa się w sposób identyczny jak definiowanie prętów i grup prętów stalowych (patrz rozdział 6.1). Podobnie jak dla prętów stalowych użytkownik może przeprowadzić:

- weryfikację prętów
- weryfikację grup • wymiarowanie grup.

Po naciśnięciu klawisza **Parametry** znajdującego się na zakładce **Pręty** okna dialogowego **Definicja** otwierane jest okno dialogowe **Definicja pręta - parametry** pokazane na poniższym rysunku. W tym oknie zdefiniowane mogą zostać parametry normowe określone przez normę wymiarowania drewna dostępną w programie **Robot** (polska norma drewniana PN-B-03150:2000, Eurocode5, Eurocode 5 NAD francuski, Eurocode 5 NAD fiński i francuska norma drewniana CB71) takie jak: długości wyboczeniowe, parametry wyboczeniowe, parametry zwichrzeniowe, warunki sztywności, parametry odporności ogniowej itp. Ciekawą opcją w programie **Robot** jest możliwość automatycznego projektowania przy pomocy profili parametryzowanych o zmiennej bezwładności. Opcja jest dostępna po naciśnięciu klawisza **Przekroje par.**, który znajduje się w oknie dialogowym **Definicje** (patrz rozdział 6.1).



Po naciśnięciu klawisza **Inne** na ekranie pojawia się okno dialogowe służące do określenia parametrów dodatkowej weryfikacji prętów zginanych.



Opcja znajdująca się w powyższym oknie dialogowym pozwalają na przeprowadzenie dodatkowych sprawdzeń dla specyficznych belek poddanych zginaniu zgodnie z wymogami opisanymi w normie EC5. Dla belek o zmiennej bezwładności nachylonych jednostronnie (przypadek 1) stosowane są reguły podane w punkcie 5.2.3 normy EC5. Pozostałe przypadki dotyczą belek wykonanych z drewna klejonego, dla których dodatkowa kontrola prowadzona jest zgodnie z punktem 5.2.4.

Dodatkowe sprawdzanie belek poddanych zginaniu następuje po włączeniu opcji *Dodatkowa weryfikacja dla elementów zginanych*. Po wybraniu jednego z 4 typów belki należy zdefiniować potrzebne do obliczeń

parametry belki w dostępnych polach edycyjnych. Dla potrzeb sprawdzenia belek zginanych mogą być definiowane następujące parametry (liczba dostępnych parametrów zależy od typu belki):

- kąt grzbietu - kąt nachylenia grzbietu belki w stosunku do płaszczyzny poziomej
- promień - promień wyokrąglenia linii środkowej belek łukowych
- Hap - wysokość przekroju belki w środku rozpiętości
- grubość - grubość pojedynczej warstwy laminatu
- Kvol - współczynnik zależny od objętości belki; wartość tego współczynnika jest wyznaczana zgodnie z 5.2.4.(5) ze wzoru $K_{vol} = (V_o/V)^{0.2}$, gdzie V_o - objętość referencyjna = 0.01 m³, zaś $V = 2V_b/3$, gdzie V_b - objętość całej belki.

Prezentacja wyników weryfikacji/wymiarowania prętów konstrukcji drewnianych jest identyczna jak w przypadku prętów stalowych (patrz rozdział 6.1). Podobnie jak dla prętów o profilu stalowym również i dla prętów drewnianych dostępna jest analiza szczegółowa, którą można uruchomić naciskając klawisz **Szczegółowa** znajdujący się w oknie dialogowym **Rezultatów szczegółowych** dla normy EC5. Program pozwala przeprowadzić dodatkowe obliczenia na podstawie wymogów opisanych w normie Eurocode 5:

- uwzględnienie ściskania poprzecznego (współczynnik K_c , 90)
- uwzględnienie otworów (współczynnik K_{hol} : patrz norma Eurocode 5:Book1 IV-5-8)
- uwzględnienie kształtu zakończenia belki (współczynnik K_v : patrz norma Eurocode:Book1 IV-5-7). Każda z wymienionych analiz pręta prowadzona jest niezależnie, stąd też każda z nich może być uruchomiona osobno.

WYBRANE POZYCJE LITERATURY (WYMIAROWANIE KONSTRUKCJI DREWNIANYCH)

EUROCODE 5 - Calcul des structures en bois. Partie 1-1: Regles generales et regles pour les batiments. Norme P21-711

STRUCTURES EN BOIS AUX ETATS LIMITES - Introduction a l'Eurocode 5. STEP1 - Materiaux et bases de calcul, SEDIBOIS. Union nationale francaise de charpente, menuiserie, parquets, 1997


STRUCTURES EN BOIS AUX ETATS LIMITES - Introduction a l'Eurocode 5. STEP2 - Calcul de structure, SEDIBOIS. Union nationale francaise de charpente, menuiserie, parquets, 1996.

6.6. Zbrojenie płyt i powłok

Program **Robot** umożliwia wyznaczanie niezbędnego zbrojenia konstrukcji płytowo-powłokowych. Parametry typu zbrojenia płyt i powłok zależą od wyboru normy, która wykorzystywana jest podczas wymiarowania płyty lub powłoki. Poniżej znajduje się lista dostępnych aktualnie w programie norm zbrojenia płyt i powłok:

- polska norma PN 84/B-03264 i polska norma PN-B-03264 (2002)
- Eurocode 2 ENV 1992-1-1: 1991 (NAD francuski, belgijski, holenderski, włoski, fiński i niemiecki)
- francuskie normy BAEL91 i BAEL 91 mod.99
- brytyjska norma BS 8110
- holenderska norma NEN6720 (VBC 1995)
- amerykańskie normy ACI 318/99 i ACI 318/02
- kanadyjska norma CSA A23.3-94
- hiszpańskie normy EH91, EHE98
- rosyjska norma SNiP 2.03.01-84
- rumuńska norma STAS 10107/0-90
- norweska norma NS 3473: 2004
- singapurska norma CP65
- chińska norma 50010-2002
- japońska norma AIJ 1985.

Przed obliczeniem wymaganego zbrojenia dla płyty lub powłoki zdefiniowany musi zostać typ zbrojenia płyt i powłok. Opcja ta dostępna jest poprzez:

- wybranie komendy menu *Geometria / Parametry normowe / Typ zbrojenia płyt i powłok*
- naciśnięcie ikony .

Okno dialogowe **Nowy typ zbrojenia** dostępne jest poprzez naciśnięcie ikony *Nowy* w oknie **Typ zbrojenia płyt i powłok**. Okno składa się z trzech zakładek: *Ogólne*, *Materiały* i *Zbrojenie*. Zakładki *Ogólne* i *Zbrojenie* są takie same dla wszystkich norm, natomiast postać zakładki *Materiały* zależy od wyboru normy zbrojenia płyt i powłok.

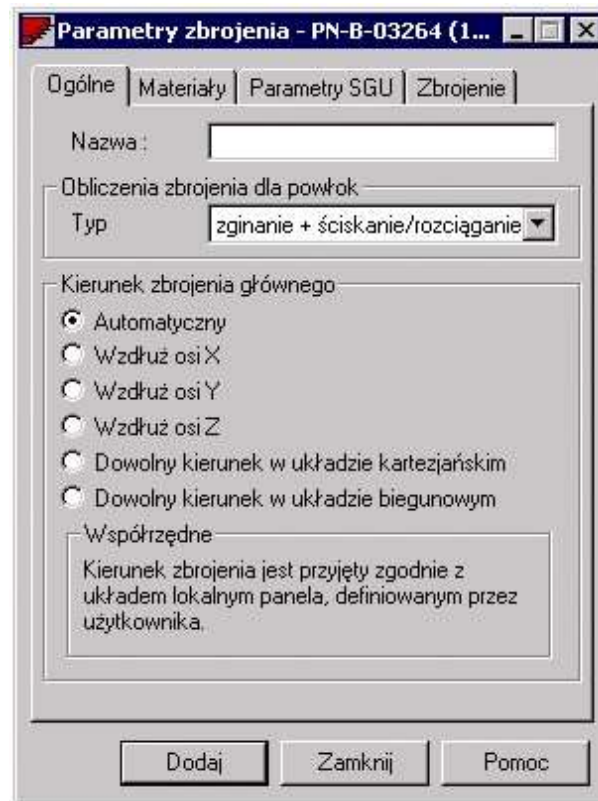
UWAGA: W przypadku wybrania niektórych norm betonowych okno dialogowe **Parametry zbrojenia** składa się z czterech zakładek, gdyż dochodzi dodatkowo zakładka *Parametry SGU* (znajdują się na niej opcje umożliwiające obliczanie zarysowania i ugięcia konstrukcji płytowo-powłokowej oraz dodatkowe parametry charakterystyczne dla wybranej normy żelbetowej np. wiek betonu, współczynnik pełzania betonu itp.).

Na zakładce *Ogólne* pokazanej na poniższym rysunku należy dodatkowo wybrać typ obliczeń dla konstrukcji powłokowych; dostępne są następujące rodzaje obliczeń:

- czyste zginanie (płyta)
- zginanie z rozciąganiem/ściskaniem (powłoka)
- ściskanie lub rozciąganie (tarcza).

Opcja *Obliczenia zbrojenia dla powłok* pozwala na ograniczenie zestawu sił wewnętrznych, które są brane pod uwagę przy obliczeniach zbrojenia paneli. Obliczenia mogą być przeprowadzone dla pełnego zestawu sił (zginanie + rozciąganie/ściskanie), tylko dla momentów zginających (czyste zginanie) lub dla sił membranowych (ściskanie/rozciskanie). Czas obliczeń jest zależny od dokonanego wyboru. Opcja jest dostępna jedynie dla powłok; w przypadku wybrania typu konstrukcji **Płyta** obliczenia zbrojenia są prowadzone przy uwzględnieniu momentów zginających w płycie, a w przypadku płaskiego stanu naprężenia - przy uwzględnieniu sił membranowych.

UWAGA: W programie nie jest sprawdzana poprawność ustawień przyjętych przez użytkownika - niewłaściwe użycie opcji *Typ obliczeń* może prowadzić do niepoprawnych wyników.



W dolnej części zakładki *Zbrojenie* znajdują się dwie opcje:

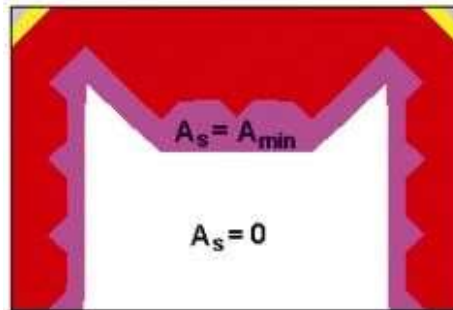
- *Zbrojenie jednokierunkowe* - włączenie tej opcji powoduje, że zbrojenie będzie obliczane jedynie w kierunku głównym (siły występujące na kierunku prostopadłym są pomijane); pozwala to na dwukrotne przyspieszenie obliczeń (należy zwrócić jednak uwagę, że zakłada się uproszczenie polegające na niewielkim lub żadnym wpływie sił działających na kierunku prostopadłym na zbrojenie główne); UWAGA1: w programie nie jest sprawdzana poprawność ustawień przyjętych przez użytkownika - niewłaściwe użycie opcji może prowadzić do niepoprawnych wyników; UWAGA2: Normy wymiarowania elementów żelbetowych najczęściej wymagają, aby na kierunku prostopadłym do kierunku zbrojenia głównego rozmieszczone zostało zbrojenie rozdzielcze - powierzchnia zbrojenia rozdzielczego nie jest obliczana w programie
- *Zbrojenie dla tarcz w jednej warstwie (w osi)* - opcja jest dostępna jedynie wtedy, gdy na zakładce *Ogólne* został wybrany typ *ściskanie / rozciąganie*; włączenie tej opcji powoduje, że zbrojenie będzie umieszczane w osi elementu żelbetowego (zbrojenie będzie ściskane / rozciągane przez siły membranowe).

Poniższa tabela przedstawia wymagane parametry przy włączonych / wyłączonych opcjach *Zbrojenie jednokierunkowe* i *Zbrojenie dla tarcz w jednej warstwie*.

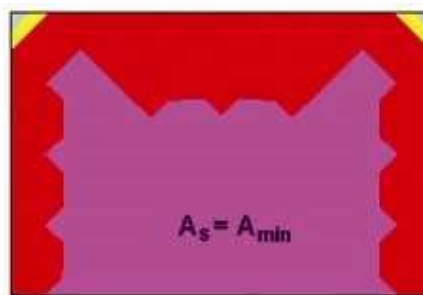
Opcja zbrojenia		Wymagane parametry					
jednokierunkowego	w jednej warstwie (w osi)	d1	d2	d1'	d2'	c1	c2
NIE	NIE	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
NIE	TAK	TAK	TAK	NIE	NIE	NIE	NIE
TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	TAK
TAK	TAK	TAK	NIE	NIE	NIE	NIE	NIE

W dolnej części okna dialogowego określone mogą zostać kryteria generacji zbrojenia minimalnego w panelach żelbetowych. Dostępne są trzy możliwości:

- *brak* - zbrojenie minimalne nie będzie generowane w panelu
- *dla ES, dla których zbrojenie $A_s > 0$* - zbrojenie minimalne będzie generowane w panelu tylko w tych miejscach panela, dla których obliczone zbrojenie będzie mniejsze od zbrojenia minimalnego, ale większe od zera (patrz poniższy rysunek); jeżeli obliczona powierzchnia zbrojenia dla elementu skończonego (trójkątnego) będzie równa zero, to zbrojenie minimalne nie będzie generowane



- *dla całego panela* - zbrojenie minimalne będzie generowane dla całego panela (patrz poniższy rysunek).



Podobnie jak oknie dialogowym służącym do definiowania innych atrybutów konstrukcji (podpory, profile prętów itp.), proces definiowania typu zbrojenia w konstrukcji został podzielony na dwa etapy:

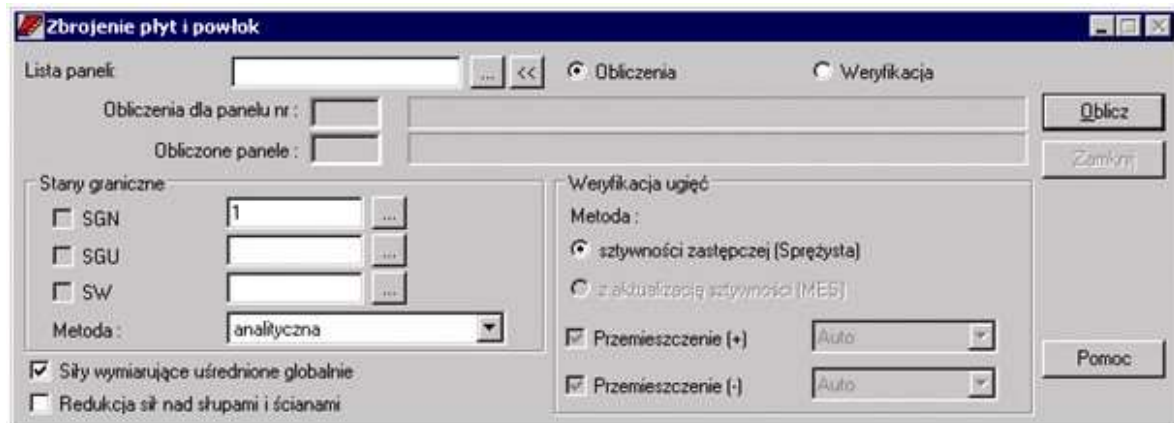
- definiowanie typu zbrojenia
- nadawanie typu zbrojenia panelom.

Wymiarowanie płyt żelbetowych może zostać rozpoczęte na dwa sposoby:

- wybierając z winiетки selekcji typu konstrukcji (porównaj rozdział 2.1) wymiarowanie płyty żelbetowej - moduł projektowania płyt będzie pracował jako samodzielny program (stand-alone) bez połączenia (wymiany danych) z innymi częściami systemu **Robot**
- po zdefiniowaniu konstrukcji należy wyselekcjonować w niej (podświetlając w edytorze graficznym odpowiednią listę paneli (płyt), a następnie z menu wybrać komendę *Analiza / Wymiarowanie elementów żelbetowych / Wymiarowanie paneli betonowych / Zbrojenie teoretyczne*. Spowoduje to uruchomienie ekranu **PŁYTY ŻELBETOWE - ZBROJENIE TEORETYCZNE** i wczytanie do modułu normowego geometrii, obciążeń oraz uzyskanych wyników. Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: pole edycyjne z widokiem wymiarowanej płyty i dwa okna dialogowe: **Zbrojenie płyt i powłok** oraz **Zbrojenie**.

Opis wymiarowania płyty żelbetowej przedstawiony zostanie dla drugiego przypadku wywołania modułu wymiarowania płyt żelbetowych. Opcja umożliwiająca obliczanie powierzchni zbrojenia płyty lub powłoki dostępna jest po wybraniu ekranu **PŁYTY ŻELBETOWE - ZBROJENIE TEORETYCZNE** znajdującego się w grupie ekranów **PŁYTY ŻELBETOWE**. W dolnej części ekranu znajduje się okno dialogowe przedstawione na poniższym rysunku. Aktywna jest tylko opcja *Obliczenia*.

Opcja *Weryfikacja* jest dostępna po wybraniu komendy z menu: *Analiza / Weryfikacja* w module **Płyty - zbrojenie rzeczywiste**.



W chwili rozpoczęcia obliczeń prezentowana jest nazwa normy, która posłużyła do określenia parametrów typu zbrojenia panelu. Informacja ta pojawia się na niebieskim pasku nazwy okna. Aby rozpocząć obliczenia zbrojenia płyty lub powłoki, należy:

- w polu *Stany graniczne* można wybrać przypadki obciążeniowe brane pod uwagę podczas obliczeń dla poszczególnych stanów granicznych (SGN, SGU i SW - stan wyjątkowy). SGU określa warunki normowe dla zarysowania (wyrażone w niektórych normach poprzez naprężenia, odkształcenia) z wyjątkiem ugięć (weryfikacja ugięć znajduje się w polu *Weryfikacja ugięć* po prawej stronie okna dialogowego). Należy wpisać numery przypadków obciążeniowych w odpowiednich polach lub nacisnąć klawisz (...) i w oknie dialogowym **Selekcja** wybrać przypadki obciążenia lub kombinacje przypadków obciążenia dla poszczególnych stanów granicznych; jeżeli zostały utworzone kombinacje normowe, to włączenie odpowiedniej opcji w polu *Stany graniczne* (pojawia się symbol \checkmark) określa, dla którego stanu granicznego brane będą do obliczeń wygenerowane kombinacje normowe
- w polu *Listy paneli* wybrać panele, które będą brane pod uwagę podczas obliczeń zbrojenia teoretycznego; należy wpisać numery paneli (WSZ - oznacza wszystkie zdefiniowane panele) lub nacisnąć klawisz (...) i w oknie dialogowym **Selekcja** wybrać panele
- określić metodę na podstawie której wyznaczane będzie zbrojenie płyty lub powłoki; dostępne są następujące metody obliczeń: analityczna, momentów zastępczych (NEN), momentów zastępczych na podstawie Wood&Armer.

UWAGA: *Obliczenia paneli są prowadzone wyłącznie dla paneli, których numery zostały wpisane w polu edycyjnym Lista paneli oraz przypadków lub kombinacji przypadków określonych w polach edycyjnych SGN, SGU, SW.*

UWAGA: *Jeżeli zmienione zostaną parametry zestawu zbrojenia przypisanego do panela, dla którego obliczono niezbędne zbrojenie lub zmieniony zostanie zestaw parametrów zbrojenia dla panela, to dla takiego panela wyniki obliczeń zbrojenia stają się nieaktualne. Wyniki obliczeń zbrojenia są usuwane, a w tabeli z rezultatami zbrojenia dla takiego panela celki tabeli są prezentowane kolorem czerwonym (mapy zbrojenia i przecięcia przez panele dla takiego panela nie są dostępne).*

W programie **Robot** szerokość rozwarcia rys jest liczona niezależnie dla dwóch kierunków wyznaczonych przez osie zbrojenia. Sposób ten jest analogiczny do uproszczonych metod przedstawionych w literaturze. Zastosowanie metody nie związanej z normą wynika z braku odpowiedniego zapisu dotyczącego płyt krzyżowo zbrojonych.

Algorytm obliczeń opiera się na wzorach pozwalających na obliczenie szerokości rozwarcia rysy dla elementów belkowych. Obliczenia są przeprowadzane na przekroju ze zbrojeniem wynikającym z SGN, kolejno dla wszystkich sił wynikających z obciążeń zdefiniowanych jako SGU lub odpowiedniej kombinacji SGU. Momenty uwzględniane w obliczeniach SGU są momentami zastępczymi obliczonymi według wybranej metody obliczeń: analitycznej, NEN lub Wood&Armer. Metoda analityczna dla stanu SGU nie uwzględnia

oddziaływań momentów m_{xy} . Dzięki zastosowaniu metody NEN lub Wood&Armer możemy uwzględnić w obliczeniach momenty m_{xy} poprzez zwiększenie momentów m_{xx} i m_{yy} . Metoda Wood&Armer jest zalecana do obliczeń płyt krzyżowo zbrojonych między innymi przez ENV 1992-1-1 EUROCODE 2 (Załącznik A.2.7). Obliczona szerokość rozwarcia rys, której wartość prezentowana jest w tabeli wyników, jest maksymalną wartością otrzymaną ze wszystkich przeanalizowanych przypadków.

Algorytm obliczeń ugięć płyt żelbetowych opiera się na wykorzystaniu obliczeń izotropowej płyty sprężystej wykonanej z materiału sprężystego, dla których następnie uwzględnione są zmiany sztywności materiału na skutek zarysowania. Pierwotnie przemieszczenia obliczane są z zastosowaniem Metody Elementów Skończonych (MES), następnie są one modyfikowane.

Obliczenia są przeprowadzane dla każdego panela osobno. Takie założenie jest poprawne, gdy panel może być utożsamiony z elementem konstrukcyjnym (przęsłem, segmentem stropu), w przeciwnym wypadku wartości sztywności uśredniane w obrębie panela mogą być zaburzone. Może to powodować wpływ bardzo oddalonych elementów na przemieszczenia analizowanego ES. Wpływ tego typu zaburzeń na wartości ekstremalne nie jest bardzo znaczący, jednak mapy deformacji (ugięć) należy traktować z dużą ostrożnością.

Obliczenia są przeprowadzane dla wybranej kombinacji (odrębnej przemieszczenia dolnego i górnego) lub grupy kombinacji, o ile jest to wymagane przez normę (kombinacje częste, rzadkie i prawie stałe). Kombinacją wybraną do obliczeń jest ta, dla której występują maksymalne przemieszczenia sprężyste (odrębnie dodatnie i ujemne). W przypadku, gdy panel nie może być traktowany jako element konstrukcyjny (zawiera w sobie więcej elementów konstrukcji), mapy deformacji (ugięć) należy traktować z dużą ostrożnością. Nie ma to jednak znaczącego wpływu na wartości ekstremalne ugięć dla danego panela.

Ugięcia mogą być utożsamiane z przemieszczeniami jedynie dla nieodkształcalnych podparć. W module powłok (3D) podczas obliczania ugięcia płyty żelbetowej od przemieszczeń każdego elementu płyty jest odejmowane przemieszczenie najmniej przemieszczonej podpory. Oznacza to, że ugięcia są odmierzane od płaszczyzny równoległej do nieodkształconej powierzchni płyty, przechodzącej przez jeden punkt podporowy płyty odkształconej.

Należy zwrócić uwagę na przemieszczenia pozostałych podpartych naroży płyty.

Algorytm obliczeń użyty w programie **Robot** jest oparty na założeniu, że całkowite (rzeczywiste) ugięcia płyty żelbetowej równe są iloczynowi jej ugięć sprężystych oraz współczynnika sztywności D / B .

$$u_R^i = u^i * \frac{D}{B}$$

gdzie:

u_R^i - rzeczywiste przemieszczenia i -tego punktu obliczeniowego płyty uwzględniające zarysowanie oraz obliczone zbrojenie

u^i - sprężyste przemieszczenia i -tego punktu obliczeniowego płyty

D - sztywność płyty przy założeniu sprężystości materiału (jak w obliczeniach MES)

B - zastępcza sztywność płyty żelbetowej, obliczona z uwzględnieniem zarysowania elementu, efektów reologicznych, przyczepności obliczonego zbrojenia itp. i uśredniona dla obu kierunków.

Takie podejście sprowadza się w praktyce do liniowego przeskalowania poszczególnych sprężystych przemieszczeń przez globalny współczynnik spadku sztywności.

Algorytm obliczeń jest następujący:

Po przeprowadzeniu analizy konstrukcji z wykorzystaniem MES i obliczeniu ilości zbrojenia teoretycznego dla stanu granicznego nośności, użytkowania (w zakresie obliczeń zarysowania, limitów naprężeń itp., czyli zagadnień, które mogą być rozpatrywane lokalnie) i wyjątkowego, w programie wyznaczane są sztywności dla każdego elementu skończonego (ES). Obliczenia sztywności przeprowadzane są dla dwóch kierunków zbrojenia. Zakres oraz sposób obliczania tych sztywności jest uzależniony od wymagań szczegółowych danej normy. W wyniku tych obliczeń uzyskujemy dwie wartości sztywności (w większości przypadków różne) dla każdego elementu skończonego. Do dalszych obliczeń wykorzystywana jest średnia ważona sztywności składowych. Wagę uśrednienia jest stosunek momentów działających na dany element w obu kierunkach.

$$B_{x,y}^i = c_f * B_x + (1 - c_f) * B_y$$

gdzie:

B_x, B_y - sztywności rzeczywiste obliczone dla dwóch kierunków zbrojenia c_f - współczynnik wagowy, obliczony według wzoru:

1. jeżeli $|M_{xx}| / |M_{yy}| > 4$, to $c_f = 1$

2. jeżeli $0.25 \leq |M_{xx}| / |M_{yy}| \leq 4$, to

$$c_f = 0,5 + \frac{2}{3} * \frac{|M_{xx}| - |M_{yy}|}{\max(|M_{xx}|, |M_{yy}|)}$$

3. jeżeli $|M_{xx}| / |M_{yy}| < 0.25$, to $c_f = 0$.

Powyższe wzory powodują, że w przypadku dużej dysproporcji momentów (stosunek momentu większego do mniejszego jest większy lub równy 4.0 - na przykład płyty zginane w jednej płaszczyźnie) brana jest pod uwagę sztywność z kierunku działania większego z momentów. Natomiast w przypadku, gdy wartości momentów są podobne, sztywność z danego kierunku jest przydzielana proporcjonalnie do stosunku momentów.

Kolejnym krokiem obliczeń jest wyliczenie stosunku sztywności sprężystej do uzyskanej we wspomniany sposób średniej ważonej sztywności rzeczywistych. Obliczenie to przeprowadzane jest dla każdego elementu skończonego:

$$\left(\frac{D}{B}\right)_{x,y}^i = \left(\frac{D^i}{B^i}\right)_{x,y} = \frac{D}{c_f * B_x + (1 - c_f) * B_y}$$

$$D = E * J = E * \frac{[m] * h^3}{12}$$

Współczynnik płytowy $(1 - \nu * \nu)$ jest uwzględniany zarówno przy obliczeniach sztywności B jak i D . Wartości uzyskanych w obliczeniach sztywności rzeczywistych można prześledzić włączając mapy *Współczynnika sztywności*.

Jeżeli materiały użyte podczas wymiarowania mają charakterystyki identyczne z użytymi w modelu, to wartość współczynnika $D / B > 1.0$. Współczynnik ten można interpretować (głównie dla płyt zginanych w jednym kierunku) jako mnożnik ugięcia sprężystego. W przypadku użycia innych materiałów w modelu i obliczeniach (np. różnych klas betonu - betonów o innym module Younga lub Poissona), wartość współczynnika automatycznie jest korygowana, ale może to spowodować zaburzenie przytoczonej wcześniej nierówności.

Kolejnym krokiem jest wyliczenie średniej z wyznaczonych wcześniej stosunków sztywności. Ostateczny, globalny stosunek sztywności, służący do obliczenia rzeczywistych przemieszczeń płyty (tzn. liniowego przeskalowania przemieszczeń sprężystych), jest liczbą uzyskaną z uśrednienia średniej stosunków sztywności (z wagą równą 0,25) oraz stosunku sztywności zarejestrowanego dla elementu, na którym występuje ekstremum momentu zginającego działającego w dowolnym kierunku (z wagą równą 0,75), według wzoru:

$$\frac{D}{B} = 0,25 * \left(\frac{D}{B}\right)_{xy}^i + 0,75 * \left(\frac{D}{B(M_{max})}\right)$$

Algorytm metody sztywności zastępczej (sprężystej) zakłada uśrednienie sztywności dla wszystkich elementów skończonych; kształt linii ugięcia jest zatem identyczny z linią ugięcia przemnożoną przez współczynnik sztywności. W metodzie z aktualizacją sztywności (niesprężystej) każdy element skończony posiada sztywność wyliczaną niezależnie, więc linie ugięcia mogą się różnić. Dla każdego elementu skończonego uzyskujemy inną sztywność dla każdego kierunku.

W przypadku włączenia opcji *Korekcja zbrojenia* na zakładce *Parametry SGU* w oknie dialogowym **Typ zbrojenia płyt i powłok** program podczas obliczeń zwiększa powierzchnię zbrojenia, aby zwiększyć sztywność elementu, co w konsekwencji prowadzi do ograniczenia ugięć płyty.

Zbrojenie jest rozkładane w obu kierunkach odwrotnie proporcjonalnie do sztywności. W przypadku, gdy nie jest możliwe ograniczenie ugięć poniżej dopuszczalnej wartości ugięcia określonej przez użytkownika

(niemożliwa jest dalsza korekta zbrojenia z uwagi na dopuszczalny stopień zbrojenia), po zakończeniu obliczeń powierzchni zbrojenia teoretycznego pojawi się ostrzeżenie: 'Przekroczone dopuszczalne ugięcie dla panela nr'.

W programie nie ma zdefiniowanych ograniczeń dotyczących zbrojenia innych poza normowymi; w związku z tym należy zwrócić uwagę na ekonomiczną poprawność rozwiązania.

Algorytm obliczeń użyty w programie **Robot** jest oparty na sugestii zawartej w rozdziale 6.3.1 normy PN84/B-03264. Metoda proponowana przez Normę nie daje jednak możliwości w pełni automatycznego rozwiązywania zagadnienia ugięcia płyty żelbetowej. Wynika to z potrzeby definiowania przez użytkownika pasma środkowego, dla którego określana jest sztywność. Dlatego też została ona przystosowana do automatycznych obliczeń.

W dolnej części okna dialogowego znajduje się opcja *Siły wymiarujące uśrednione globalnie*. Jej pojawienie się w tym oknie dialogowym wiąże się z tym, iż wyniki obliczeń płyt/powłok są nieciągłe dla sił w węzłach siatki elementów skończonych (jeśli w węźle schodzą się cztery elementy skończone, to w węźle dla każdego elementu wyznaczona jest inna wartość siły). Jeśli opcja *Siły wymiarujące uśredniane globalnie* jest wyłączona, to wyniki w węzłach są uśredniane w obrębie danego panela, w którym wyznaczane jest zbrojenie. Jeśli ta opcja jest włączona, to wyniki w węzłach są uśredniane dla wszystkich paneli.

UWAGA: Jeżeli opcja Siły wymiarujące uśrednione globalnie jest włączona, to należy uważać przy obliczeniu zbrojenia dla konstrukcji płytowych, które składają się z paneli nie leżących w jednej płaszczyźnie. Uśrednianie globalne może bowiem spowodować, iż na krawędziach paneli nie leżących w jednej płaszczyźnie do uśredniania będą brane nie odpowiadające sobie wielkości.

W dolnej części okna dialogowego znajduje się opcja *Redukcja sił nad słupami i ścianami*; jeśli ta opcja jest włączona, to dla elementów płytowych lub powłokowych, które są podparte punktowo (przy pomocy dostępnych typów podpór lub słupów) lub liniowo (przy pomocy panela ściany albo podpory liniowej ze zdefiniowanym wymiarem), wartości momentów i naprężeń w okolicach punktów podparcia zostaną zastąpione średnią wartością z otoczenia tych podpór/słupów/ścian.

Dla elementów płytowych i powłokowych, które są podparte punktowo lub liniowo (przy pomocy dostępnych typów podpór, słupów lub ścian) wartości momentów i naprężeń w okolicach punktów podparcia mogą być znacznie większe niż w pozostałych punktach płyty. Może to powodować wyliczanie niepoprawnych zbrojeń w okolicach podpór i słupów; aby tego uniknąć, można modelować takie połączenia przy pomocy dostępnych w programie połączeń sztywnych lub wykorzystać opcję *Redukcja sił nad słupami i ścianami*. Redukcja wartości przy podporach polega na zastąpieniu wartości wynikowych w okolicach podpór, słupów i ścian wartością zredukowaną z otoczenia tych podpór. Działanie opcji można podzielić na trzy etapy:

- wyznaczenie węzłów podporowych - program dokonuje redukcji wartości tylko w okolicy węzłów uznanych za "podparte"; są to węzły, w których:
 - jest zdefiniowana podpora typu słup o niezerowych wymiarach (prostokątna lub okrągła) – parametry zaawansowane dla podpór
 - jest zdefiniowana podpora liniowa na krawędzi lub poliginii; podpora ta jest dodatkowo określona jako ściana w parametrach zaawansowanych podpór
 - połączone są elementy prętowe z elementami skończonymi (ale tylko wtedy, gdy drugi koniec tego pręta również nie jest połączony z tym samym elementem skończonym - tak jak w przypadku belki wzmacniającej); ponadto aby węzeł został uznany za podparty, to musi do niego dochodzić co najmniej jeden element skończony
 - na poziomym panelu (płyta w płaszczyźnie XY) łączą się elementy powierzchniowe panela dochodzącego prostopadle (pionowa ściana w kierunku Z) do poziomego panela
- W węzłach, w których są zdefiniowane podpory punktowe i belkowe (bez wymiarów), redukcja nie jest wykonywana.

- wyznaczenie promienia redukcji - jeżeli w danym węźle będzie wykonywana redukcja wybranych wartości, to należy ustalić, które wartości należy pomijać; pomijane są wartości w tym węźle oraz w środkach elementów dochodzących do tego węzła; ponadto poszukiwane są węzły położone w

odległości mniejszej od promienia redukcji - w nich również pomijane będą wartości zastępując je wyliczoną wartością średnią; promień redukcji wyznaczany jest w następujący sposób:

- w przypadku podpory zdefiniowanej w węźle - promień redukcji jest równy połowie długości przekątnej podpory prostokątnej lub połowie średnicy podpory okrągłej
 - w przypadku słupa dochodzącego do węzła - promień redukcji jest równy połowie długości przekątnej prostokąta o wymiarach równych szerokości i wysokości słupa
 - w przypadku podpory liniowej / ściany - promień redukcji jest równy połowie grubości ściany. Jeżeli do jednego węzła dochodzi kilka "podpór" o różnych wartościach promieni redukcji, to do obliczeń przyjmowany jest największy z wyliczonych promieni.
- obliczenie wartości zredukowanej - po wyznaczeniu wartości promienia redukcji poszukiwane są węzły położone w odległości (od węzła podpartego) mniejszej od wyznaczonej wartości promienia; pomijane są wartości wynikowe w tych wszystkich węzłach oraz w środkach elementów skończonych, które do nich dochodzą; wartości te zastępowane są wartością zredukowaną z wartości wynikowych występujących na brzegu pominiętego obszaru - przy wyliczaniu tej średniej bierzemy pod uwagę parametry uśredniania; jeżeli do węzła dochodzi element, którego choć jeden z węzłów leży wewnątrz "okręgu redukcji", to wartość z tego elementu jest również pomijana przy uśrednianiu. Wartość zredukowana jest naliczana według następujących zasad:
 - jeśli wartości we wszystkich węzłach na brzegu są dodatnie, to przyjmowana jest wartość maksymalna
 - jeśli wartości we wszystkich węzłach na brzegu są ujemne, to przyjmowana jest wartość minimalna - jeśli wartości na brzegu są różnych znaków, to obliczana jest średnia wartość i ta wartość przyjmowana jest jako zredukowana.

Po obliczeniu wartości zredukowanej zastępowane są nią wszystkie wartości pominięte w okolicy danego węzła podporowego.

Po obliczeniu powierzchni zbrojenia, zarysowania, sztywności i ugięcia następuje weryfikacja powierzchni zbrojenia ze stref. Weryfikacji dokonuje się w celu uzyskania ostatecznej wartości ugięć. W oparciu o nowe powierzchnie przeliczane są zarysowania i sztywności.

Weryfikację można przeprowadzić dwoma metodami (szczegóły znajdują się pomocy dostępnej w programie):

- sztywności zastępczej (sprężystą)
- metodą z aktualizacją sztywności (niesprężystą).

W oknie dialogowym **Zbrojenia** znajdującym się w prawej części ekranu **PLYTY ŻELBETOWE - ZBROJENIE TEORETYCZNE** użytkownik może wybrać do prezentacji kilka wielkości: zbrojenie teoretyczne płyt/powłok (wyznaczone powierzchnie zbrojenia, rozstawy zbrojenia i liczby prętów zbrojeniowych) oraz zbrojenie minimalne płyt/powłok (powierzchnie i rozstawy zbrojenia oraz liczba prętów zbrojeniowych). Teoretyczne powierzchnie zbrojenia i rozstawy zbrojenia otrzymane podczas wymiarowania konstrukcji płytowych/powłokowych mogą być prezentowane również w postaci krzyży zbrojenia. Krzyże powierzchni zbrojenia lub rozstawów zbrojenia będą prezentowane, jeżeli wybrana zostanie opcja *Włączone*.

Poszczególne kolumny znajdujące się w oknie dialogowym oznaczają:

X [-]: zbrojenie dolne w kierunku X (zbrojenie główne)

X [+]: zbrojenie górne w kierunku X (zbrojenie główne)

Y [-]: zbrojenie dolne w kierunku Y (zbrojenie prostopadłe do głównego) Y [+]: zbrojenie górne w kierunku Y (zbrojenie prostopadłe do głównego).

Położenie zbrojenia dolnego i górnego jest przyjmowane w panelu zgodnie ze zwrotem osi z lokalnego układu panela (ta konwencja dotyczy to również ścian żelbetowych).

Przykładowo, jeżeli zwrot wektora osi z lokalnego układu współrzędnych panela jest następujący



, to:



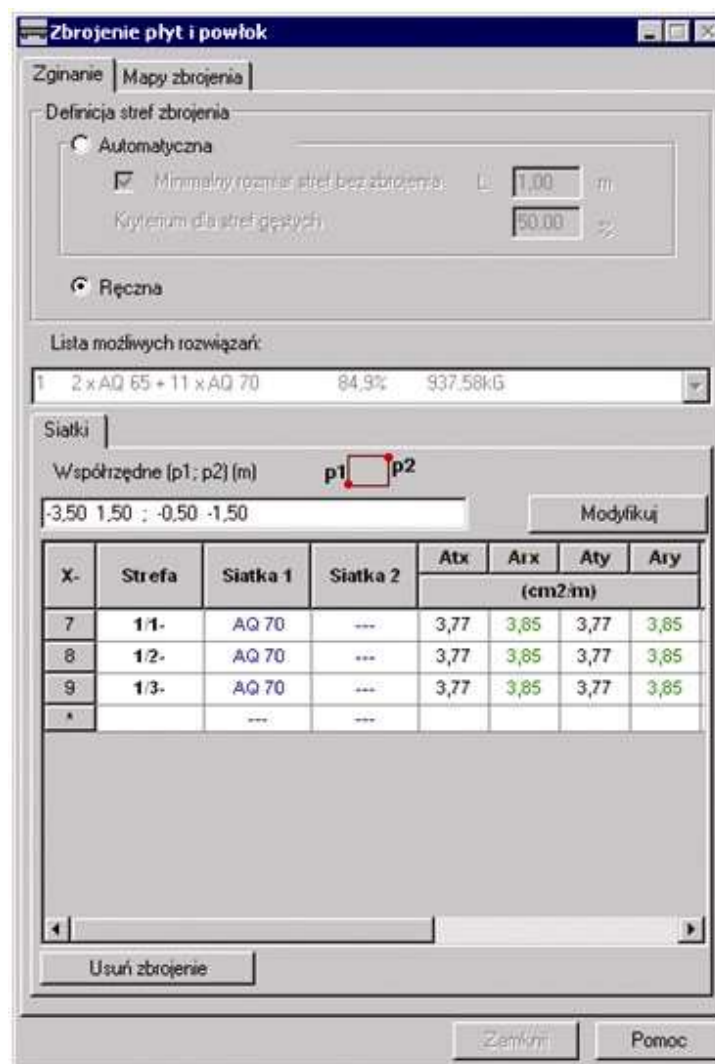
Zbrojenie górne:



Zbrojenie dolne: .

W przypadku, gdy wybrana została norma betonowa, dla której możliwe są obliczenia ze względu na stan graniczny użytkowania, w oknie dialogowym **Zbrojenia** dostępna jest dodatkowa zakładka **SGU**. Do prezentacji na tej zakładce wybrane mogą zostać następujące wielkości (w zależności od normy nie wszystkie wielkości są dostępne): szerokości rozwarcia rys w obu kierunkach, współczynnik sztywności (globalny współczynnik sztywności, przez który mnożone są przemieszczenia sprężyste), ugięcie u (rzeczywiste przemieszczenia punktu obliczeniowego płyty u_R); algorytm obliczeń ugięć płyt żelbetowych opisano powyżej.

Po obliczeniach zbrojenia teoretycznego możliwe jest przejście na ekran **PŁYTY ŻELBETOWE - ZBROJENIE RZECZYWISTE**. Opcje znajdujące się w oknie dialogowym **Zbrojenie płyt i powłok** pozwalają na prezentację wyników obliczeń powierzchni zbrojenia: prezentację stref zbrojenia rzeczywistego oraz ręczną modyfikację tych wyników. Okno dialogowe **Rezultaty** składa się z dwóch zakładek: **Zginanie** i **Mapy zbrojenia**. Na ekranie mogą być wyświetlane mapy zbrojenia, ugięć, zarysowania i sztywności. W dolnej części ekranu znajdują się zakładki służące do wyboru kierunku, dla którego będą wyświetlane mapy.



Okno dialogowe prezentowane na powyższym rysunku składa się z trzech zasadniczych części:

- definicja stref zbrojenia: automatyczna / ręczna (określenie trybu pracy)
- listy wyboru rozwiązań
- pół prezentacji stref zbrojenia rzeczywistego dla wybranego rozwiązania.

Definicja stref zbrojenia

Program pozwala na dwa tryby wyznaczania stref zbrojenia rzeczywistego: automatyczny i ręczny. Tryb automatyczny pozwala na wygenerowanie stref zbrojenia, a następnie obliczenie w nich powierzchni zbrojenia rzeczywistego na podstawie przyjętych parametrów zbrojenia, opcji obliczeniowych oraz obliczonych wcześniej teoretycznych powierzchni zbrojenia. Strefy zbrojenia są wyznaczane za pomocą algorytmów optymalizujących. Po zakończeniu obliczeń użytkownik może wybrać rozwiązanie z listy dostępnych rozwiązań zaproponowanych w programie.

Celem optymalizacji stref zbrojenia jest znalezienie rozwiązania będącego wypadkową uwzględniającą kilka czynników. Dla zbrojenia siatkami cele optymalizacji są następujące:

- ilość cięć potrzebna do uzyskania odpowiednich rozkrojów
- masa siatek zbrojeniowych
- stopień wykorzystania siatek zbrojeniowych.

Dla zbrojenia prętami preferowana jest modularność rozstawów, zmniejszenie asortymentu wykorzystanych prętów oraz masa zużytej stali.

Tryb ręczny pozwala użytkownikowi na zdefiniowanie własnych stref zbrojenia rzeczywistego. W takim wypadku program jedynie dobiera odpowiednie pręty zbrojeniowe i siatki zbrojeniowe (na podstawie obliczonych powierzchni teoretycznych oraz parametrów zbrojenia i opcji obliczeniowych).

Po wybraniu opcji *Ręcznej* definicji stref i przejściu na ekran graficzny kursor myszy zmienia swój kształt (przybiera postać krzyża), co umożliwia wprowadzanie stref.

Metoda definiowania stref zbrojenia jest podobna do definicji konturów prostokątnych. Definicja polega na określeniu położenia dwóch punktów. Pierwsze kliknięcie lewym klawiszem myszy powoduje zdefiniowanie pierwszego naroża i przejście w tryb ciągnięcia prostokąta. Ponowne kliknięcie powoduje definicję przeciwległego naroża.

Lista rozwiązań

Lista rozwiązań pozwala na wybór jednego z kilku możliwych, zaproponowanych przez program rozwiązań. Rozwiązania są posortowane według współczynnika optymalności. Współczynnik ten jest średnią ważoną parametrów będących celem optymalizacji. Należy zauważyć, że w większym stopniu są preferowane rozwiązania ułatwiające prace zbrojarskie niż wymagające najmniejszego zużycia stali.

Gdy wybrana jest opcja zbrojenia siatkami zbrojeniowymi, to lista rozwiązań zawiera: ilość i typ wykorzystanych siatek, procent wykorzystania siatek oraz całkowitą masę siatek zbrojeniowych wraz z odpadami.

Dla opcji zbrojenia prętami na liście rozwiązań są przedstawiane: szacunkowe zestawienie ciężaru każdego z użytych asortymentów prętów oraz zestawienie całkowitego ciężaru stali. W tych wynikach nie jest uwzględniana masa wynikająca z wymaganych zakładów prętów oraz zbrojenia konstrukcyjnego.

Ręczna definicja stref zbrojenia

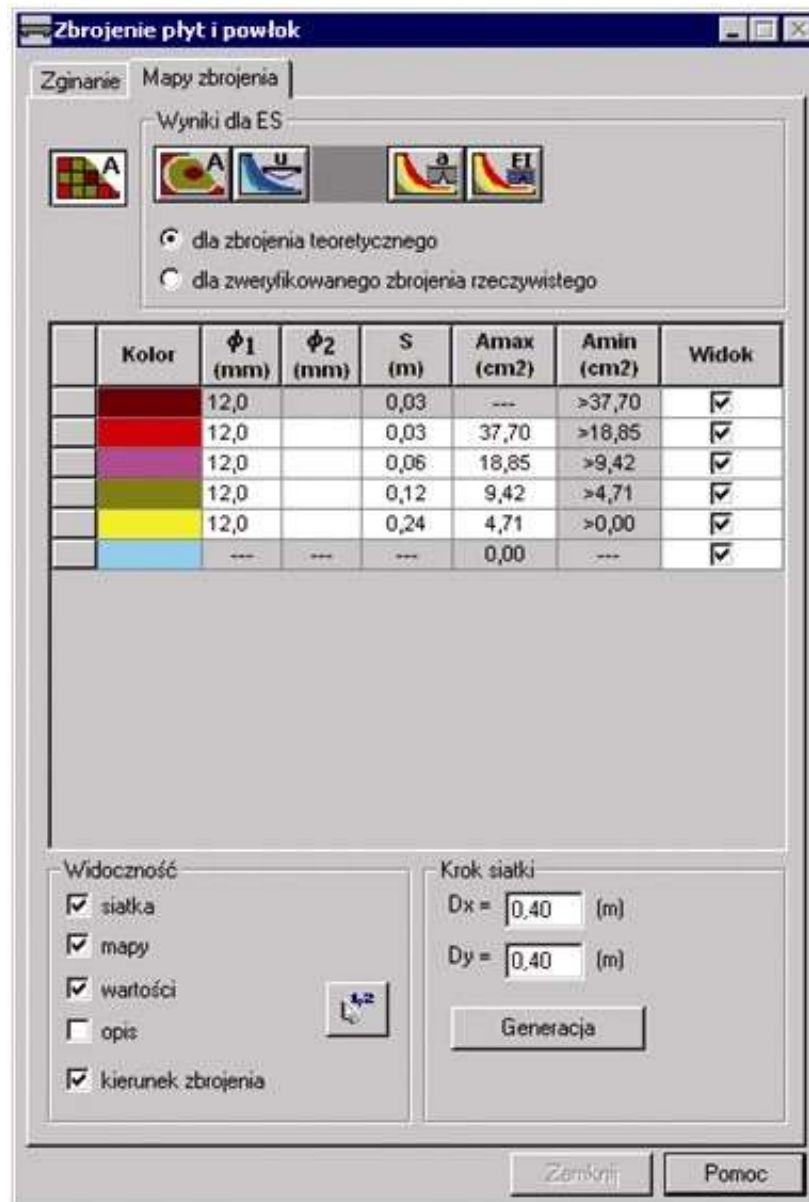
Aby 'ręcznie' dodać strefę zbrojenia, należy zaznaczyć wiersz w tabeli oznaczony symbolem '*', a następnie kliknąć lewym klawiszem myszki w pole *Współrzędne*. Współrzędne mogą być definiowane ręcznie lub poprzez zaznaczenie graficzne strefy na ekranie.

Dla wybranej strefy podawane są współrzędne lewego dolnego i prawego górnego naroża strefy. Wybrana strefa jest podświetlana w tabeli prezentującej wartości zbrojenia oraz w oknach graficznych prezentujących układ stref zbrojenia dolnego i górnego. Aktywna strefa może być modyfikowana przez użytkownika. Istnieje możliwość ręcznej definicji stref zbrojenia (naciskając klawisz **Dodaj**); można również zaznaczyć wiersz oznaczony symbolem '*' i zdefiniować strefę graficznie na ekranie. W dolnej części okna dialogowego znajduje się klawisz **Usuń zbrojenie**, który służy do usuwania zbrojenia we wszystkich strefach.

Tabela ręcznej modyfikacji stref zbrojenia prętów różni się od automatycznej i składa się z:

- *Nazwa strefy* - użytkownik może nadać własną nazwę dla wygenerowanej strefy
- *Strefa bazowa* - określa, czy wybrana strefa jest bazową czy zależną. Użytkownik ma możliwość wybrania z rozwijalnego pola tylko te strefy, które nie są strefami zależnymi. Pręty strefy zależnej rozmieszczane są symetrycznie między prętami strefy bazowej.

- ϕ - średnica prętów
- S - rozstaw prętów
- *Dogęszczanie strefy* - opcja aktywna tylko dla stref zależnych. Włączenie pola wyboru (pojawia się symbol \checkmark) powoduje, że kolejne pole $n+$ staje się dostępne; pole $n+$ określa, ile prętów strefy zależnej zostanie umieszczone między prętami strefy bazowej. Jedna strefa bazowa może mieć kilka stref zależnych. Dogęszczanie strefy bazowej jest symetryczne, więc po wybraniu liczby prętów dla pierwszej strefy zależnej, dla kolejnych stref ograniczona zostaje lista prętów dogęszczających. Użytkownik może zmienić średnicę prętów dogęszczających, ale tylko wtedy, gdy liczba prętów $n+$ jest różna od zera
- A_t - powierzchnia teoretyczna (pole jest wypełniane żółtym kolorem, gdy strefa jest niepotrzebna, bowiem inna strefa w pełni pokrywa ten sam obszar i zapewnia wymaganą powierzchnię zbrojenia)
- A_s - różnica między powierzchnią teoretyczną a rzeczywistą
- A_r - powierzchnia rzeczywista
- *Strefa widoczna* - wyłączenie opcji powoduje, że nie będzie wyświetlana wybrana strefa
- *Strefa docięta* - opcja ta ma zastosowanie w przypadku, gdy strefa leży na więcej niż jednym panelu lub panel ma nietypowy kształt (np. półokrągły). Włączenie tej opcji spowoduje dopasowanie prętów strefy do panela (pręty nie będą wystawać poza krawędź panela).
- *Panel wzorcowy* - w przypadku, gdy strefa pokrywa więcej niż jeden panel, należy wybrać, do którego ma być przypisana (w celu określenie kierunku zbrojenia, ewentualnego docinania strefy, itp.). Opcje znajdujące na zakładce *Mapy zbrojenia* służą do prezentacji i modyfikacji map zbrojenia, ugięcia, zarysowania i sztywności.



W górnej części okna znajdują się następujące ikony:



- po wybraniu tej ikony wyświetlana będzie mapa podzielona na prostokąty (wymiary zdefiniowane w polach *Krok siatki*). Dla całego prostokąta przyjęte będzie maksymalne zbrojenie w nim występujące. W polu *Wyniki dla ES* zgrupowane zostały ikony:



- po wybraniu tej ikony wyświetlana będzie zwykła mapa zbrojenia
- wybranie tej ikony powoduje wyświetlenie mapy ugięć



- wybranie tej ikony powoduje wyświetlenie zarysowania krótkotrwałego




- wybranie tej ikony powoduje wyświetlenie zarysowania długotrwałego



- wybranie tej ikony powoduje wyświetlenie mapy sztywności.

Poniżej znajdują się dwie opcje umożliwiające wybór zbrojenia, dla którego prezentowane będą wyniki z pola *Wyniki dla ES*;


- *Dla zbrojenia teoretycznego* - wybranie tej opcji powoduje, że mapa będzie przedstawiana dla obliczonego zbrojenia teoretycznego
- *Dla zweryfikowanego zbrojenia rzeczywistego* - wybranie tej opcji powoduje, że mapa będzie przedstawiana dla:
 - wybranego typu zbrojenia rzeczywistego (na liście *Lista możliwych rozwiązań* znajdującej się zakładce *Zginanie*); wybrany typ zbrojenia rzeczywistego jest oznaczany na liście pogrubionym tekstem
 - zweryfikowanego typu zbrojenia rzeczywistego; aby dokonać weryfikacji wybranego zbrojenia

rzeczywistego, należy nacisnąć ikonę .

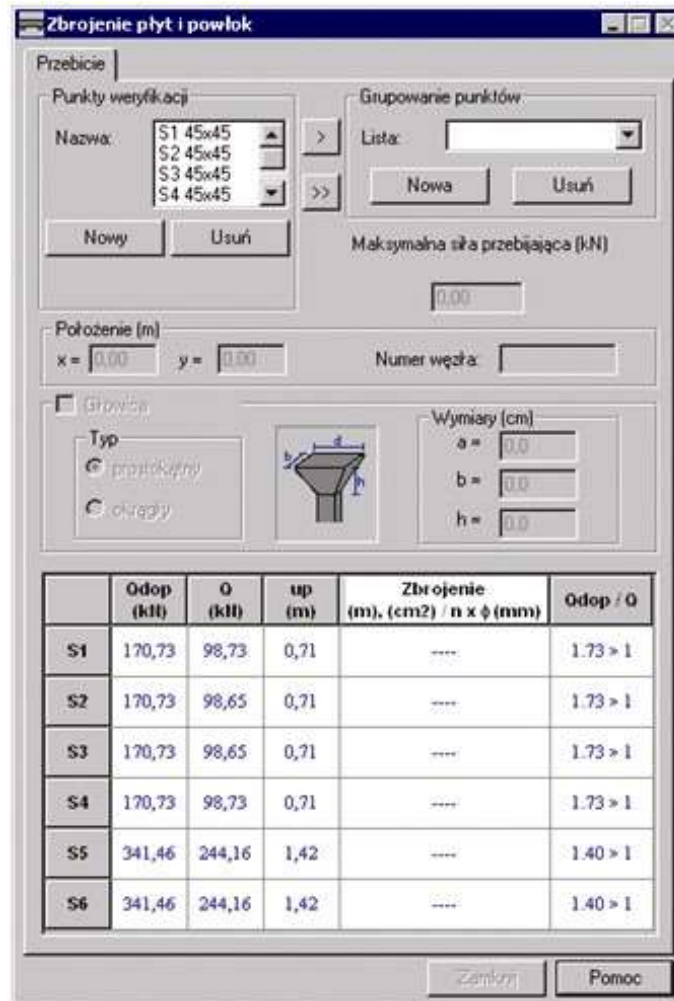
W dolnej części okna znajdują się opcje umożliwiające sterowanie mapą.

Pierwszą opcją jest sterowanie siatką; służą temu opcje znajdujące się w polu *Krok siatki*. Użytkownik może ustalić krok siatki (wymiary oczka siatki) oraz zdecydować, czy siatka ma być widoczna (opcja *Widoczność siatki* w polu *Widoczność*). Przy generacji automatycznej (dostępnej po naciśnięciu klawisza **Generacja**) należy pamiętać, że tworząc gęstą siatkę (o małym kroku siatki), strefy będą niewielkie (gdyż będą lepiej dopasowane), ale liczba stref może wzrosnąć.

Dodatkowo w polu *Widoczność* znajdują się pola wyboru, których włączenie powoduje wyświetlanie się na ekranie: map, wartości, opisów oraz głównego kierunku zbrojenia.

W polu *Widoczność* znajduje się również ikona ; jej naciśnięcie pozwala na podanie wartości lub opisu mapy dla wskazanych punktów (UWAGA: opcje *wartości* i/lub *opis* muszą być włączone). Ponowne naciśnięcie tej ikony przedstawia wartości/opisy mapy dla wszystkich punktów.

Opcje znajdujące się na zakładce *Przebicie* pozwalają na analizę przebiccia w płytach od obciążeń siłami skupionymi oraz od sił reakcji podpór płyty.



Opcje znajdujące się na zakładce *Przebiecie* umożliwiają:

- przeglądanie i definiowanie punktów weryfikacji przebiecia
- grupowanie punktów weryfikacji (ujednoczenie geometrii)
- nadawanie podporom (słupom) charakterystyk geometrycznych głowicy
- przeglądanie wyników obliczeń przebiecia.

Przeglądanie i dodawanie własnego punktu weryfikacji przebiecia

Jeżeli w konstrukcji zostały zdefiniowane podpory punktowe, to są one automatycznie wpisywane na listę punktów i oznaczane literą S z kolejnymi numerami porządkowymi. Dla każdego typu podpór możemy odczytać:

- współrzędne w polu *Położenie*
- numer węzła, do którego jest przypisana podpora (w polu *Numer węzła*)
- maksymalną wartość reakcji podpory w polu *Maksymalna siła przebijająca*
- geometrię podpory o ile taka została zdefiniowana podczas definicji podpory w oknie dialogowym **Zaawansowane**.

Aby wyświetlić dane dotyczące wybranego punktu weryfikacji, należy wyselekcjonować tylko jego nazwę znajdującą się na liście punktów.

Niezależnie od podpór możemy zdefiniować własne punkty weryfikacji.

Aby zdefiniować nowy punkt weryfikacji, należy w polu *Punkty weryfikacji* nacisnąć klawisz **Nowy**. Za każdym razem po wykonaniu tej czynności do listy z punktami weryfikacji dopisywany jest punkt weryfikacji oznaczony literą P i kolejnym numerem porządkowym. Po wyborze punktu weryfikacji aktywne stają się pola umożliwiające definicję położenia punktu, geometrii obciążenia oraz wartości siły przebijającej. Wartości te są na bieżąco zapisywane (nie wymagana jest żadna dodatkowa czynność, aby je zatwierdzić).

Aby usunąć dodany punkt weryfikacji, należy go wyselekcjonować i nacisnąć klawisz **Usuń**. Nie można usunąć punktów, które są podporami zdefiniowanymi w geometrii konstrukcji (oznaczonych literą S).

Głowice podpór (słupów)

Program pozwala na zdefiniowanie głowic nad podporami (słupami), które uwzględniane będą w obliczeniach przebiecia. Aby tego dokonać, należy włączyć opcję *Głowica* (dostępne będą pola z wymiarami) i określić wymiary głowicy. Dla głowicy na podporze prostokątnej są to długości boków głowicy w punkcie styku z powierzchnią płyty (oznaczone literami a i b) oraz wysokość głowicy oznaczona literą h. Dla głowic nad podporami okrągłymi jest to: średnica głowicy d i wysokość głowicy h (w przypadku głowicy okrągłej) lub długości boków głowicy (oznaczone literami a i b) - w przypadku głowicy prostokątnej.

W przypadku, gdy podpora należy do grupy, głowica jest nadawana wszystkim elementom tej grupy.

Grupowanie punktów

Zarówno dodatkowe punkty weryfikacji, jak również podpory, mogą być grupowane w celu łatwiejszej modyfikacji geometrii. Punkty można grupować ręcznie poprzez selekcję na liście nazw i naciśnięcie klawisza >; możliwe jest również automatyczne grupowanie wszystkich podpór: należy nacisnąć klawisz >>.

Dodatkowe punkty weryfikacji można grupować, jeżeli posiadają ten sam typ geometrii. W przypadku podpór wymagana jest również zgodność wymiarów podpory. Jeżeli warunki na zgodność wymiarów podpory nie są spełnione, punkty weryfikacji lub podpory, które nie są zgodne z pierwszym na liście zostaną z niej usunięte w chwili zatwierdzania grupy.

Gdy grupujemy punkty o różnych wymiarach, wartości wymiarów są przyjmowane na podstawie pierwszego zdefiniowanego w grupie punktu. Dodanie do grupy nowego punktu powoduje automatycznie zmianę jego wymiarów na zgodne z wymiarami grupy. Analogicznie wygląda grupowanie podpór o różnych wymiarach głowicy.

Po zdefiniowaniu grupy jakkolwiek zmiana dla dowolnego składnika grupy odnosi się do całej grupy i jest na bieżąco modyfikowana.

Prezentacja wyników obliczeń

W tabeli prezentującej wyniki analizy przebiecia dla każdego punktu weryfikacji przedstawiane są następujące wartości:

- dopuszczalna siła przebijająca obliczona przez program według odpowiednich zapisów normowych
- uogólniona obliczeniowa siła wymiarująca określona w polu *Maksymalna siła przebijająca* dla dodatkowych punktów weryfikacji lub odczytana z wyników obliczeń MES dla podpór
- obwód krytyczny obliczony na podstawie wymagań normowych • zbrojenie, na które składa się: zasięg zbrojenia od środka słupa w dwóch kierunkach prostopadłych L1 i L2 obwód strefy zbrojenia (jeśli jest wymagany) całkowita powierzchnia zbrojenia liczba i średnica prętów wyliczona na podstawie całkowitej powierzchni i ustawień w opcjach na przebiecie
- współczynnik bezpieczeństwa będący stosunkiem maksymalnej siły przebijającej do dopuszczalnej siły przebijającej.

Wyniki analizy przebiecia dla poszczególnych punktów są prezentowane kolorem odpowiadającym rezultatowi obliczeń:

- kolorem niebieskim dla punktów spełniających warunki na przebiecie i nie wymagających zbrojenia
- kolorem zielonym dla punktów spełniających warunki na przebiecie i wymagających zbrojenia
- kolorem czerwonym dla punktów nie spełniających warunków na przebiecie pomimo zastosowania zbrojenia.

Obwód krytyczny jest prezentowany w postaci graficznej na ekranie **Płyty - przebicie** w postaci zielonej linii wokół słupów. Zasięg zbrojenia na przebicie jest prezentowany w postaci graficznej na rysunku wykonawczym płyty (deskowanie).

Na zakładce *Przebicie* mogą znajdować się dodatkowe opcje; zależy to od wybranej normy wymiarowania konstrukcji żelbetowych.


Norma ACI

Po wybraniu tej normy w powyższym oknie dialogowym dostępna jest również opcja *Typ*, która dla każdej podpory określa jej położenie: wewnątrz płyty, na krawędzi płyty lub w narożu płyty. Typ podpory jest wykorzystywany podczas obliczania dopuszczalnej siły przebijającej [ACI 318-99 11.12.2.2].

Norma EC2

Po wybraniu tej normy w powyższym oknie dialogowym dostępna jest również opcja β . Dla każdej podpory parametr określa położenie podpory: wewnątrz płyty, na krawędzi płyty lub w narożu płyty. Wartość tego parametru jest wykorzystywana podczas obliczania siły przebijającej [ENV 1992-1-1 EC2 4.3.4.3].

Po zakończeniu obliczeń zbrojenia rzeczywistego płyty można przedstawić wyniki obliczeń w postaci notki obliczeniowej (opcja *Rezultaty / Notka obliczeniowa*). Na ekranie pojawi się edytor tekstowy systemu **Robot** zawierający dane wymiarowanej płyty oraz uzyskane wyniki obliczeń i wymiarowania.

Po wybraniu opcji *Rezultaty / Rysunki* w menu lub naciśnięciu ikony  uruchomiony zostanie ekran programu **Robot RYSUNKI WYKONAWCZE**, na którym prezentowany będzie rysunek wykonawczy obliczonej i zwymiarowanej płyty. Rysunek wykonawczy płyty będzie przedstawiany na ekranie w postaci, która odpowiada przyjętym parametrom rysunku (patrz rozdział 6.2.5).

Poniżej przedstawiona zostanie analityczna metoda wyznaczania powierzchni zbrojenia płyt i powłok wykorzystana w programie **Robot**. Opiera się ona na koncepcji zaprezentowanej w artykule [A.Capra, J-F. Maury - „Calcul automatique du ferrailage optimal des plaques et coques en beton arme”, *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*, No.367, Decembre 1978].

Procedura obliczeń bazuje na podstawowym założeniu, że mając podane wartości zbrojenia A_x , A_y , odpowiadające dwóm prostokątnym kierunkom 'x' i 'y' można przyjąć „zastępcze” zbrojenie w dowolnym kierunku 'n' według wzoru:

$$A_n = A_x * \cos^2(\alpha) + A_y * \sin^2(\alpha)$$

gdzie: $\alpha = \angle(x, n)$.

Ponieważ wartości sił przekrojowych (momentów i sił membranowych) M_n , N_n można uzyskać z wzorów transformacyjnych:

$$M_n = M_x * \cos^2(\alpha) + M_y * \sin^2(\alpha) - M_{xy} * \sin(2\alpha)$$

$$N_n = N_x * \cos^2(\alpha) + N_y * \sin^2(\alpha) - N_{xy} * \sin(2\alpha)$$

Warunek 'poprawnego' zbrojenia, a więc takiego jakie jest w stanie przenieść siły wewnętrzne dla dowolnie wskazanego przekroju można zapisać w formie nierówności:

$$A_x * \cos^2(\alpha) + A_y * \sin^2(\alpha) = A_n \geq \Phi(M_n, N_n)$$

gdzie funkcja $\Phi(M_n, N_n)$ oznacza wartość zbrojenia potrzebną do przeniesienia sił obliczonych w kierunku 'n' - M_n , N_n .

Nierówność: $A_x * \cos^2(\alpha) + A_y * \sin^2(\alpha) \geq \Phi(M_n, N_n)$ wyznacza na płaszczyźnie (A_x , A_y) obszar 'dopuszczalnych' wartości zbrojenia A_x , A_y (półpłaszczyznę). Wyznaczając taki obszar dla dostatecznie gęstego wyboru kierunków 'n' (program zakłada kontrolę co 10°) otrzymuje się obszar dopuszczalnych wartości A_x , A_y .

Zbrojenie przyjęte przez program jest zbrojeniem minimalnym (dającym minimalną sumę powierzchni $A_x + A_y$).

W przypadku gdy typ konstrukcji lub wybór opcji obliczeniowych spowoduje redukcję zestawu sił wewnętrznych, wyznaczanie zbrojenia odbywa się na podstawie:

- momentów M_n - konstrukcja płytowa lub opcja czyste zginanie w konstrukcji powłokowej
- sił membranowych N_n - konstrukcja płaski stan naprężenia lub opcja ściskanie/ rozciąganie w konstrukcji powłokowej
- pełnego zestawu sił M_n , N_n - opcja zginanie + ściskanie rozciąganie w konstrukcji powłokowej.

Należy zwrócić jeszcze uwagę, że w przypadku obliczania zbrojenia jednokierunkowego, metoda analityczna ogranicza się do obliczania zbrojenia wyłącznie na kierunku zbrojenia głównego bez podziału na 'n' kierunków. Oznacza to, że płyta jest wymiarowana jedynie na zestaw sił M_{xx} i N_{xx} .

W programie **Robot** można wykorzystywać również metodę Wood'a-Armer'a (dodatek do normy europejskiej [ENV 1992-1-1 EC2 Design of Concrete Structures - Appendix 2, point A.2.8 Reinforcement in Slabs]). Autorami koncepcji wyznaczania równoważnych momentów są Wood i Armer. Szczegóły można znaleźć np. w [R.H.Wood - „The reinforcement of slabs in accordance with a pre-determined field of moments”, *Concrete*, February 1968, August 1968 (correspondence)].

Sposób obliczeń

W przypadku wyznaczania zbrojenia dla konstrukcji płytowej lub włączenia opcji wymiarowania panela na czyste zginanie w konstrukcji powłokowej, obliczane są momenty wymiarujące zgodnie z metodą zaproponowaną przez Wooda i Armera (wzory podane są poniżej).

Dla wybranego kierunku 'x' (i odpowiadającego mu prostopadłego kierunku 'y') obliczane są momenty wymiarujące M^* 'dolne' (dodatnie, powodujące główne rozciąganie po stronie spódów) i 'górne' (ujemne, powodujące rozciągania po stronie wierzchniej). Ogólny przepis jest następujący.

Wyznaczenie 'dolnych' momentów M_{xd}^* , M_{yd}^* :

$$M_{xd}^* = M_x + |M_{xy}|$$

$$M_{yd}^* = M_y + |M_{xy}|$$

Jeżeli jednak $M_x < -|M_{xy}|$ (czyli wyliczone $M_{xd}^* < 0$)

$$M_{xd}^* = 0$$

$$M_{yd}^* = M_y + |M_{xy}^2/M_x|$$

Podobnie gdy $M_y < -|M_{xy}|$ (czyli wyliczone $M_{yd}^* < 0$) (*)

$$M_{xd}^* = M_x + |M_{xy}^2/M_y| (*)$$

$$M_{yd}^* = 0 (*)$$

Jeżeli którykolwiek z otrzymanych momentów M_{xd}^* , M_{yd}^* jest mniejszy od zera należy przyjąć wartość zerową (momenty wymiarujące przy rozciąganiu górnych warstw wyznaczone są w dalszej części). Wyznaczenie 'górnych' momentów M_{xg}^* , M_{yg}^* :

$$M_{xg}^* = M_x - |M_{xy}|$$

$$M_{yg}^* = M_y - |M_{xy}|$$

Jeżeli $M_x > |M_{xy}|$ (czyli wyliczone $M_{xg}^* > 0$) (*)

$$M_{xg}^* = 0 (*)$$

$$M_{yg}^* = M_y - |M_{xy}^2/M_x| (*)$$

Podobnie gdy $M_y > |M_{xy}|$ (czyli wyliczone $M_{yg}^* > 0$)

$$M_{xg}^* = M_x - |M_{xy}^2/M_y|$$

$$M_{yg}^* = 0$$

Jeżeli którykolwiek z otrzymanych momentów M_{xg}^* , M_{yg}^* jest większy od zera, należy przyjąć wartość zerową (momenty takie wymiarowałyby dolne zbrojenia, co już zagwarantowały nam wyliczone wcześniej momenty 'dolne' M_{xd}^* , M_{yd}^*)

Analogicznie dla konstrukcji w płaskim stanie naprężenia lub przy włączonej opcji wymiarowania panela na ściskanie/ rozciąganie w konstrukcji powłokowej wyliczane są siły wymiarujące ze wzorów podanych poniżej.

Dla wybranego kierunku 'x' (i odpowiadającego mu prostopadłego kierunku 'y') obliczane są siły wymiarujące N^* 'rozciągające' (dodatnie, powodujące główne rozciąganie przekroju) i 'ściskające' (ujemne, powodujące ściskanie przekroju). Ogólny przepis jest następujący. Wyznaczenie 'rozciągających' sił N_{xr}^* , N_{yr}^* :

$$N_{xr}^* = N_x + |N_{xy}|$$

$$N_{yr}^* = N_y + |N_{xy}|$$

Jeżeli jednak $N_x < -|N_{xy}|$ (czyli wyliczone $N_{xd}^* < 0$) N_{xr}^*

$$= 0$$

$$N_{yr}^* = N_y + |N_{xy} * N_{xy} / N_x|.$$

Podobnie, gdy $N_y < -|N_{xy}|$ (czyli wyliczone $N_{yr}^* < 0$) (*)

$$N_{xr}^* = N_x + |N_{xy} * N_{xy} / N_y| (*) \quad N_{yr}^* =$$

$$0 (*)$$

Jeżeli którakolwiek z otrzymanych sił N_{xd}^* , N_{yd}^* jest mniejsza od zera, należy przyjąć wartość zerową (siły wymiarujące przekrój przez ściskanie zbrojenia wyznaczone są w dalszej części). Wyznaczenie 'ściskających' sił N_{xs}^* , N_{ys}^* :

$$N_{xs}^* = N_x - |N_{xy}|$$

$$N_{ys}^* = N_y - |N_{xy}|$$

Jeżeli $N_x > |N_{xy}|$ (czyli wyliczone $N_{xs}^* > 0$) (*)

$$N_{xs}^* = 0 (*)$$

$$N_{ys}^* = N_y - |N_{xy} * N_{xy} / N_x| (*)$$

Podobnie gdy $N_y > |N_{xy}|$ (czyli wyliczone $N_{ys}^* > 0$)

$$N_{xs}^* = N_x - |N_{xy} * N_{xy} / N_y| \quad N_{ys}^*$$

$$= 0.$$

Jeżeli którakolwiek z otrzymanych sił N_{xs}^* , N_{ys}^* jest większa od zera, należy przyjąć wartość zerową (siły takie wymiarują przekrój przez rozciąganie zbrojenia, co już zagwarantowały nam wyliczone wcześniej siły 'rozciągające' N_{xr}^* , N_{yr}^*)

Metoda NEN

Metoda wymiarowania na podane momenty zastępcze jest metodą normową normy holenderskiej NEN 6720 (p. 7.3.2).

Sposób obliczeń

Algorytm jest uproszczeniem algorytmu Wooda i Armera.

W przypadku wyznaczania zbrojenia dla konstrukcji płytowej lub włączenia opcji wymiarowania panela na czyste zginanie w konstrukcji powłokowej, obliczane są momenty wymiarujące zgodnie z normą NEN (wzory podane są poniżej).

Wyznaczenie 'dolnych' momentów M_{xd}^* , M_{yd}^* :

$$M_{xd}^* = M_x + |M_{xy}| \quad M_{yd}^*$$

$$= M_y + |M_{xy}|$$

Wyznaczenie 'górných' momentów M_{xg}^* , M_{yg}^* :

$$M_{xg}^* = M_x - |M_{xy}|$$

$$M_{yg}^* = M_y - |M_{xy}|$$

Analogicznie dla konstrukcji w płaskim stanie naprężenia lub przy włączonej opcji wymiarowania panela na ściskanie/ rozciąganie w konstrukcji powłokowej wyliczane są siły wymiarujące ze wzorów podanych poniżej.

Wyznaczenie 'rozciągających' sił N_{xr}^* , N_{yr}^* :

$$N_{xr}^* = N_x + |N_{xy}| \quad N_{yr}^*$$

$$= N_y + |N_{xy}|$$

Wyznaczenie 'ściskających' sił N_{xs}^* , N_{ys}^* :

$$N_{xs}^* = N_x - |N_{xy}|$$

$$N_{ys}^* = N_y - |N_{xy}|$$

W przypadku złożonego stanu naprężeń (powłoki z włączoną opcją wymiarowania panela na zginanie + ściskanie/rozciąganie), w którym występują jednocześnie momenty gnące (M_{xx} , M_{xy} , M_{yy}) oraz siły membranowe (N_{xx} , N_{xy} , N_{yy}) nie ma opracowanego algorytmu uproszczonego. Ponieważ jednak często zdarza

się, że modelowane powłoki pracują w stanie prawie płytowym (przy niewielkich siłach membranowych), dlatego pozostawiono możliwość obliczeń momentów M_{xd}^* , M_{yd}^* według opisanej metody, na które to momenty wymiarujące nakładane są siły podłużne N_{xx} , N_{yy} .

Złożony stan naprężeń

Metody uproszczone stosowane w programie **Robot** pozwalają na przyspieszenie obliczeń w przypadku wystąpienia 'czystego' stanu giętnego (płyty, czyste zginanie) lub tarczowego (płaski stan naprężenia, ściskanie/rozciąganie). Dla stanu złożonego (powłoki), w którym występują dodatkowo siły błonowe (N_x , N_{xy} , N_y) nie ma opracowanego algorytmu uproszczonego. Wydaje się że jedynym dopuszczalnym postępowaniem jest stosowanie podejścia 'analitycznego'.

Ponieważ jednak często modelowane powłoki pracują w stanie płytowym (przy niewielkich siłach membranowych) dlatego pozostawiono możliwość obliczeń momentów według wybranej metody uproszczonej, na które to momenty wymiarujące nakładane są siły podłużne N_x , N_y .

Wypada podkreślić, że taki sposób działania jest usprawiedliwiony tylko dla stosunkowo niewielkich sił membranowych i za jego użycie odpowiedzialność musi ponosić użytkownik.


Porównanie wymienionych metod

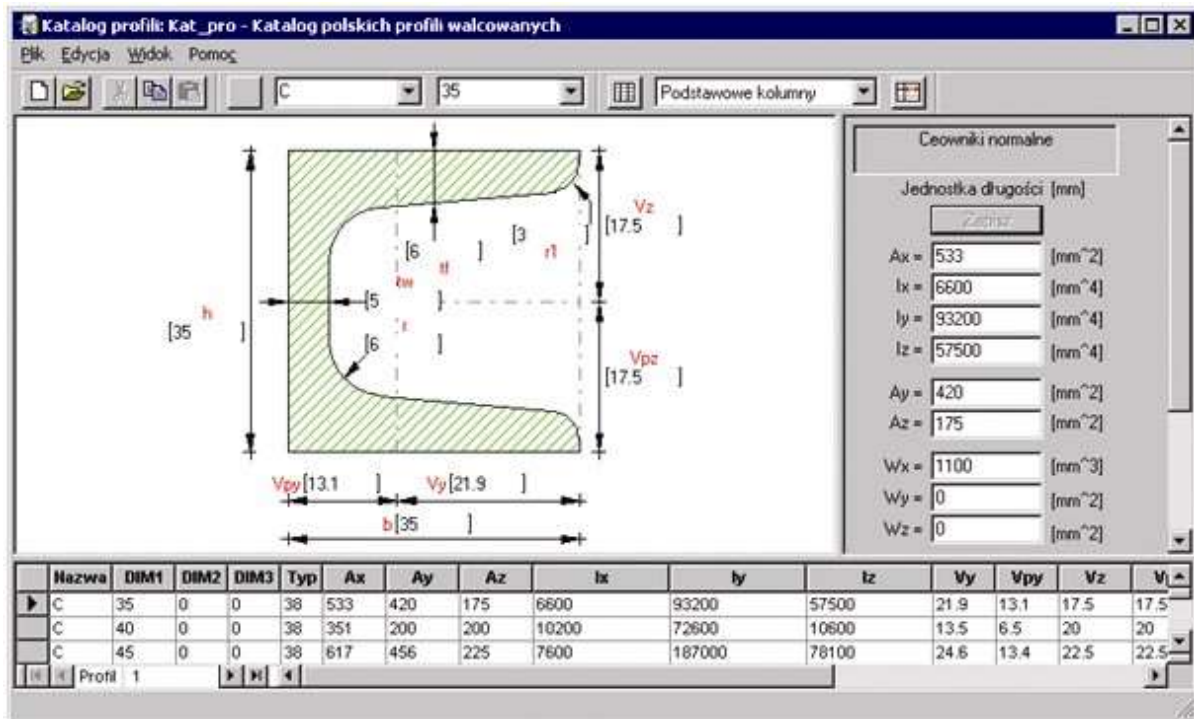
W wykonanych testach różnice pomiędzy wynikami zbrojenia między metodą analityczną a metodami uproszczonymi nie sięgały więcej niż 5% powierzchni zbrojenia (metody uproszczone dawały nieco większe maksymalne zbrojenia).

Metoda analityczna jest obliczeniowo najbardziej skomplikowaną z metod obliczania zbrojenia w programie **Robot**. Czas obliczeń metodą analityczną (za wyjątkiem obliczeń płyt jednokierunkowo zbrojonych) w porównaniu z metodami Wood&Armer lub NEN może się znacznie zwiększyć (w zależności od konstrukcji czas wydłuża się od 100% do 500%).

7. BAZY PROFILI PRĘTÓW

W programie **Robot** użytkownik może wykorzystywać kilka baz profili prętów. Wszystkie dane dotyczące geometrii profili są przechowywane w bazach standardowych profili prętów. Użytkownik może je wykorzystywać poprzez podanie nazwy odpowiedniej bazy profili. Użytkownik może również zdefiniować swój katalog profili, w którym przechowywane będą najczęściej używane przez niego profile.

Po wybraniu w menu programu **Robot** opcji *Narzędzia / Bazy profili* lub naciśnięciu ikony  na ekranie pojawia się przeglądarka (dodatkowe okno) pokazana na poniższym rysunku służąca do prezentacji informacji o profilach standardowych oraz dokonywania operacji na katalogach profili.



Nazwa	DIM1	DIM2	DIM3	Typ	Ax	Ay	Az	Ix	Iy	Iz	Vy	Vpy	Vz	Vl
C 35	35	0	0	38	533	420	175	6600	93200	57500	21.9	13.1	17.5	17.5
C 40	40	0	0	38	351	200	200	10200	72600	10600	13.5	6.5	20	20
C 45	45	0	0	38	617	456	225	7600	187000	78100	24.6	13.4	22.5	22.5

Wielkość poszczególnych części przeglądarki może zostać dostosowana do potrzeb użytkownika. Tabela może być rozdzielona za pomocą "spliterów" zarówno w pionie jak i poziomie. Pionowy "spliter" może zostać uaktywniony w lewym dolnym rogu tabeli (pojawia się symbol \dagger). Pionowy podział tabeli jest zsynchronizowany, tzn. można przeglądać różne rekordy tej samej linii. Poziomy "spliter" może zostać uaktywniony w prawym dolnym rogu tabeli (pojawia się symbol \ddagger). Poziomy podział umożliwia niezależne przeglądanie i porównanie różnych linii w bazie.

Przeglądarka baz profili pokazana na powyższym rysunku jest podzielona na kilka części:

- widok przekroju wybranego profilu, na którym prezentowane są podstawowe oznaczenia i wymiary
- okno dialogowe, w którym prezentowana jest lista wartości podstawowych charakterystyk wybranego profilu (pole przekroju, momenty bezwładności, wskaźniki wytrzymałości, powierzchnia malowania, masa profilu)
- tabela, w której prezentowane są wszystkie dane dotyczące profili prętów.

W tabeli prezentowane są następujące informacje dotyczące profili:

- nazwa profilu

- podstawowe wymiary profilu (dim1, dim2, dim3) - w zależności od typu profilu wypełniona jest jedna kolumna (dim1, a w pozostałych wpisywana jest wartość zerowa), dwie kolumny lub trzy kolumny • typ kształtu profilu
- wszystkie dostępne wymiary i charakterystyki geometryczne przekroju (wymiary d_1, d_2, ..., kąty a_1, a_2 są dodatkowymi parametrami geometrycznymi profilu natomiast wymiary P1_L, P1_T, P2_L, P2_T, P3_L, P3_T, P4_L, P4_T są wymiarami profilu krzyżowego)
- symbol profilu - zawiera pełny opis geometrii profilu, gdy profil nie jest standardowy
- cztery ostatnie kolumny tabeli zawierają następujące informacje: cienkościenny (pojawienie się symbolu \surd oznacza profil cienkościenny), materiał (pojawienie się symbolu \surd oznacza, że z profilem zdefiniowany został materiał), opis materiału (zawiera pełny opis materiałów w profilu), punkty (zawiera opis punktów charakterystycznych profilu).

Przeglądarka baz profili umożliwia użytkownikowi:

- prezentację wymiarów i charakterystyk profili znajdujących się w wybranej bazie profili
- otwarcie nowego katalogu profili wybierając w menu przeglądarki komendę *Plik / Otwórz istniejącą bazę* lub naciskając ikonę *Otwórz*
- zadeklarowanie nowej bazy profili
- kopiowanie profili pomiędzy bazami.

W programie **Robot** istnieje również opcja służąca do projektowania przez użytkownika własnych profili prętów oraz obliczeń charakterystyk tych profili. Opcja dostępna jest po wybraniu ekranu

NARZĘDZIA/PROJEKTOWANIE PROFILI

Podstawowymi funkcjami modułu *Projektowanie profili* są:

- umożliwienie graficznego definiowania przekroju poprzecznego pręta
- obliczanie jego wielkości geometrycznych i ważonych (pola powierzchni, momentów bezwładności, położenia środka ciężkości itp.)
- zapisanie przekroju wraz z obliczonymi wielkościami w bazie profili użytkownika.

Definiowany profil pręta pełnego może być:

- przekrojem pełnym
- przekrojem cienkościennym.

Przekroje pełne (lite) mogą być:

- przekrojem z otworami
- przekrojem jednorodnym lub kompozytowym
- przekrojem o prostych lub zakrzywionych odcinkach brzegu
- przekrojem wziętym z bazy i zmodyfikowanym w module *Projektowanie profili*.

Aby zdefiniować profil, należy:

1. graficznie określić geometrię przekroju poprzecznego
2. podać własności fizyczne i stałe materiałowe
3. przeprowadzić obliczenia 4. zapisać profil w bazie profili.

Definiowany profil może składać się z wielokątów, okręgów, prostokątów. Mogą one być dowolnie modyfikowane przy pomocy opcji edycyjnych (translacja, obrót, symetria). Możliwe jest również dokonanie standaryzacji nakładających się konturów profilu (stworzenie jednego konturu profilu z kilku utworzonych przez użytkownika). Istnieje możliwość tworzenia otworów lub profili składających się z kilku części mających różne właściwości materiałowe.

Opcja *Rezultaty / Charakterystyki geometryczne / Rezultaty* umożliwia rozpoczęcie obliczeń charakterystyk geometrycznych zdefiniowanego profilu. Na ekranie pojawia się okno dialogowe **Rezultaty**, w którym

prezentowane są wyniki obliczeń charakterystyk profilu. W oknie graficznym prezentowane jest położenie centralnego i głównego układu współrzędnych.

Dla profilu pełnego wyznaczane są następujące wielkości geometryczne i ważone:

- pole powierzchni profilu (A_x)
- obwód profilu
- położenie środka ciężkości w globalnym układzie współrzędnych
- kąty główne - są to kąty nachylenia pierwszej osi układu głównego w stosunku do globalnego układu współrzędnych
- momenty bezwładności i dewiacji wyznaczone w następujących układach: centralnym, głównym i dowolnym (I_y, I_z, I_{yz})
- promienie bezwładności (i_y, i_z)
- wskaźniki wytrzymałości na ścinanie (W_y, W_z)
- wskaźniki wytrzymałości na zginanie (W_{ely}, W_{elz})
- plastyczne wskaźniki wytrzymałości ($W_{pl,y}, W_{pl,z}$)
- momenty statyczne (w dowolnym układzie współrzędnych) (S_y, S_z)
- moment bezwładności na skręcanie (tylko wartość geometryczna) I_x
- odległości najbardziej oddalonych włókien profilu od osi głównych, centralnych
- współczynniki sztywności ścinania (zredukowane pole profilu na ścinanie wykorzystywane podczas obliczeń maksymalnych naprężeń stycznych w belce) (A_y, A_z).

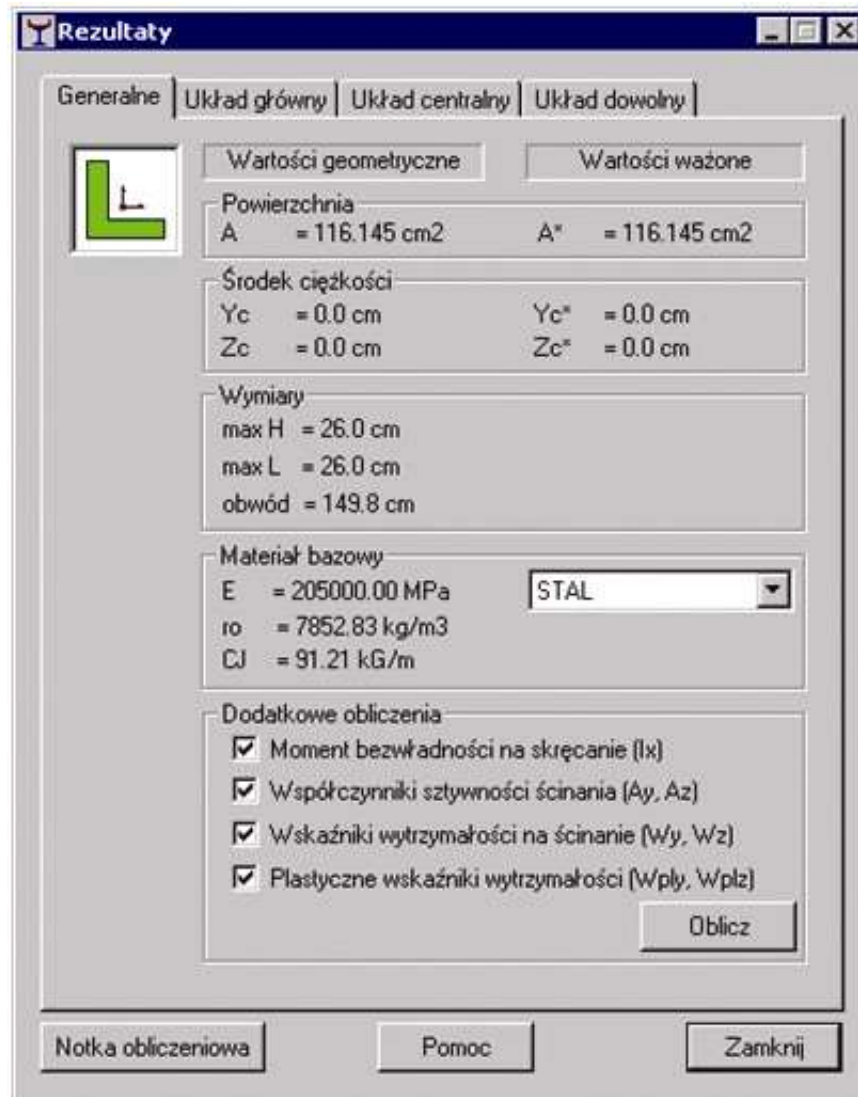
Plastyczne wskaźniki wytrzymałości względem głównych, centralnych osi profilu są obliczane przy pomocy wzorów podanych poniżej.

$$W_{pl,y} = \int_{s_x^1} z dS_x - \int_{s_x^2} z dS_x$$

$$W_{pl,z} = \int_{s_x^3} y dS_x - \int_{s_x^4} y dS_x$$

Moment zginający względem osi y lub z, który powoduje całkowite uplastycznienie przekroju, jest iloczynem wartości plastycznego wskaźnika wytrzymałości względem osi y lub z i wartości granicy plastyczności. s_x^1, s_x^2 są powierzchniami o równych polach, które powstają w wyniku podziału linia obojętną równoległą do osi y.

Przykładowe okno dialogowe otrzymane dla profilu pełnego prezentowane jest na poniższym rysunku.




Dla profilu cienkościennego wyznaczane są następujące wielkości:

- pole powierzchni przekroju poprzecznego A_x
- położenie środka ciężkości (Y_0, Z_0) w globalnym układzie współrzędnych użytkownika
- kąt główny (Alfa) - kąt nachylenia pierwszej osi głównej względem dodatniego kierunku globalnej osi Y
- momenty bezwładności i dewiacji wyznaczone względem osi globalnego układu użytkownika (I_y, I_z, I_{yz}) oraz względem głównych, centralnych osi (I_y, I_z)
- wycinkowy moment bezwładności $I_{\omega}, I_{\omega_y}, I_{\omega_z}$
- odległości najbardziej oddalonych włókien profilu od osi głównych, centralnych • położenie środka zginania (Y_c, Z_c) w globalnym układzie współrzędnych
- ciężar na jednostkę długości pręta (CJ).

Przy obliczaniu wielkości charakterystycznych geometrii przekrojów cienkościennych wykorzystywana jest metoda oparta na założeniu redukcji przekroju poprzecznego do linii środkowej przekroju, każdemu punktowi której przypisana jest masa: $m(s) = \rho(s) \delta(s) = 1 \cdot \delta(s)$, gdzie $\delta(s)$ jest grubością ścianki przekroju, natomiast s jest współrzędną wycinkową na linii środkowej. Cienkościenny przekrój poprzeczny jest

traktowany jako jednowymiarowa figura i jest podzielony na dowolną, ale skończoną liczbę odcinków i/lub łuków.

Po zdefiniowaniu profilu istnieje możliwość zapisu profilu do bazy profili (do bazy użytkownika). Opcja dostępna jest na ekranie **PROJEKTOWANIE PROFILI**:

- z menu poprzez wybranie komendy: *Plik / Zapisz do baz*
- z paska narzędziowego poprzez naciśnięcie ikony .

Po wybraniu tej opcji na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.



Aby zapisać profil do bazy, należy:

- podać nazwę: maksymalnie cztery litery (*UWAGA: niedozwolone jest użycie cyfr*)
- podać wymiary charakteryzujące profil (liczby rzeczywiste określające informacje o profilu):
 - = w przypadku podawania jednego wymiaru należy podać *Wymiar 1*
 - = w przypadku definiowania dwóch wymiarów należy podać: *Wymiar 1* i *Wymiar 3*.

Opcja *Typ profilu* pozwala zdefiniować naturę/rodzaj profilu; jest ona wykorzystywana podczas wymiarowania konstrukcji. Jednostki podawane w dolnej części okna dialogowego dotyczą typu profilu (podawane są w bieżących jednostkach wymiarów przekroju).

Opcja *Rezultaty / Charakterystyki geometryczne / Notka obliczeniowa* (dostępna po dokonaniu obliczeń charakterystyk geometrycznych profilu) powoduje otwarcie edytora tekstowego, w którym znajdować się będą dane dotyczące profilu i wyniki obliczeń charakterystyk geometrycznych.

UWAGA: Opis definicji profilu litego lub cienkościennego oraz obliczeń charakterystyk profilu znajduje się w załączniku podręcznika.

8. WYDRUKI


Tworzenie dokumentacji wykonywanego projektu jest bardzo ważnym etapem pracy nad projektem. Z tego powodu program **Robot** daje użytkownikowi wiele możliwości konfigurowania dokumentacji, tak aby odpowiadała ona jego potrzebom.

8.1. Notki obliczeniowe

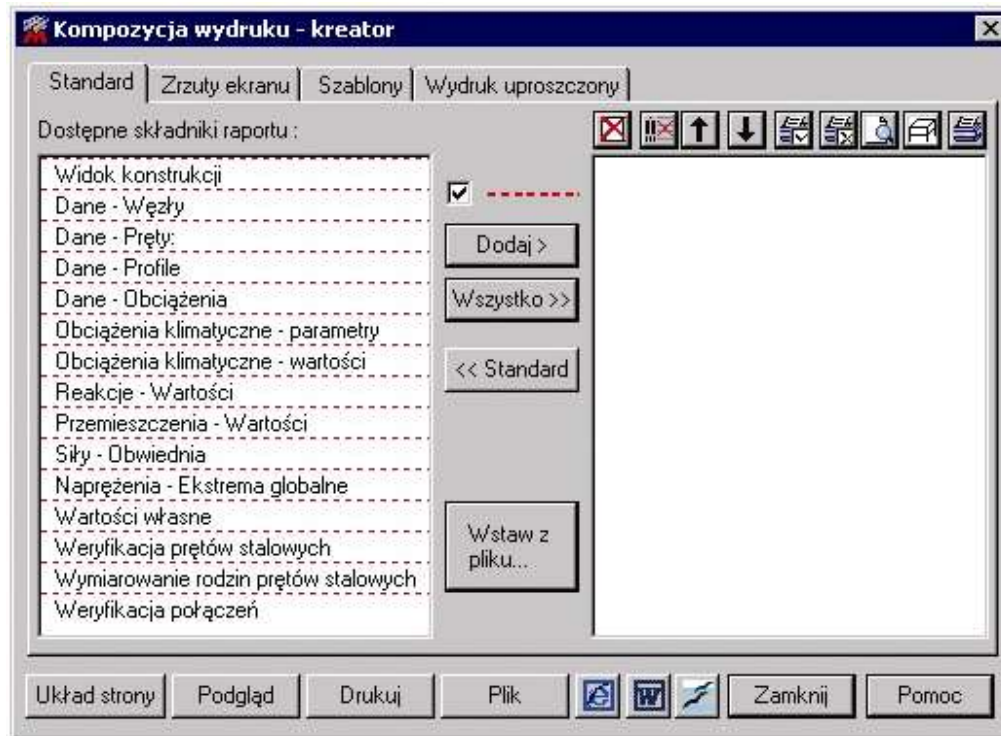
Program **Robot** został wyposażony w bogaty zestaw notek obliczeniowych, które generowane są na podstawie przygotowanych szablonów. Takie notki tworzone są po zakończeniu instalacji, po obliczeniach konstrukcji oraz po wymiarowaniu elementów prętowych konstrukcji. Notki zawierają wszelkie informacje dotyczące danych wpisanych przez użytkownika oraz (dotyczy to przede wszystkim notek obliczeniowych generowanych po wymiarowaniu konstrukcji) wyników przeprowadzonych obliczeń (wartości sił przekrojowych, elementy zbrojenia dla wymiarowania konstrukcji żelbetowych, parametry połączenia dla weryfikacji połączeń itp.). Parametry wydruku są określane w oknie dialogowym **Układ strony**, który został opisany w rozdziale 8.3.

8.2. Kompozycja wydruku

Wydruk z dowolnego edytora graficznego może nastąpić po wybraniu opcji *Plik / Drukuj*. Spowoduje to wydruk zawartości jedynie aktywnego edytora graficznego. Bardzo ciekawą opcją dostępną w programie **Robot** jest możliwość dowolnego komponowania wydruku przez użytkownika. Służy do tego:

- opcja *Plik / Kompozycja wydruku* znajdująca się w menu
- ikona *Kompozycja wydruku* .

Po jej wybraniu na ekranie pojawia się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.




Poniżej zostały wymienione ważniejsze opcje dostępne w oknie dialogowym **Kompozycja wydruku**:

- zapis w formacie *.sxi i otwarcie pliku za pomocą programu OpenOffice.org
- zapis w formacie *.doc i otwarcie pliku za pomocą programu MS Word ©
- zapis w formacie *.html i otwarcie przeglądarki
- wstawianie dokumentów z innych programów w formacie *.rtf
- wyłączanie poszczególnych stron z wydruku (służy to temu, aby modyfikować wydruk bez potrzeby usuwania elementu wydruku z kompozycji)
- sterowanie wydrukiem poszczególnych stron
- przypisywanie do kolejnych elementów wydruku różnych szablonów układu strony
- opcjonalne powtarzanie nagłówek tabeli, jeśli jest dzielona na wiele stron
- opcjonalne uwzględnianie w numeracji i spisie treści stron wyłączonych z wydruku.

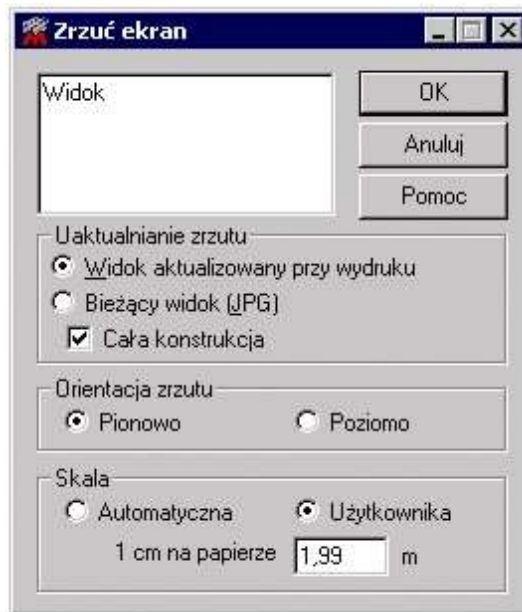
W tym oknie utworzone wcześniej obiekty przeznaczone do drukowania mogą zostać skomponowane w jedną całość. Wydruk nie będzie dotyczył jedynie zawartości jednej tabeli, czy jednego edytora graficznego, ale obejmował będzie całość skomponowaną przez użytkownika.

Powyższe okno dialogowe składa się z czterech zakładek:

- *Standard* - standardowy szablon zawierający podstawowe dane dotyczące konstrukcji (widok konstrukcji, dane o węzłach, prętach, profilach i obciążeniach), wyniki otrzymane w trakcie analizy konstrukcji (reakcje, przemieszczenia, siły wewnętrzne, naprężenia oraz wartości własne dla analizy dynamicznej) oraz informacje dotyczące wymiarowania/weryfikacji elementów konstrukcji stalowych (pręty i połączenia)
- *Zrzuty ekranu* - zapis zawartości "zrzuconych" przez użytkownika pól edycyjnych; zrzutu ekranu

można dokonać poprzez wybranie komendy menu *Plik / Zrzuć ekran* lub naciśnięcie ikony . Na ekranie pojawi się niewielkie okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku. Po naciśnięciu klawisza

OK zawartość pola edycyjnego zapisywana jest pod podaną nazwą do lewego panelu (zakładka *Zrzuty ekranu*).



UWAGA: Zawartość tabeli można także "zrzucić" za wyjątkiem przypadku, gdy w tabeli wybrana jest zakładka *Edycja*.

W polu *Uaktualnianie zrzutu* dostępne są dwie opcje:

- *Widok aktualizowany przy wydruku* - wybranie tej opcji powoduje, że zrzut ekranu będzie aktualizowany w dokumentacji po zmianach w modelu konstrukcji; taki widok jest generowany przed każdym wydrukiem lub podglądem i zawiera aktualną geometrię, dane i rezultaty projektu
- *Bieżący widok (JPG)* - wybranie tej opcji powoduje, że zrzut ekranu będzie jedynie rysunkiem (w formacie *.jpg) wstawionym do dokumentacji, który nie będzie aktualizowany po zmianach w modelu konstrukcji; taki widok zawiera dane i rezultaty, np. wykresy i mapy, zapisane w chwili zapisu zrzutu; jeśli model konstrukcji zostanie zmieniony, to widok może być nieaktualny (zrzut ekranu jako rysunek w formacie JPG ma tę zaletę, że jest zapisany jednokrotnie i nie jest ponownie generowany w chwili wydruku lub podglądu, co ma znaczenie podczas analizy rezultatów dużych konstrukcji).




Opcja *Cała konstrukcja* w polu *Uaktualnianie zrzutu* określa, czy w przypadku zrzutu widoku całej konstrukcji, ma być ona uaktualniana o dodane później pręty, panele lub obiekty. W przypadku zrzutów zawierających pewną selekcję obiektów, jest ona zawsze zachowywana na zrzuconym widoku.




Jeśli opcja *Cała konstrukcja* jest włączona, to w dokumentacji przygotowanej za pomocą opcji **Kompozycja wydruku**, automatycznie uaktualniony zostanie zrzut całej konstrukcji o wszystkie elementy.

Wyłączenie opcji *Cała konstrukcja* powoduje, że nowe elementy nie będą uwzględniane w widoku konstrukcji. Należy tu podkreślić, że zmiany geometrii w zakresie elementów zapisanych w widoku (np. usunięcie elementów) są uaktualniane w przygotowanym wydruku.

- *Szablony* - zakładka umożliwiająca konfigurację zestawów (kompozycji) wydruków użytkownika, w tym również zmianę konfiguracji zestawu standardowego
- *Wydruk uproszczony* - zakładka umożliwiająca skomponowanie prostego wydruku obejmującego dane oraz wyniki obliczeń.

W dolnej części okna dialogowego znajduje się kilka klawiszy umożliwiających:

- Układ strony** otwarcie okna dialogowego
Układ strony
- Podgląd** prezentację zdefiniowanego wydruku
- Drukuj** rozpoczęcie drukowania zdefiniowanego wydruku złożonego
- Plik** Zapisanie składników zdefiniowanego wydruku złożonego do pliku
-  zapis notki obliczeniowej w formacie *.htm i uruchomienie przeglądarki
-  zapis w formacie *.doc i uruchomienie notki w programie MS Word ©
(UWAGA: program MS Word © musi być zainstalowany na dysku); jeżeli przy zapisie pojawia się ostrzeżenie programu MS Visual Basic mówiące, że makra nie są aktywne, należy wybrać opcję *Narzędzia / Makro / Zabezpieczenia* z menu programu MS Word ©, a następnie zmienić **Poziom zabezpieczeń** na niższy (przy czym, w przypadku *Średniego poziomu* zabezpieczenia, program MS Word © wyświetla okno dialogowe o obecności makr w dokumencie i należy każdorazowo wyrażać zgodę na ich włączenie)
-  zapis w formacie *.sxw i uruchomienie notki obliczeniowej w programie OpenOffice.org (UWAGA: program OpenOffice.org musi być zainstalowany na dysku)
- Zamknij** zamknięcie okna dialogowego **Kompozycja wydruku**.

Jeżeli naciśnięty zostanie klawisz **Podgląd**, to na ekranie pojawi się podgląd tworzonego wydruku. Dwie opcje znajdujące się w menu podglądu wydruku zasługują na szersze omówienie. Mogą być bardzo przydatne podczas tworzenia dokumentacji projektowanej konstrukcji. Po uruchomieniu podglądu kursor myszki znajduje się trybie powiększania/pomniejszania (przedstawiany jest symbolem ). Jeżeli naciśnięty zostanie klawisz  znajdujący się w menu, to kursor znajdzie się w trybie selekcji i edycji. Gdy kursor znajduje się w tym trybie pracy, to dwukrotne naciśnięcie obiektu na podglądzie wydruku powoduje otwarcie okna umożliwiającego edycję widoku konstrukcji lub tabeli. Jeżeli użytkownik dokona zmian w widoku konstrukcji (np. dodanie nowego pręta w konstrukcji) lub tabeli (np. dodanie nowej kolumny w tabeli) i naciśnie klawisz **Powrót do podglądu**, to zmiana dokonana na widoku konstrukcji lub w tabeli zostanie automatycznie uwzględniona na wydruku (podglądzie wydruku). Powrót do trybu powiększania/pomniejszania następuje po naciśnięciu klawisza  w menu podglądu wydruku. Na końcu menu znajdują się klawisze **Dokładny/Uproszczony**. Umożliwiają one wybór trybu uruchomienia podglądu wybranych elementów wydruku złożonego. Wybranie trybu uproszczonego skraca czas uruchamiania podglądu wydruku. W wydruku uproszczonym pokazywane jest jedynie rozmieszczenie elementów wydruku na stronie (w tabelach może nie być wyników obliczeń). Podgląd wydruku zawsze przedstawiany będzie w trybie wybranym przez użytkownika w pasku narzędziowym.

8.2.1. Zakładka *Standard*

Zakładka *Standard* okna dialogowego **Kompozycja wydruku** została podzielona na dwie części (panele): lewy i prawy. W lewym panelu prezentowane są przygotowane do wydruku obiekty (zawartość tego panelu zależy od wyboru zakładki), natomiast w prawym komponowany jest przez użytkownika wydruk całościowy z dostępnych w lewym panelu obiektów. Na zakładce *Standard* w lewym panelu znajdują się zdefiniowane standardowe informacje dotyczące danych i/lub wyników obliczeń konstrukcji, które zazwyczaj znajdują się

w tworzonej dokumentacji projektowanej konstrukcji. Komponowanie wydruku polega na przenoszeniu obiektów z lewego panelu na prawy przy użyciu klawiszy **Wszystko** i **Dodaj**. Naciśnięcie klawisza **Wszystko** powoduje przeniesienie całej zawartości lewego panelu do panelu prawego; naciśnięcie klawisza **Dodaj** powoduje dodanie do wydruku jedynie obiektu podświetlonego w lewym panelu. Poniżej klawiszy **Wszystko** i **Dodaj** w środkowej części okna znajduje się klawisz **Standard**. Jeżeli użytkownik skomponuje wydruk o postaci odpowiadającej jego potrzebom i chciałby, aby wydruk był wydrukiem standardowym, to powinien nacisnąć klawisz **Standard**. Wszystkie elementy wydruku znajdujące się w prawym panelu zostaną przeniesione do lewego panelu znajdującego się na zakładce *Standard*. W środkowej części okna dialogowego znajduje się również klawisz **Wstaw z pliku**. Jego naciśnięcie pozwala na wczytanie dowolnego pliku do komponowanego wydruku. Możliwe jest wczytanie plików w formacie *.rtf.

UWAGA: Jeżeli użytkownik zdefiniuje swoje standardowe elementy wydruku (to znaczy przeniesie elementy z prawego panela do panela lewego na zakładce *Standard* poprzez naciśnięcie klawisza **Standard**), to zostanie nadpisany standardowy układ elementów znajdujących się na zakładce *Standard* w lewym panelu dostarczany wraz z programem. **Nie będzie można już odzyskać tego standardowego układu elementów.**

Nad prawym panelem znajduje się mały pasek narzędziowy, w którym znajduje się kilka ikon. Umożliwiają one: usunięcie z prawego panela wszystkich elementów wydruku złożonego zdefiniowanego do



tej pory przez użytkownika



usunięcie z prawego panela wybranych elementów wydruku złożonego zdefiniowanego do

tej pory przez użytkownika




przesunięcie wybranego elementu w wydruku złożonym o jeden poziom w górę



przesunięcie wybranego elementu w wydruku złożonym o jeden poziom w dół




włączenie wybranego elementu z listy do wydruku; status wydruku danego elementu z listy

jest pokazywany na końcu linii elementu wydruku: brak symbolu oznacza, że element jest włączony do wydruku, a symbol , że jest wyłączony z wydruku; nowe elementy wydruku dodawane są domyślnie jako włączone



wyłączenie wybranego elementu z listy do wydruku; status wydruku danego elementu z listy

jest pokazywany na końcu linii elementu wydruku: brak symbolu oznacza, że element jest włączony do wydruku, a symbol , że jest wyłączony z wydruku.

Inne zastosowanie tej opcji pozwala na uzyskanie nieciągłej numeracji wydruku; aby to osiągnąć, należy utworzyć elementy wydruku (np. puste strony), a następnie wyłączyć je z wydruku przy włączonej opcji *Uwzględnij niedrukowalne strony w numeracji i spisie treści* znajdującej się w oknie dialogowym **Definicja strony** (zakładka *Strona*).



uruchomienie podglądu wybranych elementów wydruku złożonego (jeżeli w prawym panelu

nie zostanie wybrany żaden element, to podgląd zostanie uruchomiony dla całego wydruku)





uruchomienie podglądu wybranych elementów wydruku złożonego w trybie: uproszczonym

lub dokładnym. Wybranie trybu uproszczonego skraca czas uruchamiania podglądu wydruku (**UWAGA: w wydruku uproszczonym pokazywane jest jedynie rozmieszczenie elementów wydruku na stronie - np. w tabelach może nie być wyników obliczeń**)



uruchomienie wydruku wybranych elementów wydruku złożonego (jeżeli w prawym panelu

nie zostanie wybrany żaden element, to wydruk zostanie uruchomiony dla całości wydruku złożonego).

Jeżeli włączona jest opcja *Wstaw znak podziału strony* (oznaczona symbolem  ), to obiekt dodawany do prawego panelu będzie rozpoczynany od nowej strony. Znak podziału strony może być również wstawiony przy pomocy komendy znajdującej się w niewielkim menu kontekstowym (pokazanym na poniższym rysunku), które można uzyskać po naciśnięciu prawego klawisza myszki, gdy kursor znajduje się w prawym panelu okna. Ponadto w prezentowanym menu kontekstowym znajduje się kilka innych opcji umożliwiających:

Wstaw pustą stronę - dodanie w wydruku złożonym pustej strony przed wybranym (podświetlonym) obiektem znajdującym się w prawym panelu

Notka przed - uruchomienie edytora tekstowego systemu **Robot**, w którym mogą być wpisane dla wybranego (podświetlonego) w prawym panelu obiektu stanowiącego część wydruku złożonego dodatkowe teksty mogące się pojawić przed drukowanym obiektem

Tytuł - uruchomienie edytora tekstowego systemu **Robot**, w którym mogą być wpisane dla wybranego (podświetlonego) w prawym panelu obiektu stanowiącego część wydruku złożonego dodatkowe teksty mogące się pojawić jako tytuł obiektu

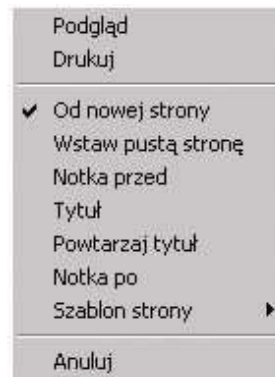
Powtarzaj tytuł - w przypadku gdy długa tabela jest prezentowana na kilku stronach, przydatne jest powtórzenie nagłówka tabeli na każdej stronie; po włączeniu opcji tytuł tabeli jest wstawiany na każdej nowej stronie, na której znajduje się tabela; opcja domyślnie jest wyłączona

Notka po - uruchomienie edytora tekstowego systemu **Robot**, w którym mogą być wpisane dla wybranego (podświetlonego) w prawym panelu obiektu stanowiącego część wydruku złożonego dodatkowe teksty mogące się pojawić po drukowanym obiekcie.

Szablon strony - przypisywanie do kolejnych elementów wydruku szablonów strony zapisanych w oknie dialogowym **Definicja strony**; po wybraniu w menu kontekstowym nazwy szablonu jego nazwa jest wpisywana przed elementem (elementami) wydruku, które mają być drukowane przy pomocy tego szablonu; przykładowo (patrz rysunek poniżej) w wydruku dane o obciążeniach będą drukowane przy pomocy wzorca o nazwie 'szablon', a wartości obciążeń klimatycznych przy pomocy wzorca o nazwie 'szablon nowy'.

<Wzorzec 'szablon'>
Dane - Obciążenia
<Wzorzec 'szablon nowy'>
Obciążenia klimatyczne - wartości

Domyślnie w programie **Robot** dostępny jest szablon wydruku 'bez nazwy'; ten szablon powinien być wykorzystywany, jeżeli użytkownik nie zdefiniował własnych szablonów.



8.2.2. Zakładka Zrzuty ekranu

Zakładka *Zrzuty ekranu* okna dialogowego **Kompozycja wydruku** jest podzielona na dwie części (panele): lewy i prawy. W lewym panelu prezentowane są zapisane pod odpowiednimi nazwami zawartości "zrzuconych" przez użytkownika widoków. Zrzut ekranu może być wykonany po wybraniu

komendy menu *Plik / Zrzuć ekran* lub naciśnięciu ikony .

UWAGA: Zawartość tabeli można także "zrzucić" za wyjątkiem przypadku, gdy w tabeli wybrana jest zakładka Edycja.

Prawy panel zawiera komponowany jest przez użytkownika wydruk całościowy z dostępnych w lewym panelu obiektów. Dodanie do wydruku zdefiniowanych zrzutów ekranu jest możliwe poprzez naciśnięcie **Wszystko** i **Dodaj**. Naciśnięcie klawisza **Wszystko** powoduje przeniesienie całej zawartości lewego panelu do panelu prawego; naciśnięcie klawisza **Dodaj** powoduje dodanie do wydruku jedynie zrzutu ekranu podświetlonego w lewym panelu.

Nad prawym panelem znajduje się mały pasek narzędziowy, w którym znajduje się kilka ikon opisanych w poprzednim rozdziale.

W środkowej części okna dialogowego znajduje się również klawisz **Wstaw z pliku**. Jego naciśnięcie pozwala na wczytanie dowolnego pliku do komponowanego wydruku. Możliwe jest wczytanie plików w formacie *.rtf.

8.2.3. Zakładka Szablony

Zakładka *Szablony* okna dialogowego **Kompozycja wydruku** została podzielona na dwie części (panele). W lewym panelu znajdują dostarczone razem z programem szablony całych wydruków. Zawierają one widoki/rysunki konstrukcji, tabele danych/rezultatów ustawione w odpowiedniej kolejności z włączoną dla niektórych szablonów selekcją węzłów lub prętów. Te predefiniowane szablony prezentowane są w lewym panelu kolorem niebieskim. Nie można ich usunąć, choć można je nadpisać. Jeżeli użytkownik utworzy

szablon o nazwie istniejącego predefiniowanego szablonu (nazwa szablonu zostanie zmieniona na czarną - jest to kolor prezentacji szablonów zdefiniowanych przez użytkownika), a następnie usunie przygotowany przez siebie szablon, to nazwa nie zostanie usunięta (kolor zostanie zmieniony na niebieski) i przywrócona zostanie predefiniowana zawartość szablonu.

W środkowej części okna dialogowego pojawiają się klawisze:

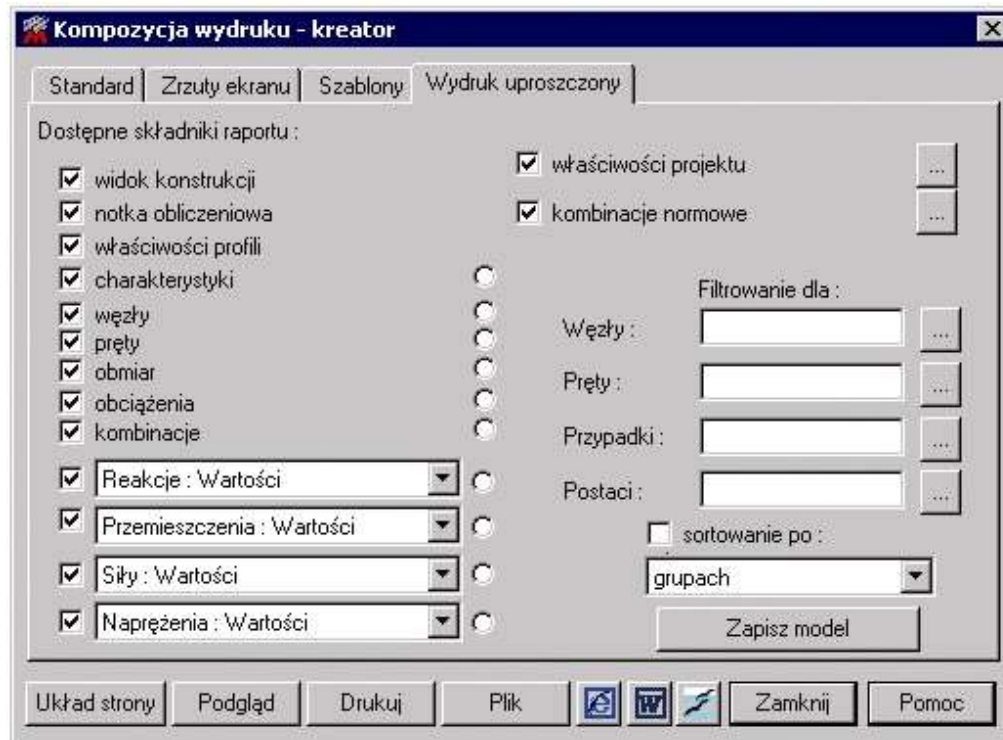
- **Nowy** - naciśnięcie tego klawisza powoduje utworzenie nowej linii w polu *Dostępne szablony*, w której może zostać wpisana nazwa nowego szablonu wydruku dokumentacji. Po wpisaniu nazwy i naciśnięciu klawisza **<Enter>** w szablonie zapisane zostaną wszystkie składniki znajdujące się w prawym panelu okna dialogowego
- **Wczytaj** - naciśnięcie tego klawisza powoduje wczytanie do prawego panelu okna dialogowego wszystkich składników zdefiniowanych w wybranym szablonie
- **Zapisz** - naciśnięcie tego klawisza powoduje zapisanie wszystkich składników znajdujących się w prawym panelu do szablonu o podanej nazwie.

W środkowej części okna dialogowego znajduje się również klawisz **Wstaw z pliku**. Jego naciśnięcie pozwala na wczytanie dowolnego pliku do komponowanego wydruku. Możliwe jest wczytanie plików w formacie *.rtf.

Podczas wczytywania szablonu (po naciśnięciu klawisza **Wczytaj**) na ekranie pojawia się małe okno dialogowe. Jeżeli opcja *Standardowa czcionka tytułów składników* jest wyłączona (jest to domyślne ustawienie), to czcionka tytułów poszczególnych składników wydruku będą zgodne z czcionką ustawioną we wczytywanym szablonie. Jeśli ta opcja jest włączona, to tytuły będą pokazywane czcionką wybraną w oknie dialogowym *Preferencje*. Jeżeli opcja *Zastąp istniejące składniki* jest włączona (jest to domyślne ustawienie), to elementy wybranego szablonu zostaną umieszczone w wydruku, a dotychczasowe elementy wydruku zostaną usunięte. Jeżeli ta opcja jest wyłączona, to elementy wybranego szablonu zostaną dopisane na końcu istniejącego wydruku.

8.2.4. Zakładka Wydruk uproszczony

Po wybraniu zakładki *Wydruk uproszczony* okno dialogowe **Kompozycja wydruku** przybiera postać pokazaną na poniższym rysunku.



Aby stworzony został szablon wydruku uproszczonego, należy:

- wybrać wielkości, które powinny znaleźć się na wydruku złożonym
- dokonać filtrowania węzłów, prętów, przypadków lub postaci, dla których wydruk będzie tworzony
- ewentualnie włączyć sortowanie
- nacisnąć klawisz **Zapisz model**. Spowoduje to przejście na zakładkę *Szablony* okna dialogowego **Kompozycja wydruku** i umieszczenie wybranych elementów wydruku uproszczonego w prawym panelu. Określony przez użytkownika szablon wydruku uproszczonego może zostać zapisany.

Poszczególne etapy tworzenia wydruku uproszczonego zostaną omówione poniżej.

ETAP 1

W lewej części okna dialogowego znajdują się wielkości, które mogą być umieszczone na wydruku. Do tych wielkości należą: widok konstrukcji (dodanie zrzutu konstrukcji w rzucie 3D z wyświetlonymi profilami), notka obliczeniowa (dodanie notki uproszczonej dostępnej z menu: *Analiza / Raport z obliczeń / Notka uproszczona*), właściwości profili (dodanie notki zawierającej dokładne charakterystyki profili), charakterystyki (dodanie tabeli *Charakterystyki* ze wszystkimi jej zakładkami), węzły, pręty, obmiar, obciążenia, kombinacje, reakcje, przemieszczenia, siły i naprężenia. Dla reakcji, przemieszczeń, sił i naprężeń możliwe są trzy postaci wydruku tabeli: dla zakładki *Wartości*, dla zakładki *Obwiednia* oraz dla zakładki *Ekstrema globalne*. W prawej części okna dialogowego znajdują się dodatkowo dwie opcje:

- *właściwości projektu* - włączenie opcji (patrz opis poniżej) oznacza, że do wydruku dodana będzie zawartość notki według danych określonych w opcji *Plik / Właściwości - Notka*; naciśnięcie klawisza (...) znajdującego się po prawej stronie opcji powoduje otwarcie okna dialogowego **Właściwości projektu**
- *kombinacje normowe* - włączenie opcji (patrz opis poniżej) oznacza, że do wydruku dodana będzie zawartość notki według danych określonych w opcji *Obciążenia / Kombinacje normowe - Wydruk*; naciśnięcie klawisza (...) znajdującego się po prawej stronie opcji powoduje otwarcie okna dialogowego **Kombinacje normowe**.

Z lewej strony wymienionych opcji znajduje się pole wyboru mówiące, czy dana wielkość ma znaleźć się na wydruku uproszczonym, czy nie. Pole może przyjmować następujące stany:



wielkość nie będzie zamieszczana na wydruku uproszczonym




wielkość będzie umieszczana na wydruku uproszczonym dla pełnej selekcji




wielkość będzie umieszczana na wydruku uproszczonym, ale z dokonaną przez użytkownika selekcją węzłów, prętów, przypadków lub postaci.

ETAP 2

Jeżeli wybrana zostanie trzecia możliwość, to użyteczne staną się przyciski  znajdujące się po prawej stronie wymienionych powyżej wielkości, które mogą się znaleźć na wydruku uproszczonym. Gdy wielkość będzie umieszczana na wydruku uproszczonym z dokonaniem przez użytkownika filtrowaniem, to włączony jest odpowiedni przycisk oraz dostępne stają się pola edycyjne umożliwiające wpisanie list węzłów, prętów, przypadków lub postaci.

Filtrowanie węzłów, prętów, przypadków lub postaci, dla których tworzony ma być wydruk złożony, jest możliwy na dwa sposoby:

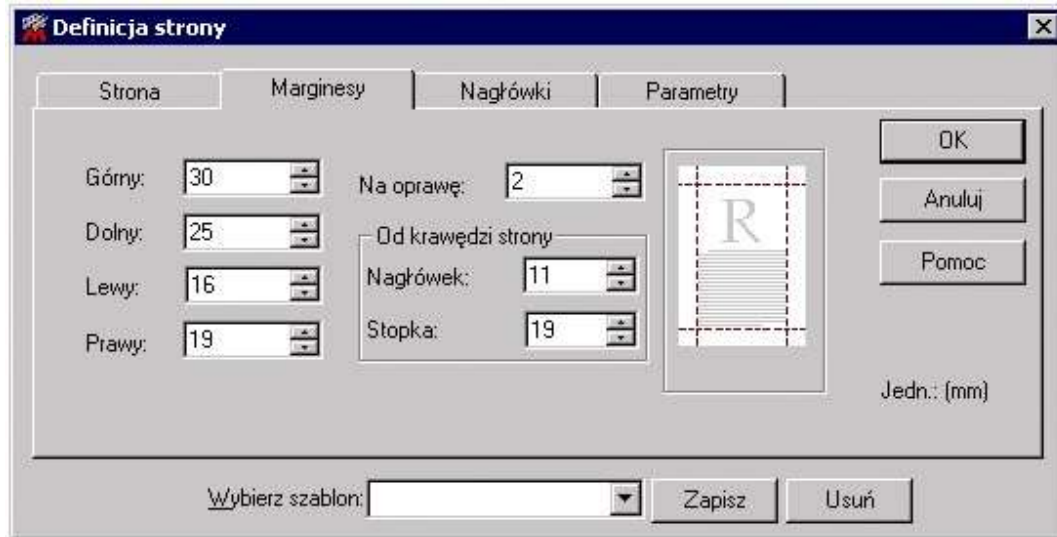
- poprzez wpisanie w odpowiednim polu edycyjnym numerów węzłów, prętów, przypadków lub postaci drgań
- poprzez naciśnięcie klawisza ; powoduje to otwarcie okna dialogowego **Selekcja**.

ETAP 3

Jeżeli włączona jest opcja *Sortowanie po*, to wszystkie tabele dostępne na wydruku uproszczonym sortowane będą zgodnie z wybranym kryterium. W obecnej wersji programu dostępne jest jedynie sortowanie po zdefiniowanych grupach węzłów lub prętów oraz przypadkach.

8.3. Układ strony

Po wybraniu komendy *Plik / Układ strony* lub naciśnięciu klawisza **Układ strony** znajdującego się w oknie dialogowym **Kompozycja wydruku - kreator** na ekranie pojawia się pokazane na poniższym rysunku okno dialogowe. Pozwala ono na określenie parametrów definiujących ustawienia strony.



W dolnej części okna dialogowego znajduje się opcja *Wybierz szablon*. Na liście wyboru znajdują się dotychczas zdefiniowane szablony stron; wybranie szablonu powoduje ustawienie parametrów strony tak jak w wybranym pliku. Zdefiniowane szablony strony znajdują się również w menu kontekstowym w oknie dialogowym **Kompozycja wydruku**.

Naciśnięcie klawisza **Zapisz** powoduje zapisanie parametrów strony w pliku nazwie o podanej w polu *Wybór szablonu*. Naciśnięcie klawisza **Usuń** powoduje usunięcie aktualnie wybranego szablonu z listy dostępnych szablonów.

Okno dialogowe składa się z czterech zakładek: *Strona*, *Marginesy*, *Nagłówki* i *Parametry*.

Po wybraniu zakładki *Strona* użytkownik ma możliwość zdefiniowania następujących parametrów: rozmiar papieru (A4, Letter, itp.), orientacji (pionowa, pozioma) i numeru bieżącej strony. W dolnej części okna dialogowego na zakładce *Strona* znajduje się opcja *Uwzględnij niedrukowane strony w numeracji i spisie treści*. Jeżeli użyta zostanie opcja wyłączenia elementu z kompozycji wydruku (okno dialogowe **Kompozycja wydruku**), strony takie będą uwzględnione w numeracji po włączeniu opcji *Uwzględnij niedrukowane strony w numeracji i spisie treści*. Tytuły wyłączonych elementów wydruku będą uwzględnione w spisie treści, jeżeli opcja jest włączona. Opcja jest domyślnie wyłączona.

Na zakładce *Marginesy* określone mogą zostać (podobnie jak w każdym edytorze tekstowym) marginesy: górny, dolny, lewy, prawy i margines pozostawiany na oprawę oraz w jakiej odległości od krawędzi strony mają się rozpoczynać nagłówki i stopki.

Po wybraniu zakładki *Nagłówki* użytkownik może wybrać czy na wydruku będą pojawiały się: strona tytułowa, nagłówki, stopki i spis treści. Można również określić formę prezentowania na drukowanej stronie nagłówka i stopki: bez żadnych stopek i nagłówków, z linią oddzielającą nagłówek i stopkę od tekstu oraz prezentowanie nagłówków i stopek w obramowaniu (można wybrać obramowanie tylko stopki, tylko nagłówek, tylko tekstu lub też łączyć obramowania wymienionych elementów). Należy tu dodać, iż system **Robot** został wyposażony w standardowe nagłówki i stopki. Użytkownik może je modyfikować po naciśnięciu klawisza **Edytuj** przy odpowiednim elemencie (stopce, nagłówku, stronie tytułowej). Otwarty zostanie edytor tekstowy systemu **Robot**, w którym może być dokonana edycja stopki, nagłówka lub strony tytułowej. Obok klawiszy **Edytuj** znajdujących się przy opcjach *Strona tytułowa*, *Nagłówek*, *Stopka* i *Spis treści* znajdują się klawisze **Przywróć**. Ich naciśnięcie powoduje powrót do domyślnej zawartości plików definiujących odpowiednio: stronę tytułową wydruku, nagłówek, stopkę i spis treści wydruku. Klawisz **Przywróć** znajdujący się w polu *Obramowanie* służy do powrotu do domyślnych ustawień ramek wydruku.

Użytkownik ma możliwość zapisania wartości parametrów określanych na zakładce *Nagłówki* do pliku, aby w przyszłości móc w prosty sposób wykorzystywać swój zdefiniowany układ nagłówków. Służy temu opcja *Wybierz szablon*. Umożliwia ono wybór zdefiniowanego przez użytkownika pliku z zapisanymi ustawieniami parametrów określonych na zakładce *Nagłówki*. Zapis ustawień parametrów jest możliwy po wpisaniu nazwy w pole *Wybierz szablon* i naciśnięciu klawisza **Zapisz**. Usunięcie wybranego szablonu z listy jest możliwe po jego wyselekcjonowaniu i naciśnięciu klawisza **Usuń**.

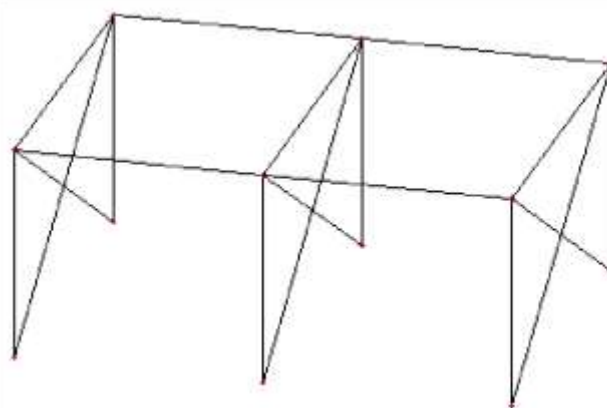
Zakładka *Parametry* zawiera wszystkie zdefiniowane w systemie zmienne i ich nazwy.

9. PRZYKŁADY

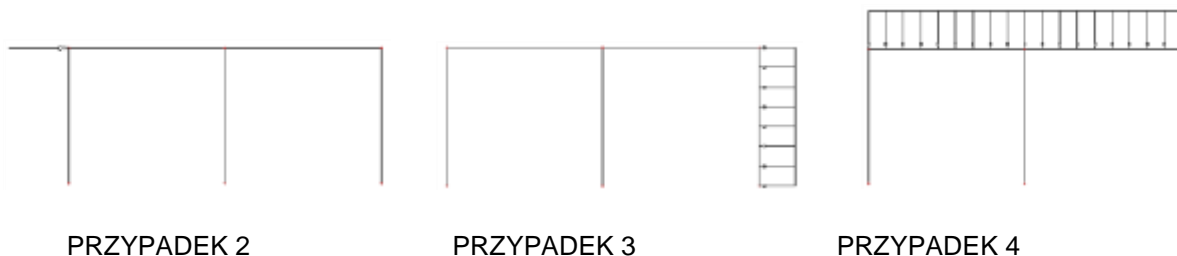
UWAGA: W poniższych przykładach została przyjęta następująca zasada oznaczania definicji początku i końca pręta konstrukcji: przykładowo zapis $(0,0,6) (8,0,6)$ oznacza, że początek pręta znajduje się w węźle o współrzędnych $x = 0.0$, $y = 0.0$ i $z = 6.0$, natomiast koniec pręta w węźle o współrzędnych $x = 8.0$, $y = 0.0$ i $z = 6.0$. Separatorem (ustawionym w systemie operacyjnym Windows) oddzielającym kolejne współrzędne jest w tym przypadku przecinek ','.

9.1. Przykład projektowania konstrukcji prętowej z wykorzystaniem ekranów systemu Robot

Ten przykład przedstawia definicję, analizę i wymiarowanie prostej, stalowej ramy przestrzennej prezentowanej na poniższym rysunku. Jednostki danych: (m) i (kN).



Każda z ram konstrukcji obciążona zostanie czterema przypadkami obciążenia, z których trzy pokazano na poniższym rysunku.



Podczas definiowania konstrukcji wykorzystywane będą następujące zasady:

- prezentacja dowolnej ikony oznacza naciśnięcie tej ikony lewym klawiszem myszki,
- { x } oznacza wybór opcji 'x' z okna dialogowego,
- LKM i PKM - skróty używane do oznaczenia kliknięcia odpowiednio lewym lub prawym klawiszem myszki.


Aby rozpocząć definiowanie konstrukcji, uruchom system **Robot** (naciśnij odpowiednią ikonę lub wybierz komendę z paska zadań). W okienku pojawiającym się po chwili na ekranie (jest ono opisane w rozdziale 2.1 podręcznika) należy wybrać przedostatnią ikonę w pierwszym wierszu (**Projektowanie ramy**




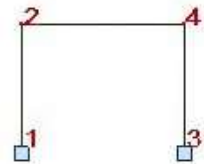
przestrzennej)

UWAGA: W przykładzie wykorzystano profile prętów z bazy profili RPLN_PRO (Katalog polskich profili - 2004). Ta baza profili musi być na pierwszym miejscu wśród dostępnych baz profili znajdujących się w oknie dialogowym Preferencje zadania / Katalogi / Profile stalowe i drewniane.

9.1.1. Definicja modelu konstrukcji

WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
 Model konstrukcji / Pręty	Z listy dostępnych ekranów systemu Robot należy wybrać ekran PRĘTY
LKM w pole TYP PRĘTA i wybór typu: <i>Słup</i> LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu HEBS 340	Wybór charakterystyk pręta <i>UWAGA:</i> Jeżeli profil HEBS 340 nie jest dostępny na liście, należy nacisnąć klawisz (...) znajdujący się na wysokości pola <i>Przekrój</i> i w oknie dialogowym Nowy przekrój dodać ten profil z bazy Rpln_pro do listy aktywnych profili
LKM w pole <i>Początek</i> (tło pola zostanie zmienione na kolor zielony)	Rozpoczęcie definiowania prętów w konstrukcji (słupy konstrukcji)
Wpisać współrzędne: (0,0,0) (0,0,6), Dodaj (8,0,0) (8,0,6) Dodaj	Definicja dwóch słupów ramy
LKM w pole TYP PRĘTA w oknie Pręt i wybór typu: <i>Belka</i> LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu HEBS 300	Rozpoczęcie definiowania belki i wybór jej charakterystyk <i>UWAGA:</i> Jeżeli profil HEBS 300 nie jest dostępny na liście, należy nacisnąć klawisz (...) znajdujący się na wysokości pola <i>Przekrój</i> i w oknie dialogowym Nowy przekrój dodać ten profil z bazy Rpln_pro do listy aktywnych profili
LKM w pole <i>Początek</i> (tło pola zostanie zmienione na kolor zielony)	Rozpoczęcie definiowania belki w konstrukcji
(0,0,6) (8,0,6) Dodaj	Definicja belki
LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Model konstrukcji / Podpory	Wybór ekranu systemu Robot umożliwiającego definiowanie podpór

W oknie dialogowym Podpory wybrać ikonę oznaczającą podporę utwierdzoną (zostanie podświetlona)	Wybór typu podpory
LKM w pole <i>Aktualna selekcja</i> (na zakładce <i>Węzłowe</i>)	Wybór węzłów konstrukcji, w których zdefiniowane zostaną podpory konstrukcji
Przejsć na ekran graficzny; trzymając wciśnięty lewy klawisz myszki zaznaczyć oknem wszystkie dolne węzły słupów	W polu <i>Aktualna selekcja</i> wpisane zostaną wyselekcjonowane węzły: 1 3
LKM w klawisz Zastosuj	Wybrany typ podpory zostanie nadany w wyselekcjonowanych węzłach konstrukcji; poniższy rysunek prezentuje dotychczas zdefiniowaną konstrukcję
LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Model konstrukcji / Start	Wybór początkowego ekranu systemu Robot . UWAGA: <i>Jeżeli konstrukcja nie jest widoczna na ekranie, należy nacisnąć ikonę Widok początkowy</i> 

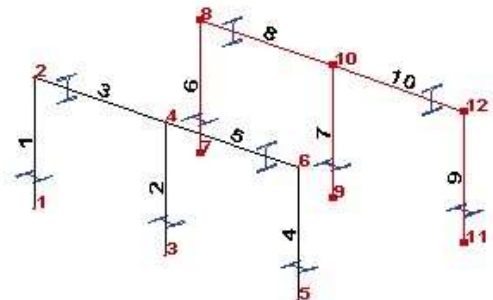


CTRL+A	Selekcja wszystkich prętów
<i>Edycja / Edytuj / Lustro pionowe</i>	Odbicie lustrzane wybranych prętów
Graficznie ustaw położenie pionowej osi symetrii w miejscu prawego słupa ($x = 8$), LKM, Zamknij	Wykonanie symetrii osiowej wybranych prętów i zamknięcie okna Symetria pionowa
LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Model konstrukcji / Obciążenia	Wybór ekranu systemu Robot umożliwiającego definiowanie obciążeń konstrukcji
LKM w klawisz Nowy znajdujący się w oknie dialogowym Przypadki obciążeń	Definicja przypadku obciążenia o naturze: ciężar własny i standardowej nazwie STA1
LKM w pole <i>Natura Wiatr</i>	Wybór natury przypadku obciążenia: wiatr

LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy	Definicja dwóch przypadków obciążenia o naturze: wiatr i standardowych nazwach: WIATR1 i WIATR2
LKM w pole <i>Natura Eksploatacyjne</i>	Wybór natury przypadku obciążenia: eksploatacyjne


LKM w klawisz Nowy	Definicja przypadku obciążenia o naturze: eksploatacyjne i standardowej nazwie EKSP1
	W pierwszym rzędzie automatycznie został nadany ciężar własny na wszystkich prętach konstrukcji (na kierunku „-Z”)
LKM w drugie pole w kolumnie PRZYPADEK, wybór 2. przypadku obciążenia WIATR1	Definicja obciążeń działających dla drugiego przypadku obciążenia
LKM w sąsiednie pole w kolumnie TYP OBCIĄŻENIA, wybór obciążenia siłami węzłowymi	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie LISTA, wybór graficzny w polu graficznym górnego węzła lewego słupa (nr 2)	Wybór węzłów, do których przykładane będzie obciążenie siłami węzłowymi
LKM w pole w kolumnie "FX=" i wpisanie wartości 100.0	Wybór kierunku i wartości obciążenia siłą
LKM w trzecie pole w kolumnie PRZYPADEK, wybór 3. przypadku obciążenia WIATR2	Definicja obciążeń działających dla trzeciego przypadku obciążenia
LKM w pole kolumnie TYP OBCIĄŻENIA, wybór obciążenia jednorodnego	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie LISTA, wybór graficzny w polu graficznym skrajnego, prawego słupa (pręt nr 4)	Wybór prętów, do których przykładane będzie obciążenie jednorodne
LKM w pole w kolumnie "px=" i wpisanie wartości -15.0	Wybór kierunku i wartości obciążenia jednorodnego
LKM w czwarte pole w kolumnie PRZYPADEK, wybór 4. przypadku obciążenia EKSP1	Definicja obciążeń działających dla czwartego przypadku obciążenia

LKM w pole kolumnie TYP OBCIĄŻENIA, wybór obciążenia jednorodnego	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie LISTA, wybór graficzny w polu graficznym obu pręseł belki (pręty nr 3 i 5)	Wybór prętów, do których przykładane będzie obciążenie jednorodne <i>UWAGA: 2 pręty możemy jednocześnie wyselekcjonować oknem lub kolejno wskazując z wciśniętym klawiszem CTRL</i>
LKM w pole w kolumnie "pz=" i wpisanie wartości -20.0	wybór kierunku i wartości obciążenia jednorodnego
LKM w dowolny punkt okna z widokiem konstrukcji	
CTRL + A	Selekcja wszystkich prętów konstrukcji (wyselekcjonować je można również za pomocą okna)
Mając aktywne pole graficzne z modelem konstrukcji <i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego Translacja
LKM w pole (dX, dY, dZ) i wpisanie współrzędnej {0,10,0}	Definicja wektora translacji
LKM w pole Liczba powtórzeń {1}	Definicja liczby powtórzeń wykonywanej operacji przesunięcia
Wykonaj, Zamknij	Wykonanie translacji konstrukcji i zamknięcie okna dialogowego Translacja
<i>Widok / Rzutowanie / 3d xyz</i>	Wybór widoku aksonometrycznego konstrukcji (patrz rysunek poniżej)
LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Model konstrukcji / Pręty	Wybór ekranu systemu Robot umożliwiającego definiowanie prętów

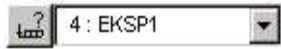


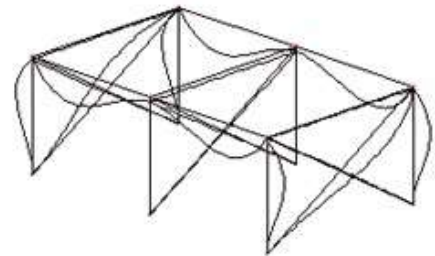
LKM w pole TYP PRĘTA i wybór typu: <i>Belka</i> LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu HEBS 300	Wybór charakterystyk pręta
LKM w pole <i>Początek</i> (tło pola zostanie zmienione na kolor zielony)	Rozpoczęcie definiowania prętów w konstrukcji
(16,0,6) (16,10,6), Dodaj	Definicja belki pomiędzy węzłami 6 i 12 konstrukcji
LKM w pole TYP PRĘTA i wybór typu: <i>Pręt</i> LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu IFE 220	Wybór charakterystyk pręta UWAGA: Jeżeli profil IFE 220 nie jest dostępny na liście, należy nacisnąć klawisz (...) znajdujący się na wysokości pola <i>Przekrój</i> i w oknie dialogowym Nowy przekrój dodać ten profil z bazy Rpln_pro do listy aktywnych profili
LKM w pole <i>Początek</i> (tło pola zostanie zmienione na kolor zielony)	Rozpoczęcie definiowania stężeń
(16,0,6) (16,10,0), Dodaj (16,10,6) (16,0,0), Dodaj	Definicja stężeń
LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Model konstrukcji / Start	Wybór początkowego ekranu systemu Robot
LKM w okno z widokiem konstrukcji Selekcja trzech ostatnio zdefiniowanych prętów (belki i stężeń) - przy wciśniętym klawiszu CTRL należy kliknąć lewym klawiszem myszki w trzy pręty	
<i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego Translacja
LKM w pole (dX, dY, dZ), {-8,0,0}	Definicja wektora translacji
LKM w pole <i>Liczba powtórzeń</i> {2}	Definicja liczby powtórzeń operacji wykonywanej przesunięcia
Wykonaj, Zamknij	Wykonanie translacji prętów i zamknięcie okna dialogowego Translacja

9.1.2. Analiza konstrukcji

	Rozpoczęcie obliczeń dla zdefiniowanej konstrukcji
LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Rezultaty / Rezultaty	Wybór ekranu REZULTATY systemu Robot . Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: pole graficzne zawierające model konstrukcji, okno dialogowe Wykresy i tabelę prezentującą wartości reakcji

9.1.3. Analiza wyników

Z górnego paska selekcji  wybór 4: EKSP1	Wybór prezentacji wyników dla czwartego przypadku obciążeniowego
wybór zakładki <i>Deformacja</i> w oknie Wykresy włączenie opcji <i>Deformacja</i>	Wybór prezentacji deformacji konstrukcji dla wybranego przypadku obciążeniowego
LKM w klawisz Zastosuj	Prezentacja deformacji konstrukcji (rysunek poniżej); podobnie można przedstawiać wykresy innych wielkości dostępnych w oknie dialogowym Wykresy



Wyłączenie opcji <i>Deformacja</i> w oknie dialogowym Wykresy , Zastosuj	
LKM w tabeli Reakcje w pole z nazwą kolumny Fz	Kolumna Fz zostaje podświetlona
<i>Format / Wyrównywanie / Do środka</i> <i>Format / Czcionka / Pogrubiona</i>	Edycja prezentacji wyników dla siły Fz
PKM w dowolnym miejscu tabeli reakcji	Wywołanie na ekran menu kontekstowego

Kolumny	Wybór opcji <i>Kolumny</i> , która powoduje otwarcie okna dialogowego do wyboru prezentowanych w tabeli wielkości
LKM w zakładkę <i>Podpory</i> , włączenie opcji <i>Kod podpory</i> , OK	W tabeli pojawia się dodatkowa kolumna zawierająca kody zdefiniowanych dla konstrukcji podpór, przykładowo: bbbbbb oznacza utwierdzenie, bbbwww - przegub

9.1.4. Wymiarowanie stali

Norma PN90/B-03200

LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Wymiarowanie / Wymiarowanie stali/aluminium	Rozpoczęcie wymiarowanie stalowych prętów konstrukcji. Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: pole graficzne zawierające model konstrukcji, okno dialogowe Definicje i okno dialogowe Obliczenia
LKM w klawisz Lista w wierszu <i>Weryfikacja prętów</i> w oknie Obliczenia	Otwarcie okna dialogowego Selekcja prętów
W polu znajdującym się nad klawiszem Poprzednia należy wpisać: 1do10, Zamknij	Wybór prętów, które będą weryfikowane
LKM w klawisz Lista w polu <i>Obciążenia</i> w oknie dialogowym Obliczenia	Otwarcie okna dialogowego Selekcja przypadków
LKM w klawisz Wszystko , Zamknij	Wybór wszystkich przypadków obciążeniowych
LKM w klawisz Obliczenia	Rozpoczęcie wymiarowania wybranych prętów konstrukcji; na ekranie pojawia się okno Rezultatów skróconych pokazane poniżej

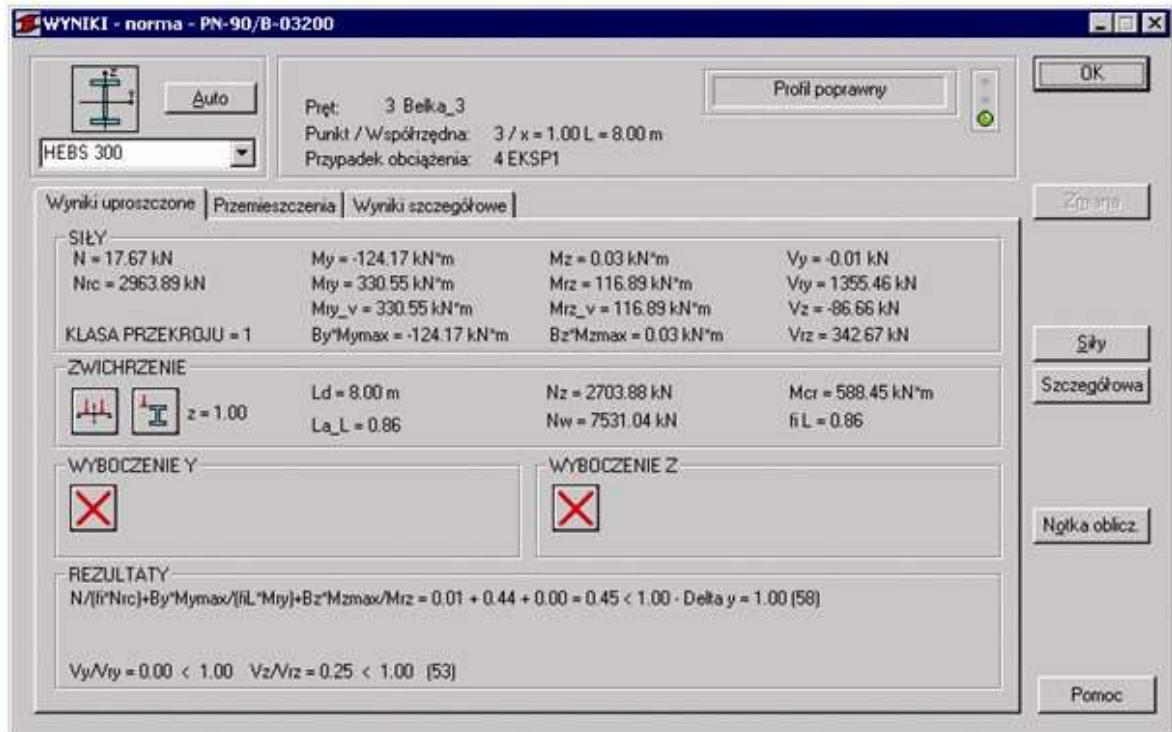
Pręt	Profil	Materiał	Lay	Laz	Wyteż.	Przypadek
1 Słup_1	HEBS 340	STAL	41.21	78.79	0.27	2 WMATR1
2 Słup_2	HEBS 340	STAL	41.21	78.79	0.32	2 WMATR1
3 Belka_3	HEBS 300	STAL	61.85	104.01	0.45	4 EKSP1
4 Słup_4	HEBS 340	STAL	41.21	78.79	0.27	2 WMATR1
5 Belka_5	HEBS 300	STAL	61.85	104.01	0.45	4 EKSP1
6 Słup_6	HEBS 340	STAL	41.21	78.79	0.27	2 WMATR1

Nota oblicz. Zamknij
Pomoc

Wytęzenie
Analiza Mapa

Punkty obliczeniowe
podział : n = 3
ekstrema : brak
dodatkowe : brak

LKM w wiersz, w którym znajdują się wyniki skrócone dla pręta nr 3	Otwarcie okna Wyniki dla wybranego pręta
LKM w zakładkę Wyników uproszczonych	Prezentacja wyników wymiarowania pręta numer 3; okno ma postać pokazaną na poniższym rysunku



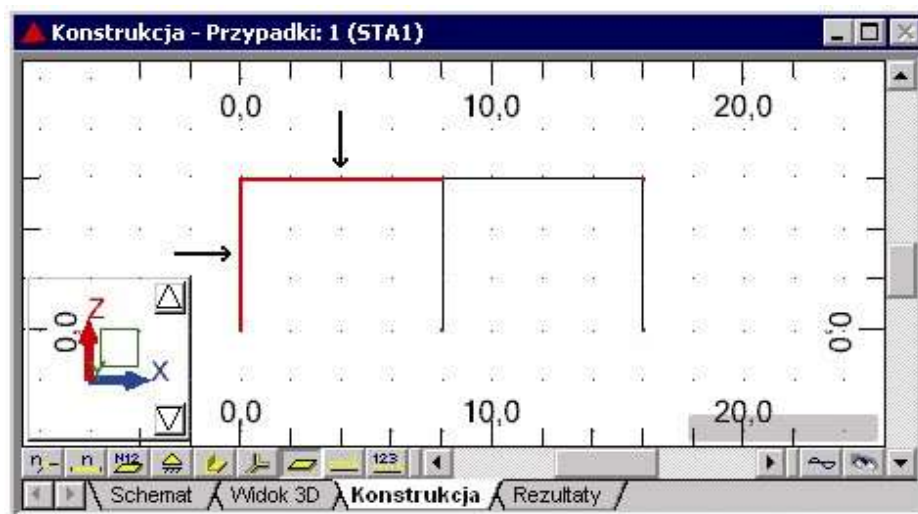
Zamknięcie okien Wyników i Wyników - weryfikacji prętów	
Zapisz	Zapisanie wyników obliczeń i zamknięcie okna dialogowego Archiwizacja wyników obliczeń

9.1.5. Wymiarowanie połączeń stalowych

Norma: PN-90/B-03200

LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Wymiarowanie / Połączenia	Rozpoczęcie wymiarowania połączeń stalowych w konstrukcji. Ekran monitora zostanie podzielony na dwie części: okno dialogowe Inspektor obiektów (Połączenia stalowe) i pole graficzne; w dolnej części pola graficznego znajdują się cztery zakładki: <i>Schemat, Widok 3D, Konstrukcja i Rezultaty</i> .
--	--

Przejsć na zakładkę <i>Konstrukcja</i> i mając aktywne (podświetlone) pole graficzne z widokiem konstrukcji wybrać z menu: <i>Widok / Rzutowanie / zx</i>	Wybór prezentacji konstrukcji w rzucie na płaszczyznę zx (współrzędna y jest przyjmowana jako 0)
Selekcja lewego, skrajnego słupa i lewego przęsła belki - przy wciśniętym klawiszu CTRL należy kliknąć lewym klawiszem myszki w wymienione pręty	Wybór prętów, dla których weryfikowane będzie połączenie; wyselekcjonowane pręty wskazano na poniższym rysunku strzałkami

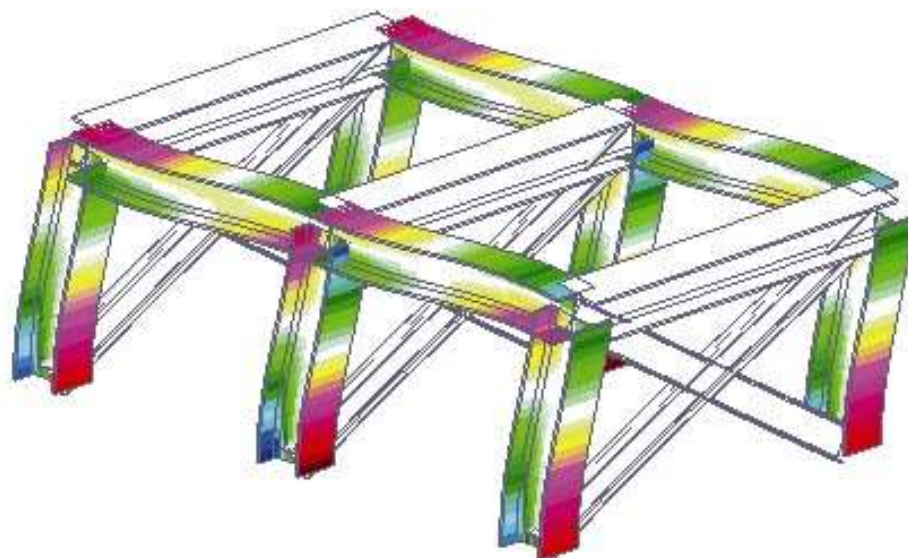


<i>Połączenia / Nowe połączenie dla wybranych prętów</i>	Zdefiniowanie połączenia pomiędzy wybranymi prętami; w oknie dialogowym Definicja połączenia typu Belka - Słup pojawia się kilka zakładek. Można w nich zmieniać poszczególne parametry połączenia
Wybrać opcję <i>Połączenie spawane</i> znajdującą się w oknie dialogowym Definicja połączenia typu Belka - Słup (zakładka <i>Geometria</i>), Zastosuj, OK	Wybór typu definiowanego połączenia stalowego
<i>Połączenia / Obliczenia</i>	Otwarcie okna dialogowego Obliczenia połączeń
LKM w pole <i>Lista</i> znajdujące się w polu <i>Przypadki obciążeniowe</i>	Definicja przypadków obciążeniowych uwzględnianych podczas weryfikacji połączenia
Wpisanie 1do4	Wybór wszystkich przypadków obciążeniowych

LKM w klawisz Obliczenia	Rozpoczęcie weryfikacji połączenia; wyniki skrócone prezentowane są w oknie dialogowym Inspektor obiektów , natomiast szczegółowa notka obliczeniowa jest wyświetlana na zakładce Rezultaty (ta zakładka jest dostępna dopiero po wykonaniu obliczeń połączenia)
---------------------------------	--

9.1.6. Analiza naprężeń

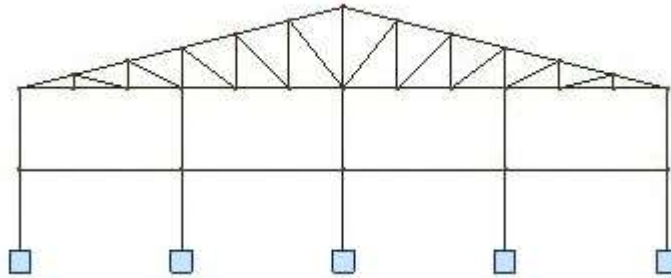
LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Rezultaty / Analiza naprężeń konstrukcji	Rozpoczęcie analizy naprężeń konstrukcji. Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: ekran graficzny zawierające model konstrukcji, okno dialogowe Naprężenia konstrukcji oraz tabelę rezultatów Naprężenia konstrukcji
Z górnego paska selekcji wybrać drugi przypadek obciążeniowy 2: WIATR1	Wybór drugiego przypadku obciążeniowego
Na zakładce Wykresy znajdujące się w oknie dialogowym Naprężenia konstrukcji wybrać opcję Max znajdującą się w polu Mises Na zakładce Mapy - Deformacja wybrać opcję Deformacja Zastosuj	Rozpoczęcie obliczeń i prezentacja wartości naprężeń na prętach konstrukcji (w tabeli pojawiają się wartości odpowiednich naprężeń)
Będąc w oknie z widokiem konstrukcji Widok / Rzutowanie / 3d xyz	Wybranie aksonometrycznego widoku konstrukcji
Przejsć do tabeli Naprężenia konstrukcji Widok / Widok dynamiczny 3D	Ustawienie widoku 3D pozwalającego na prezentację konstrukcji wraz z kształtami profili i szczegółowymi mapami naprężeń na tych przekrojach (zdefiniowaną konstrukcję wraz z wybranymi naprężeniami pokazano na rysunku poniżej)



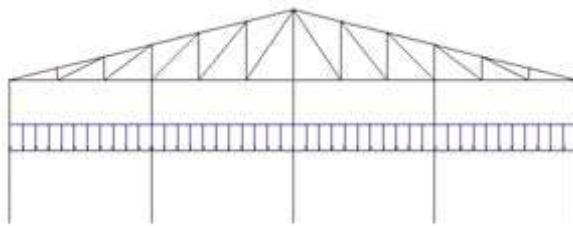
9.2. Przykład projektowania konstrukcji prętowej bez wykorzystania ekranów systemu Robot

Ten przykład przedstawia definicję, analizę i wymiarowanie prostej ramy płaskiej prezentowanej na poniższym rysunku. Rama składa się z ramy żelbetowej i kratownicy wygenerowanej za pomocą biblioteki typowych konstrukcji dostępnych w systemie **Robot**.

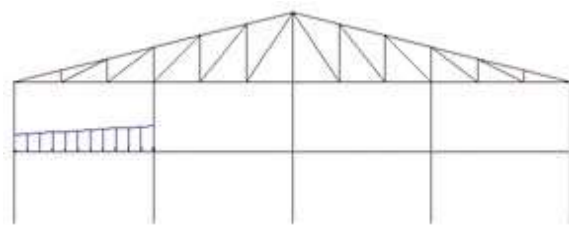
Jednostki danych: (m) i (kN).



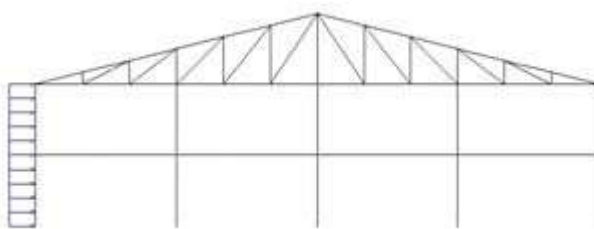
Konstrukcja obciążona zostanie pięcioma przypadkami obciążenia, z których cztery pokazano na poniższym rysunku.



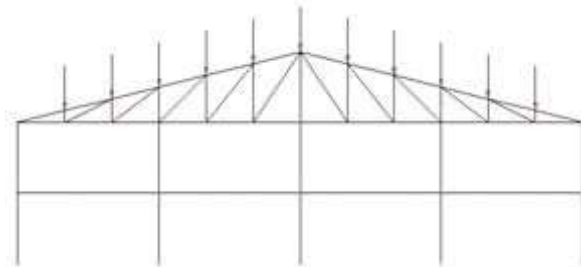
PRZYPADK 2



PRZYPADK 3



PRZYPADK 4



PRZYPADK 5

Podczas definiowania konstrukcji wykorzystywane będą następujące zasady:

- prezentacja dowolnej ikony oznacza naciśnięcie tej ikony lewym klawiszem myszki,
- { x } oznacza wybór opcji 'x' z okna dialogowego,
- LKM i PKM - skróty używane do oznaczenia kliknięcia odpowiednio lewym lub prawym klawiszem myszki.


Aby rozpocząć definiowanie konstrukcji, uruchom system **Robot** (naciśnij odpowiednią ikonę lub wybierz komendę z paska zadań). W okienku pojawiającym się po chwili na ekranie (jest ono opisane w rozdziale

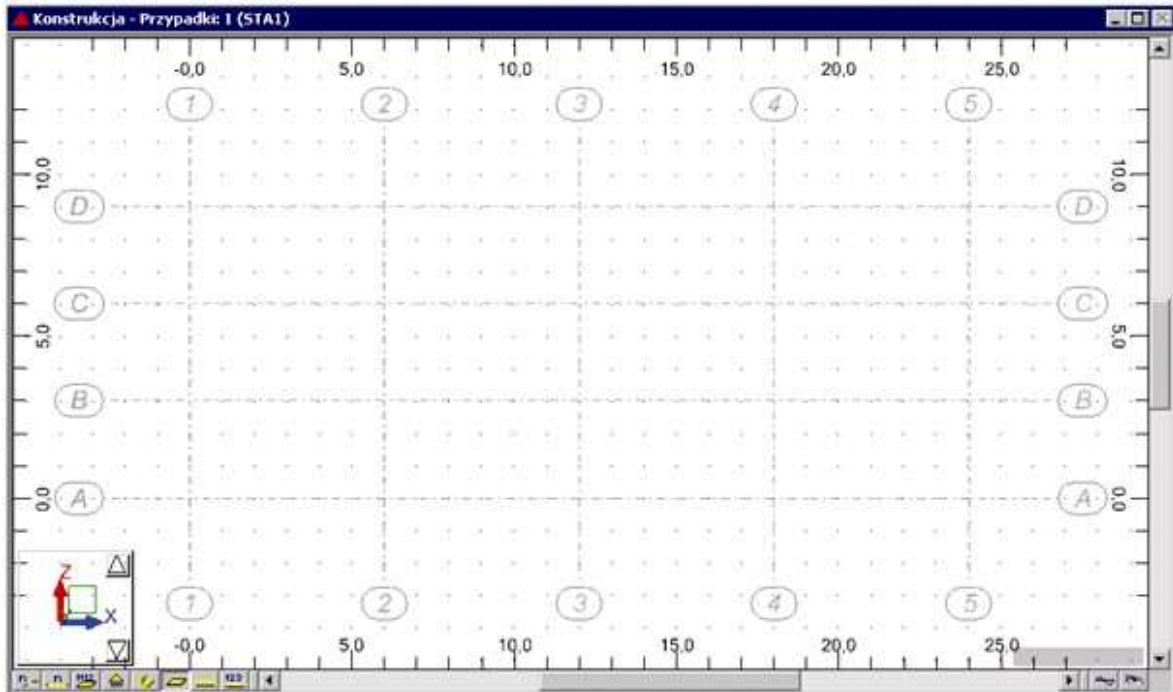


2.1 podręcznika) należy wybrać pierwszą ikonę (**Projektowanie ramy płaskiej**).




UWAGA: W przykładzie wykorzystano profile prętów z bazy profili RPLN_PRO (Katalog polskich profili - 2004). Ta baza profili musi być na pierwszym miejscu wśród dostępnych baz profili znajdujących się w oknie dialogowym Preferencje zadania / Katalogi / Profile stalowe i drewniane.

9.2.1. Definicja modelu konstrukcji

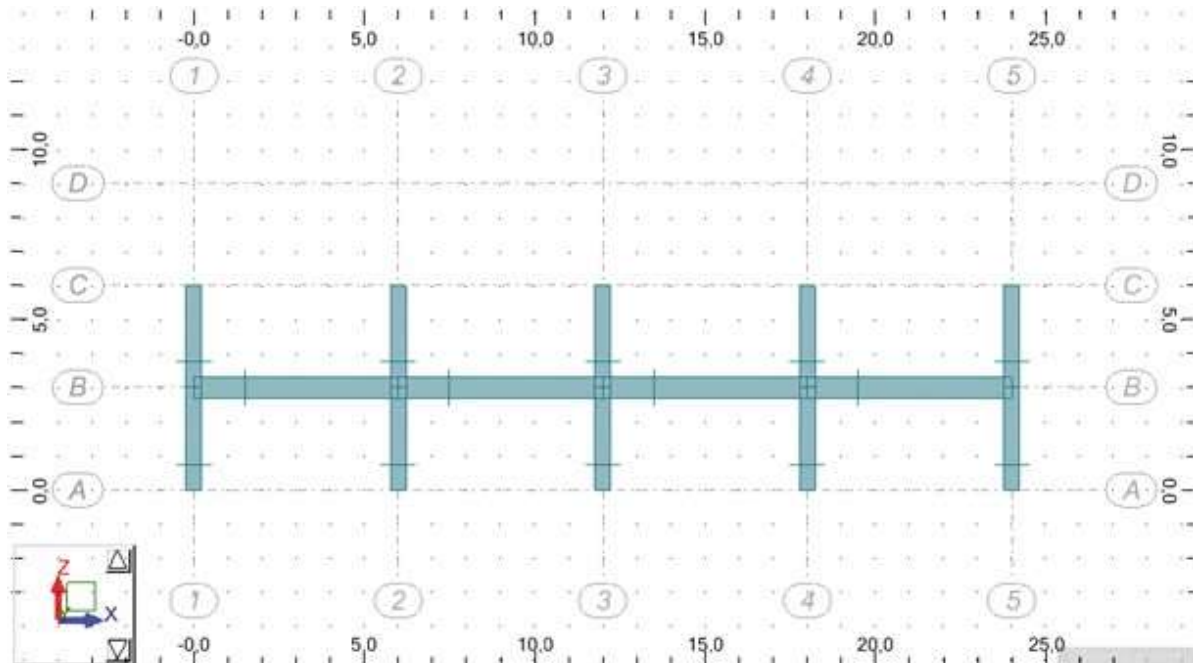
WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
	Rozpoczęcie definiowania osi konstrukcji; na ekranie pojawia się okno dialogowe Osie konstrukcji
Na zakładce X: Pozycja: {0} Liczba powtórzeń: {4} Rozstaw: {6} Numeracja: 1, 2, 3 ...	Definicja parametrów pionowych osi konstrukcyjnych
LKM w klawisz Wstaw	Zdefiniowane zostały pionowe osie konstrukcji
LKM w zakładkę Z	Rozpoczęcie definiowania parametrów poziomych osi konstrukcyjnych
Na zakładce Z: Pozycja: {0} Liczba powtórzeń: {3} Rozstaw: {3} Numeracja: A, B, C ...	Definicja parametrów poziomych osi konstrukcyjnych
LKM w klawisz Wstaw	Zdefiniowane zostały poziome osie konstrukcji
LKM w klawisze: Zastosuj, Zamknij	Utworzenie zdefiniowanych osi konstrukcyjnych i zamknięcie okna dialogowego Osie konstrukcji . Na ekranie pojawią się osie konstrukcji przedstawione na poniższym rysunku.





Definicja prętów konstrukcji

	Otwarcie okna dialogowego Przekroje
	Otwarcie okna dialogowego Nowy przekrój
Wybór rodziny dwuteowników, w polu Przekrój wybór profilu HEB 240 z bazy Rpln_pro Dodaj	Definicja nowego przekroju z bazy Rpln_pro
LKM w pole Typ profilu , wybór opcji Belka żelbetowa , w polu Etykieta wpisanie B45x60 w polach $b = 45$ cm, $h = 60$ cm Dodaj, Zamknij	Definicja przekroju belki żelbetowej
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Przekroje
	Otwarcie okna dialogowego Pręt
LKM w pole TYP PRĘTA i wybór typu: Stup żelbetowy LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu S45x45	Wybór charakterystyk pręta

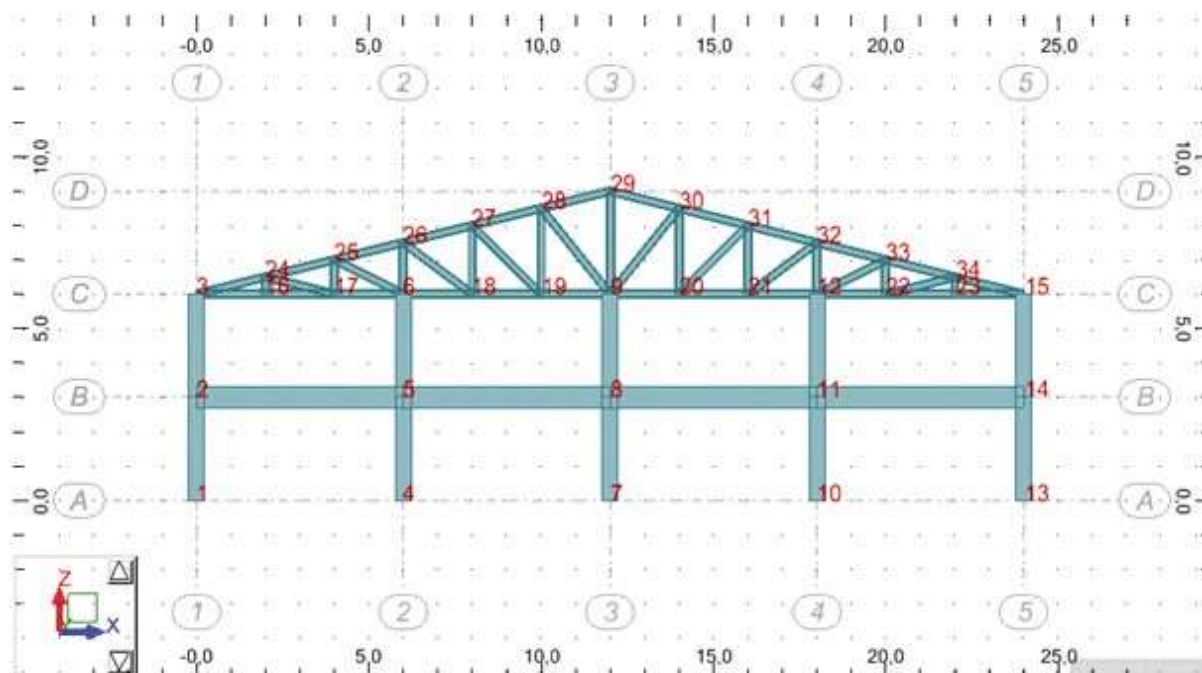
LKM w pole <i>Początek</i> (tło pola zostanie zmienione na kolor zielony)	Rozpoczęcie definiowania prętów w konstrukcji (słupy konstrukcji)
(0,0) (0,3), Dodaj (0,3) (0,6), Dodaj	Definicja dwóch pierwszych prętów leżących na linii konstrukcyjnej oznaczonej numerem 1
PKM w dowolny punkt okna z widokiem konstrukcji i wybór z menu kontekstowego komendy <i>Zaznacz</i>	Otwarcie menu kontekstowego i przejście w tryb selekcji; kursor myszy przyjmie postać "łapki"
CTRL+A	Selekcja wszystkich prętów
<i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego Translacja
LKM w pole (dX,dZ), {6,0} LKM w pola <i>Przyrost numeracji węzłów, elementów</i> {1} {1}	Definicja wektora translacji i przyrostu numeracji węzłów i prętów
LKM w pole <i>Liczba powtórzeń</i> {4}	Definicja liczby powtórzeń wykonywanej operacji przesunięcia
Wykonaj, Zamknij	Wykonanie translacji słupa i zamknięcie okna dialogowego Translacja
LKM w pole TYP PRĘTA w oknie Pręt i wybór typu: <i>Belka żelbetowa</i> LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu B45x60	Rozpoczęcie definiowania belek w konstrukcji i wybór ich charakterystyk
LKM w pole <i>Początek</i> (tło pola zostanie zmienione na kolor zielony)	Rozpoczęcie definiowania prętów w konstrukcji
(0,3) (6,3), Dodaj (6,3) (12,3), Dodaj (12,3) (18,3), Dodaj (18,3) (24,3), Dodaj	Definicja belki żelbetowej leżącej na osi konstrukcyjnej oznaczonej literą B
<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlenie atrybutów
Zakładka <i>Pręty</i> włącz opcję <i>Szkice</i> Zastosuj, OK	
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Pręt




Definicja konstrukcji bibliotecznej

Widok / Wyświetl	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
Zakładka Węzły włącz opcję Numery węzłów Zastosuj, OK	
	Otwarcie okna dialogowego Konstrukcje typowe i rozpoczęcie definiowania konstrukcji bibliotecznej
LKM (2 razy) w ikonę  (1 ikona w ostatnim rzędzie)	Wybór kratownicy trójkątnej typu 1; na ekranie pojawia się okno dialogowe Wstawianie konstrukcji , w którym zdefiniowane mogą zostać parametry kratownicy
Na zakładce Wymiary LKM w pole Długość L {24}	Definicja długości kratownicy (można ją również zdefiniować graficznie w polu graficznym)
LKM w pole Wysokość H {3}	Definicja wysokości kratownicy (można ją również zdefiniować graficznie w polu graficznym)
LKM w pole Liczba pól {12}	Definicja liczby pól, na które zostanie podzielona kratownica
LKM w zakładkę Wstaw	


LKM w pole <i>Punkt wstawienia</i> wybierz węzeł numer 3 o współrzędnych (0,0,6)	Definicja początkowego węzła kratownicy
LKM w klawisz Zastosuj , OK	Utworzenie zdefiniowanej kratownicy w odpowiednim miejscu w konstrukcji i zamknięcie okna dialogowego Wstawianie konstrukcji . Zdefiniowana konstrukcja jest pokazana na poniższym rysunku.




<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlenie atrybutów
Zakładka <i>Ulubione</i> wyłącz opcję <i>Numery węzłów</i> wyłącz opcję <i>Szkice</i> wyłącz opcję <i>Osie konstrukcyjne</i> Zastosuj, OK	
	Otwarcie okna dialogowego Przekroje
LKM w pole <i>Linie/pręty</i> , przejść na okno graficzne i zaznaczyć oknem wszystkie pręty kratownicy	Wybór prętów kratownicy
LKM w profil HEB 240 z bazy Rpln_pro	Wybór profilu z bazy Rpln_pro, który będzie nadawany wybranym prętom
LKM w klawisz Zastosuj	Nadanie profilu HEB 240 wszystkim prętom kratownicy

LKM w klawisz Tak	Zaakceptować sugestię dotyczącą materiału
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Przekroje
<i>Geometria / Zwolnienia</i>	Otwarcie okna dialogowego Zwolnienie
LKM w typ zwolnienia <i>PrzegubUtwardzenie</i>	Wybór typu zwolnienia, który będzie nadawany prętowi kratownicy
LKM w pole <i>Aktualna selekcja</i> , przejść na okno graficzne i wskazać najwyższy słupek kratownicy (pręt pomiędzy węzłami 9 i 29)	Wybór pręta kratownicy; <i>UWAGA: Należy zwrócić uwagę na strzałki, które pojawiają się na podświetlonym przecie kratownicy - strzałki przy wskazywaniu pręta powinny wskazywać górę (istotny jest kierunek zwolnienia: w pierwszym węźle pozostaje przegub, a w drugim nadawane jest utwardzenie)</i>
Zastosuj, Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Zwolnienie

Definicja podpór


	Otwarcie okna dialogowego Podpory
LKM w pole <i>Aktualna selekcja</i> (na zakładce <i>Węzłowe</i>)	Wybór węzłów konstrukcji, w których zdefiniowane zostaną podpory konstrukcji
Przejdź na pole graficzne; trzymając wciśnięty lewy klawisz myszki zaznaczyć oknem wszystkie dolne węzły słupów	W polu <i>Aktualna selekcja</i> wpisane zostaną wyselekcjonowane węzły: 1 Do13K3
W oknie dialogowym Podpory wybrać ikonę oznaczającą podporę utwierdzoną (zostanie podświetlona)	Wybór typu podpory
LKM w klawisz Zastosuj	Wybrany typ podpory zostanie nadany w wyselekcjonowanych węzłach konstrukcji
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Podpory

Definicja przypadków obciążeniowych

	Otwarcie okna dialogowego Przypadki obciążeń
LKM w klawisz Nowy	Definicja przypadku obciążenia o naturze: ciężar własny i standardowej nazwie STA1

LKM w pole <i>Natura Eksploatacyjne</i>	Wybór natury przypadku obciążenia: eksploatacyjne
LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy	Definicja dwóch przypadków obciążenia o naturze: eksploatacyjne i standardowych nazwach: EKSP1 i EKSP2
LKM w pole <i>Natura Wiatr</i>	Wybór natury przypadku obciążenia: wiatr
LKM w klawisz Nowy	Definicja przypadku obciążenia o naturze: wiatr i standardowej nazwie WIATR1
LKM w pole <i>Natura Śnieg</i>	Wybór natury przypadku obciążenia: śnieg
LKM w klawisz Nowy, Zamknij	Definicja przypadku obciążenia o naturze: śnieg i standardowej nazwie SN1 i zamknięcie okna dialogowego Przypadki obciążeń


Definicja obciążeń dla utworzonych przypadków

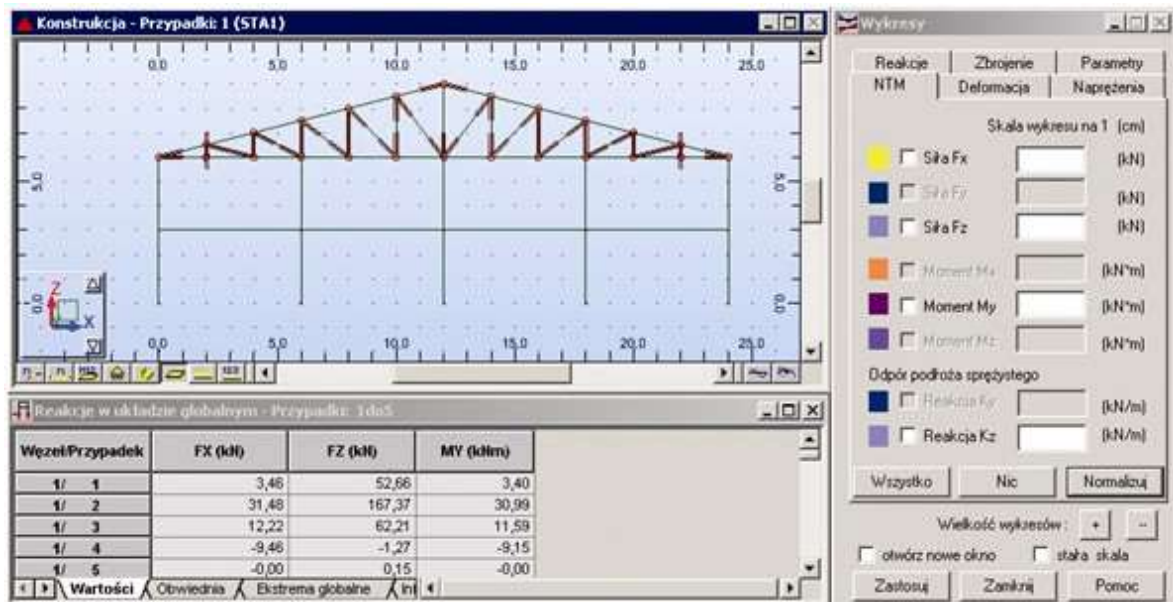
<i>Obciążenia / Tabela obciążeń</i>	Otwarcie tabeli do definiowania obciążeń działających w zdefiniowanych przypadkach obciążeniowych
 , rozmieszczenie tabeli w dolnej części ekranu w taki sposób, aby zajmowała całą szerokość ekranu i aby widoczny był model definiowanej konstrukcji	Zmniejszenie tabeli, aby można było graficznie definiować obciążenia; w przypadku przesłonięcia jednego okna przez inne, można się między nimi przełączać używając ikon z dolnego paska statutowego
	Obciążenie ciężarem własnym (kierunek „-Z”) dla wszystkich prętów konstrukcji zostało nadane automatycznie
LKM w drugie pole w kolumnie PRZYPADEK, wybór 2. przypadku obciążenia EKSP1	Definicja obciążeń działających dla drugiego przypadku obciążenia
LKM w pole kolumnie TYP OBCIĄŻENIA, wybór obciążenia jednorodnego	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie LISTA, wybór graficzny w polu graficznym belki betonowej (pręty 11do14)	Wybór prętów, do których przykładane będzie obciążenie jednorodne
LKM w pole w kolumnie "pz=" i wpisanie wartości -60	Wybór kierunku i wartości obciążenia jednorodnego

LKM w trzecie pole w kolumnie PRZYPADEK, wybór 3. przypadku obciążenia EKSP2	Definicja obciążeń działających dla trzeciego przypadku obciążenia
LKM w pole w kolumnie TYP OBCIĄŻENIA, wybór obciążenia trapezowego (2p)	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie LISTA, wybór graficzny w polu graficznym pierwszego od lewej przęsła belki betonowej (pręt 11)	Wybór prętów, do których przykładane będzie obciążenie trapezowe (można również od razu wpisać w to pole numer pręta)
LKM w pole w kolumnie "pz1=" i wpisanie wartości -20 LKM w pole w kolumnie "pz2=" i wpisanie wartości -24	Wybór kierunku i wartości obciążenia trapezowego
LKM w czwarte pole w kolumnie PRZYPADEK, wybór 4. przypadku obciążenia WIATR1	Definicja obciążeń działających dla czwartego przypadku obciążenia
LKM w pole w kolumnie TYP OBCIĄŻENIA, wybór obciążenia jednorodnego	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie LISTA, wybór graficzny w polu graficznym skrajnego lewego słupa (pręty: 1 i 2)	Wybór prętów, do których przykładane będzie obciążenie jednorodne
LKM w pole w kolumnie "px=" i wpisanie wartości 4.0	Wybór kierunku i wartości obciążenia jednorodnego
LKM w piąte pole w kolumnie PRZYPADEK, wybór 5. przypadku obciążenia SN1	Definicja obciążeń działających dla piątego przypadku obciążenia
LKM w pole w kolumnie TYP OBCIĄŻENIA, wybór obciążenia siłami węzłowymi	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie LISTA, wybór graficzny w polu graficznym węzłów pasa górnego kratownicy (oprócz skrajnych węzłów) - węzły 24do34	Wybór węzłów, do których przykładane będzie obciążenie siłami węzłowymi
LKM w pole w kolumnie "FZ=" i wpisanie wartości -0.25	Wybór kierunku i wartości obciążenia


Zamknięcie tabeli obciążeń	
----------------------------	--

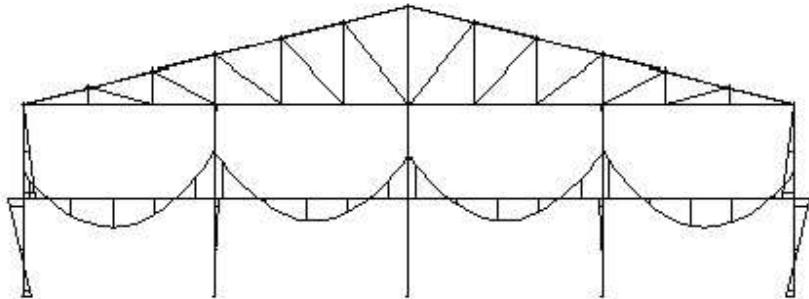
9.2.2. Analiza konstrukcji


Narzędzia / Preferencje zadania	Otwarcie okna dialogowego Preferencje zadania
Jednostki i formaty / Inne	Wybór opcji do określania liczby miejsc po przecinku dla wybranych wielkości
Zwiększenie liczby miejsc po przecinku dla przemieszczeń liniowych do 4	Zwiększenie liczby miejsc po przecinku dla przemieszczeń liniowych do 4
OK	Zaakceptowanie przyjętych parametrów i zamknięcie okna dialogowego Preferencje zadania
	Rozpoczęcie obliczeń dla zdefiniowanej konstrukcji
LKM w pole wyboru ekranów systemu Robot , Rezultaty / Rezultaty	Wybór ekranu REZULTATY systemu Robot . Ekran monitora zostanie podzielony na trzy przedstawione na poniższym rysunku części: pole graficzne zawierające model konstrukcji, okno dialogowe Wykresy i tabelę prezentującą wartości reakcji



9.2.3. Analiza wyników

 wybór 2: EKSP1	Wybór prezentacji wyników dla drugiego przypadku obciążeniowego
Włączenie opcji <i>Moment My</i> w oknie dialogowym Wykresy	Wybór prezentacji momentu zginającego My
LKM w klawisz Zastosuj	Prezentacja wykresu momentu zginającego dla prętów konstrukcji (rysunek poniżej). Podobnie można przedstawiać wykresy innych wielkości dostępnych w oknie dialogowym Wykresy



Wyłączenie opcji <i>Moment My</i> w oknie dialogowym Wykresy , Zastosuj	
	Otwarcie tabeli z tabelą przemieszczeń
LKM w zakładkę <i>Ekstrema globalne</i> tabeli <i>Przemieszczenia</i>	Prezentacja maksymalnych i minimalnych przemieszczeń otrzymanych w węzłach konstrukcji (patrz rysunek poniżej); są to ekstremalne przemieszczenia dla każdego kierunku
LKM w zakładkę <i>Wartości</i>	
PKM w tabeli przemieszczeń	Wywołanie na ekran menu kontekstowego
<i>Kolumny</i>	Wybór opcji <i>Kolumny</i> , która powoduje otwarcie okna dialogowego
LKM w zakładkę <i>Ogólne</i> , włączenie opcji <i>Współrzędne</i> , OK	W tabeli pojawiają się dwie dodatkowe kolumny zawierające współrzędne węzłów konstrukcji

	UX (cm)	UZ (cm)	RY (Rad)	X (m)	Z (m)
MAX	0,0211	0,0007	0,000	24,00	9,00
Węzeł	3	24	2	13	29
Przypadek	4	4	2	1	1
MIN	-0,0028	-0,0191	-0,000	0,0	0,0
Węzeł	15	5	14	1	1
Przypadek	2	2	2	1	1

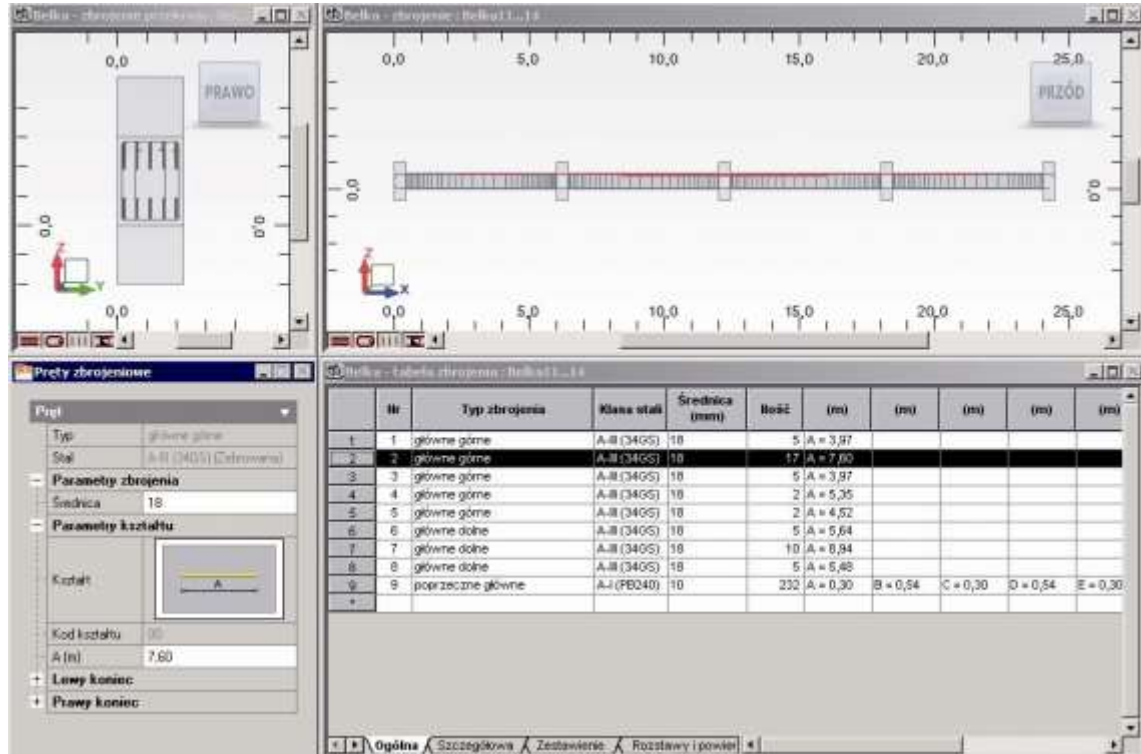
Zamknięcie tabeli przemieszczeń węzłowych

9.2.4. Wymiarowanie belek żelbetowych z uwzględnieniem skręcania

Norma PN-B-03264 (2002)

Będąc w polu graficznym PKM i w menu wybrać opcję <i>Zaznacz</i> , wyselekcjonować oknem ciągłą belkę żelbetową	Wybór belki, która będzie wymiarowana
<i>Analiza / Wymiarowanie elementów żelbetowych / Wymiarowanie belek żelbetowych</i>	Uruchomienie modułu umożliwiającego wymiarowanie belki żelbetowej; do tego modułu wczytane zostaną dane dotyczące belki i uzyskane dla niej wyniki w obliczeniach statycznych konstrukcji
<i>Przypadki proste OK</i>	W oknie dialogowym Wybór obciążenia wybór opcji <i>Przypadki proste</i> . W przypadku polskiej normy przyjmowany jest jeszcze współczynnik udziału obciążeń zmiennych długotrwałych (1.0)
LKM przejść na widok Belka - przekrój	Wybór widoku prezentującego przekrój belki
<i>Analiza / Opcje obliczeniowe</i>	Otwarcie okna dialogowego Opcje obliczeniowe
Na zakładce <i>Ogólne</i> nacisnąć klawisz Zawansowane , a następnie wybrać opcję <i>Uwzględnienie skręcania</i> , OK	Otwarcie okna dialogowego Opcje zaawansowane , uwzględnienie w obliczeniach momentu skręcającego; zamknięcie okna dialogowego Opcje zaawansowane
OK	Zamknięcie okna dialogowego Opcje obliczeniowe



LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Belki żelbetowe / Belki - Wyniki	Prezentacja graficzna i tabelaryczna otrzymanych wyników (wykresów sił poprzecznych dla różnych stanów granicznych i wykresów pól powierzchni zbrojenia na długości belki). <i>UWAGA: Uruchomienie wymiarowania belki żelbetowej następuje automatycznie</i>
Belki żelbetowe / Belki - Zbrojenie	Prezentacja graficzna i tabelaryczna otrzymanego zbrojenia w belce (patrz rysunek poniżej)

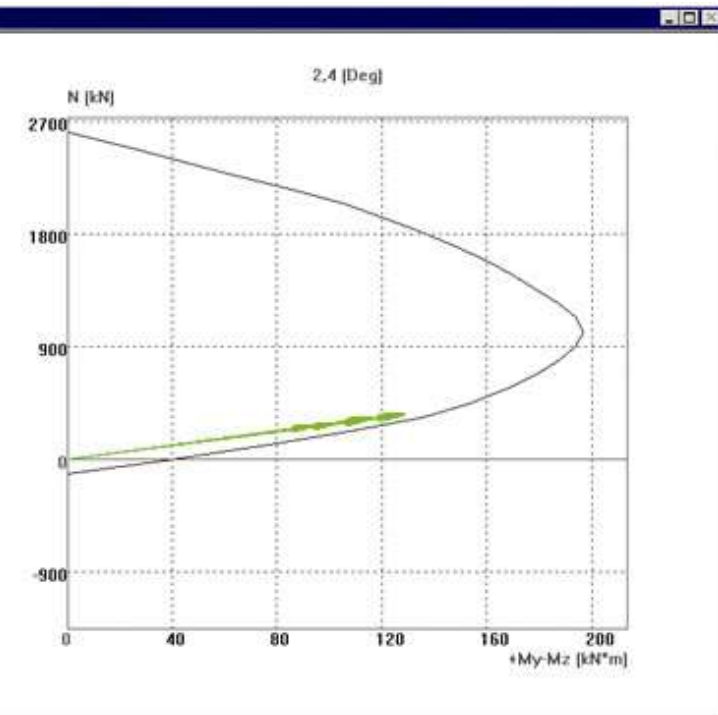


<i>Rezultaty / Rysunki</i>	Prezentacja rysunku wykonawczego pierwszego przęsła zwymiarowanej belki
Belki żelbetowe / Belki - Zbrojenie	Powrót do ekranu BELKI - ZBROJENIE
<i>Rezultaty / Notka obliczeniowa</i> OK	Otwarcie okna dialogowego Notka obliczeniowa , w którym wybrane mogą zostać składniki notki obliczeniowej oraz uruchomienie edytora systemu Robot , w którym prezentowane są dane i wyniki obliczeń belki
Zamknięcie edytora z notką obliczeniową	

9.2.5. Wymiarowanie słupów żelbetowych

Norma PN-B-03264 (2002)

 Model konstrukcji / Start	Z listy dostępnych ekranów systemu Robot należy wybrać ekran START
Będąc w polu graficznym PKM i w menu wybrać opcję <i>Zaznacz</i> , wyselekcjonować oknem skrajny lewy dolny słup (pręt 1)	Wybór słupa, który będzie wymiarowany
<i>Analiza / Wymiarowanie elementów żelbetowych / Wymiarowanie słupów betonowych</i>	Uruchomienie modułu umożliwiającego wymiarowanie słupa betonowego; do tego modułu wczytane zostaną dane dotyczące słupa i uzyskane dla niej wyniki w obliczeniach statycznych konstrukcji
<i>Przypadki proste</i> OK	W oknie dialogowym Wybór obciążenia wybór opcji <i>Przypadki proste</i>
LKM przejść na widok Słup - przekrój	Wybór widoku prezentującego przekrój słupa.
<i>Analiza / Parametry zbrojenia</i>	Otwarcie okna dialogowego Wzorzec zbrojenia
Na zakładce <i>Pręty główne</i> ustawić preferowaną średnicę prętów narożnych 16 , OK	Ustawienie parametrów zbrojenia, zamknięcie okna dialogowego Wzorzec zbrojenia
 LKM w klawisz Obliczenia	Rozpoczęcie obliczeń wymaganego zbrojenia zgodnie z przyjętymi parametrami
LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Słupy żelbetowe / Słupy - Wyniki	Na ekranie monitora zostaną przedstawione powierzchnie (krzywe) interakcji N-M, My-Mz



Otwarcie okna dialogowego **Wyjęcie przekroju**

Przedstawienie przekroju słupa z zaznaczoną osią obojętną, strefą ścisną i rozciąganą wraz z odpowiednimi współczynnikami bezpieczeństwa dla wybranej kombinacji

Wyjęcie przekroju

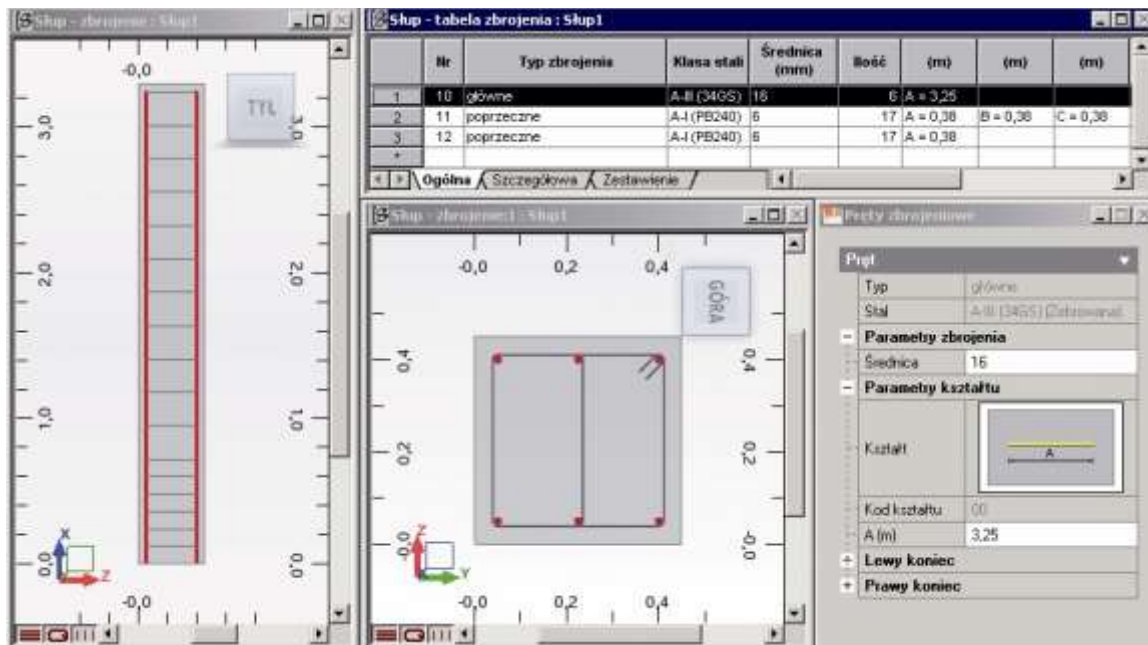
Rodzaj obciążeń
 Podstawowe Wyjątkowe

Opis	N (kN)	My (kN*m)	Mz (kN*m)
1.10STA1+1.30EKSP1+1.30EKSP2+	354,77	126,71	5,32
1.10STA1+1.30EKSP1+1.30EKSP2+	354,77	65,42	5,32
1.10STA1+1.30EKSP1+1.30EKSP2+	354,77	-53,75	5,32
1.10STA1+1.30EKSP1+1.30EKSP2 (356,26	128,14	5,34
1.10STA1+1.30EKSP1+1.30EKSP2 (356,26	55,37	5,34
1.10STA1+1.30EKSP1+1.30EKSP2 (356,26	-64,47	5,34
1.10STA1 (A)	57,91	8,53	0,87
1.10STA1 (C)	57,91	3,97	0,87
1.10STA1 (B)	57,91	-4,61	0,87
1.10STA1+1.30EKSP1+1.17MATR1	273,91	92,88	4,11

Rd / Sd	1,00	<	1,17
MRd / MSd	1,00	<	1,08
NRd / NSd	1,00	<	5,13

Zamknij Pomoc

Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Wytyczenie przekroju
LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot: Słupy żelbetowe / Słupy - Zbrojenie	Prezentacja graficzna i tabelaryczna otrzymanego zbrojenia w słupie (patrz rysunek poniżej)



9.2.6. Wymiarowanie prętów żelbetowych

Norma PN-B-03264 (2002)

<p>Start</p> <p>Model konstrukcji / Start</p>	<p>Z listy dostępnych ekranów systemu Robot należy wybrać ekran START</p>
<p><i>Analiza / Wymiarowanie elementów żelbetowych / Wymiarowanie prętów żelbetowych / Obliczenia</i></p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Obliczenia wg normy Norma PN-B-03264 (2002)</p>
<p>W polu <i>Obliczenia dla prętów</i> należy wpisać listę prętów: 1do14</p>	<p>Wybór prętów podlegających wymiarowaniu</p>
<p>W polu <i>Listy przypadków (SGN)</i> należy wpisać listę przypadków obciążeniowych konstrukcji wykorzystywanych podczas wymiarowania: 1do5</p>	<p>Wybór wszystkich przypadków obciążeniowych</p>
<p>W polu <i>Obliczaj belki</i> przyjąć parametry: obliczenia w 11 punktach</p>	<p>Określenie parametrów poszukiwania teoretycznej powierzchni zbrojenia dla wybranych prętów konstrukcji</p>

LKM w klawisz Obliczaj	Rozpoczęcie obliczeń teoretycznej powierzchni zbrojenia dla wybranych prętów konstrukcji i przyjętych parametrów obliczeń
Zamknij w oknie dialogowym Raport z obliczeń prętów żelbetowych	Wyświetlenie okna z ostrzeżeniami i błędami obliczeń zbrojenia teoretycznego prętów
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Obliczenia wg normy Norma PN-B-03264 (2002)
<i>Rezultaty / Zbrojenie / Zbrojenie prętów</i>	Otwarcie tabeli <i>Wyniki zbrojenia teoretycznego w prętach</i> , w której wyświetlane będą wyniki obliczeń zbrojenia teoretycznego w wybranych przekrojach prętów żelbetowych
Zamknięcie tabeli <i>Wyniki zbrojenia teoretycznego w prętach</i>	

9.3. Płyta żelbetowa

Ten przykład przedstawia definicję i analizę prostej płyty żelbetowej z otworem.

Jednostki danych: (m) i (kN).

Norma wymiarowania płyt żelbetowych: PN-B-03264 (2002).

Poniżej przedstawiono krok po kroku wszystkie etapy tworzenia modelu płyty i obliczenia płyty.

Zdefiniowano cztery przypadki obciążenia (ciężar własny i trzy przypadki eksploatacyjne). Podczas definiowania konstrukcji wykorzystywane będą następujące zasady:

- prezentacja dowolnej ikony oznacza naciśnięcie tej ikony lewym klawiszem myszki,
- { x } oznacza wybór opcji 'x' z okna dialogowego,
- LKM i PKM - skróty używane do oznaczenia kliknięcia odpowiednio lewym lub prawym klawiszem myszki.

Aby rozpocząć definiowanie konstrukcji, uruchom system **Robot** (naciśnij odpowiednią ikonę lub wybierz komendę z paska zadań). W okienku pojawiającym się po chwili na ekranie (jest ono opisane w rozdziale



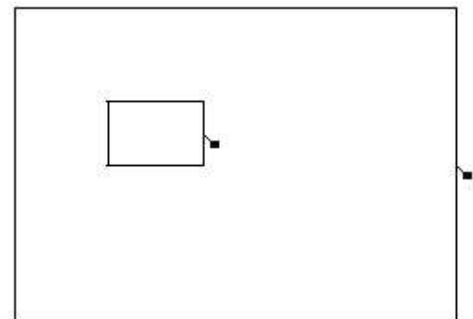
2.1 podręcznika) należy wybrać pierwszą ikonę w drugim rzędzie (**Projektowanie płyty**).

9.3.1. Definicja modelu konstrukcji

Definicja konturu

WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
---------------------	------

<i>Widok / Siatka / Definiuj krok</i>	Otwarcie okna dialogowego Definicja kroku siatki
Dx = Dy =1.0	Definicja kroku siatki na ekranie (równy w obu kierunkach)
Zastosuj, Zamknij	Przyjęcie zdefiniowanych parametrów i zamknięcie okna dialogowego Definicja kroku siatki
<i>Geometria / Obiekty / Poliliniakontur</i>	Otwarcie okna dialogowego Polilinia - kontur
LKM w opcję <i>Polilinia</i> w polu <i>Metoda tworzenia</i>	Wybór polilinii do definiowania konturu płyty
Używając myszki zdefiniuj punkty o następujących współrzędnych w oknie graficznym: {-7, -5} {-7, 5} {7, 5} {7, -5} {-7, -5}	Definicja konturu o kształcie prostokąta
{-4, 2} {-4, 0} {-1, 0} {-1, 2} {-4, 2}	Definicja konturu o kształcie prostokąta. Kontur definiowany jest przez cztery wierzchołki (piąty wierzchołek jest podany, aby zamknąć kontur). Modeluje on wymiary otworu w płycie
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Polilinia - kontur





Parametry siatki elementów skończonych


<i>Narzędzia / Preferencje zadania / Parametry pracy</i>	Otwarcie okna dialogowego służącego do wyboru parametrów np. siatkowania
--	--


W polu <i>Rodzaj siatkowania</i> wybierz opcję <i>Użytkownika</i> LKM w klawisz Modyfikacja	Wybór typu siatkowania określonego przez użytkownika
LKM w opcję <i>Dopuszczalne metody siatkowania / Siatkowanie złożone (Delaunay)</i>	Wybór metody Delaunay'a
W polu <i>Generacja siatki / Podział 1 i Podział 2</i> : wpisz {7}	Definicja rozmiaru generowanej siatki powierzchniowych elementów skończonych
OK	Akceptacja zmian i zamknięcie okna dialogowego Opcje siatkowania
OK	Zamknięcie okna dialogowego Preferencje zadania i akceptacja dokonanych zmian

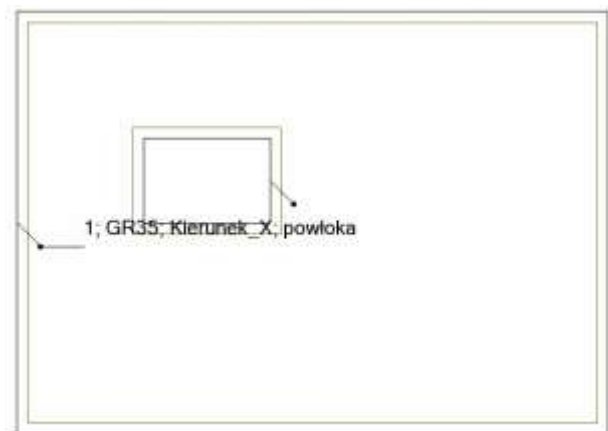
Właściwości płyty

	Otwarcie okna dialogowego służącego do definiowania grubości płyty
	Definicja nowej grubości powierzchniowych elementów skończonych
Na zakładce <i>Jednordne</i> w polu <i>Gr=</i> wpisz wartość { 35 }	Definicja grubości płyty; w polu <i>Etykieta</i> należy wpisać GR35
W polu <i>Materiał</i> : wybierz { B30 }	Wybór materiału: B30
Dodaj i Zamknij	Dodanie nowego typu grubości (GR35) do listy zdefiniowanych typów grubości i zamknięcie okna dialogowego Nowa grubość
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Grubości ES

Nadanie właściwości płyty



	Otwarcie okna dialogowego Panel
LKM w opcję <i>Typ obszaru: Otwór</i>	Definicja konturu otworu
LKM w opcję <i>Tworzenie poprzez/Punkt wewnętrzny</i> : LKM w punkt o współrzędnych {-3, 1} w oknie graficznym	Definicja konturu otworu. Wybór punktu znajdującego się wewnątrz otworu; po kliknięciu w punkt np. o współrzędnych (-3,1) kontur będzie traktowany jako otwór

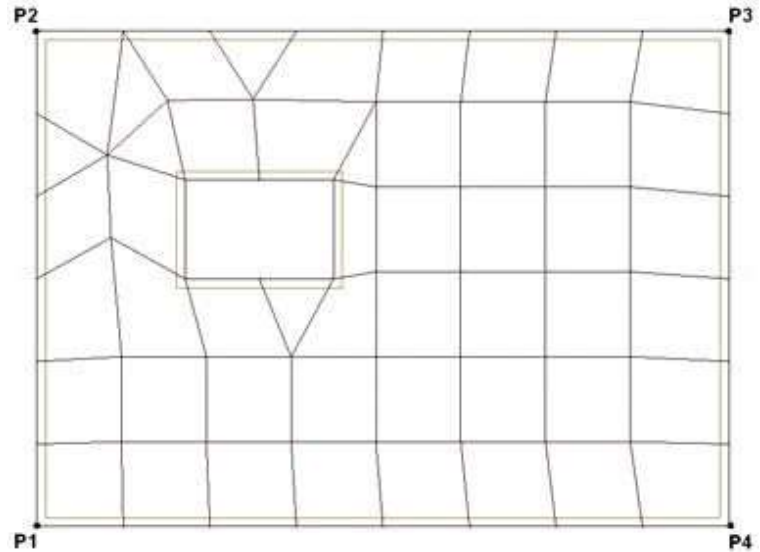
LKM w opcję <i>Typ obszaru: Panel</i>	Definicja panelu (wokół zdefiniowanego otworu)
LKM w klawisz  znajdujący się po prawej stronie opcji <i>Zbrojenie</i> , w polu <i>Charakterystyki</i>	Otwarcie okna dialogowego PN-B 03264 (2002) Parametry zbrojenia .
Na zakładce <i>Ogólne</i> <ul style="list-style-type: none"> w polu <i>Nazwa</i> wpisać: Kierunek_X w polu <i>Obliczenia zbrojenia dla powłok / Typ</i> wybrać: zginanie+ściskanie/rozciąganie w polu <i>Kierunek zbrojenia głównego</i> wybrać: Wzdłuż osi X Dodaj, Zamknij	Definicja nowego typu zbrojenia płyty. Zamknięcie okna dialogowego PN-B 03264 (2002) Parametry zbrojenia .
LKM w polu <i>Charakterystyki</i> w opcji <ul style="list-style-type: none"> <i>Zbrojenie</i> wybrać: Kierunek_X <i>Grubość</i> wybrać: GR35 <i>Model</i> wybrać: Powłoka 	Wybór typu zbrojenia, grubości (GR35) i modelu obliczeniowego panela.
LKM w opcję <i>Tworzenie poprzez/Punkt wewnętrzny</i> : LKM w punkt o współrzędnych {0,0} w oknie graficznym	Definicja konturu panela. Wybór punktu znajdującego się wewnątrz konturu, ale na zewnątrz konturu otworu; po kliknięciu w punkt np. o współrzędnych (0,0) kontur będzie traktowany jako kontur panela
Zamknij	Zakończenie definicji panela



Definicja podpór

<i>Analiza / Model oblic</i> <i>Generacja</i>	Generacja siatki elementów skończonych zgodnie z przyjętymi parametrami siatkowania
--	---

	Otwarcie okna dialogowego Podpory
	Definicja nowego typu podpory
Zaawansowane na zakładce <i>Sztywne</i>	Otwarcie okna dialogowego Definicja podpory - zaawansowane do definicji podpory określanej przy pomocy wymiarów przekroju poprzecznego słupa
<i>Słup</i>	Wybór typu podpory - słup
Prostokątny b = 45, h = 45	Definicja typu słupa (prostokątny) i wymiarów przekroju poprzecznego słupa
OK	Zamknięcie okna dialogowego Definicja podpory - zaawansowane
W polu <i>Etykieta</i> wpisać Słup45x45, zablokować wszystkie kierunki (UZ, RX, RY)	Podanie nazwy zdefiniowanego typu podpory
Dodaj, Zamknij	Dodanie nowego typu podpory (słup45x45) do listy dostępnych typów podpór i zamknięcie okna dialogowego Definicja podpory
LKM w opcję <i>Słup45x45</i>	Wybór typu podpory
LKM w pole <i>Aktualna selekcja</i> (na zakładce <i>Węzłowe</i>) LKM w pole edycyjne LKM w punkty P1, P2, P3, P4	Wybór punktów, w których definiowana będzie podpora - patrz poniższy rysunek. Numeracja węzłów może być różna po zakończeniu generacji siatki elementów skończonych. Należy wybrać punkty narożne P1, P2, P3, P4, tak jak to zostało pokazane na rysunku poniżej
Zastosuj, Zamknij	Definicja podpór w konstrukcji i zamknięcie okna dialogowego Podpory

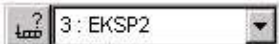








Definicja przypadków obciążenia

	Otwarcie okna dialogowego Przypadki obciążeń
LKM w klawisz Nowy	Definicja ciężaru własnego o standardowej nazwie STA1
LKM w pole <i>Natura</i> i wybrać obciążenie: <i>Eksplloatacyjne</i>	Wybór natury obciążenia: <i>eksploatacyjne</i>
LKM w klawisz Nowy , LKM w klawisz Nowy , LKM w klawisz Nowy , iknij	Definicja trzech przypadków obciążenia eksploatacyjnego o standardowych nazwach: EKSP1, EKSP2 i EKSP3 oraz zamknięcie okna dialogowego Przypadki obciążeń

Definicja obciążeń dla utworzonych przypadków obciążenia

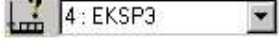
 wybór 2: EKSP1	Wybór pierwszego przypadku obciążenia eksploatacyjnego EKSP1
	Otwarcie okna dialogowego Obciążenie
Wybierz zakładkę <i>Powierzchnia</i> 	Wybór obciążenia powierzchniowego jednorodnego na konturze
<i>Parametry obciążenia, Z: {-0.5}</i>	Definicja wartości obciążenia

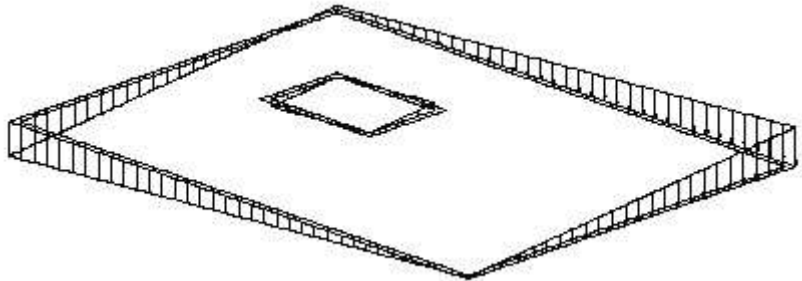
LKM w pole <i>Definicja konturu</i>	Definicja konturu o kształcie prostokąta, do którego przyłożone będzie obciążenie
Zdefiniuj punkty o następujących współrzędnych: {-7, 1.5}; Dodaj {-4, 1.5}; Dodaj {-4, 0}; Dodaj {-7, 0}; Dodaj	
LKM w klawisz Dodaj znajdujący się na dole okna dialogowego Obciążenie jednorodne (kontur)	
Zastosuj	
 wybór 3: EKSP2	Wybór drugiego przypadku obciążenia eksploatacyjnego EKSP2
Wybierz zakładkę <i>Powierzchnia</i> 	Wybór obciążenia liniowego 2p
<i>Wartości: P1, P2</i> Z: {-0.8, -0.8} <i>Współrzędne punktów</i> A: {1, -5} B: {1, 5}	Definicja wartości obciążenia w dwóch punktach (P1 i P2 - początek i koniec odcinka do którego przykładane jest obciążenie) oraz współrzędnych tych punktów (A i B)
Dodaj, Zastosuj	
 wybór 4: EKSP3	Wybór trzeciego przypadku obciążenia eksploatacyjnego EKSP3
Wybierz zakładkę <i>Powierzchnia</i> 	Wybór obciążenia powierzchniowego 3p
<i>Wartości: P1, P2, P3</i> Z: {-5, -8, 2} <i>Współrzędne punktów</i> A: {0.0, 5.0} B: {5.0, 5.0} C: {3.0, -5.0}	Definicja wartości obciążenia dla całego panela, w oparciu o trzy wybrane punkty (P1, P2 i P3) oraz określenie współrzędnych tych punktów (A, B i C)
LKM w klawisz Dodaj znajdujący się na dole okna dialogowego Obciążenie powierzchniowe 3P	

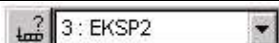
LKM w pole <i>Zastosuj do</i> {1}	Wybór panela, do którego przykładane będzie obciążenie
Zastosuj, Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie
<i>Obciążenia / Kombinacje ręczne</i>	Definicja kombinacji
LKM w pole <i>Typ kombinacji</i> i wybrać: <i>SGU</i>	Wybór kombinacji typu SGU
LKM w pole <i>Natura</i> i wybrać: <i>eksploatacyjne</i>	Wybór natury <i>eksploatacyjne</i> i zatwierdzenie typu kombinacji
OK	
W polu <i>Współczynnik</i> wpisać auto	Definicja współczynnika, który będzie użyty dla wybranych przypadków
LKM w oknie <i>Lista przypadków</i> numer 2	Podświetlenie numeru przypadku, który będzie użyty w kombinacji
	Przeniesienie wybranego przypadku do panelu po prawej stronie
LKM w oknie <i>Lista przypadków</i> numer 3	Podświetlenie numeru przypadku, który będzie użyty w kombinacji
	Przeniesienie wybranego przypadku do panelu po prawej stronie
LKM w oknie <i>Lista przypadków</i> numer 4	Podświetlenie numeru przypadku, który będzie użyty w kombinacji
	Przeniesienie wybranego przypadku do panelu po prawej stronie
Zastosuj, Zamknij	Definicja kombinacji obciążeń i zamknięcie okna dialogowego Kombinacje

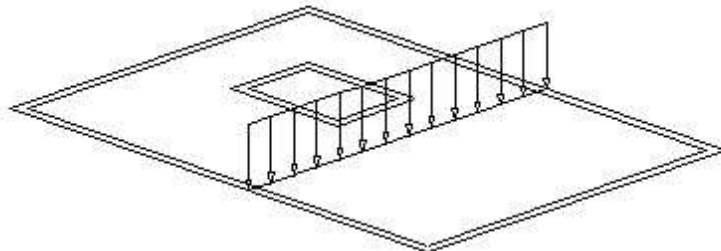
Wizualizacja utworzonych przypadków obciążenia


<i>Widok / Rzutowanie / 3D xyz</i>	Wybór widoku aksonometrycznego
<i>Widok / Wyświetl / zakładka Obciążenia</i>	Jeśli nie są widoczne symbole obciążeń, w oknie Wyświetlanie atrybutów możemy włączyć ich wizualizację
LKM w opcję <i>Symbole obciążeń</i>	Włączenie opcji prezentacji obciążeń w konstrukcji

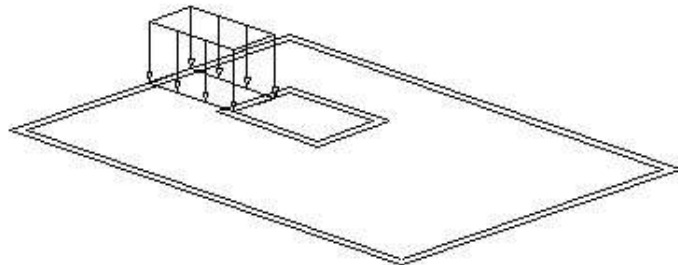
Widok / Wyświetl / zakładka Panele/ES	Przejdź na zakładkę <i>Panele/ES</i> okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
LKM w opcję <i>Opis paneli, Elementy skończone</i> Zastosuj, OK	Wyłączenie opcji prezentacji elementów konstrukcji
 wybór 4: EKSP3	Wybór trzeciego przypadku obciążenia eksploatacyjnego EKSP3





 wybór 3: EKSP2	Wybór drugiego przypadku obciążenia eksploatacyjnego EKSP2
---	--

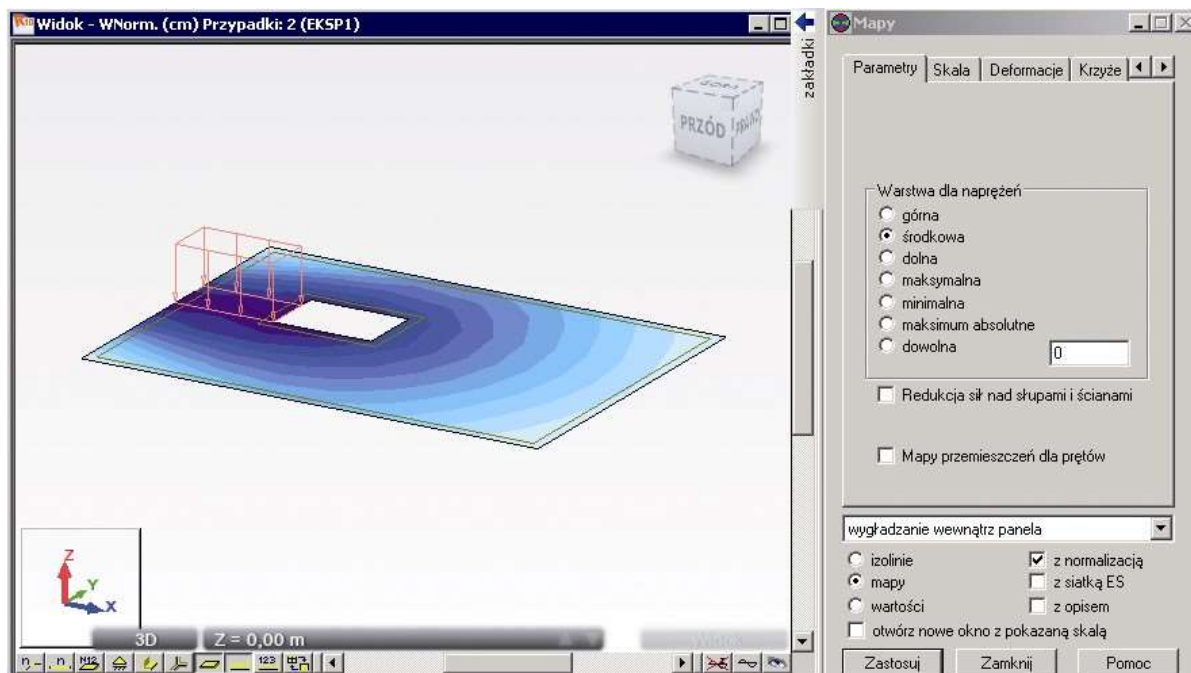


 wybór 2: EKSP1	Wybór pierwszego przypadku obciążenia eksploatacyjnego EKSP1
---	--

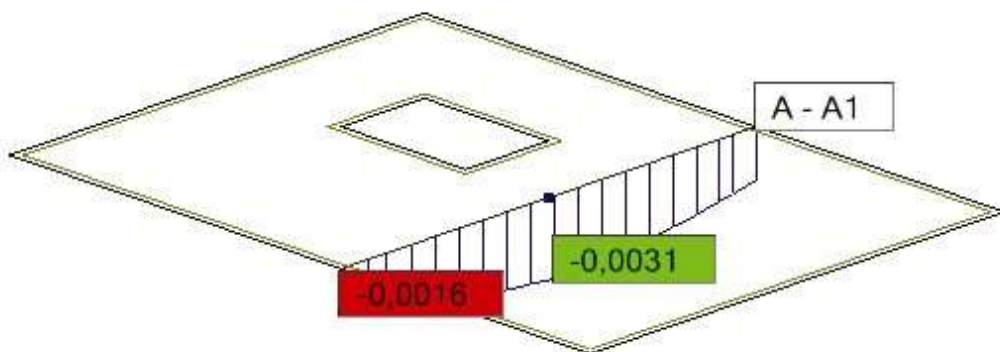


9.3.2. Analiza konstrukcji i prezentacja wyników obliczeń (mapy na przecięciach paneli)

	Rozpoczęcie obliczeń dla zdefiniowanej konstrukcji
LKM w pole umożliwiające wybór ekranów programu Robot , Rezultaty / Rezultaty - mapy	Wybór ekranu REZULTATY/REZULTATY - MAPY programu Robot . Ekran monitora zostanie podzielony na dwie części tak jak to pokazano na poniższym rysunku: okno graficzne z modelem konstrukcji oraz okno dialogowe Mapy
 wybór 2: EKSP1	Wybór pierwszego przypadku obciążenia eksploatacyjnego EKSP1
LKM w opcję <i>Przemieszczenia-u</i> , w w oknie dialogowym Mapy	Wybór przemieszczenia do prezentacji
Przejdźcie na zakładkę <i>Parametry</i> w oknie dialogowym Mapy i wybranie opcji <i>środkowa</i> w polu <i>Warstwa dla naprężeń</i> , Zastosuj	Wybór warstwy, dla której prezentowane będą wyznaczone przemieszczenia



Przejdźcie na zakładkę <i>Szczegółowe</i> w oknie dialogowym Mapy i wyłączenie prezentacji przemieszczeń dla płyty, Zastosuj	
Model konstrukcji / Geometria	Wybór początkowego ekranu systemu Robot
<i>Rezultaty / Przecięcia paneli</i>	Otwarcie okna dialogowego Przecięcia paneli umożliwiającego tworzenie wykresów sił wewnętrznych i przemieszczeń w powierzchniowych elementach skończonych
LKM w opcję <i>Przemieszczenia - u,w</i> na zakładce <i>Szczegółowe</i>	Wybór przemieszczenia do prezentacji
Na zakładce <i>Definicja</i> w oknie dialogowym Przecięcia paneli , wybrać opcję <i>równoległe do osi Y</i> , wpisać współrzędne (1.00, -5.00) w polu poniżej	Wybór sposobu definiowania płaszczyzny przecięcia
Przejdź na zakładkę <i>Parametry</i> , a następnie w polu <i>Warstwa dla naprężeń</i> wybrać opcję <i>środkowa</i>	Wybór warstwy, dla której prezentowane będą przemieszczenia w wybranym przecięciu
Na zakładce <i>Wykresy</i> wybrać następujące opcje: <i>karteczki</i> w polu <i>Opisy wykresów</i> , <i>kreskowe</i> w polu <i>Wypełnianie oraz normalnie</i> w polu <i>Położenie wykresów</i>	Wybór sposobu prezentacji wykresów na przecięciach konstrukcji
Zastosuj	Włączenie prezentacji przemieszczeń na przecięciach panelu (rysunek poniżej); poniższy rysunek prezentuje dotychczas zdefiniowaną konstrukcję UWAGA: <i>Zwiększenie liczby miejsc znaczących po przecinku może być dokonane w menu górnym: Narzędzia / Preferencje zadania / Jednostki i formaty / Inne</i>
	Wykorzystanie opcji pozwala na obejrzenie wykresu (w początkowym stanie wykres znajduje się pod płytą)



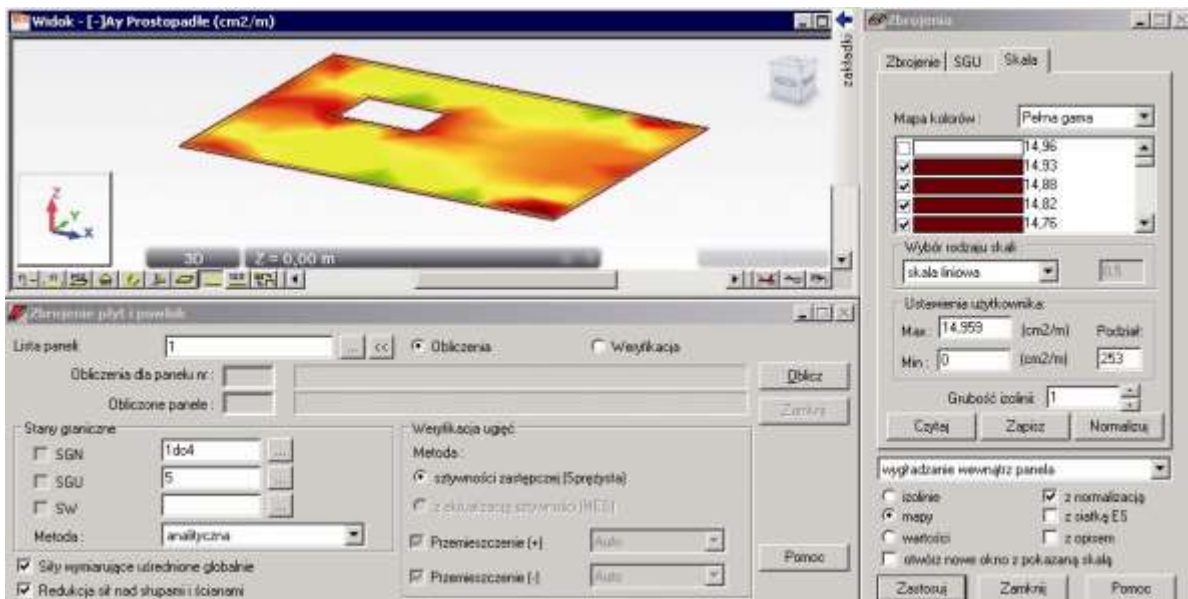
Przejsć na zakładkę <i>Przecięcia</i> i wyłączyć prezentację wykresu na zdefiniowanym przecięciu (zniknie symbol ✓)	Wyłączenie prezentacji wykresu na przecięciu przez płytę
Zastosuj, Zamknij	Wyłączenie prezentacji przemieszczeń na przecięciu panelu i zamknięcie okna dialogowego Przecięcia paneli


9.3.3. Obliczanie teoretycznych powierzchni zbrojenia

Norma PN-B-03264 (2002)

LKM w pole umożliwiające wybór ekranów programu Robot: Płyty żelbetowe / Płyty - zbrojenie teoretyczne	Przejsć na ekran programu Robot umożliwiającego wyznaczenie teoretycznych powierzchni zbrojenia dla zdefiniowanej płyty. Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: okno graficzne z modelem konstrukcji oraz dwa okna: Zbrojenie płyt i powłok oraz Zbrojenia
LKM w pole SGN : w polu <i>Listy przypadków</i> i wpisanie 1 do 4 w oknie Zbrojenie płyt i powłok	Obliczenia powierzchni teoretycznych odbywać się będą dla stanu granicznego nośności uwzględniając wszystkie przypadki obciążenia płyty
LKM w pole SGU : w polu <i>Listy przypadków</i> i wpisanie 5 w oknie Zbrojenie płyt i powłok	Obliczenia powierzchni teoretycznych odbywać się będą dla stanu granicznego użyteczności uwzględniając zdefiniowaną kombinację
LKM w pole <i>Metoda</i> i wybór metody analitycznej	Wybór analitycznej metody obliczania powierzchni zbrojenia
Włączenie opcji <i>Redukcja sił nad słupami</i>	Włączenie tej opcji oznacza, że dla elementów płytowych, które są podparte punktowo (np. przy pomocy typu podpory słup), wartości momentów i naprężeń w okolicach punktów podparcia są zastępowane średnią wartością z otoczenia tych podpór/słupów

LKM w klawisz Oblicz w oknie Zbrojenie płyt i powłok	Rozpoczęcie obliczeń powierzchni zbrojenia dla zdefiniowanej płyty (panelu nr 1)
Po zakończeniu obliczeń LKM w opcję Powierzchnia A Y[-] w oknie dialogowym Zbrojenia	Wybór wielkości do prezentacji
Przejęcie na zakładkę Skala i wybór opcji Pełna gama w polu Mapa kolorów	Wybór rodzaju palety kolorów używanej do prezentacji map zbrojenia
LKM w klawisz Zastosuj w oknie Zbrojenia	Prezentacja powierzchni zbrojenia dla wybranej powierzchni i wybranego kierunku (mapa powierzchni zbrojenia jest pokazana na poniższym rysunku)






Wyłączenie opcji Powierzchnia A Y[-] w oknie dialogowym Zbrojenia LKM w klawisz Zastosuj	Wyłączenie prezentacji map zbrojenia
	Otwarcie tabeli z prezentacją wyników dla obliczania teoretycznych powierzchni zbrojenia dla płyty
PKM gdy kursor znajduje się w tabeli Wyniki zbrojenia	Pojawienie się menu kontekstowego na ekranie
Kolumny	Otwarcie okna dialogowego Wyniki zbrojenia
Włączenie dwóch opcji w polu Zbrojenie teoretyczne : Rozstaw e X[-] i Rozstaw e X[+]	Wybór wielkości do prezentacji w tabeli

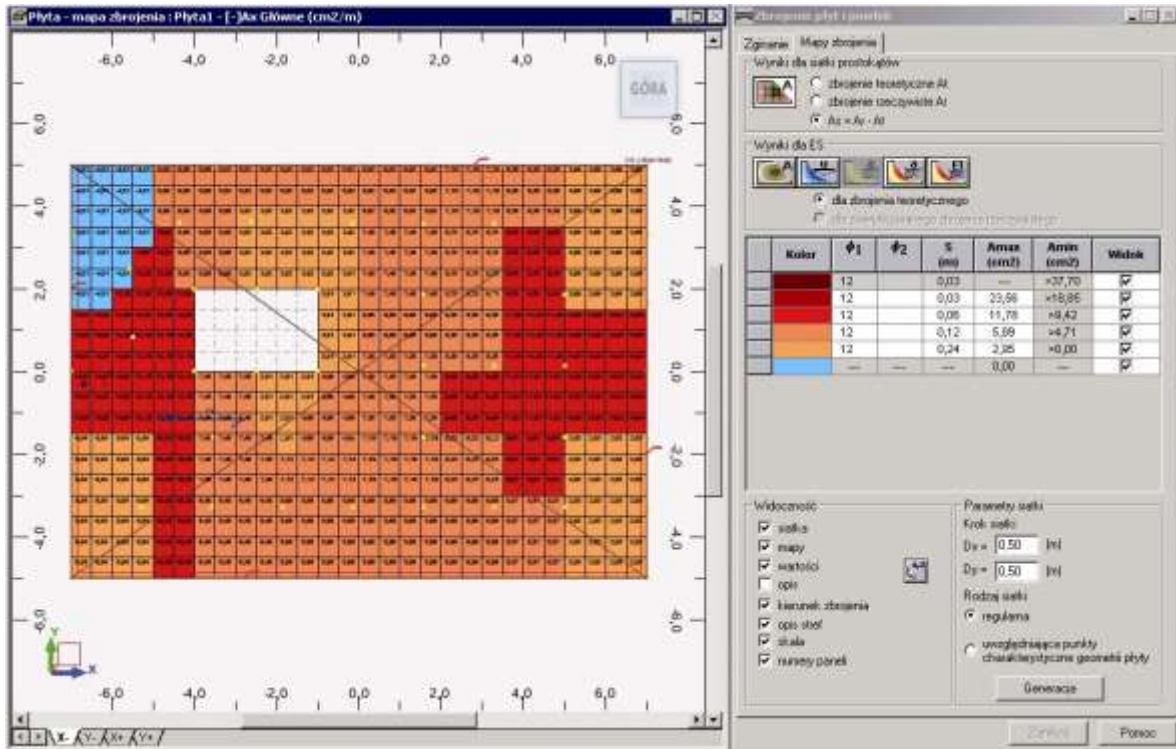
OK	Zamknięcie okna dialogowego Wyniki zbrojenia
Przejdźcie na zakładkę <i>Ekstrema globalne</i> w tabeli <i>Wyniki zbrojenia</i>	Prezentacja ekstremów globalnych powierzchni i rozstawów zbrojenia uzyskanych dla projektowanej płyty
Zamknięcie tabeli <i>Wyniki zbrojenia</i>	

9.3.4. Obliczanie rzeczywistych powierzchni zbrojenia

Norma PN-B-03264 (2002)

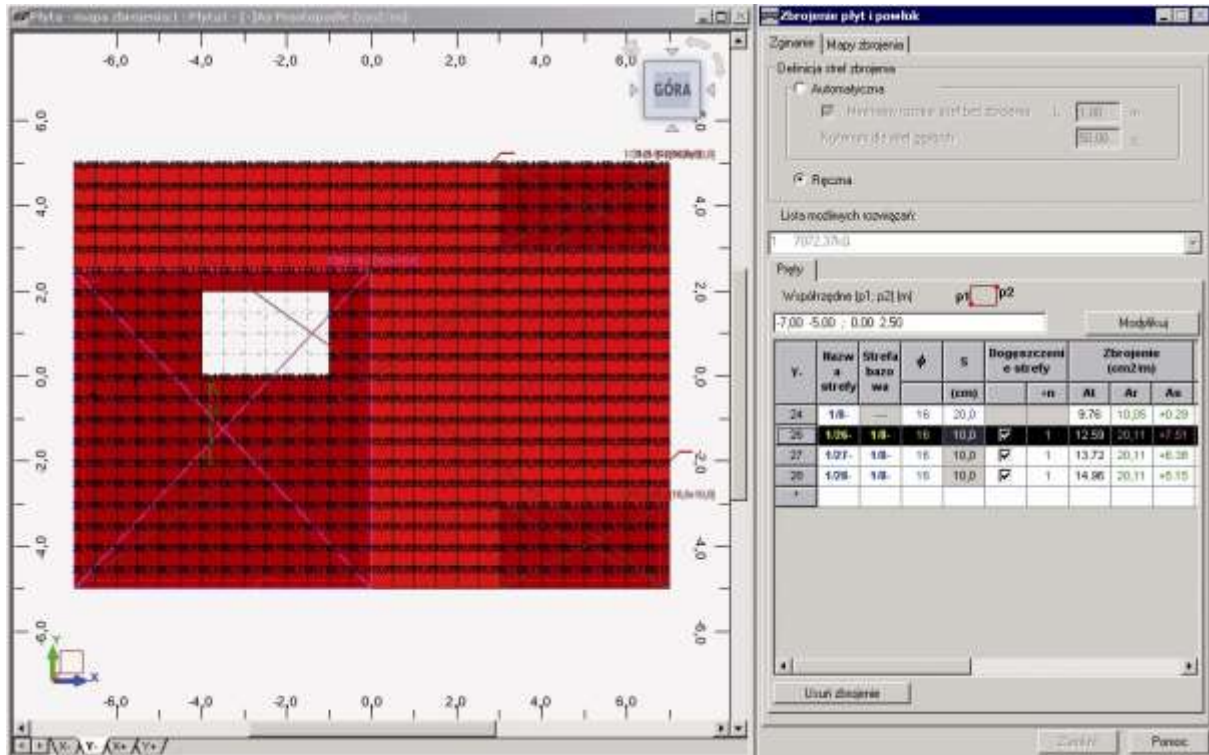
LKM w pole umożliwiające wybór ekranów programu Robot : Model konstrukcji / Geometria	Wybór początkowego ekranu programu Robot
Selekcja oknem całej płyty (płyta jest podświetlana)	Wybór płyty, dla której przeprowadzone zostaną obliczenia zbrojenia rzeczywistego UWAGA: <i>W przypadku większej liczby paneli należy wybrać te panele, dla których ma być obliczone zbrojenie rzeczywiste</i>
<i>Analiza / Wymiarowanie elementów żelbetowych / Wymiarowanie paneli betonowych / Zbrojenie rzeczywiste</i>	Przejdźcie na ekran programu Robot umożliwiającego definicję stref zbrojenia dla zdefiniowanej płyty. Ekran monitora zostanie podzielony na dwie części: okno graficzne z modelem konstrukcji oraz okno: Zbrojenie płyt i powłok
Tak	Zaakceptowanie komunikatu o zwiększeniu teoretycznej powierzchni zbrojenia
	Wybranie prezentacji zbrojenia dolnego na kierunku X (zakładki znajdują się w lewym dolnym rogu ekranu)
	Otwarcie okna dialogowego Wzorzec zbrojenia
Wybranie opcji <i>Pręty</i>	Na zakładce <i>Ogólne</i> wybranie opcji <i>Pręty</i> w grupie <i>Sposób zbrojenia</i> ; oznacza to, że generowane zbrojenie płyty będzie zbrojeniem tylko prętami zbrojeniowymi
OK	Zaakceptowanie dokonanego wyboru i zamknięcie okna dialogowego Wzorzec zbrojenia
Na zakładce <i>Mapy zbrojenia</i> w oknie dialogowym Zbrojenie płyt i powłok w polu <i>Widoczność</i> wyłączyć opcję <i>Opis</i>	Wyłączenie prezentacji opisu mapy na ekranie


W polu <i>Parametry siatki</i> w polach <i>Dx</i> i <i>Dy</i> wpisać 0,5 m, wybrać rodzaj siatki: <i>regularna</i> i nacisnąć przycisk: Generacja	Wybór parametrów siatki i jej generacja
	Otwarcie okna dialogowego Zestaw opcji obliczeniowych
Obliczenia	Rozpoczęcie obliczeń i generacji stref zbrojenia rzeczywistego płyty w trybie automatycznym
Na zakładce <i>Zginanie</i> w oknie dialogowym Zbrojenie płyt i powłok w polu <i>Definicja stref zbrojenia</i> wybrać opcję: <i>Ręczna</i>	Wybór trybu ręcznego umożliwiającego użytkownikowi zdefiniowanie własnych stref zbrojenia rzeczywistego
LKM zaznaczyć w tabeli pierwszą kolumnę wiersza zawierającego strefę 1/1- (wiersz oznaczony zostanie kolorem czarnym), a następnie usunąć ją klawiszem Delete Analogicznie usunąć strefę 1/2-	Usunięcie wybranych stref zbrojenia UWAGA: <i>W przypadku usuwania zbrojenia we wszystkich kierunkach i strefach należy użyć klawisza Usuń zbrojenie znajdującego się w dolnej części okna dialogowego</i>
Dla strefy 1/3- w kolumnie Φ z menu rozwijalnego wybrać średnicę: 16.0 mm a następnie w kolumnie <i>S</i> wpisać: 10.0 cm	Zmiana średnicy oraz rozstawu prętów zbrojenia dla strefy 1/3-. UWAGA: <i>Usunięcie wybranych stref oraz zmiana parametrów zbrojenia spowodowało, że zbrojenie dolne na kierunku X jest niewystarczające. Jest to sygnalizowane kolorem czerwonym w tabeli w kolumnach: <i>Ar</i> (powierzchnia rzeczywista) i <i>As</i> (różnica między powierzchnią teoretyczną a rzeczywistą)</i>
Na zakładce <i>Mapy zbrojenia</i> w oknie dialogowym Zbrojenie płyt i powłok w polu <i>Wyniki dla siatki prostokątów</i> wybrać opcję: <i>As=Ar-At</i>	Wybór mapy przedstawiającej różnicę pomiędzy powierzchnią teoretyczną, a rzeczywistą zbrojenia.






ie dk a ię ać	Definicja strefy zbrojenia 1/29- w miejscach, w których zbrojenie jest niewystarczające. Miejsca te oznaczone są kolorem niebieskim na rysunku powyżej
nu	Definicja średnicy i rozstawu prętów dla strefy 1/29-
	Wybór prezentacji zbrojenia dolnego na kierunku Y
zą go ny a S-	Usunięcie wybranych stref zbrojenia UWAGA: W przypadku usuwania zbrojenia we wszystkich kierunkach i strefach należy użyć klawisza Usuń zbrojenie znajdującego się w dolnej części okna dialogowego

nu	Definicja średnicy i rozstawu prętów dla strefy 1/8-
a ię ać 0) cji o	Definicja stref zbrojenia 1/26-, 1/27-, i 1/28- w miejscach, w których zbrojenie jest niewystarczające. Miejsca te oznaczone są kolorem niebieskim na mapie zbrojenia ($A_s = A_r - A_t$)
w nu	Określenie strefy 1/8- jako strefy bazowej dla nowozdefiniowanych stref. Oznacza to, że pręty strefy zależnej czyli 1/26-, 1/27- i 1/28- rozmieszczane będą symetrycznie między prętami strefy bazowej czyli 1/8-
w ie	Definicja ilości oraz rozstawu prętów zbrojenia dla stref zależnych
ie ok w	Wybór zakładki z mapą przedstawiającą rzeczywistą powierzchnię zbrojenia. <i>UWAGA:</i> <i>Aby zobaczyć na mapie wybraną strefę, należy przejść na zakładkę Zginanie w oknie dialogowym Zbrojenie płyt i powłok, a następnie kliknąć w pierwszą kolumnę tabeli wybranej strefy; wówczas wiersz zostanie oznaczony kolorem czarnym, a strefa ta na mapie zostanie podświetlona na różowo</i>

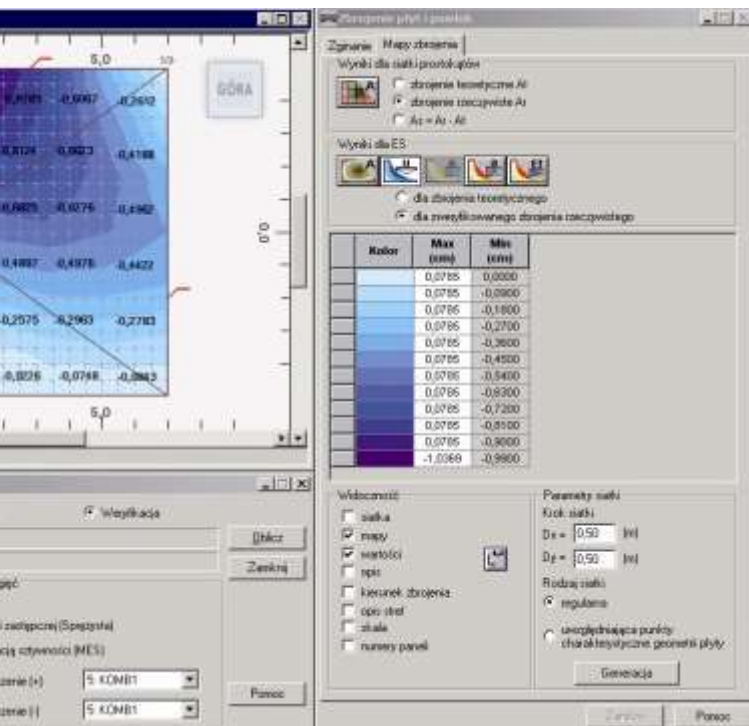


	Wybór prezentacji zbrojenia górnego na kierunku X
	Pole At w strefie 1/8+ jest podświetlone na żółto, co sygnalizuje, że strefa w tym miejscu nie jest potrzebna (pozostałe strefy dostarczają wymaganą ilość zbrojenia). Strefa ta została wygenerowana automatycznie, gdyż jest ona wymagana ze względów konstrukcyjnych na kierunku Y+

Weryfikacja

	Wybór prezentacji zbrojenia dolnego na kierunku X
Zakładka <i>Mapy zbrojenia</i> w oknie dialogowym Zbrojenie płyt i powłok	Wyświetlenie ikon map służących do prezentacji / modyfikacji map zbrojenia, ugięcia, zarysowania i sztywności
	Wybór mapy ugięć i sprawdzenie wartości ugięć
	Otwarcie okna dialogowego weryfikacji

Weryfikacja ugięć metodą: z aktualizacją sztywności (MES) a następnie uaktywnić pola Przemieszczenie (+) oraz Przemieszczenie (-) i wybrać: 5:KOMB1	Wybór metody weryfikacji oraz kombinacji, dla której przeprowadzona zostanie weryfikacja
Oblicz	Rozpoczęcie weryfikacji
W polu Wyniki dla ES w oknie dialogowym Zbrojenia płyt i powłok uaktywnia się opcja Dla zweryfikowanego zbrojenia rzeczywistego . Porównać otrzymane wyniki z wartością ugięcia otrzymanego dla zbrojenia teoretycznego	Porównanie wartości ugięcia dla zweryfikowanego zbrojenia rzeczywistego z wartością ugięcia dla zbrojenia teoretycznego



Otwarcie okna dialogowego **Zestaw opcji obliczeniowych**

Po zakończeniu obliczeń program automatycznie przejdzie do ekranu **Robot: Płyty żelbetowe / Płyty - zbrojenie**. Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: okno graficzne z modelem konstrukcji oraz okna: **Pręty zbrojeniowe** i **Płyta - tabela zbrojenia**

Rozpoczęcie obliczeń zbrojenia rzeczywistego płyty

W celu prezentacji wybranego typu zbrojenia (głównego, konstrukcyjnego lub zbrojenia otworów) należy kliknąć na jedną z zakładek, które znajdują się w lewym dolnym rogu ekranu graficznego. Standardowo program prezentuje wszystkie typy zbrojenia

	Nr	Typ zbrojenia	Klasa stali	Średnica (mm)	Ilość	(m)
	1	górne w kierunku X	A-III (RB400)	14	16	A = 3,42
	2	górne w kierunku X	A-III (RB400)	14	11	A = 9,31
	3	«różna wartość»	A-III (RB400)	14	56	A = 2,94
	4	górne w kierunku X	A-III (RB400)	14	31	A = 4,92
	5	górne w kierunku X	A-III (RB400)	14	55	A = 4,42
	6	górne w kierunku X	A-III (RB400)	14	4	A = 3,31
	7	górne w kierunku X	A-III (RB400)	14	3	A = 1,40
	8	górne w kierunku X	A-III (RB400)	14	110	A = 7,20
	9	górne w kierunku Y	A-III (RB400)	14	60	A = 9,94
	10	górne w kierunku Y	A-III (RB400)	14	121	A = 3,92
	11	górne w kierunku Y	A-III (RB400)	14	11	A = 4,94
	12	górne w kierunku Y	A-III (RB400)	14	8	A = 5,88
	13	górne w kierunku Y	A-III (RB400)	14	51	A = 3,88
	14	górne w kierunku Y	A-III (RB400)	14	3	A = 1,92
	15	«różna wartość»	A-III (RB400)	14	35	A = 2,94
	16	dolne w kierunku Y	A-III (RB400)	16	20	A = 7,94

9.4. Przykłady definicji konstrukcji (opcje wyciągania i przekręcania)

W niniejszym rozdziale przedstawionych zostanie kilka krótkich przykładów modelowania konstrukcji przestrzennych, podczas tworzenia których wykorzystano opcje wyciągania i przekręcania. Wszystkie prezentowane konstrukcje są definiowane jako **powłoka**. Podczas definiowania konstrukcji wykorzystywane będą następujące zasady:

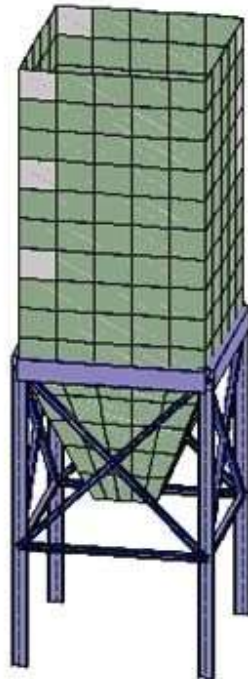
- prezentacja dowolnej ikony oznacza naciśnięcie tej ikony lewym klawiszem myszki,
- { x } oznacza wybór opcji 'x' z okna dialogowego,
- LKM i PKM - skróty używane do oznaczenia kliknięcia odpowiednio lewym lub prawym klawiszem myszki.

Aby rozpocząć definiowanie konstrukcji, należy uruchomić system **Robot** (naciśnąć odpowiednią ikonę lub wybrać komendę z paska zadań). W okienku pojawiającym się po chwili na ekranie (jest ono opisane w rozdziale 2.1 podręcznika) należy wybrać drugą ikonę w drugim wierszu (**Projektowanie powłoki**)



9.4.1. Silos

Ten przykład przedstawia definicję silosu, którego schematyczny rysunek przedstawiony jest na poniższym rysunku. Jednostki danych: (m).



UWAGA: W przykładzie wykorzystano profile prętów z bazy profili RPLN_PRO (Katalog polskich profili - 2004). Ta baza profili musi być na pierwszym miejscu wśród dostępnych baz profili znajdujących się w oknie dialogowym Preferencje zadania / Katalogi / Profile stalowe i drewniane.

DEFINICJA KONSTRUKCJI

1. GEOMETRIA SILOSA


WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
Widok / Rzutowanie / XY	Wybór płaszczyzny pracy
Widok / Siatka / Definiuj krok	Otwarcie okna dialogowego Definicja kroku siatki



Dx = Dy =1.0	Definicja kroku siatki na ekranie (równy w obu kierunkach)
Zastosuj, Zamknij	Przyjęcie zdefiniowanych parametrów i zamknięcie okna dialogowego Definicja kroku siatki
<i>Geometria / Obiekty / Poliliniakontur</i>	Otwarcie okna dialogowego Polilinia - kontur , aby zdefiniować kolejne składowe konturu
W części okna dialogowego <i>Metoda tworzenia</i> wybrać opcję <i>Kontur</i>	
Na ekranie graficznym zdefiniować kwadrat o boku równym 2m o następujących wierzchołkach: (-1,-1,0), (-1,1,0), (1,1,0), (1,-1,0) zamykamy kontur ponownie wpisując pierwszą współrzędną (-1,1,0)	Definicja kwadratu na podstawie którego tworzony będzie silos
Zamknąć okno dialogowe Polilinia - kontur	
<i>Widok / Rzutowanie / 3d xyz</i>	
Wybranie komendy z menu: <i>Edycja / Modyfikacja podkonstrukcji / Modyfikacja obiektów</i>	Otwarcie okna dialogowego Obiekty - operacje / modyfikacje
Ustawić kursor w polu <i>Obiekt</i> , a następnie wskazać na ekranie graficznym zdefiniowany kwadrat	Selekcja kwadratu (numer obiektu jest wpisywany do pola <i>Obiekt</i>)
Nacisnąć klawisz Wyciąganie	Rozpoczęcie definicji modyfikacji obiektu
Nacisnąć klawisz Parametry modyfikacji obiektu	Definicja parametrów operacji wyciągania



Zdefiniować parametry wyciągania: II do osi Z, długość 5 m liczba podziałów = 5 wyłączone opcje: przykrycie, dno	Parametry wyciągania
Nacisnąć klawisz Zastosuj	Wykonanie operacji wyciągania kwadratu dla zadanych parametrów
Nacisnąć klawisz Skalowanie	Rozpoczęcie definicji operacji na modyfikacji (wyciąganiu) obiektu

Nacisnąć klawisz Parametry operacji	Definicja parametrów operacji na modyfikacji kwadratu
Zdefiniować parametry skalowania: współczynniki skali $x=y=3$ skala $z=1$ środek skalowania (0,0,0)	Parametry skalowania na operacji wyciągania
Nacisnąć klawisz Zastosuj	Wykonanie operacji skalowania na operacji wyciągania kwadratu dla zadanych parametrów
Nacisnąć klawisz Wyciąganie	Rozpoczęcie definicji modyfikacji obiektu
Nacisnąć klawisz Parametry modyfikacji obiektu	Definicja parametrów operacji wyciągania
Zdefiniować parametry wyciągania: II do osi Z, długość 10 m liczba podziałów = 10 wyłączone opcje: przykrycie, dno	Parametry wyciągania
Nacisnąć klawisz Zastosuj	Wykonanie operacji wyciągania kwadratu dla zadanych parametrów
Zamknąć okno dialogowe Obiekty - operacje / modyfikacje	
	Widok początkowy
	Otwarcie okna dialogowego służącego do definiowania grubości
Wybrać domyślną grubość paneli GR_30BET	Wybór grubości, która będzie nadawana poszczególnym elementom składowym silosa
W polu <i>Panele</i> wpisać wszystko	Wybór wszystkich elementów silosa
Nacisnąć klawisz Zastosuj	Nadanie domyślnej grubości wszystkim elementom silosa
Zamknąć okno dialogowe Grubości ES	

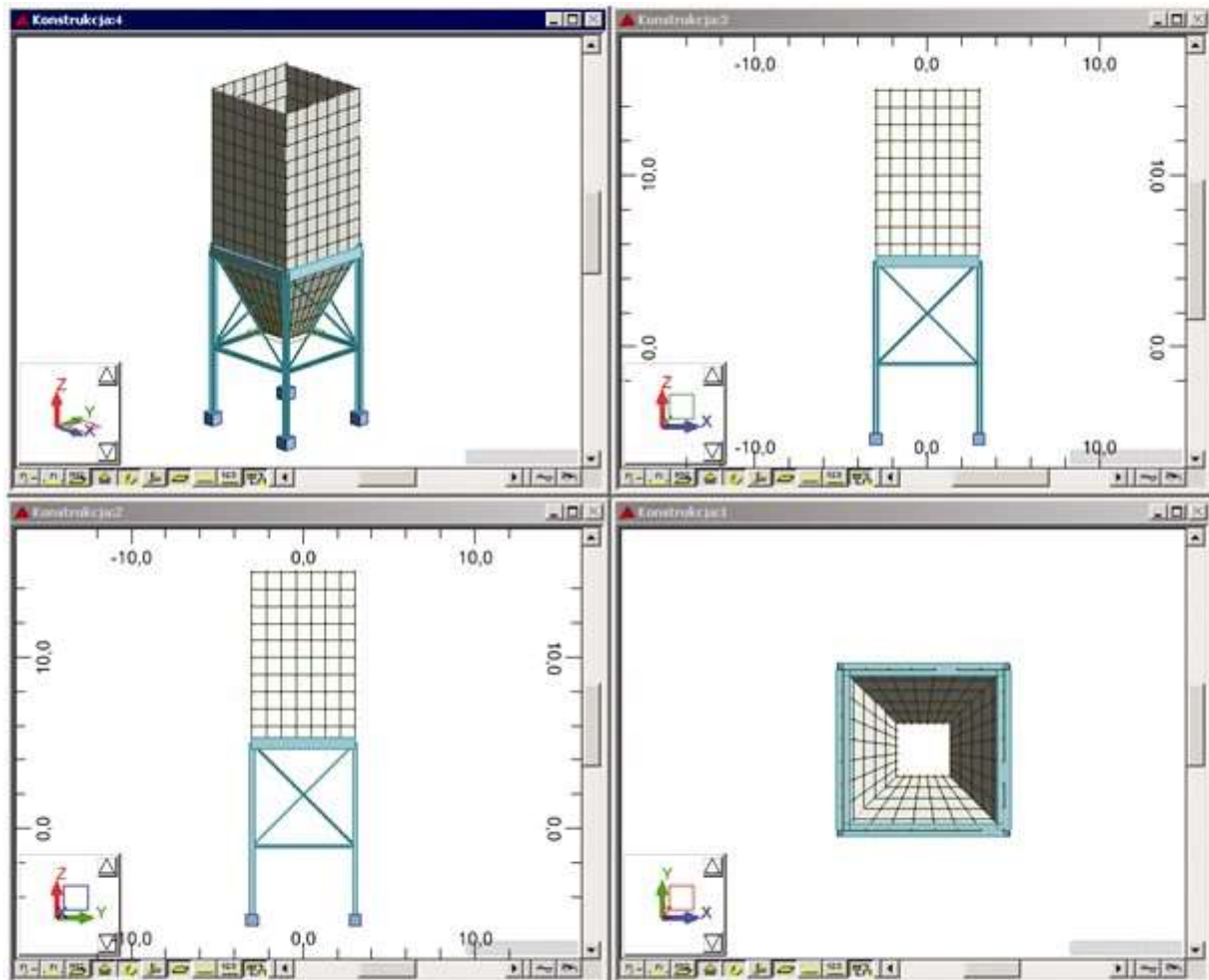
2. KONSTRUKCJA WSPORCZA

	Otwarcie okna dialogowego Pręt
---	---------------------------------------

LKM w pole TYP PRĘTA i wybór typu: <i>Belka żelbetowa</i> LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu B50x70	Wybór charakterystyk pręta
Zdefiniować cztery pręty: belka 1: pocz. (-3,-3,5), kon. (3,-3,5) belka 2: pocz. (3,-3,5), kon. (3,3,5) belka 3: pocz. (3,3,5), kon. (-3,3,5) belka 4: pocz. (-3,3,5), kon. (-3,-3,5)	Definicja belek żelbetowych
LKM w pole TYP PRĘTA i wybór typu: <i>Słup</i> LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu HEB 320 (jeśli tego profilu nie ma na liście dostępnych profili, należy otworzyć okno dialogowe Nowy przekrój - naciśnięcie klawisza  - i wybrać ten profil z bazy Rpln_pro)	Wybór charakterystyk pręta
Zdefiniować cztery słupy stalowe o długości 10 m.: słup 1: pocz. (-3,-3,5), kon. (-3,-3,-5) słup 2: pocz. (3,-3,5), kon. (3,-3,-5) słup 3: pocz. (3,3,5), kon. (3,3,-5) słup 4: pocz. (-3,3,5), kon. (-3,3,-5)	Definicja słupów stalowych
LKM w pole TYP PRĘTA i wybór typu: <i>Pręt</i> LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu HEB 200 (jeśli tego profilu nie ma na liście dostępnych profili, należy otworzyć okno dialogowe Nowy przekrój - naciśnięcie klawisza  - i wybrać ten profil z bazy Rpln_pro)	Wybór charakterystyk pręta
Zdefiniować cztery pręty: belka 1: pocz.(-3,-3,-1), kon. (3,-3,-1) belka 2: pocz.(3,-3,-1), kon. (3,3,-1) belka 3: pocz.(3,3,-1), kon. (-3,3,-1) belka 4: pocz.(-3,3,-1), kon. (-3,-3,-1)	Definicja rygla stalowego

LKM w pole TYP PRĘTA i wybór typu: Pręt LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu IPE 100 (jeśli tego profilu nie ma na liście dostępnych profili, należy otworzyć okno dialogowe Nowy przekrój - naciśnięcie klawisza  - i wybrać ten profil z bazy Rpln_pro)	Wybór charakterystyk pręta
Zdefiniować stężenia: 1: pocz.(-3,-3,5), kon. (3,-3,-1) 2: pocz. (3,-3,5), kon. (-3,-3,-1)	Definicja stężeń
Zdefiniować stężenia: 3: pocz.(3,-3,5), kon. (3,3,-1) 4: pocz. (3,3,5), kon. (3,-3,-1)	Definicja stężeń
Zamknąć okno dialogowe Pręt	
Wybrać stężenia 1 i 2 (oknem lub wskazując kolejno z wciśniętym klawiszem CTRL)	
<i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego służącego do definicji translacji
wektor translacji (0,6,0) Wykonaj	
PKM w okno z rys. konstrukcji, z menu kontekstowego wybrać komendę <i>Zaznacz</i> Wybrać stężenia 3 i 4	
wektor przesunięcia (-6,0,0) Wykonaj	
Zamknąć okno dialogowe Translacja	
	Otwarcie okna dialogowego Podpory
LKM w pole <i>Aktualna selekcja</i> (na zakładce <i>Węzłowe</i>)	Wybór węzłów konstrukcji, w których zdefiniowane zostaną podpory konstrukcji

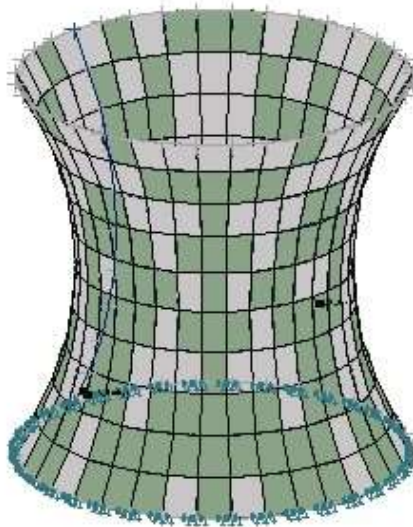
przejsć na pole graficzne; trzymając wciśnięty lewy klawisz myszki zaznaczyć oknem wszystkie dolne węzły słupów	Jeśli nie są widoczne wszystkie węzły, można obrócić widok konstrukcji naciskając jednocześnie klawisze CTRL+ALT+Z; obrót można przerwać ruszając myszką
W oknie dialogowym Podpory wybrać ikonę oznaczającą podpórę utwierdzoną (zostanie podświetlona)	Wybór typu podpory
LKM w klawisz Zastosuj	Wybrany typ podpory zostanie nadany w wyselekcjonowanych węzłach konstrukcji
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Podpory
<i>Analiza / Model obliczeniowy / Generacja</i>	Utworzenie modelu obliczeniowego konstrukcji (siatka powierzchniowych elementów skończonych)






9.4.2. Chłodnia kominowa

Ten przykład przedstawia definicję konstrukcji powłokowej (chłodni kominowej), której schematyczny rysunek przedstawiony jest na poniższym rysunku.

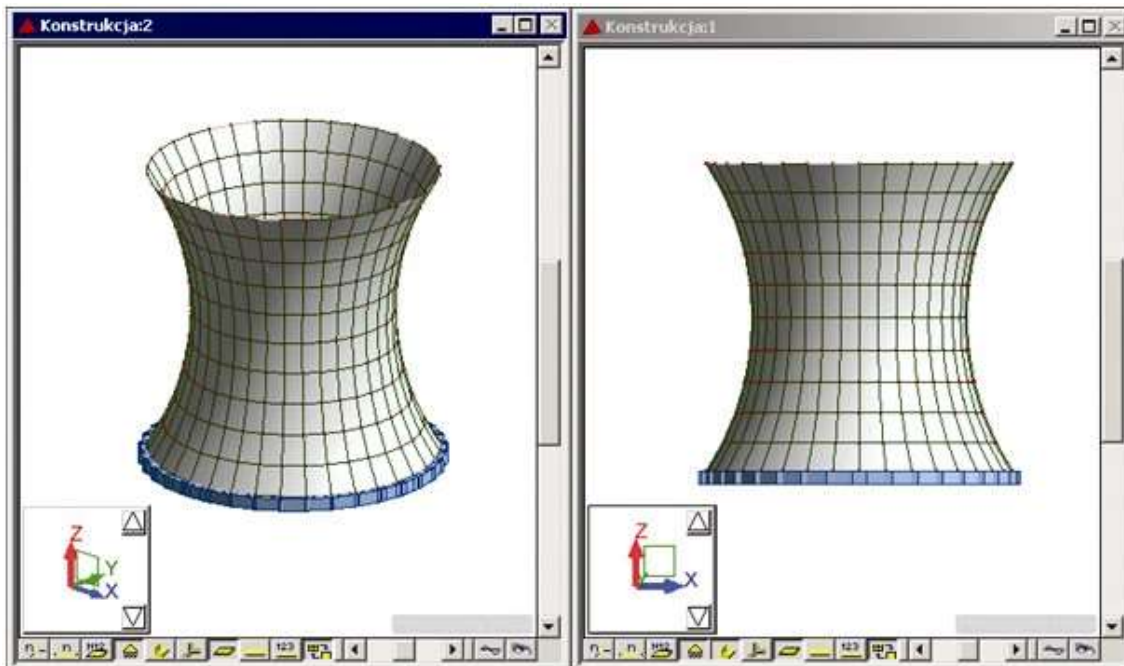
Jednostki danych: (m).



WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
<i>Widok / Rzutowanie / ZX</i>	Wybór płaszczyzny pracy
<i>Geometria / Obiekty / Łuk</i>	Otwarcie okna dialogowego Łuk , aby zdefiniować kolejne składowe konturu
Wybrać metodę definiowania łuku: <i>początek, koniec, środek</i>	
Na ekranie graficznym zdefiniować następujący łuk: początek (-10,0,10) koniec (-10,0,-10) środek (-7,0,0)	
Zastosuj, Zamknij	Utworzenie zdefiniowanego łuku i zamknięcie okna dialogowego Łuk
CTRL + A	Wybranie zdefiniowanego obiektów łuku

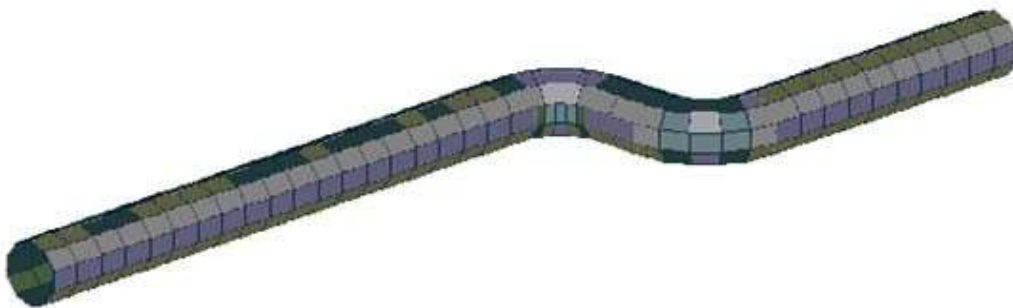
Wybranie komendy z menu: <i>Geometria / Obiekty / Przekręcanie</i>	Otwarcie okna dialogowego Przekręcanie
Zdefiniować parametry przekręcania: oś: początek (0,0,0) koniec (0,0,10) kąt obrotu 360 liczba podziałów 36 wyłączone opcje: przykrycie, dno i nowy obiekt	Parametry przekręcania
Zastosuj, Tak	Wykonanie operacji przekręcania obiektu, akceptacja komunikatu o ograniczeniach funkcji <i>Przekręcanie</i> dla obrotów o kąt 360 stopni
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Przekręcanie
<i>Widok / Rzutowanie / 3d xyz</i>	
	Otwarcie okna dialogowego służącego do definiowania grubości
Wybrać domyślną grubość paneli GR_30BET	Wybór grubości, która będzie nadawana poszczególnym elementom składowym konstrukcji
W polu <i>Panele</i> wpisać wszystko	Wybór wszystkich elementów konstrukcji
Nacisnąć klawisz Zastosuj	Nadanie domyślnej grubości wszystkim elementom konstrukcji
Zamknąć okno dialogowe Grubości ES	
<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
Na zakładce <i>Panele / ES</i> wybrać opcję: <i>Grubość paneli</i>	
Zastosuj, OK	Zamknięcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
	Widok początkowy
	Otwarcie okna dialogowego Podpory
Wybór zakładki <i>Liniowe</i>	

W oknie dialogowym Podpory wybrać ikonę oznaczającą podpórę utwierdzoną (zostanie podświetlona)	Wybór typu podpory
Wybór graficznie dolnej linii (okręgu) konstrukcji	Nadanie podpory utwierdzonej na dolnej krawędzi konstrukcji
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Podpory
<i>Analiza / Model obliczeniowy / Generacja</i>	Utworzenie modelu obliczeniowego konstrukcji (siatka powierzchniowych elementów skończonych)




9.4.3. Fragment rurociągu

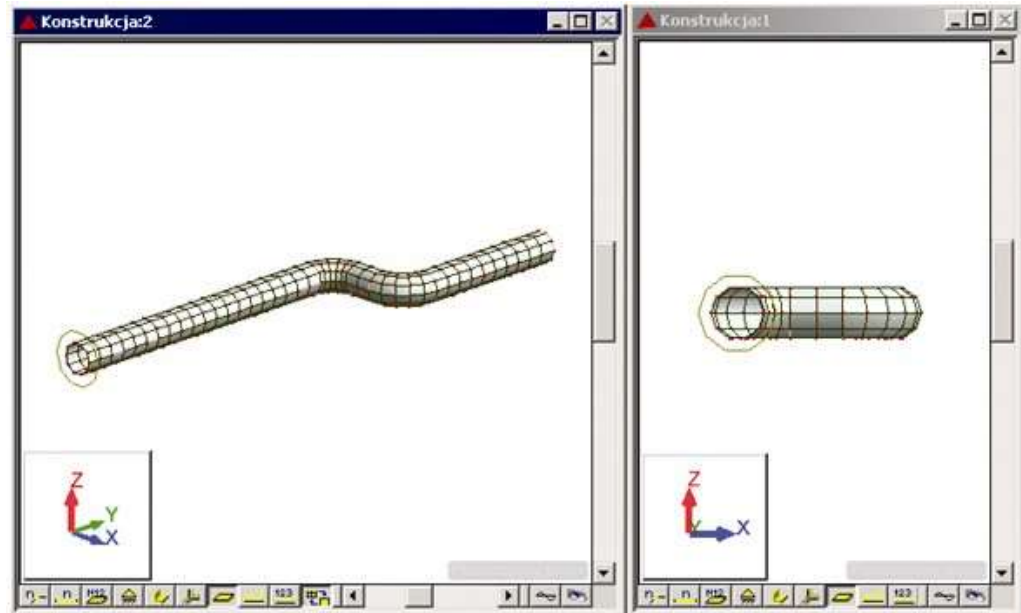
Ten przykład przedstawia definicję fragmentu rurociągu, którego schematyczny rysunek przedstawiony jest na poniższym rysunku. Jednostki danych: (m).



WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
Widok / Rzutowanie / ZX	Wybór płaszczyzny pracy
Geometria / Obiekty / Okrąg	Otwarcie okna dialogowego Okrąg , aby zdefiniować kolejne składowe konturu

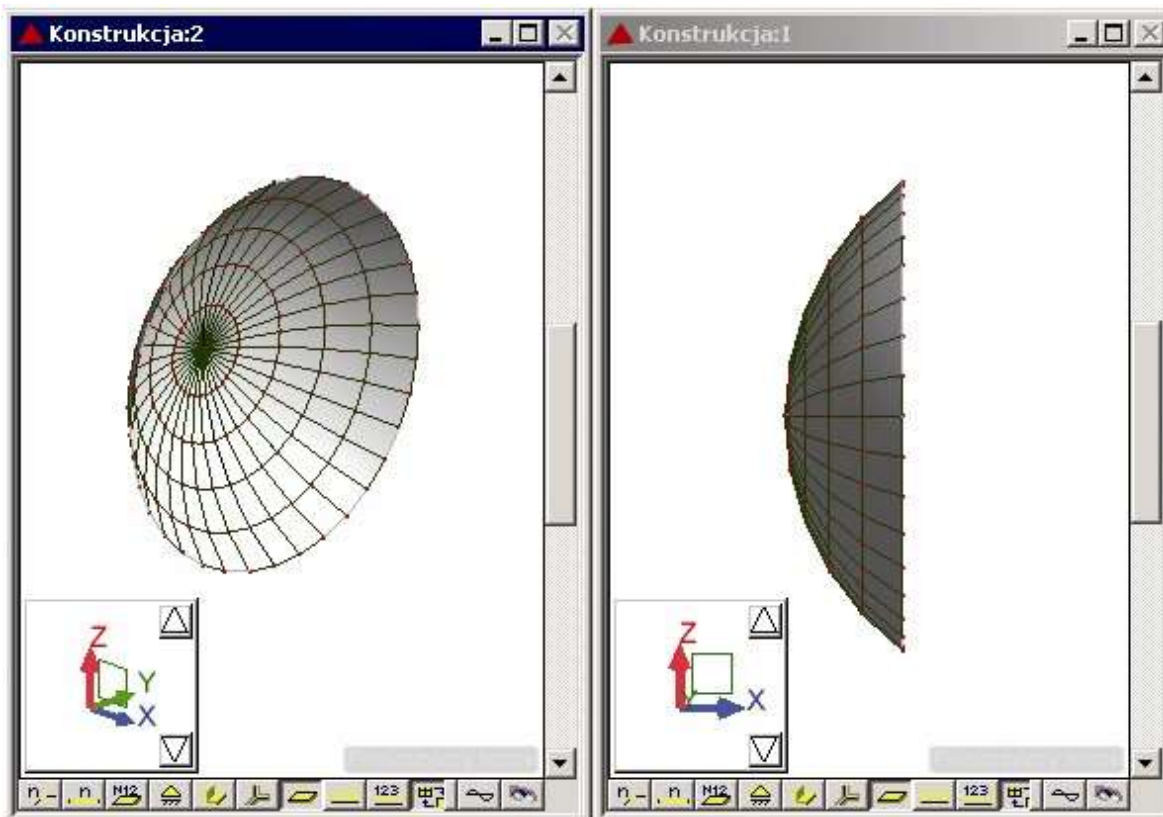
W części okna dialogowego <i>Metoda tworzenia</i> wybrać opcję <i>Środek i promień</i>	
Na ekranie graficznym zdefiniować okrąg o promieniu 1 m o środku w punkcie (0,0,0)	Definicja okręgu na podstawie którego tworzony będzie rurociąg
Zastosuj, Zamknij	Utworzenie okręgu i zamknięcie okna dialogowego Okrąg
Widok / Rzutowanie / 3d xyz	
Wybranie komendy z menu: <i>Edycja / Modyfikacja podkonstrukcji / Modyfikacja obiektów</i>	Otwarcie okna dialogowego Obiekty - operacje / modyfikacje
Ustawić kursor w polu <i>Obiekt</i> , a następnie wskazać na ekranie graficznym zdefiniowany okrąg	Selekcja okręgu (numer obiektu jest wpisywany do pola <i>Obiekt</i>)
Nacisnąć klawisz Wyciąganie	Rozpoczęcie definicji modyfikacji obiektu
Nacisnąć klawisz Parametry modyfikacji obiektu	Definicja parametrów operacji wyciągania
Zdefiniować parametry wyciągania: II do osi Y długość 20 m liczba podziałów 20 wyłączone opcje: przykrycie, dno	Parametry wyciągania
Nacisnąć klawisz Zastosuj	Wykonanie operacji wyciągania okręgu
Nacisnąć klawisz Przekręcanie	Rozpoczęcie definicji modyfikacji obiektu


Zdefiniować parametry przekręcania: oś: początek (2,20,0) koniec (2,20,1) kąt obrotu -90 liczba podziałów 5 wyłączone opcje: przykrycie, dno	Parametry przekręcania
Zastosuj	Wykonanie operacji przekręcania obiektu
Nacisnąć klawisz Wyciąganie	Rozpoczęcie definicji modyfikacji obiektu
Zdefiniować parametry wyciągania: II do osi X, długość 2 m liczba podziałów 2 wyłączone opcje: przykrycie, dno	Parametry wyciągania
Nacisnąć klawisz Zastosuj	Wykonanie operacji wyciągania okręgu dla zadanych parametrów
Nacisnąć klawisz Przekręcanie	Rozpoczęcie definicji modyfikacji obiektu
Zdefiniować parametry przekręcania: oś: początek (4,24,0) koniec (4,24,1) kąt obrotu 90 liczba podziałów 5 wyłączone opcje: przykrycie, dno	Parametry przekręcania
Zastosuj	Wykonanie operacji przekręcania obiektu
Nacisnąć klawisz Wyciąganie	Rozpoczęcie definicji modyfikacji obiektu
Zdefiniować parametry wyciągania: II do osi Y długość 10 m liczba podziałów 10 wyłączone opcje: przykrycie, dno	Parametry wyciągania
Nacisnąć klawisz Zastosuj	Wykonanie operacji wyciągania okręgu dla zadanych parametrów
Zamknij	
	Widok początkowy
<i>Analiza / Model obliczeniowy / Generacja</i>	Utworzenie modelu obliczeniowego konstrukcji (siatka powierzchniowych elementów skończonych)



9.4.4. Konstrukcje obrotowo-symetryczne

Ten przykład przedstawia definicję obrotowo-symetrycznej konstrukcji powłokowej, której schematyczny rysunek przedstawiony jest na poniższym rysunku.
Jednostki danych: (m).



WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
<i>Widok / Rzutowanie / ZX</i>	Wybór płaszczyzny pracy
<i>Geometria / Obiekty / Łuk</i>	Otwarcie okna dialogowego Łuk , aby zdefiniować kolejne składowe konturu
Wybrać metodę definiowania łuku: <i>początek, koniec, środek</i>	
Na ekranie graficznym zdefiniować następujący łuk: początek (0,0,10) koniec (0,0,-10) środek (-5,0,0)	
Zastosuj, Zamknij	Utworzenie zdefiniowanego łuku i zamknięcie okna dialogowego Łuk
CTRL + A	Wybranie zdefiniowanego łuku
Wybranie komendy z menu: <i>Geometria / Obiekty / Przekręcanie</i>	Otwarcie okna dialogowego Przekręcanie
Zdefiniować parametry przekręcania: oś: początek (0,0,0) koniec (-5,0,0) kąt obrotu 180 liczba podziałów 18 wyłączone opcje: przykrycie, dno i nowy obiekt	Parametry przekręcania
Zastosuj	Wykonanie operacji przekręcania obiektu
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Przekręcanie
<i>Widok / Rzutowanie / 3d xyz</i>	
	Otwarcie okna dialogowego służącego do definiowania grubości
Wybrać domyślną grubość paneli GR_30BET	Wybór grubości, która będzie nadawana poszczególnym elementom składowym konstrukcji
W polu <i>Panele</i> wpisać wszystko	Wybór wszystkich elementów konstrukcji
Nacisnąć klawisz Zastosuj	Nadanie domyślnej grubości wszystkim elementom


Zamknąć okno dialogowe Grubość ES	
<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
Na zakładce <i>Panele / ES</i> wybrać opcję: <i>Grubość paneli</i>	
Zastosuj, OK	Zamknięcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
<i>Analiza / Model obliczeniowy / Generacja</i>	Utworzenie modelu obliczeniowego konstrukcji (siatka powierzchniowych elementów skończonych)



Ten przykład przedstawia definicję obrotowo-symetrycznej konstrukcji powłokowej, której schematyczny rysunek przedstawiony jest na poniższym rysunku. Jednostki danych: (m).

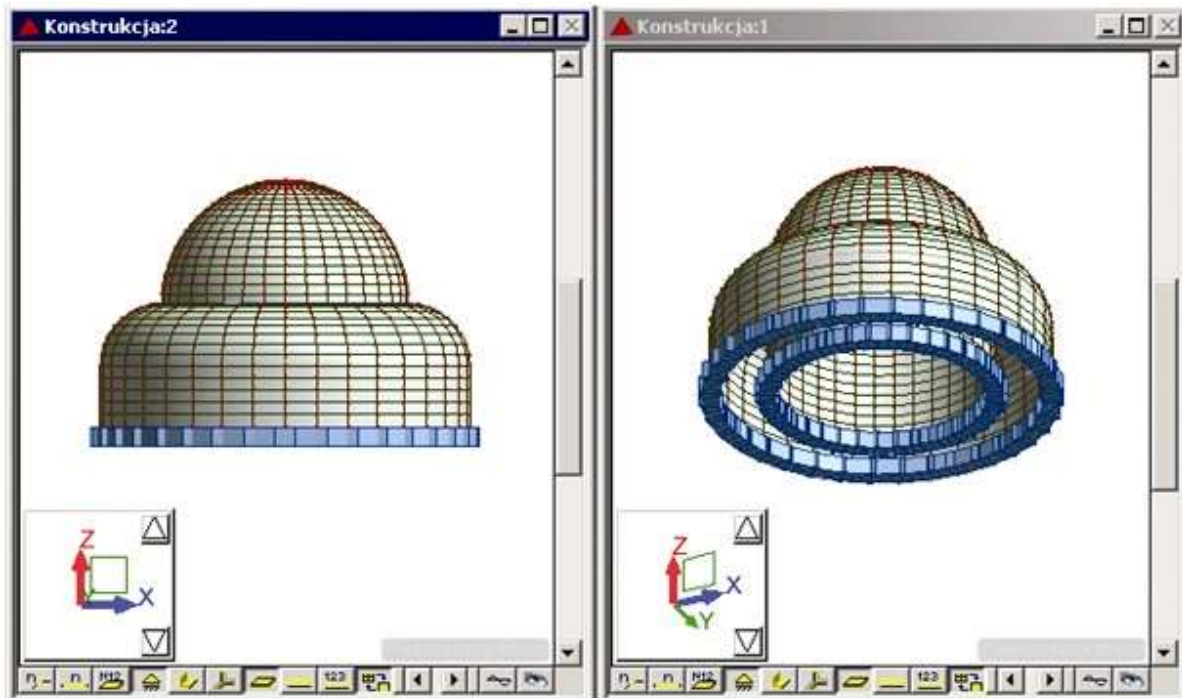


WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
<i>Widok / Rzutowanie / ZX</i>	Wybór płaszczyzny pracy
<i>Geometria / Obiekty / Poliliniakontur</i>	Otwarcie okna dialogowego Polilinia - kontur , aby zdefiniować kolejne składowe konturu
W części okna dialogowego <i>Metoda tworzenia</i> wybrać opcję <i>Linia</i>	
Na ekranie graficznym zdefiniować dwie linie: Linia 1: początek (-10,0,0) koniec (-10,0,10) Linia 2: początek (-15,0,0) koniec (-15,0,5)	Definicja dwóch linii

Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Polilinia - kontur
<i>Geometria / Obiekty / Łuk</i>	Otwarcie okna dialogowego Łuk , aby zdefiniować kolejne składowe konturu
Wybrać metodę definiowania łuku: <i>środek łuku i 2 punkty</i>	

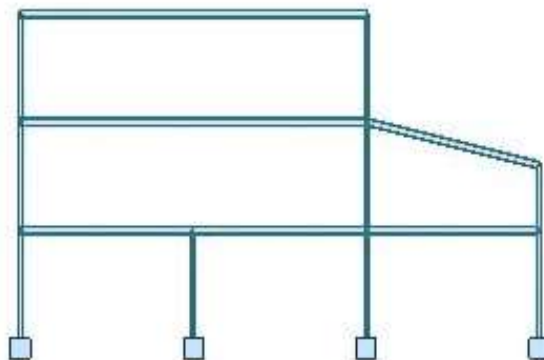
Na ekranie graficznym zdefiniować dwa łuki: łuk 1 o promieniu 5: środek (-10,0,5) punkt 1 (-15,0,5) punkt 2 (-10,0,10) łuk 2: o promieniu 10: środek (0,0,10) punkt 1 (-10,0,10) punkt 2 (0,0,20)	
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Łuk
CTRL + A	Wybranie wszystkich zdefiniowanych obiektów (linii i łuków)
Wybranie komendy z menu: <i>Geometria / Obiekty / Przekręcanie</i>	Otwarcie okna dialogowego Przekręcanie
Zdefiniować parametry przekręcania: oś: początek (0,0,0) koniec (0,0,20) kąt obrotu 360 liczba podziałów 36 wyłączone opcje: przykrycie, dno i nowy obiekt	Parametry przekręcania
Zastosuj, TAK	Wykonanie operacji przekręcania obiektu
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Przekręcanie
<i>Widok / Rzutowanie / 3d xyz</i>	
	Otwarcie okna dialogowego służącego do definiowania grubości

Wybrać domyślną grubość paneli GR_30BET	Wybór grubości, która będzie nadawana poszczególnym elementom składowym konstrukcji
W polu <i>Panele</i> wpisać wszystko	Wybór wszystkich elementów konstrukcji
Nacisnąć klawisz Zastosuj	Nadanie domyślnej grubości wszystkim elementom konstrukcji
Zamknąć okno dialogowe Grubości ES	
	Widok początkowy
	Otwarcie okna dialogowego Podpory
Wybór zakładki <i>Liniowe</i>	
W oknie dialogowym Podpory wybrać ikonę oznaczającą podporę utwierdzoną (zostanie podświetlona)	Wybór typu podpory
Wybór graficzny dwóch dolnych linii (okręgów) konstrukcji	Nadanie utwierdzenia na dolnych krawędziach
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Podpory
<i>Analiza / Model obliczeniowy / Generacja</i>	Utworzenie modelu obliczeniowego konstrukcji (siatka powierzchniowych elementów skończonych)

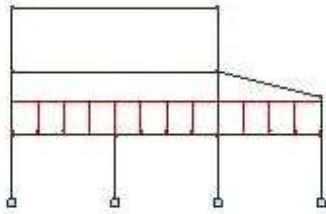


9.5. Przykład projektowania ramy płaskiej

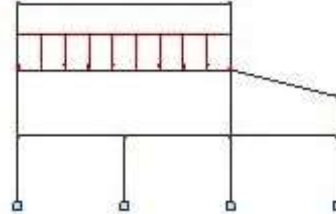
Ten przykład przedstawia definicję, analizę i wymiarowanie prostej, stalowej ramy płaskiej prezentowanej na poniższym rysunku. Jednostki danych: (m) i (kN).



Konstrukcja zostanie obciążona trzema przypadkami obciążeniowymi (ciężarem własnym oraz dwoma przypadkami obciążeń eksploatacyjnych pokazanych na poniższym rysunku) oraz przypadkami wygenerowanymi automatycznie dla obciążeń klimatycznych (10 przypadków).



PRZYPADK 2



PRZYPADK 3

Podczas definiowania konstrukcji wykorzystywane będą następujące zasady:


- prezentacja dowolnej ikony oznacza naciśnięcie tej ikony lewym klawiszem myszki,
- { x } oznacza wybór opcji 'x' z okna dialogowego,
- LKM i PKM - skróty używane do oznaczenia kliknięcia odpowiednio lewym lub prawym klawiszem myszki.



Aby rozpocząć definiowanie konstrukcji, uruchom system **Robot** (naciśnij odpowiednią ikonę lub wybierz komendę z paska zadań). W okienku pojawiającym się po chwili na ekranie (jest ono opisane w rozdziale 2.1 podręcznika) należy wybrać pierwszą ikonę w pierwszym wierszu (**Projektowanie ramy płaskiej**)



UWAGA: W przykładzie wykorzystano profile prętów z bazy profili RPLN_PRO (Katalog polskich profili - 2004). Ta baza profili musi być na pierwszym miejscu wśród dostępnych baz profili znajdujących się w oknie dialogowym Preferencje zadania / Katalogi / Profile stalowe i drewniane.



9.5.1. Definicja modelu konstrukcji

WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
<input type="text" value="Start"/> Model konstrukcji / Pręty	Z listy dostępnych ekranów systemu Robot należy wybrać ekran PRĘTY
LKM w pole TYP PRĘTA i wybór typu: <i>Słup</i> LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu HEB 300 (jeśli tego profilu nie ma na liście dostępnych profili, należy otworzyć okno dialogowe Nowy przekrój - naciśnięcie klawisza  - i wybrać ten profil z bazy Rpln_pro)	Wybór charakterystyk pręta
LKM w pole <i>Początek</i> (tło pola zostanie zmienione na kolor zielony)	Rozpoczęcie definiowania prętów w konstrukcji (słupy konstrukcji)

<p>słup 1: (0,0) (0,5) (0,5) (0,10) (0,10) (0,15) słup 2: (8,0) (8,5) słup 3: (16,0) (16,5) (16,5) (16,10) (16,10) (16,15) słup 4: (24,0) (24,5) (24,5) (24,8)</p>	Definicja słupów ramy
<p>LKM w pole TYP PRĘTA w oknie Pręty i wybór typu: <i>Belka</i> LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu HEB 300</p>	Rozpoczęcie definiowania belek ramy i wybór ich charakterystyk
<p>LKM w pole <i>Początek</i> (tło pola zostanie zmienione na kolor zielony)</p>	Rozpoczęcie definiowania belek w konstrukcji
<p>belka 1: (0,5) (8,5) (8,5) (16,5) (16,5) (24,5) belka 2: (0,10) (16,10) belka 3: (16,10) (24,8) belka 4: (0,15) (16,15)</p>	Definicja belek
<p>LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Model konstrukcji / Start</p>	Wybór początkowego ekranu systemu Robot
	Widok początkowy
	Otwarcie okna dialogowego Podpory
<p>LKM w pole <i>Aktualna selekcja</i> (na zakładce <i>Węzłowe</i>)</p>	Wybór węzłów konstrukcji, w których zdefiniowane zostaną podpory konstrukcji
<p>Przejsć na ekran graficzny; trzymając wciśnięty lewy klawisz myszki zaznaczyć oknem wszystkie dolne węzły słupów</p>	W polu <i>Aktualna selekcja</i> wpisane zostaną numery wyselekcjonowanych węzłów

W oknie dialogowym Podpory wybrać ikonę oznaczającą podpore utwierdzoną (zostanie podświetlona)	Wybór typu podpory
LKM w klawisz Zastosuj, Zamknij	Wybrany typ podpory zostanie nadany w wyselekcjonowanych węzłach konstrukcji

9.5.2. Definicja przypadków obciążeniowych i obciążeń

	Otwarcie okna dialogowego Przypadki obciążeń
LKM w klawisz Nowy	Definicja przypadku obciążenia o naturze: ciężar własny i standardowej nazwie STA1
LKM w pole <i>Natura Eksploatacyjne</i>	Wybór natury przypadku obciążenia: eksploatacyjne
LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy	Definicja dwóch przypadków obciążenia o naturze: eksploatacyjne i standardowych nazwach: EKSP1 i EKSP2
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Przypadki obciążeń
Z menu górnego wybieramy: <i>Obciążenia / Tabela obciążeń</i>	Otwarcie tabeli do definiowania obciążeń działających w zdefiniowanych przypadkach obciążeniowych
 , rozmieszczenie tabeli w dolnej części ekranu w taki sposób na ekranie, aby zajmowała całą szerokość ekranu i aby widoczny był model definiwanej konstrukcji	Zmniejszenie tabeli, aby można było graficznie definiować obciążenia
Pierwsze pole w kolumnie PRZYPADK	Obciążenie ciężarem własnym (kierunek „-Z”) dla wszystkich prętów konstrukcji zostało nadane automatycznie
LKM w drugie pole w kolumnie PRZYPADK, wybór 2. przypadku obciążenia EKSP1	Definicja obciążeń działających dla drugiego przypadku obciążenia
LKM w pole w kolumnie TYP OBCIĄŻENIA, wybór obciążenia jednorodnego	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie LISTA, wybór graficzny w polu graficznym belki 1 (pręty 10do12)	Wybór prętów, do których przykładane będzie obciążenie jednorodne

LKM w pole w kolumnie "pz=" i wpisanie wartości -20	Wybór kierunku i wartości obciążenia jednorodnego
LKM w trzecie pole w kolumnie PRZYPADEK, wybór 3. przypadku obciążenia EKSP2	Definicja obciążeń działających dla trzeciego przypadku obciążenia
LKM w pole w kolumnie TYP OBCIĄŻENIA, wybór obciążenia jednorodnego	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie LISTA, wybór graficzny w polu graficznym belki 2 (pręt 13)	Wybór prętów, do których przykładane będzie obciążenie jednorodne
LKM w pole w kolumnie "pz=" i wpisanie wartości -5	Wybór kierunku i wartości obciążenia jednorodnego
Zamknięcie tabeli obciążeń	


9.5.3. Definicja obciążeń klimatycznych

Polska norma: PN 80/B-02010

<i>Obciążenia / Obciążenia specjalne / Wiatr i Śnieg 2D/3D</i>	Otwarcie okna dialogowego Śnieg i wiatr 2D/3D
Naciśnięcie klawisza Auto ; wyłączone opcje: <i>bez wystających części, bez części wsporczych, Wiaty</i>	Automatyczna generacja obwiedni konstrukcji dla generacji obciążeń klimatycznych (w polu <i>Obwiednia</i> wpisane zostaną następujące numery węzłów: 1, 2, 3, 4, 10, 9, 13, 12, 11) i definicja podstawowych parametrów dla obwiedni konstrukcji
Definicja następujących parametrów: <i>Głębokość = 60 Rozstaw = 10</i> włączone opcje: <i>Śnieg, Wiatr i wyświetl notkę po generacji obciążeń</i>	Definicja podstawowych parametrów dla obciążeń klimatycznych
Naciśnięcie klawisza Parametry	Otwarcie dodatkowego okna dialogowego (Obciążenia klimatyczne), w którym zdefiniowane mogą zostać szczegółowe parametry


Definicja parametrów obciążenia klimatycznego: zakładka <i>Ogólne</i> : wysokość konstrukcji: 15 m poziom posadowienia: 0.8 m	Definicja parametrów obciążeń klimatycznych
zakładka <i>Wiatr</i> : Strefa: I Rodzaj terenu: A Ciśnienie wiatru: <i>Automatycznie</i> Rozkład ciśnienia wiatru: <i>Zmienny</i> wyłączone opcje w polu <i>Specyficzne oddziaływania</i>	Definicja parametrów obciążeń klimatycznych
zakładka <i>Śnieg</i> : Strefa: 2 Ciśnienie śniegu: <i>Automatycznie</i> włączona opcja: <i>Redystrybucja śniegu</i>	Definicja parametrów obciążeń klimatycznych
Generuj	Naciśnięcie tego klawisza powoduje rozpoczęcie generacji obciążeń wiatrem i śniegiem dla przyjętych parametrów. Na ekranie pojawią się notki obliczeniowe, w których prezentowane będą parametry przypadków śniegiem i wiatrem
Zamknięcie edytora tekstu z notkami obliczeniowymi	
Zamknięcie okna dialogowego Śnieg i wiatr 2D/3D	Pojawiło się 6 nowych przypadków obciążeniowych: 3 przypadki obciążenia wiatrem i 3 przypadki obciążenia śniegiem

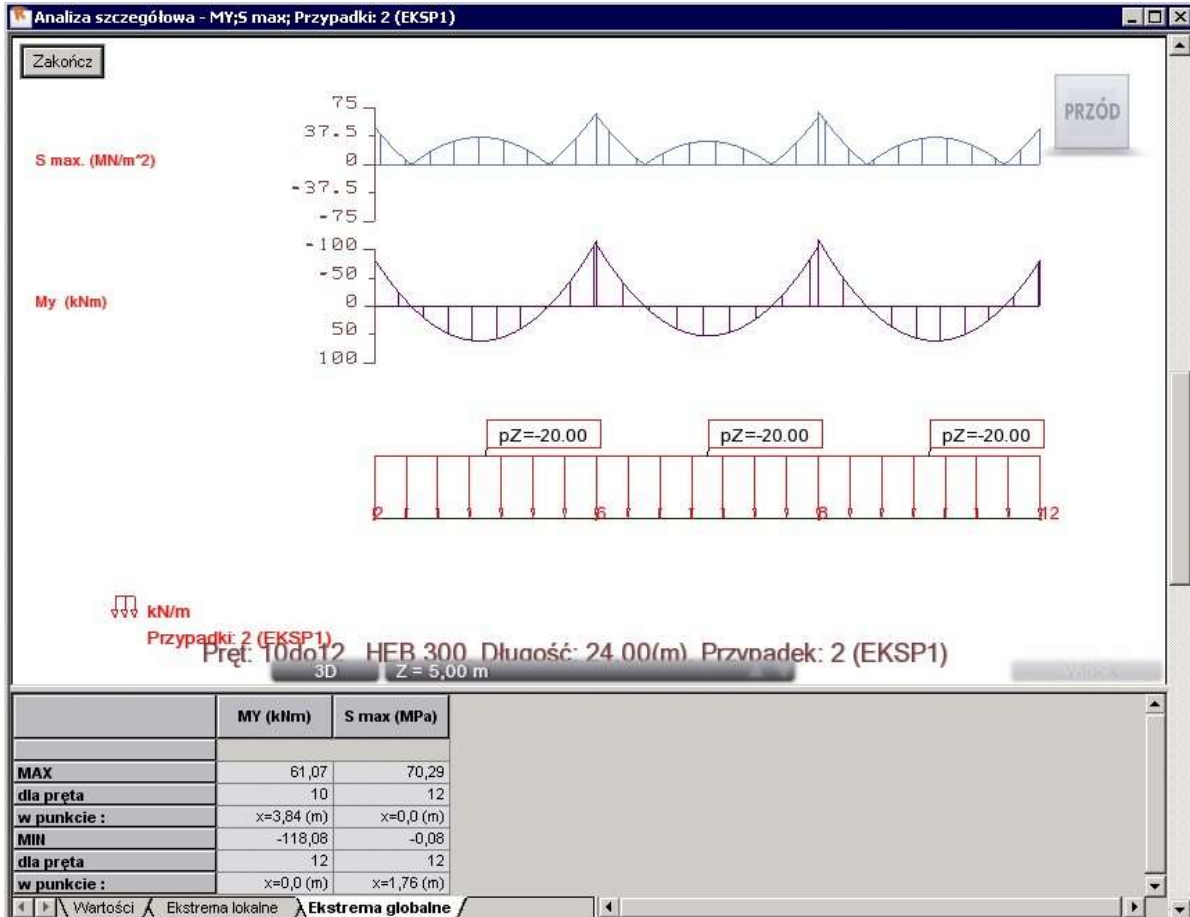
9.5.4. Analiza konstrukcji

	Rozpoczęcie obliczeń dla zdefiniowanej konstrukcji. Po zakończeniu obliczeń w górnym pasku programu Robot prezentowana będzie następująca informacja: <i>Wyniki MES - aktualne</i>
---	---

9.5.5. Analiza szczegółowa

W polu graficznym wybrać belkę 1 (pręty 10,11,12)	
---	--

LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Rezultaty / Analiza szczegółowa	Rozpoczęcie analizy szczegółowej prętów konstrukcji. Ekran monitora zostanie podzielony na dwie części: pole graficzne zawierające model konstrukcji oraz okno dialogowe Analiza szczegółowa
Wybór drugiego przypadku obciążeniowego 	
W oknie dialogowym Analiza szczegółowa wybrać następujące opcje: wyłączona opcja <i>Otwórz nowe okno</i> na zakładce <i>NTM</i> wybrać opcję <i>Moment MY</i>	Wybór wielkości do prezentacji dla wybranej belki
Zastosuj	Na ekranie pojawia się dodatkowy ekran graficzny składający się z dwóch części: graficznej prezentacji informacji (wykresów, obciążeń, profili prętów) dla wybranych prętów oraz tabeli prezentującej wyniki numeryczne uzyskane dla wybranych prętów
W oknie dialogowym Analiza szczegółowa wybrać następujące opcje: na zakładce <i>Naprężenia</i> wybrać <i>Naprężenia maksymalne S max</i> na zakładce <i>Punkty podziału</i> wybrać opcję <i>Punkty charakterystyczne</i> LKM w Odśwież	Dodanie wykresu naprężeń i wyliczenie punktów charakterystycznych dla wykresu momentów My
Zastosuj	Dodanie kolejnych wielkości do prezentacji dla belki
W tabeli wybrać zakładkę <i>Ekstrema globalne</i>	Włączenie prezentacji ekstremów globalnych w tabeli uzyskanych dla całej wybranej belki. Ekran graficzny z analizą szczegółową wybranej belki przyjmuje postać pokazaną na poniższym rysunku



Zakończ	Zamknięcie ekranu, w którym prezentowana była analiza szczegółowa dla wybranej belki
----------------	--

9.5.6. Wymiarowanie konstrukcji

Polska norma stalowa: PN90/B-03200

LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Wymiarowanie / Wymiarowanie stali/aluminium	Rozpoczęcie wymiarowanie stalowych prętów konstrukcji. Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: pole graficzne zawierające model konstrukcji, okno dialogowe Definicje i okno dialogowe Obliczenia
LKM w klawisz Nowy na zakładce Grupy w oknie dialogowym Definicje	Rozpoczęcie definicji grup prętów

Definicja pierwszej grupy prętów o następujących parametrach: Numer: 1 Nazwa: słupy Lista prętów: 1do9 Materiał: STAL	Definicja pierwszej grupy prętów składających się ze wszystkich słupów konstrukcji
Zapisz	Zapisanie parametrów pierwszej grupy prętów
LKM w klawisz Nowy na zakładce <i>Grupy</i> w oknie dialogowym Definicje	Rozpoczęcie definicji drugiej grupy prętów
Definicja drugiej grupy prętów o następujących parametrach: Numer: 2 Nazwa: belki Lista prętów: 10do15 Materiał: STAL	Definicja drugiej grupy prętów składających się ze wszystkich belek konstrukcji
Zapisz	Zapisanie parametrów drugiej grupy prętów
LKM w klawisz Lista w wierszu <i>Wymiarowanie grup</i> w oknie Obliczenia	Przejdźcie do okna dialogowego Obliczenia i otwarcie okna dialogowego Selekcja grup
LKM w klawisz Wszystko (w polu znajdującym się nad klawiszem Poprzednia pojawia się lista: 1 2), Zamknij	Wybór grup prętów, które będą wymiarowane
LKM w klawisz Lista (w polu <i>Obciążenia</i>) w oknie Obliczenia	Otwarcie okna dialogowego Selekcja przypadków
LKM w pole znajdujące się nad klawiszem Poprzednia , (wpisanie listy przypadków: 1do3), Zamknij	Wybór trzech pierwszych przypadków obciążeniowych
Włączenie opcji: <i>Optymalizacja</i> i Stan graniczny: <i>Nośność</i>	Wymiarowanie grup wykorzystywać będzie procedury optymalizacyjne (odpowiednie przekroje ze względu na ciężar); sprawdzany będzie stan graniczny nośności
Naciśnięcie klawisza Opcje W oknie dialogowym Opcje <i>optymalizacyjne</i> wybrać opcję: <i>Ciężar</i>	Włączenie tej opcji powoduje, że optymalizacja uwzględniac będzie ciężar profilu powodując wyszukiwanie wśród profili spełniających kryteria normowe profilu najniższego w danej grupie
OK	Zamknięcie okna dialogowego Opcje optymalizacyjne

LKM w klawisz **Obliczenia**

Rozpoczęcie wymiarowania wybranych grup prętów konstrukcji; na ekranie pojawia się okno **Rezultatów skróconych** pokazane poniżej



Zamiana aktualnych profili prętów dla obydwu grup prętów na obliczone profile (dla słupów z HEB 300 na HEB 160, dla belek z HEB 300 na HEB 240). Po zamianie profili prętów w górnym pasku programu **Robot** prezentowana będzie następująca informacja: *Wyniki MES - nieaktualne*

Zamknięcie okna **Wymiarowanie grup prętów**

Anulowanie zapisu wyników obliczeń i zamknięcie okna dialogowego **Archiwizacja wyników obliczeń**.

Ponowne obliczenia konstrukcji dla zmienionych profili prętów. Po zakończeniu obliczeń w górnym pasku programu **Robot** prezentowana będzie następująca informacja: *Wyniki MES - aktualne*

Ponowne wymiarowanie wybranych grup prętów konstrukcji (1,2) z opcjami optymalizacyjnymi; na ekranie pojawia się okno **Rezultatów skróconych**

Zamiana aktualnych profili słupów na obliczone profile (z HEB 160 na HEB 140). Po zamianie profili prętów w górnym pasku programu **Robot** prezentowana będzie następująca informacja: *Wyniki MES - nieaktualne*

Zamknięcie okna dialogowego **Wymiarowanie grup prętów**

Anulowanie zapisu wyników obliczeń i zamknięcie okna dialogowego **Archiwizacja wyników obliczeń**.

Ponowne obliczenia konstrukcji dla zmienionych profili prętów. Po zakończeniu obliczeń w górnym pasku programu **Robot** prezentowana będzie następująca informacja: *Wyniki MES - aktualne*

Ponowne wymiarowanie wybranych grup prętów konstrukcji (1,2) z opcjami optymalizacyjnymi; na ekranie pojawia się okno **Rezultatów skróconych** pokazane poniżej. Wyliczone profile są optymalnymi profilami dla wymiarowanych grup prętów.

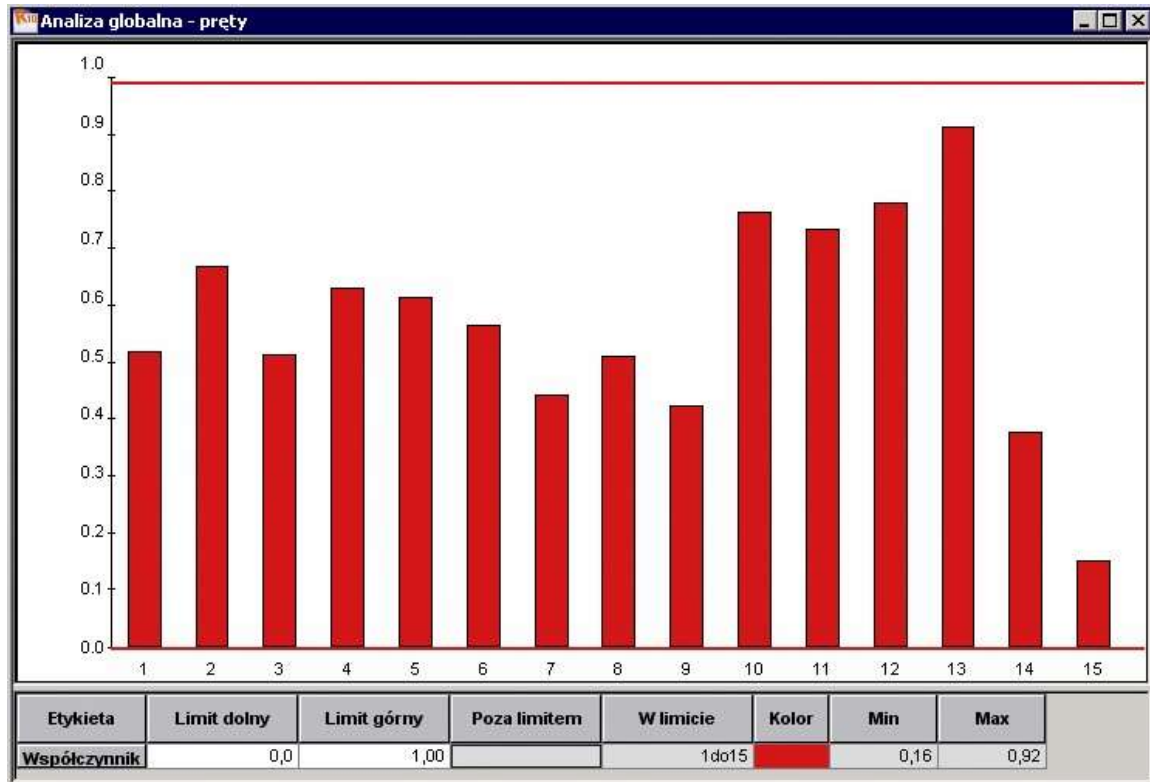
UWAGA: Obliczenia optymalnych profili niekiedy należy powtórzyć jeszcze kilka razy, aż do momentu uzyskania optymalnego zestawu profili.

Pręt	Profil	Materiał	Lay	Laz	Wyteż.	Przypadek
2 Słup_2	HEB 120	STAL	99.19	163.49	1.02	3 EKSP2
	HEB 140		84.38	139.81	0.67	
	HEB 160		73.84	123.57	0.46	
Grupa : 2 belki						
13 Belka_13	HEB 220	STAL	169.69	286.41	1.21	3 EKSP2
	HEB 240		155.24	263.11	0.92	
	HEB 260		142.29	242.66	0.74	

Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Wymiarowanie grup prętów
Zapisz	Zapisanie wyników obliczeń i zamknięcie okna dialogowego Archiwizacja wyników obliczeń .
LKM w pole <i>Weryfikacja prętów</i> w oknie Obliczenia i wpisanie: 1do15	Wybór prętów, które będą weryfikowane
LKM w pole <i>Przypadki</i> w oknie Obliczenia i wpisanie: 1do3	Wybór wszystkich przypadków obciążeniowych
LKM w klawisz Obliczenia	Rozpoczęcie weryfikacji wybranych prętów konstrukcji (weryfikacja jest wykonywana, aby uzyskać wyniki dla poszczególnych prętów konstrukcji); na ekranie pojawia się okno Rezultatów skróconych
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Weryfikacja prętów
Zapisz	Zapisanie wyników obliczeń i zamknięcie okna dialogowego Archiwizacja wyników obliczeń .

9.5.7. Analiza globalna

LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Model konstrukcji / Start	Wybór początkowego ekranu programu Robot
<i>Rezultaty / Analiza globalna - pręty</i>	Rozpoczęcie analizy globalnej wszystkich prętów konstrukcji. Na ekranie pojawia się dodatkowy ekran graficzny składający się z dwóch części: graficznej prezentacji informacji oraz tabeli prezentującej wyniki numeryczne
PKM będąc kursorem w dodatkowym ekranie graficznym	Na ekranie pojawia się menu kontekstowe
<i>Kolumny</i>	Wybranie tej opcji w menu kontekstowym otwiera okno dialogowe Parametry dla okien prezentacyjnych
Na zakładce <i>Naprężenia</i> wyłączyć opcję <i>Normalne</i> Na zakładce <i>Wymiarowanie</i> włączyć opcję <i>Współczynnik wyężenia</i>	Wybór wielkości dla których prezentowana będzie analiza globalna
LKM w klawisz OK	Zaakceptowanie dokonanego wyboru
LKM w tabeli w pole <i>Limit górny</i> i wpisanie wartości 1.0	Określenie górnej wartości dla współczynnika wyężenia
PKM będąc kursorem w dodatkowym ekranie graficznym	Na ekranie pojawia się menu kontekstowe
Wybranie opcji <i>Stałe wyświetlanie limitów</i>	Prezentacja w graficznej części ekranu analizy globalnej wartości limitów (przy pomocy linii poziomych). Okno analizy globalnej przyjmuje postać pokazaną na poniższym rysunku

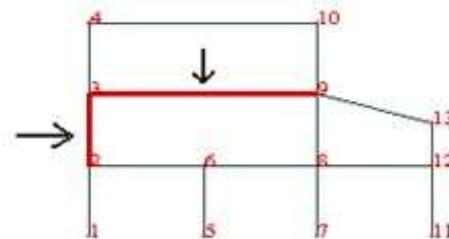


Zamknięcie ekranu graficznego, w którym prezentowana była analiza globalna konstrukcji

9.5.8. Wymiarowanie połączeń stalowych

Norma: PN-90/B-03200

<p>LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Wymiarowanie / Połączenia</p>	<p>Rozpoczęcie wymiarowanie połączeń stalowych prętów konstrukcji. Ekran monitora zostanie podzielony na dwie części: okno dialogowe Inspektor obiektów (Połączenia stalowe) i pole graficzne; w dolnej części pola graficznego znajdują się cztery zakładki: <i>Schemat</i>, <i>Widok połączenia</i>, <i>Widok</i> i <i>Rezultaty</i></p>
<p>Przejdź na zakładkę <i>Widok</i>; selekcja pośredniego pręta w lewym skrajnym słupie i środkowej belki - przy wciśniętym klawiszu CTRL należy kliknąć lewym klawiszem myszki w wymienione pręty</p>	<p>Wybór prętów, dla których weryfikowane będzie połączenie; wyselekcjonowane pręty wskazano na poniższym rysunku strzałkami</p>



<i>Połączenia / Nowe połączenie dla wybranych prętów</i>	Zdefiniowanie połączenia pomiędzy wybranymi prętami; w oknie dialogowym Definicja połączenia typu Belka - Słup pojawia się kilka zakładek. Można w nich zmieniać poszczególne parametry połączenia
Włączenie opcji <i>Połączenie spawane</i> znajdującej się na zakładce <i>Geometria</i> okna dialogowego Definicja połączenia typu Belka - Słup, Zastosuj	Wybór typu definiowanego połączenia stalowego
Przejsięcie na zakładkę <i>Spoiny</i>	Wybór zakładki w oknie dialogowym Definicja połączenia typu Belka – Słup
Wpisanie w pola edycyjne określające grubości spoin: 6 mm dla półek i środnika, 3 mm dla żeber	Definicja grubości spoin
Zastosuj, OK	Zaakceptowanie dokonanych zmian i zamknięcie okna Definicja połączenia typu Belka - Słup
<i>Połączenia / Obliczenia</i>	Otwarcie okna dialogowego Obliczenia połączeń
LKM w pole <i>Lista</i> w polu <i>Przypadki obciążeniowe</i> i wpisanie: 1 2	Wybór przypadków obciążeniowych
LKM w klawisz Obliczenia	Rozpoczęcie weryfikacji połączenia; wyniki skrócone prezentowane są w oknie dialogowym Inspektor obiektów , natomiast szczegółowa notka obliczeniowa jest wyświetlana na zakładce <i>Rezultaty</i> (ta zakładka jest dostępna dopiero po wykonaniu obliczeń połączenia)

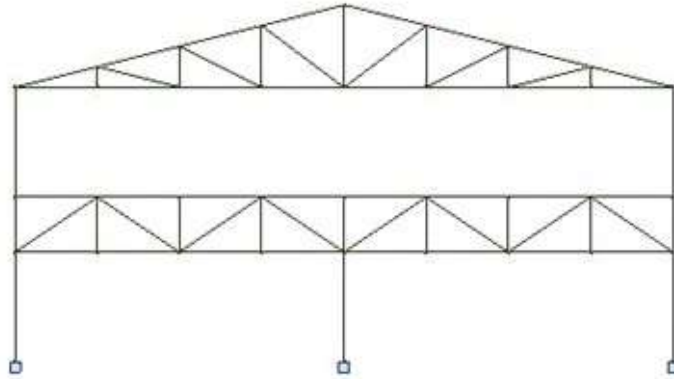
9.5.9. Kompozycja wydruku

LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Model konstrukcji / Start	Wybór początkowego ekranu programu Robot
--	---

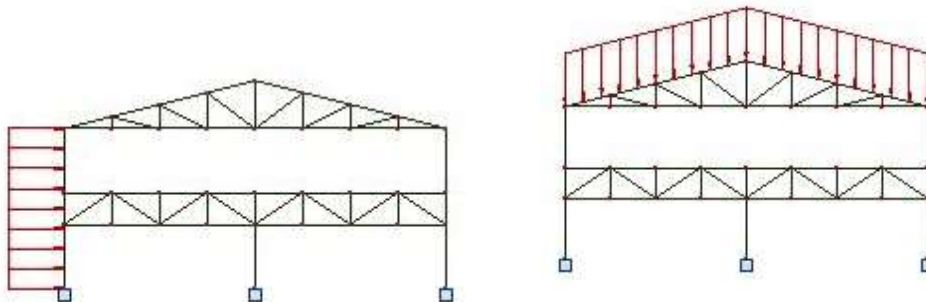
<i>Plik / Kompozycja wydruku</i>	Otwarcie okna dialogowego Kompozycja wydruku - kreator , w którym zdefiniowana może zostać postać wydruku dla projektowanej konstrukcji
LKM w zakładkę <i>Wydruk uproszczony</i>	Przejdźcie na zakładkę <i>Wydruk uproszczony</i>
Wyłączenie opcji (znika symbol <input checked="" type="checkbox"/>): <i>Obmiar, kombinacje</i>	Informacje dotyczące obmiaru i kombinacji nie będą przedstawiane na wydruku
Z dostępnych list wybrać następujące informacje: Reakcje: Ekstrema globalne Przemieszczenia: Obwiednia Siły: Wartości Naprężenia : Obwiednia	Wybór informacji, które prezentowane będą dla wyników obliczeń konstrukcji
LKM w klawisz Zapisz model	Naciśnięcie tego klawisza powoduje przejście na zakładkę <i>Szablony</i> okna dialogowego Kompozycja wydruku - kreator i umieszczenie wybranych elementów wydruku uproszczonego w prawym panelu
LKM w klawisz Nowy na zakładce <i>Szablony</i>	Definicja nowego szablonu użytkownika
W lewym panelu pojawia się dodatkowa linia, w której należy wpisać nazwę nowego szablonu np. <i>Mój szablon</i> i nacisnąć klawisz ENTER	Zapisanie szablonu użytkownika
LKM w zakładkę <i>Standard</i>	Przejdźcie na zakładkę <i>Standard</i>
Podświetlenie opcji w lewym panelu: <i>Wymiarowanie rodzin prętów stalowych</i>	Wybór elementów do kompozycji wydruku
LKM w klawisz Dodaj	Przeniesienie wybranej opcji do prawego panelu
LKM w klawisz Podgląd	Prezentacja podglądu zdefiniowanego wydruku dla projektowanej konstrukcji
Zamknij	Zamknięcie okna podglądu wydruku
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Kompozycja wydruku - kreator

9.6. Przykład definiowania obciążeń ruchomych - konstrukcja płaska (rama 2D)

Ten przykład przedstawia definicję, analizę i wymiarowanie prostej ramy płaskiej prezentowanej na poniższym rysunku, dla której zdefiniowano przypadek obciążenia ruchomego. Jednostki danych: (m) i (kN).

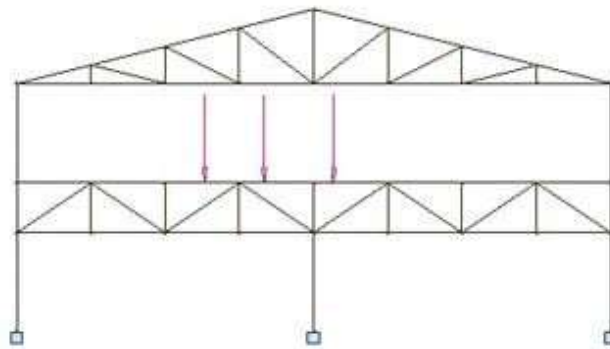


Konstrukcja zostanie obciążona trzema przypadkami obciążeniowymi (ciężarem własnym oraz dwoma przypadkami obciążeń - wiatrem i śniegiem - pokazanych na poniższym rysunku) oraz przypadkiem obciążenia ruchomego.



PRZYPADK 2

PRZYPADK 3



PRZYPADK OBCIĄŻENIA RUCHOMEGO

Podczas definiowania konstrukcji wykorzystywane będą następujące zasady:


- prezentacja dowolnej ikony oznacza naciśnięcie tej ikony lewym klawiszem myszki,
- { x } oznacza wybór opcji 'x' z okna dialogowego,
- LKM i PKM - skróty używane do oznaczenia kliknięcia odpowiednio lewym lub prawym klawiszem myszki.

Aby rozpocząć definiowanie konstrukcji, uruchom system **Robot** (naciśnij odpowiednią ikonę lub wybierz komendę z paska zadań). W okienku pojawiającym się po chwili na ekranie (jest ono opisane w rozdziale 2.1 podręcznika) należy wybrać pierwszą ikonę w pierwszym wierszu (**Projektowanie ramy płaskiej**)






UWAGA: W przykładzie wykorzystano profile prętów z bazy profili RPLN_PRO (Katalog polskich profili - 2004). Ta baza profili musi być na pierwszym miejscu wśród dostępnych baz profili znajdujących się w oknie dialogowym Preferencje zadania / Katalogi / Profile stalowe i drewniane.

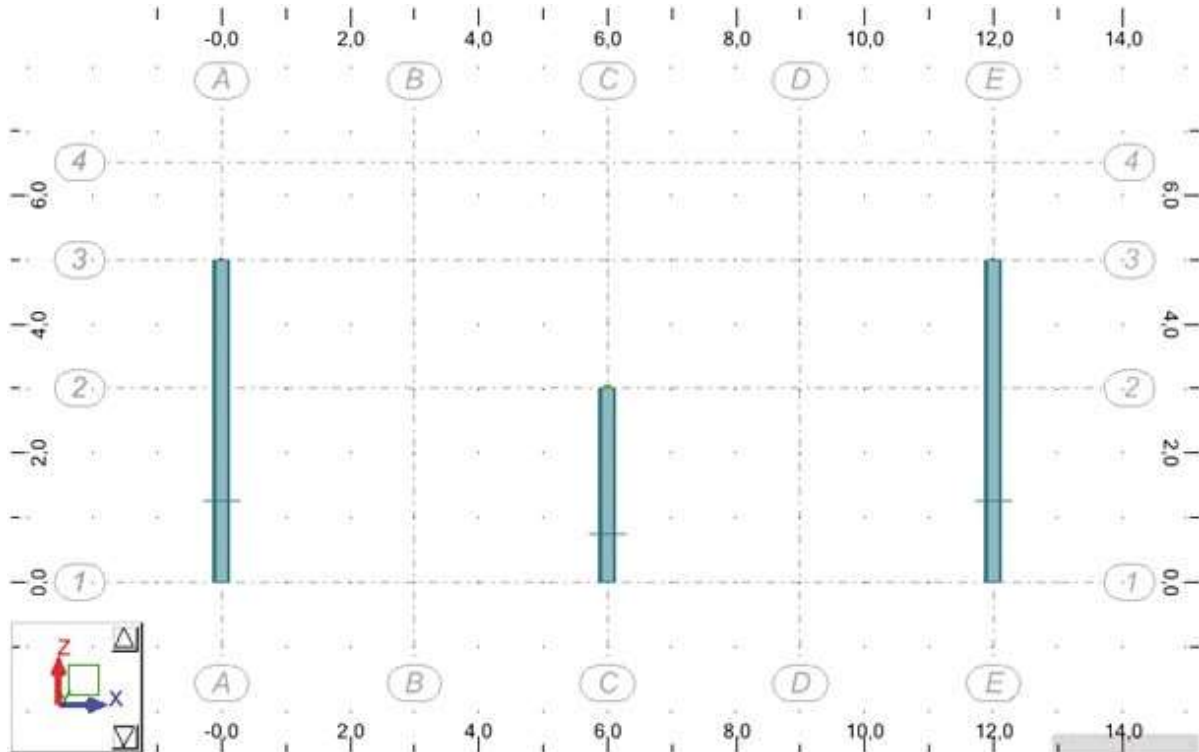
9.6.1. Definicja modelu konstrukcji

WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
	Rozpoczęcie definiowania osi konstrukcji; na ekranie pojawia się okno dialogowe Osie konstrukcji
Na zakładce X: pozycja: {0} liczba powtórzeń: {4} Rozstaw: {3} Numeracja: A, B, C ...	Definicja parametrów pionowych osi konstrukcyjnych
LKM w klawisz Wstaw	Zdefiniowane zostały pionowe osie konstrukcji
LKM w zakładkę Z	Rozpoczęcie definiowania parametrów poziomych osi konstrukcyjnych
Na zakładce Z: wprowadzić następujące współrzędne pozycji kolejnych osi: {0}, Wstaw {3}, Wstaw {5}, Wstaw {6.5}, Wstaw Numeracja: 1, 2, 3 ...	Definicja parametrów poziomych osi konstrukcyjnych


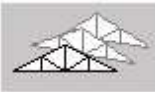
LKM w klawisze: Zastosuj, Zamknij	Utworzenie zdefiniowanych osi konstrukcyjnych i zamknięcie okna dialogowego Osie konstrukcji
--	---




Definicja prętów konstrukcji

	Otwarcie okna dialogowego Przekroje
	Otwarcie okna dialogowego Nowy przekrój
Wybór rodziny dwuteowników, w polu Przekrój wybór profili: HEB 200, HEB 260 i IPE 200 z bazy Rpln_pro Dodaj, Zamknij	Definicja nowego przekroju i zamknięcie okna dialogowego Nowy przekrój
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Przekroje
	Otwarcie okna dialogowego Pręt
LKM w pole TYP PRĘTA i wybór typu: Słup LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu HEB 260 z bazy Rpln_pro	Wybór charakterystyk pręta
LKM w pole Początek (tło pola zostanie zmienione na kolor zielony)	Rozpoczęcie definiowania prętów w konstrukcji (słupy konstrukcji)
Słup 1 - pomiędzy punktami A1-A3 o współrzędnych: (0,0) (0,5) Słup 2 - pomiędzy punktami E1-E3 współrzędnych: (12,0) (12,5) Słup 3 - pomiędzy punktami C1-C2 o współrzędnych: (6,0) (6,3)	Definicja słupów konstrukcji; utworzoną do tej pory konstrukcję przedstawiono na poniższym rysunku
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Pręt

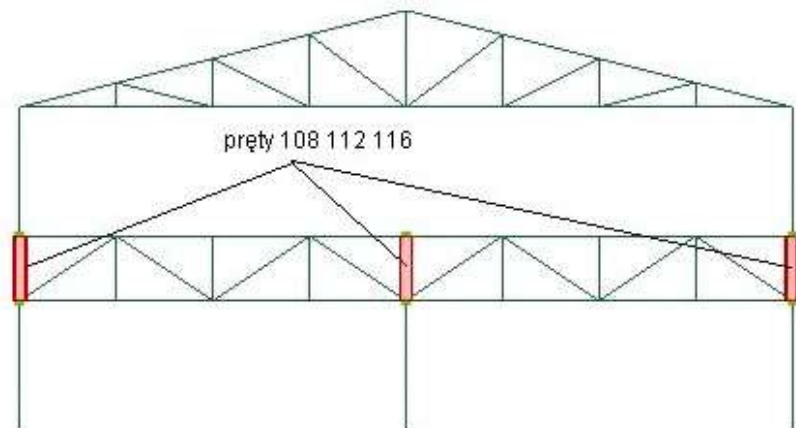


Definicja konstrukcji bibliotecznych (przekrycie i belka podsuwnicowa)


	<p>Otwarcie okna dialogowego Konstrukcje typowe i rozpoczęcie definiowania konstrukcji bibliotecznej (przekrycie)</p>
<p>LKM (2 razy) w ikonę (1 ikona w ostatnim rzędzie)</p> 	<p>Wybór kratownicy trójkątnej typu 1; na ekranie pojawia się okno dialogowe Wstawianie konstrukcji, w którym zdefiniowane mogą zostać parametry kratownicy</p>
<p>Na zakładce <i>Wymiary</i> LKM w pole <i>Długość L</i> {12}</p>	<p>Definicja długości kratownicy (można ją również zdefiniować graficznie w polu graficznym)</p>
<p>LKM w pole <i>Wysokość H</i> {1.5}</p>	<p>Definicja wysokości kratownicy (można ją również zdefiniować graficznie w polu graficznym)</p>
<p>LKM w pole <i>Liczba pól</i> {8}</p>	<p>Definicja liczby pól, na które zostanie podzielona kratownica</p>
<p>LKM w zakładkę <i>Wstaw</i></p>	
<p>LKM w pole <i>Punkt wstawienia</i> wybierz punkt A3 o współrzędnych (0,0,5)</p>	<p>Definicja początkowego węzła kratownicy</p>

LKM w klawisz Zastosuj , OK	Utworzenie zdefiniowanej kratownicy w odpowiednim miejscu w konstrukcji i zamknięcie okna dialogowego Wstawianie konstrukcji
<i>Geometria / Zwolnienia</i>	Otwarcie okna dialogowego Zwolnienie
LKM w typ zwolnienia <i>PrzegubUtwardzenie</i>	Wybór typu zwolnienia, który będzie nadawany prętowi kratownicy
LKM w pole <i>Aktualna selekcja</i> , przejść na okno graficzne i wskazać najwyższy słupek kratownicy (w kalenicy)	Wybór pręta kratownicy; <i>UWAGA: Należy zwrócić uwagę na strzałki, które pojawiają się na podświetlonym pręcie kratownicy - strzałki przy wskazywaniu pręta powinny wskazywać górę (istotny jest kierunek zwolnienia: w pierwszym węźle pozostaje przegub, a w drugim nadawane jest utwardzenie)</i>
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Zwolnienie
	Ponowne otwarcie okna dialogowego Konstrukcje typowe i rozpoczęcie definiowania konstrukcji bibliotecznej (belka podsuwnicowa)
LKM (2 razy) w ikonę 	Wybór kratownicy prostokątnej typu 3; na ekranie pojawia się okno dialogowe Wstawianie konstrukcji , w którym zdefiniowane mogą zostać parametry kratownicy
Na zakładce <i>Wymiary</i> LKM w pole <i>Długość L</i> {12}	Definicja długości kratownicy (można ją również zdefiniować graficznie w polu graficznym)
LKM w pole <i>Wysokość H</i> {1.0}	Definicja wysokości kratownicy (można ją również zdefiniować graficznie w polu graficznym)
LKM w pole <i>Liczba pól</i> {8}	Definicja liczby pól, na które zostanie podzielona kratownica
LKM w zakładkę <i>Wstaw</i>	
LKM w pole <i>Punkt wstawienia</i> wybierz punkt o współrzędnych (0,0,2)	Definicja początkowego węzła kratownicy
LKM w klawisz Zastosuj , OK	Utworzenie zdefiniowanej kratownicy w odpowiednim miejscu w konstrukcji i zamknięcie okna dialogowego Wstawianie konstrukcji
	Otwarcie okna dialogowego Przekroje

LKM w pole <i>Linie/pręty</i> , wybranie oknem wszystkich prętów obydwu kratownic	Wybór prętów kratownic
LKM w profil IPE 200 z bazy Rpln_pro	Wybór profilu, który będzie nadawany wybranym prętom
LKM w klawisz Zastosuj Akceptacja zmiany materiału na domyślny	Nadanie profilu IPE 200 wszystkim prętom kratownic
LKM w pole <i>Linie/pręty</i> , wybranie górnego pasa kratownicy podsuwnicowej	Wybór prętów (pręt nr 8)
LKM w profil HEB 200	Wybór profilu, który będzie nadawany wybranym prętom
LKM w klawisz Zastosuj, Zamknij	Nadanie profilu HEB 200 prętom kratownicy i zamknięcie okna dialogowego Przekroje
Wybranie bocznych słupków kratownicy podsuwnicowej oraz słupka środkowego (patrz rysunek) - pręty są podświetlane (pręty 108, 112 i 116)	
Naciśnięcie klawisza Delete na klawiaturze	Usunięcie wybranych prętów konstrukcji



Definicja podpór

	Otwarcie okna dialogowego Podpory
---	--


LKM w pole <i>Aktualna selekcja</i> (na zakładce <i>Węzłowe</i>)	Wybór węzłów konstrukcji, w których zdefiniowane zostaną podpory konstrukcji
Przejsć na pole graficzne; trzymając wciśnięty lewy klawisz myszki zaznaczyć oknem wszystkie dolne węzły słupów (punkty leżące na poziomie linii konstrukcyjnej 1)	W polu <i>Aktualna selekcja</i> wpisane zostaną wyselekcjonowane węzły: 1 3 5
W oknie dialogowym Podpory wybrać ikonę oznaczającą podporę utwierdzoną (zostanie podświetlona)	Wybór typu podpory
LKM w klawisz Zastosuj	Wybrany typ podpory zostanie nadany w wyselekcjonowanych węzłach konstrukcji
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Podpory


Definicja obciążeń konstrukcji

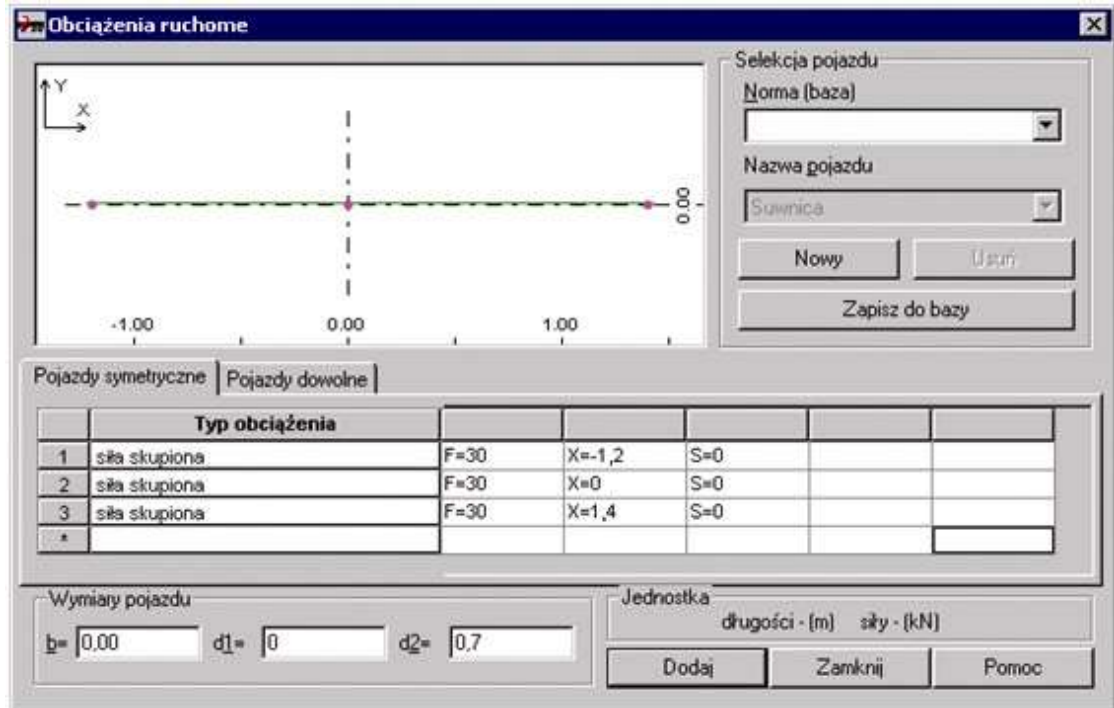
LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Model konstrukcji / Obciążenia	Wybór ekranu systemu Robot umożliwiającego definiowanie obciążeń konstrukcji
LKM w klawisz Nowy znajdujący się w oknie dialogowym Przypadki obciążeń	Definicja przypadku obciążenia o naturze: ciężar własny i standardowej nazwie STA1
LKM w pole <i>Natura</i> <i>Wiatr</i>	Wybór natury przypadku obciążenia: wiatr
LKM w klawisz Nowy	Definicja przypadku obciążenia o naturze: wiatr i standardowej nazwie WIATR1
LKM w pole <i>Natura</i> <i>Śnieg</i>	Wybór natury przypadku obciążenia: śnieg
LKM w klawisz Nowy	Definicja przypadku obciążenia o naturze: śnieg i standardowej nazwie SN1
	W pierwszym rzędzie automatycznie został nadany ciężar własny na wszystkich prętach konstrukcji (na kierunku „-Z”)
LKM w drugie pole w kolumnie PRZYPADK, wybór 2. przypadku obciążenia WIATR1	Definicja obciążeń działających dla drugiego przypadku obciążenia

LKM w pole kolumnie TYP OBCIĄŻENIA, wybór obciążenia jednorodnego	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie LISTA, wybór graficzny w polu graficznym lewego słupa konstrukcji	Wybór pręta, do którego przykładane będzie obciążenie jednorodne (pręt nr 1)
LKM w pole w kolumnie "px=" i wpisanie wartości 5.0	Wybór kierunku i wartości obciążenia
LKM w trzecie pole w kolumnie PRZYPADEK, wybór 3. przypadku obciążenia SN1	Definicja obciążeń działających dla trzeciego przypadku obciążenia
LKM w pole kolumnie TYP OBCIĄŻENIA, wybór obciążenia jednorodnego	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie LISTA, wybór graficzny w polu graficznym pasów górnych kratownicy przekrycia	Wybór prętów, do których przykładane będzie obciążenie jednorodne (pręty 5 i 6)
LKM w pole w kolumnie "pz=" i wpisanie wartości -3.0	Wybór kierunku i wartości obciążenia jednorodnego
LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Model konstrukcji / Start	Wybór początkowego ekranu systemu Robot

Definicja obciążenia ruchomego

<i>Narzędzia / Preferencje zadania</i>	Otwarcie okna dialogowego Preferencje zadania
LKM w opcję <i>Katalogi / Obciążenia pojazdami</i>	Wybór opcji z drzewka znajdującego się w lewej części okna dialogowego
	Naciśnięcie ikony <i>Utwórz nową bazę użytkownika</i> powoduje otwarcie okna Nowe obciążenie ruchome
Wpisać: w polu <i>Katalog - USER</i> w polu <i>Nazwa katalogu - Katalog użytkownika</i> Jednostki: długości - (m) siły - (kN)	Definicja bazy użytkownika
Utwórz	Zamknięcie okna dialogowego Nowe obciążenie ruchome


OK	Zamknięcie okna dialogowe Preferencje zadania
Obciążenia / Obciążenia specjalne / Ruchome	Otwarcie okna dialogowego Obciążenia ruchome
	Otwarcie okna dialogowego Obciążenie ruchome i rozpoczęcie definicji nowego pojazdu
Na zakładce <i>Pojazdy symetryczne</i> LKM w klawisz Nowy	Definicja nowego pojazdu
Wpisanie nazwy pojazdu: <i>Suwnica</i> OK	Nadanie nazwy nowemu pojazdowi i zamknięcie okna dialogowego Nowy pojazd
LKM w pierwszą linię znajdującą się w tabeli w dolnej części okna dialogowego	Definicja działających sił
Wybranie typu obciążenia: siła skupiona	Wybór typu obciążenia
$F = 30, X = -1.2, S = 0$	Zdefiniowanie wartości i położenia siły skupionej
LKM w kolejną linię znajdującą się w tabeli w dolnej części okna dialogowego	Definicja działających sił
Wybranie typu obciążenia: siła skupiona	Wybór typu obciążenia
$F = 30, X = 0.0, S = 0$	Zdefiniowanie wartości i położenia siły skupionej
LKM w kolejną linię znajdującą się w tabeli w dolnej części okna dialogowego	Definicja działających sił
Wybranie typu obciążenia: siła skupiona	Wybór typu obciążenia
$F = 30, X = 1.4, S = 0$	Zdefiniowanie wartości i położenia siły skupionej. Okno dialogowe Obciążenia ruchome przedstawiono na poniższym rysunku



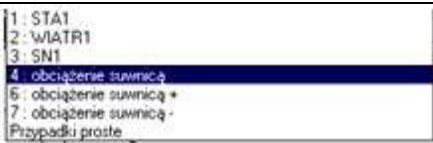

LKM w klawisz Zapisz do bazy	Otwarcie okna dialogowego Katalogi obciążeń ruchomych
OK w oknie dialogowym Katalogi obciążeń ruchomych	Zapis zdefiniowanego pojazdu do katalogu użytkownika
Dodaj, Zamknij	Dodanie zdefiniowanego pojazdu do listy aktywnych pojazdów oraz zamknięcie okna Obciążenia ruchome
W polu nazwa wpisać nazwę obciążenia ruchomego (przypadek 4): <i>obciążenie suwnicą</i>	Określenie nazwy obciążenia ruchomego
LKM w klawisz Definiuj	Rozpoczęcie definicji drogi (trasy przejazdu) pojazdu Suwnica; otwierane jest okno dialogowe Polilinia - kontur z włączoną opcją <i>Polilinia</i>
Na ekranie graficznym zdefiniować dwa punkty określające trasę pojazdu: początek (0,3) koniec (12,3)	Definicja trasy pojazdu
Zastosuj, Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Polilinia - kontur

LKM w pole <i>Krok</i> {1} Przyjęcie domyślnej wartości kierunku (0,0,-1) tzn. obciążenie będzie działało w kierunku osi Z, a zwrócone będzie przeciwnie do zwrotu osi Z	Definicja kroku zmiany położenia obciążenia ruchomego i kierunku działania obciążenia
LKM w opcję <i>Selekcja</i> znajdującą się w polu <i>Płaszczyzna przyłożenia</i>	Wybór płaszczyzny przyłożenia obciążenia
{8}	Wybór pasa górnego kratownicy podsuwnicowej (pręt nr 8)
LKM w klawisz Parametry	Otwarcie okna dialogowego Parametry drogi
LKM w pole dla współczynników: współcz. LP i współcz. LL i wpisanie wartości 0.1	Definicja współczynników dla sił działających wzdłuż trasy poruszania się pojazdu. Generuje to siły pochodzące od hamowania pojazdu o wartości 0.1*F
Włączenie opcji: <i>Ograniczenie położenie pojazdu - początek</i> <i>Ograniczenie położenie pojazdu - koniec</i>	Włączenie tych opcji zapewnia, iż siły definiujące obciążenie suwnicą nie znajdują się poza zdefiniowanym modelem konstrukcji
OK	Zamknięcie okna dialogowego Parametry drogi
Zastosuj, Zamknij	Generacja przypadku obciążenia ruchomego zgodnie z przyjętymi parametrami i zamknięcie okna dialogowego Obciążenia ruchome

9.6.2. Analiza konstrukcji



<i>Narzędzia / Preferencje zadania</i>	Otwarcie okna dialogowego Preferencje zadania
<i>Analiza konstrukcji</i>	Wybór opcji <i>Analiza konstrukcji</i> z drzewka okna dialogowego
<i>Metody rozwiązywania układu równań: Iteracyjna</i>	Wybór metody rozwiązywania układu równań dla zdefiniowanej konstrukcji
OK	Zaakceptowanie przyjętych parametrów i zamknięcie okna dialogowego Preferencje zadania
	Rozpoczęcie obliczeń konstrukcji. Po zakończeniu obliczeń w górnym pasku programu Robot prezentowana będzie następująca informacja: <i>Wyniki MES - aktualne</i>

9.6.3. Prezentacja pojazdu i obciążenia ruchomego

Widok / Wyświetl	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
Zakładka Obciążenia włącz opcję Obciążenia ruchome - pojazd OK	Prezentacja zdefiniowanego pojazdu na konstrukcji
	Wybór 4. przypadku obciążeniowego (obciążenie suwnicą)
Obciążenia / Wybierz składową przypadku	Otwarcie okna dialogowego Składowa przypadku
Wybór: Składowa aktualna 4	Wybierz 4 składową przypadku obciążenia ruchomego
LKM w klawisz Animacja	Otwarcie okna dialogowego Animacja
LKM w klawisz Start	Rozpoczęcie animacji obciążenia ruchomego na konstrukcji; pojazd poruszał się będzie po zdefiniowanej trasie
Stop (LKM w klawisz ) i zamknięcie paska do animacji	Zatrzymanie animacji pojazdu
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Składowa przypadku


9.6.4. Analiza wyników

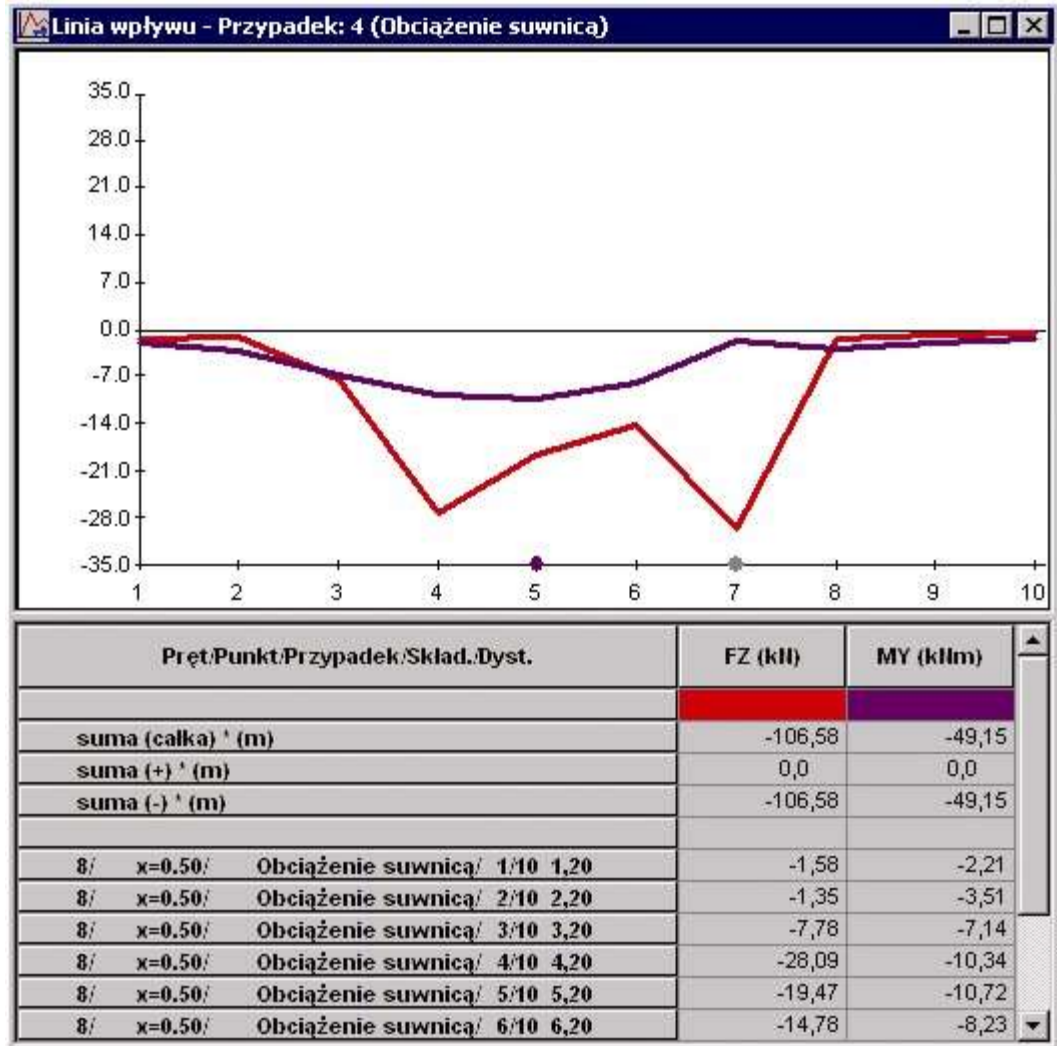
LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Rezultaty / Rezultaty	Przejdźcie na ekran REZULTATY systemu Robot . Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: pole graficzne zawierające model konstrukcji, okno dialogowe Wykresy i tabelę prezentującą wartości reakcji. <i>UWAGA: W tabeli prezentowane są dodatkowe przypadki obciążenia ruchomego (oznaczone symbolami "+" i "-") określające wartości dla obwiedni odpowiednio górnej i dolnej</i>
--	---

 <p>Wybór: 4 obciążenie suwnicą</p>	Wybór 4. przypadku obciążeniowego (obciążenie suwnicą)
włączenie opcji <i>Moment My</i> w oknie dialogowym Wykresy	Wybór prezentacji momentu zginającego konstrukcji dla wybranego przypadku obciążenia ruchomego
wybór zakładki <i>Deformacja</i> w oknie Wykresy włączenie opcji <i>Deformacja</i>	Wybór prezentacji deformacji konstrukcji dla wybranego przypadku obciążenia ruchomego
LKM w klawisz Zastosuj	Prezentacja wykresu momentu zginającego oraz deformacji konstrukcji; podobnie można przedstawiać wykresy innych wielkości dostępnych w oknie dialogowym Wykresy
<i>Obciążenia</i> / <i>Wybierz</i> <i>składową przypadku</i>	Otwarcie okna dialogowego Składowa przypadku
LKM w klawisz Animacja	Otwarcie okna dialogowego Animacja
LKM w klawisz Start	Rozpoczęcie animacji momentu zginającego i deformacji na konstrukcji
Stop (LKM w klawisz ) i zamknięcie paska do animacji	Zatrzymanie animacji
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Składowa przypadku
Wyłączenie opcji <i>Moment My</i> w oknie dialogowym Wykresy	
Wybór zakładki <i>Deformacja</i> w oknie Wykresy i wyłączenie opcji <i>Deformacja</i> , Zastosuj	

9.6.5. Linie wpływu

LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Model konstrukcji / Start	Przejdźcie na ekran START systemu Robot
--	---

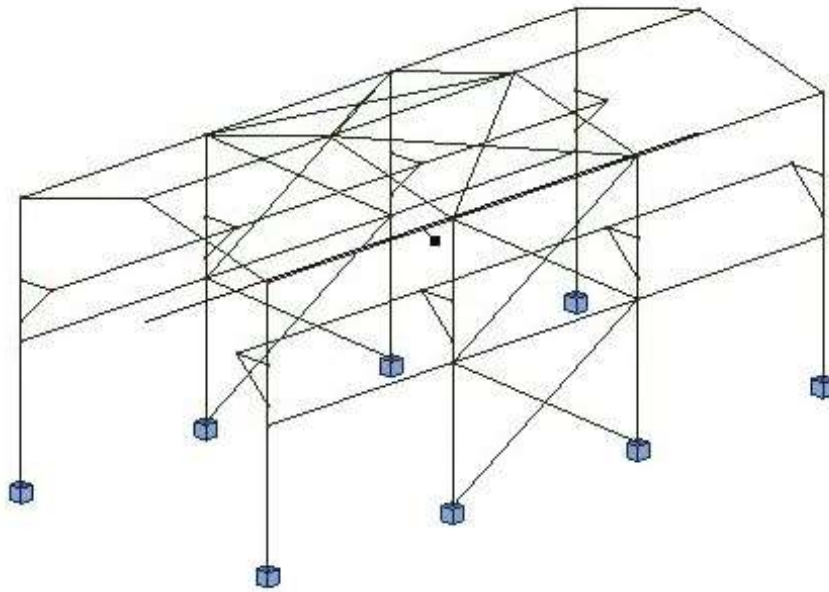
 <p>Wybór: 4 obciążenie suwnicą</p>	Wybór 4. przypadku obciążeniowego (obciążenie suwnicą)
<p><i>Rezultaty / Zaawansowane / Linia wpływu</i></p>	Otwarcie okna dialogowego Linie wpływu
<p>Na zakładce <i>NTM</i> okna dialogowego Linie wpływu włączyć dwie opcje: <i>My</i> i <i>Fz</i></p>	Wybór prezentacji momentu zginającego i siły tnącej dla przypadku obciążenia ruchomego
<p>LKM w pole <i>Element</i> i wpisanie {8}</p>	Wybór pręta, dla którego przedstawiane będą linie wpływu; pozycja punktu (równa 0.5) oznacza, że linia wpływu tworzona będzie dla punktu znajdującego się w połowie długości pręta
<p>Zastosuj</p>	Otwierane jest dodatkowe okno, w którym prezentowane są linie wpływu wybranych wielkości (patrz poniższy rysunek)
<p>Na zakładce <i>Węzły</i> okna dialogowego Linie wpływu włączyć dwie opcje: <i>Ux</i> i <i>Uz</i></p>	Wybór prezentacji przemieszczeń węzłowych dla przypadku obciążenia ruchomego
<p>LKM w pole <i>Węzeł</i> i wpisanie {2}</p>	Wybór węzła, dla którego przedstawiane będą linie wpływu
<p>Włączenie opcji <i>Otwórz nowe okno</i></p>	Wykresy linii wpływu dla węzła nr 2 prezentowane będą w nowym oknie
<p>Zastosuj</p>	Otwierane jest dodatkowe okno, w którym prezentowane są linie wpływu wybranych wielkości
<p>PKM będąc w oknie <i>Linia wpływu</i>, w którym prezentowane są linie wpływu dla węzła 2</p>	Otwarcie menu kontekstowego
<p><i>Dodaj współrzędne</i></p>	Wybór tej opcji powoduje, że w tabeli znajdującej się pod wykresami linii wpływu pojawią się dodatkowe kolumny zawierające współrzędne kolejnych punktów konstrukcji



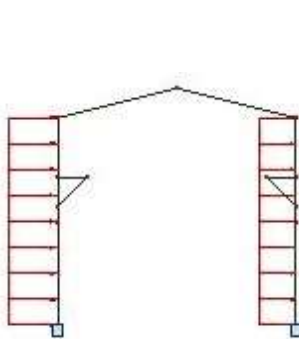
9.7. Hala przemysłowa (suwnica - obciążenie ruchome)

Poniższy przykład przedstawia definicję, analizę i wymiarowanie prostej hali przestrzennej przedstawionej na rysunku poniżej.

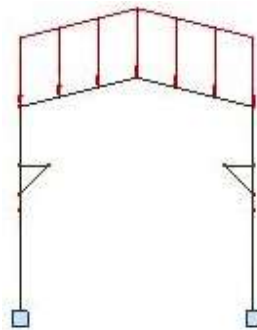
Jednostki użyte w przykładzie: (m) oraz (kN).



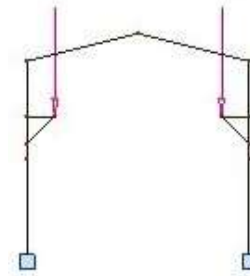
Rama obciążona została pięcioma przypadkami obciążenia; trzy z nich pokazano na rysunku poniżej.



PRZYPADEK 2



PRZYPADEK 4



PRZYPADEK 5

Podczas definiowania konstrukcji będą przestrzegane następujące zasady:





- prezentacja dowolnej ikony oznacza naciśnięcie tej ikony lewym klawiszem myszki,
 - (x) oznacza wybór opcji 'x' z okna dialogowego,
 - LKM i PKM - skróty oznaczające kliknięcie odpowiednio lewym i prawym klawiszem myszki.
- Aby rozpocząć definiowanie konstrukcji, uruchom system **Robot** (naciskając odpowiednią ikonę lub wybierając komendę z paska zadań). W okienku, które pojawi się po chwili na ekranie, należy wybrać





przedostatnią ikonę z pierwszego rzędu (**Projektowanie ramy przestrzennej**).


9.7.1. Definicja modelu konstrukcji

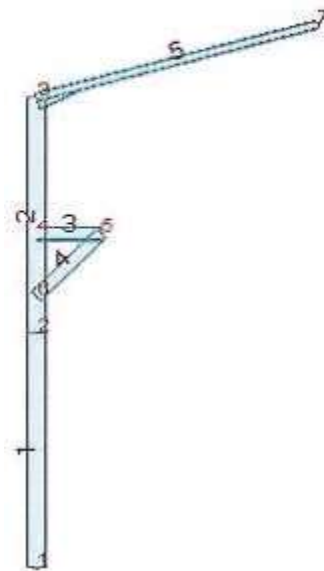
Definicja prętów w konstrukcji

WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
 Model konstrukcji / Pręty	Z listy dostępnych ekranów systemu Robot należy wybrać ekran PRĘTY
LKM w pole <i>Typ Pręta</i> i wybór typu pręta: <i>Słup</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> i wybór przekroju: IPE 600	Wybór charakterystyk pręta. <i>UWAGA:</i> Jeżeli profil IPE 600 nie jest dostępny na liście, należy nacisnąć klawisz  znajdujący się na wysokości opcji <i>Przekrój</i> . Na ekranie pojawi się okno dialogowe Nowy przekrój . Będąc na zakładce <i>Standardowe</i> w polu <i>Selekcja przekroju</i> wybrać następujące opcje: <i>Baza danych - Rpln_pro</i> <i>Rodzina - IPE</i> <i>Przekrój - IPE 600</i> Nacisnąć klawisze: Dodaj , a następnie Zamknij , co spowoduje dodanie przekroju IPE 600 do listy dostępnych przekrojów i zamknięcie okna dialogowego Nowy przekrój
LKM w pole <i>Początek</i> (kolor tła zostanie zmieniony na zielony)	Rozpoczęcie definiowania prętów w konstrukcji (słupów konstrukcji)
W polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> wpisać współrzędne początku i końca pręta: (-8,0,0) (-8,0,7) (-8,0,7) (-8,0,14)	Definicja słupa w konstrukcji
LKM w pole <i>Typ pręta</i> w oknie dialogowym Pręt , wybór typu pręta <i>Belka</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> i wybór przekroju: IPE 240	Rozpoczęcie definicji belki i wybór właściwości belki. <i>UWAGA:</i> Jeżeli profil IPE 240 nie jest obecny na liście dostępnych przekrojów, należy nacisnąć klawisz  , a następnie postąpić jak w przypadku profilu IPE 600
LKM w pole <i>Początek</i> (tło pola zmieni się na kolor zielony)	Rozpoczęcie definicji współrzędnych belki w konstrukcji
Wpisać współrzędne belki w polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> : (-8,0,10) (-6,0,10)	Definicja belki tworzącej wspornik podsuwnicowy
LKM w pole <i>Typ pręta</i> w oknie dialogowym Pręt , wybrać <i>Pręt</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> , wybrać CE 240	Rozpoczęcie definicji pręta i nadanie mu właściwości. <i>UWAGA:</i> Jeżeli profil CE 240 nie jest obecny na liście dostępnych przekrojów, należy nacisnąć klawisz  , a następnie postąpić jak wyżej

LKM w pole <i>Początek</i> (kolor tła zmieni się na zielony)	Rozpoczęcie definicji współrzędnych pręta w konstrukcji
Wpisać współrzędne pręta w polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> : (-8,0,8) (-6,0,10)	Definicja pręta
LKM w pole <i>Typ pręta</i> w oknie dialogowym Pręt , wybrać <i>Pręt</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> , wybrać HEB 240	Rozpoczęcie definicji pręta i nadanie mu właściwości. <i>UWAGA: Jeżeli profil HEB 240 nie jest obecny na liście dostępnych przekrojów, należy nacisnąć klawisz , a następnie postąpić jak wyżej</i>
LKM w pole <i>Początek</i> (kolor tła zmieni się na zielony)	Rozpoczęcie definicji współrzędnych pręta w konstrukcji
Wpisać współrzędne pręta w polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> : (-8,0,14) (0,0,16)	Definicja pręta
	Przywrócenie początkowego widoku konstrukcji


Definicja wzmocnień

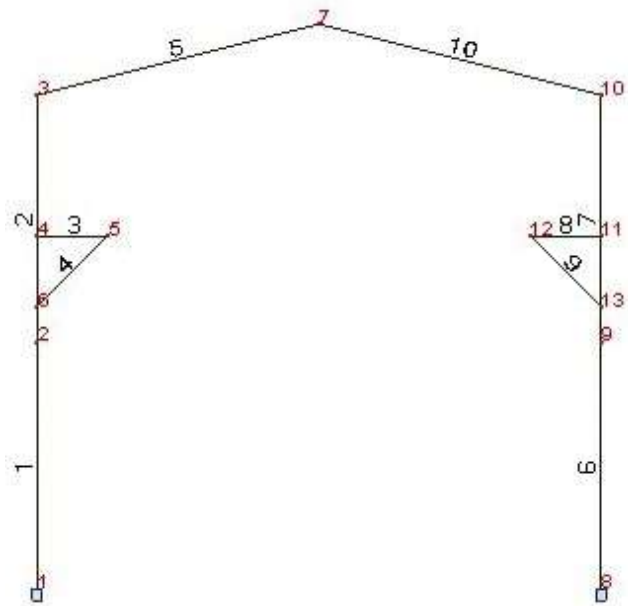
LKM w pole do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Start	Wybranie początkowego ekranu systemu Robot
<i>Geometria / Cechy dodatkowe / Wzmocnienia</i>	Otwarcie okna dialogowego Wzmocnienia pozwalającego na definicję wzmocnień węzłowych dla prętów konstrukcji
	Otwarcie okna dialogowego Nowe wzmocnienie
W polu <i>Długość (L)</i> wpisać wartość 0,15; pozostałe parametry bez zmian	Definicja długości wzmocnienia
Dodaj, Zamknij	Definicja nowego wzmocnienia, zamknięcie okna dialogowego Nowe wzmocnienie
LKM w pole <i>Pręty</i> , przejść na ekran graficzny i wybrać ostatnio zdefiniowany pręt (w polu <i>Pręty</i> powinien pojawić się numer 5)	Wybór pręta, któremu zostanie nadane wzmocnienie
Zastosuj, Zamknij	Nadanie wzmocnienia do wybranego pręta, zamknięcie okna dialogowego Wzmocnienia ; zdefiniowana konstrukcja została wyświetlona na poniższym rysunku



Definicja podpór w konstrukcji

LKM w pole do wyboru ekranów systemu Robot . Model konstrukcji / Podpory	Wybranie ekranu systemu Robot służącego do definicji podpór
W oknie dialogowym Podpory , LKM w pole <i>Aktualna selekcja</i> (na zakładce <i>Węzłowe</i>)	Wybranie węzłów konstrukcji, w których zostaną zdefiniowane podpory
Przejsć na ekran graficzny, trzymając lewy klawisz myszki wciśnięty zaznaczyć oknem dolny węzeł słupa	Wybrany węzeł nr 1 zostanie umieszczony w polu <i>Aktualna selekcja</i>
Z okna dialogowego Podpory wybrać ikonę przedstawiającą podporę utwierdzoną (zostanie ona podświetlona wraz z opisem)	Wybranie typu podpory
LKM w klawisz Zastosuj	Wybrany typ podpory zostanie nadany do wyselekcjonowanych węzłów konstrukcji
LKM w pole do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Start	Wybór początkowego ekranu systemu Robot
CTRL+A	Wybranie wszystkich węzłów i prętów konstrukcji

<i>Edycja / Edytuj / Lustro pionowe</i>	Otwarcie okna dialogowego Symetria pionowa , służącego do wykonywania symetrii pionowej wybranych uprzednio węzłów lub elementów tworzonej konstrukcji
Wybierz graficznie położenie pionowej osi symetrii ($x = 0$), LKM w klawisz Zamknij	Wykonanie lustrzanego odbicia wyselekcjonowanych węzłów i prętów oraz zamknięcie okna dialogowego Symetria pionowa
<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
Na zakładce <i>Model</i> zaznaczyć opcję <i>Podpory - symbole</i> LKM w klawisz OK	Włączenie tej opcji spowoduje, że na ekranie pojawią się symbole zdefiniowanych w konstrukcji podpór; zamknięcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
	Przywrócenie początkowego widoku w ten sposób, że cała konstrukcja mieści się na ekranie; zdefiniowana konstrukcja została przedstawiona na poniższym rysunku




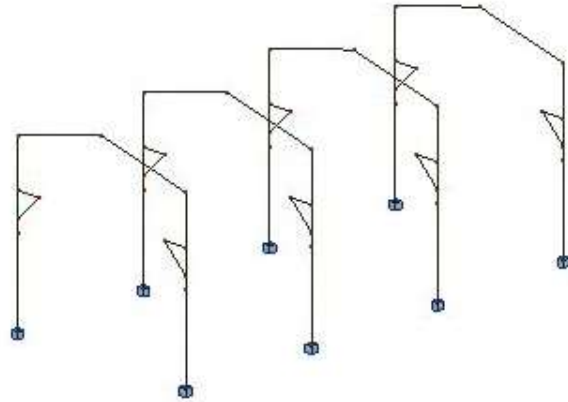
Definicja obciążenia przyłożonego do konstrukcji

LKM w pole do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Obciążenia	Rozpoczęcie definiowania obciążenia przyłożonego do konstrukcji. Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: ekran graficzny zawierający model konstrukcji, okno dialogowe Przypadki obciążeń i tabelę zawierającą opis przypadków obciążeń
LKM w klawisz Nowy w oknie dialogowym Przypadki obciążeń	Definicja obciążenia <i>ciężarem własnym</i> i nadanie mu standardowej nazwy STA1

LKM w pole <i>Natura</i> (<i>Wiatr</i>)	Wybranie przypadku obciążenia: <i>wiatr</i> . <i>UWAGA: Jeśli numer przypadku obciążenia nie zostanie zmieniony automatycznie, należy wpisać ręcznie numer (2)</i>
LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy	Utworzenie dwóch przypadków obciążenia o naturze <i>wiatr</i> , nadanie im standardowych nazw: <i>WIATR1</i> i <i>WIATR2</i>


LKM w pole <i>Natura</i> (<i>Śnieg</i>)	Wybranie przypadku obciążenia: <i>śnieg</i>
LKM w klawisz Nowy	Definicja przypadku obciążenia o naturze: <i>śnieg</i> , któremu zostanie nadana standardowa nazwa: <i>SN1</i>
	W pierwszym rzędzie tabeli automatycznie został nadany ciężar własny na wszystkich prętach konstrukcji (na kierunku „Z”)
LKM w drugie pole w kolumnie <i>Przypadek</i> w tabeli <i>Obciążenia</i> , wybrać 2-gi przypadek obciążenia <i>WIATR1</i> z listy dostępnych przypadków obciążenia	Definicja obciążenia dla drugiego przypadku obciążenia
LKM w drugie pole w kolumnie <i>Typ obciążenia</i> , wybrać typ obciążenia (<i>obciążenie jednorodne</i>)	Wybór typu obciążenia
LKM w drugie pole w kolumnie <i>Lista</i> , wybrać graficznie lewy słup	Wybór słupa do którego zostanie przyłożone <i>obciążenie jednorodne</i>
LKM w pole w kolumnie "px=", wpisać wartość: (2.0)	Wybór kierunku działania i wartości obciążenia jednorodnego
LKM w trzecie pole w kolumnie <i>Przypadek</i> , wybrać 2-gi przypadek obciążenia <i>WIATR1</i> z listy dostępnych przypadków obciążenia	Definicja następnego obciążenia dla drugiego przypadku
LKM w pole w kolumnie <i>Typ obciążenia</i> , wybrać typ obciążenia (<i>obciążenie jednorodne</i>)	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie <i>Lista</i> , wybrać graficznie prawy słup konstrukcji	Wybór prętów, do których zostanie przyłożone obciążenie <i>jednorodne</i>
LKM w pole w kolumnie "px=", wpisać wartość: (1.5)	Wybór kierunku działania i wartości obciążenia jednorodnego

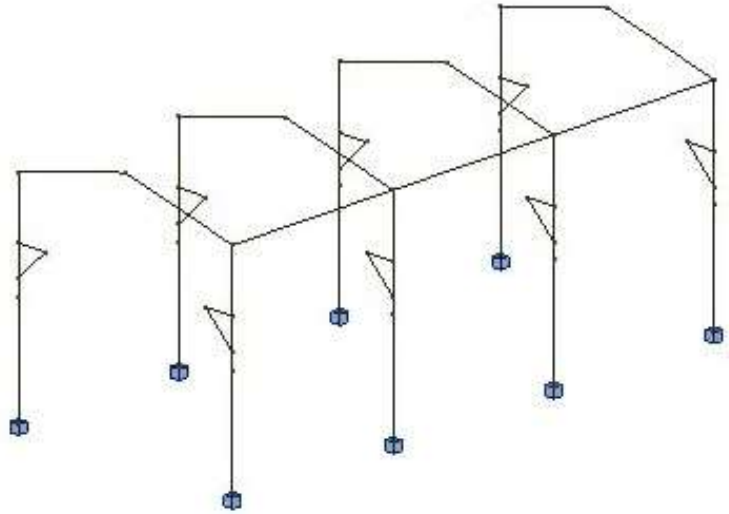
LKM w czwarte pole w kolumnie <i>Przypadek</i> , wybrać 4-ty przypadek obciążenia <i>SN1</i> z listy dostępnych przypadków obciążenia	Definicja obciążenia dla czwartego przypadku obciążenia
LKM w pole w kolumnie <i>Typ obciążenia</i> , wybrać typ obciążenia (<i>obciążenie jednorodne</i>)	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie <i>Lista</i> , wybrać graficznie belki dźwigara stalowego	Wybór prętów, do których zostanie przyłożone obciążenie jednorodne
LKM w pole w kolumnie "PZ=", wpisać wartość obciążenia: (-0,75)	Wybór kierunku działania i wartości <i>obciążenia jednorodnego</i>
LKM w okno graficzne z widokiem konstrukcji	
CTRL + A	Wybór wszystkich elementów konstrukcji
Podczas gdy ekran graficzny wraz z modelem konstrukcji jest aktywny, z górnego menu wybrać opcję <i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego <i>Translacja</i>
LKM w pole (dX, dY, dZ), wpisać współrzędne przesunięcia: (0,12,0)	Definicja wektora translacji
LKM w pole <i>Liczba powtórzeń</i> : (3)	Definicja liczby powtórzeń dla wykonywanej operacji przesunięcia
Wykonaj, Zamknij	Przesunięcie konstrukcji i zamknięcie okna dialogowego <i>Translacja</i>
LKM pole do wyboru ekranów systemu <i>Robot</i> Model konstrukcji / Start	Wybór początkowego ekranu systemu <i>Robot</i>
<i>Widok / Rzutowanie / 3d xyz</i>	Wybór aksonometrycznego widoku konstrukcji
	Przywrócenie początkowego widoku konstrukcji



Dodatkowe elementy konstrukcji (belki podłużne i podsuwnicowe, stężenia)

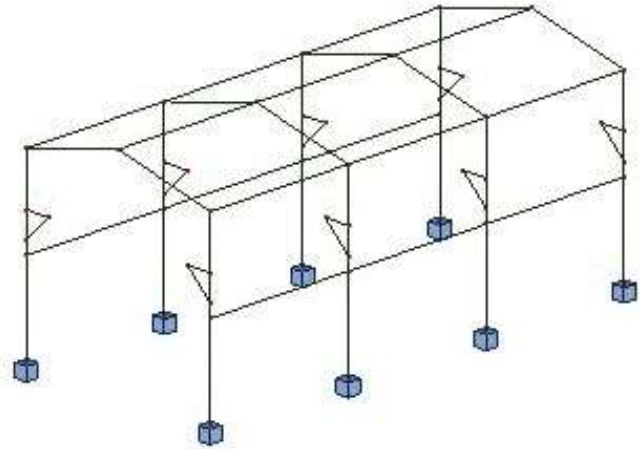
Belki podłużne - definicja

LKM pole do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Pręty	Wybór ekranu systemu Robot pozwalającego na definicję prętów
<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
Wyłączyć opcje: na zakładce <i>Węzły</i> : <i>Numerы węzłów</i> na zakładce <i>Pręty</i> : <i>Opis prętów</i> oraz <i>Symbole</i> Zastosuj, OK	Wyłączenie prezentacji numerów węzłów, numerów prętów i symboli profili prętów, zamknięcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
W oknie dialogowym Pręt LKM w pole <i>Typ pręta</i> , wybrać: <i>Belka</i> LKM w polu <i>Przekrój</i> , wybrać: (IPE 200)	Selekcja właściwości pręta. <i>UWAGA: Jeżeli profil IPE 200 nie jest dostępny na liście, należy nacisnąć klawisz , a następnie dodać profil do listy</i>
LKM w pole <i>Początek</i> (kolor tła zmieni się na zielony)	Rozpoczęcie definicji prętów konstrukcji
Wpisać następujące współrzędne w polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> : (8,0,14) (8,12,14) (8,12,14) (8,24,14) (8,24,14) (8,36,14)	Definicja belki podłużnej (rysunek poniżej)



Zaznaczenie ostatnio zdefiniowanych prętów belki podłużnej
Otwarcie okna dialogowego Translacja
Definicja wektora translacji
Przesunięcie konstrukcji (przesunięte elementy konstrukcji zostaną podświetlone)
Definicja nowego wektora translacji
Przesunięcie zaznaczonych elementów konstrukcji
Definicja nowego wektora translacji
Przesunięcie zaznaczonych elementów konstrukcji
Definicja nowego wektora translacji

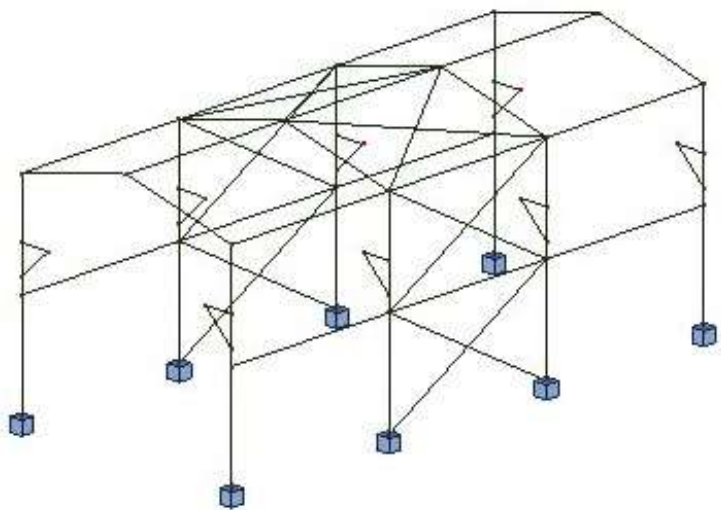
Przesunięcie konstrukcji i zamknięcie okna dialogowego **Translacja**; zdefiniowana konstrukcja została pokazana na poniższym rysunku







Stężenia - definicja

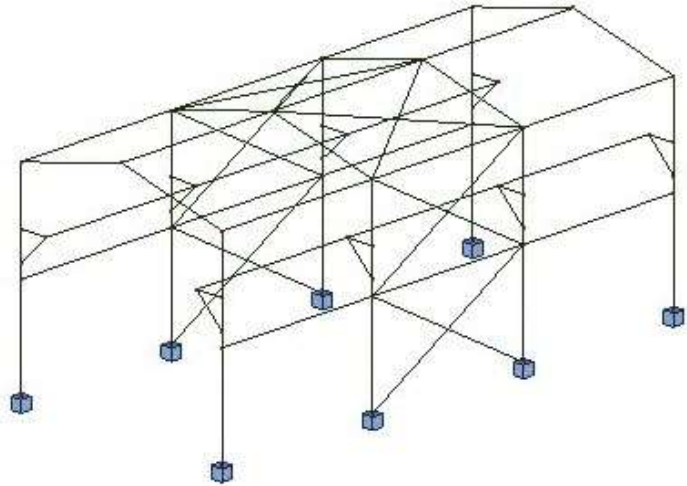
LKM w pole <i>Typ pręta</i> , wybrać <i>Pręt</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> i wybrać: CE 240	Wybór właściwości pręta
LKM w pole <i>Początek</i> (kolor zmieni się na zielony) (8,12,0) (8,24,7) (8,12,7) (8,24,0)	Definicja stężeń
LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Start	Wybór początkowego ekranu systemu Robot
Wybrać zdefiniowane pręty stężeń - trzymając wciśnięty klawisz CTRL	
<i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego Translacja
LKM w pole (dX, dY, dZ), (0,0,7)	Definicja wektora translacji
Wykonaj	Przesunięcie wybranych prętów

Przejdź do ekranu graficznego z widokiem konstrukcji, otworzyć menu kontekstowe klikając PKM. Wybrać opcję <i>Zaznacz</i> (menu kontekstowe zostanie zamknięte); zaznaczyć ostatnio zdefiniowane cztery pręty trzymając wciśnięty klawisz CTRL	Zaznaczenie ostatnio zdefiniowanych czterech prętów
LKM w pole (dX, dY, dZ), (-16,0,0)	Definicja wektora translacji
Wykonaj, Zamknij	Przesunięcie prętów i zamknięcie okna dialogowego Translacja
LKM pole do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Pręty	Wybór ekranu systemu Robot pozwalającego na definicję prętów
W oknie dialogowym Pręt LKM w pole <i>Typ pręta</i> , wybrać Pręt LKM w pole <i>Przekrój</i> i wybrać: CE 240	Wybór właściwości pręta
LKM w pole <i>Początek</i> (kolor tła zmieni się na zielony) (8,12,14) (0,24,16) (0,12,16) (8,24,14) (-8,12,14) (0,24,16) (-8,24,14) (0,12,16)	Definicja stężeń połączeniowych



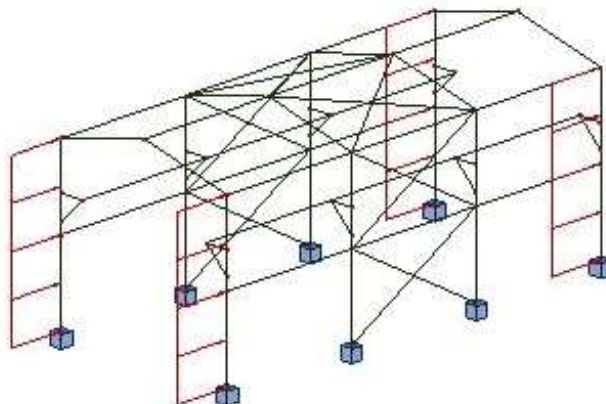
Belka podsuwnicowa - definicja

LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Start	Wybór początkowego ekranu systemu Robot
	Otwarcie okna dialogowego Przekroje
	Otwarcie okna dialogowego Nowy przekrój
Wybrać ikonę  znajdującą się na zakładce <i>Parametryczny</i>	Definicja przekroju użytkownika o standardowo nadanej nazwie <i>IASYM_1</i>
W polu <i>Wymiary</i> wpisać: b1 = 40, h = 55, b2 = 25, tw = 1.5, tf1 = 1.5, tf2 = 1.5 Dodaj, Zamknij	Definicja wymiarów przekroju użytkownika. Zamknięcie okna dialogowego Nowy przekrój . Przekrój zdefiniowany przez użytkownika pojawi się na liście aktywnych profili w oknie dialogowym Przekrój
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Przekroje
	Otwarcie okna dialogowego Pręt
LKM w pole <i>Typ pręta</i> , wybrać: <i>Belka</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> , wybrać: (<i>IASYM_1</i>)	Wybór właściwości pręta
LKM w pole <i>Początek</i> (kolor tła zmienić na zielony) (6,0,10) (6,36,10)	Definicja belki podsuwnicowej
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Pręt
Wybrać ostatnio zdefiniowany pręt (belka podsuwnicowa)	
<i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego Translacja
LKM w pole (dX, dY, dZ), (-12,0,0)	Definicja wektora translacji
Wykonaj, Zamknij	Przesunięcie pręta, zamknięcie okna dialogowego Translacja





Definicja dodatkowych obciążeń

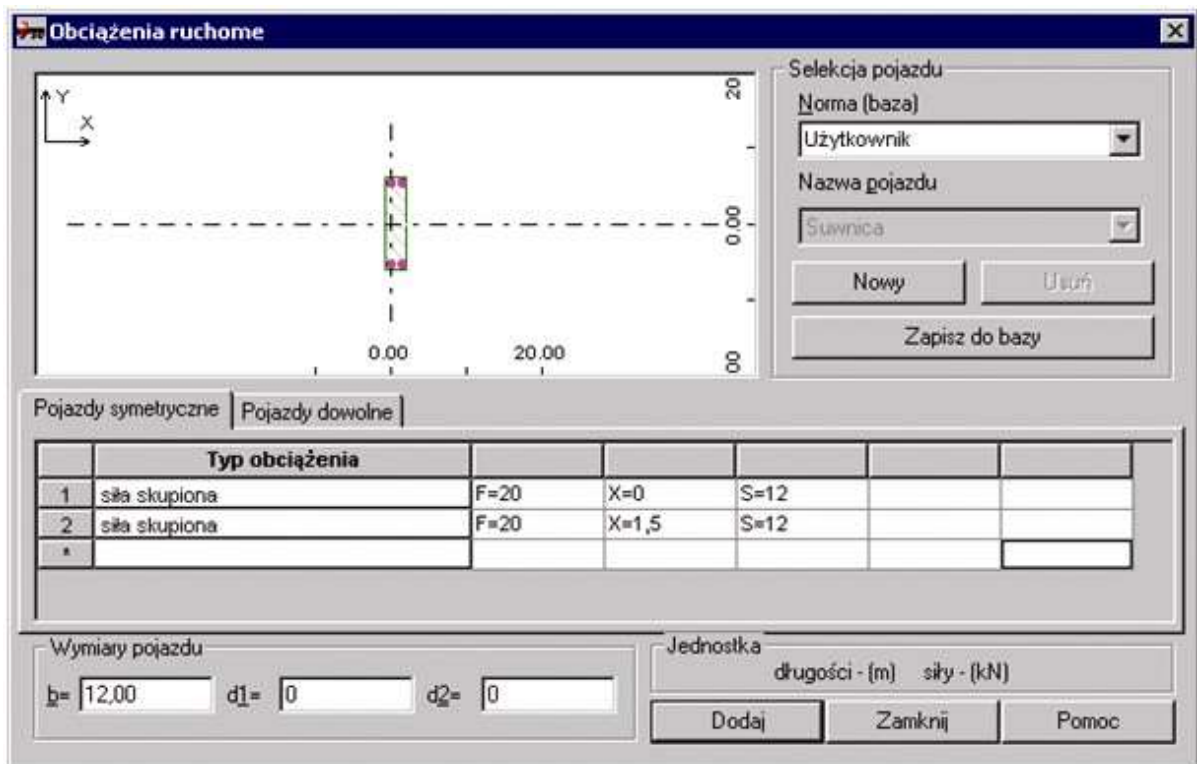
LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Obciążenia	Wybór ekranu systemu Robot umożliwiającego definicję obciążenia przyłożonego do modelu konstrukcji
LKM w piąte pole w kolumnie <i>Przypadek</i> w tabeli <i>Obciążenia</i> , wybrać 3-ci przypadek obciążenia <i>WIATR2</i> z listy dostępnych przypadków obciążenia	Definicja natury obciążenia piątego przypadku dla obciążenia
LKM w piąte pole w kolumnie <i>Typ obciążenia</i> , wybrać typ obciążenia (<i>obciążenie jednorodne</i>)	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie <i>Lista</i> , wybrać narożne słupy konstrukcji	Wybranie słupów, do których zostanie przyłożone obciążenie <i>jednorodne</i>
LKM w pole w kolumnie "py=", wpisać wartość : (3.0)	Wybór kierunku działania i wartości obciążenia jednorodnego
LKM w ekran graficzny z widokiem konstrukcji	Zdefiniowane obciążenie przedstawiono na poniższym rysunku



Definicja obciążenia ruchomego

LKM w okno do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Start	Przejsięcie do początkowego ekranu systemu Robot
<i>Narzędzia / Preferencje zadania / Katalogi / Obciążenia pojazdami</i>	Otwarcie okna dialogowego Preferencje zadania
	Naciśnięcie ikony <i>Utwórz nową bazę użytkownika</i> umieszczonej w górnej części okna dialogowego Preferencje zadania , spowoduje otwarcie okna dialogowego Nowe obciążenie ruchome
Wpisać: w polu <i>Katalog - Użytkownik</i> w polu <i>Nazwa katalogu</i> - Katalog użytkownika w polu <i>Opis katalogu</i> - Pojazdy zdefiniowane przez użytkownika w polu <i>Jednostki wewnętrzne katalogu</i> wybrać (kN) jako <i>Jednostkę siły</i> i (m) jako <i>Jednostkę długości</i>	
Utwórz	Zamknięcie okna dialogowego Nowe obciążenie ruchome
OK	Zamknięcie okna dialogowego Preferencje zadania
<i>Obciążenia / Obciążenia specjalne / Ruchome</i>	Otwarcie okna dialogowego Obciążenia ruchome
	Otwarcie okna dialogowego Obciążenia ruchome służącego do definiowania nowego obciążenia ruchomego
Na zakładce <i>Pojazdy symetryczne</i> LKM w klawisz Nowy	Otwarcie okna dialogowego Nowy pojazd

Wpisać nazwę pojazdu: <i>Suwnica</i> OK	Definicja nazwy dla nowego pojazdu i zamknięcie okna dialogowego Nowy pojazd
LKM w pierwszą linię w tabeli umiejscowionej w dolnej części okna dialogowego Obciążenia ruchome	Definicja działających sił
Wybór typu obciążenia: <i>siła skupiona</i>	Selekcja typu obciążenia
F = 20; X = 0; S = 12	Definicja wartości i położenia siły skupionej
LKM w drugą linię w tabeli umiejscowionej w dolnej części okna dialogowego Obciążenie ruchome	Definicja działających sił
Wybór typu obciążenia: <i>siła skupiona</i>	Selekcja typu obciążenia
F = 20; X = 1.5; S = 12	Definicja wartości i położenia siły skupionej




Otwarcie okna dialogowego **Katalogi obciążeń ruchomych**

Zapisanie zdefiniowanego pojazdu do bazy pojazdów użytkownika

Dodaj, Zamknij	Dodanie zdefiniowanego pojazdu do listy aktywnych pojazdów zamknięcie okna Obciążenia ruchome
W polu <i>Nazwa</i> , wpisać nazwę obciążenia ruchomego (numer przypadku obciążenia 5): <i>Obciążenie suwnicą</i>	Zdefiniowanie nazwy obciążenia ruchomego
LKM w klawisz Definiuj	Rozpoczęcie definicji toru po którym poruszać się będzie obciążenie ruchome; zostanie otwarte okno dialogowe Polilinia - kontur . Wybrać opcję <i>Linia</i>
W zakładce <i>Geometria</i> zdefiniuj dwa punkty określające tor, po którym będzie się poruszać obciążenie ruchome: Punkt P1 (0,0,10) Punkt P2 (0,36,10)	Definicja toru pojazdu
Zastosuj, Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Polilinia - kontur
LKM w polu <i>Krok</i> : {1} pozostawić włączone wartości domyślne określające kierunek obciążenia (0,0,-1). Oznacza to, iż kierunek działania obciążenia będzie równoległy do osi Z, a zwrot będzie przeciwny do zwrotu osi Z	Definicja kroku, z którym porusza się pojazd i kierunku działania obciążenia ruchomego
LKM w opcję <i>Automatyczna</i> w polu <i>Płaszczyzna przyłożenia</i>	Wybór płaszczyzny przyłożenia obciążenia ruchomego
LKM w klawisz Parametry	Otwarcie okna dialogowego Parametry drogi
LKM w pole w kolumnach: współcz. HP i współcz. HL wpisać wartość 0.2	Definicja współczynników skalujących siłę poprzeczną H z prawej strony HP i z lewej HL. Współczynniki te pozwalają na przemnożenie wartości obciążenia (siły skupionej) tak by można było uwzględnić wpływ siły poprzecznej od przejazdu suwnicy
LKM w pole w kolumnach: współcz. LP i współcz. LL wpisać wartość 0.1	Definicja współczynników skalujących podłużną siłę poziomą L z prawej strony LP i z lewej LL. Współczynniki te pozwalają na przemnożenie wartości obciążenia (siły skupionej) tak by można było zamodelować siły obliczeniowe wynikające z hamowania suwnicy

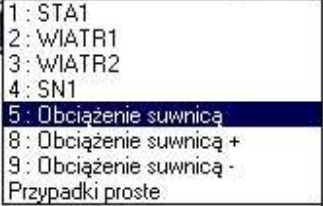

Włączyć następujące opcje: <i>Ograniczenie położenia pojazdu - początek</i> <i>Ograniczenie położenia pojazdu - koniec</i>	Włączenie tych opcji zapewni spowoduje, że siły określające obciążenie ruchome nie znajdą się poza granicami toru określającego ruch obciążenia ruchomego
OK	Zamknięcie okna dialogowego Parametry drogi
Zastosuj, Zamknij	Dodanie nowego przypadku obciążenia Obciążenie suwnicą zamknięcie okna dialogowego Obciążenie ruchome

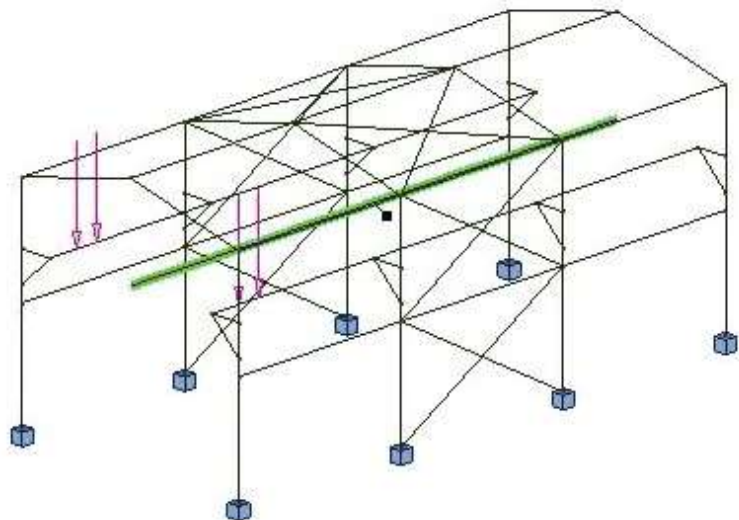
9.7.2. Analiza konstrukcji

<i>Narzędzia / Preferencje zadania</i>	Otwarcie okna dialogowego Preferencje zadania
<i>Analiza konstrukcji</i>	Wybór opcji <i>Analiza konstrukcji</i> z drzewka okna dialogowego
<i>Metody rozwiązywania układu równań: Iteracyjna</i>	Wybór iteracyjnej metody rozwiązywania układu równań dla zdefiniowanej konstrukcji
Wyłączyć opcję <i>Automatyczne zamrażanie wyników obliczeń konstrukcji</i>	Wyłączenie zamrażania wyników obliczeń konstrukcji
OK	Zaakceptowanie przyjętych parametrów i zamknięcie okna dialogowego Preferencje zadania
	Rozpoczęcie obliczeń zdefiniowanej konstrukcji. Kiedy obliczenia zostaną zakończone w górnym pasku systemu Robot zostanie wyświetlona następująca informacja: Wyniki MES: aktualne

Wizualizacja przypadku obciążenia ruchomego

<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
Na zakładce <i>Obciążenia</i> włączyć opcję: <i>Obciążenia ruchome - pojazd</i> OK	Wizualizacja zdefiniowanego obciążenia ruchomego na konstrukcji; zamknięcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów

 <p>1 : STA1 2 : WIATR1 3 : WIATR2 4 : SN1 5 : Obciążenie suwnicą 8 : Obciążenie suwnicą + 9 : Obciążenie suwnicą - Przypadki proste</p>	Wybranie 5 - ego przypadku obciążenia (Obciążenie suwnicą)
Obciążenia / Wybierz składową przypadku	Otwarcie okna dialogowego Składowa przypadku
Ustawić opcję: Składowa aktualna na 1	Wybranie 1-szej składowej obciążenia ruchomego
LKM w klawisz Animacja	Otwarcie okna dialogowego Animacja
LKM w klawisz Start	Rozpoczęcie animacji obciążenia ruchomego przyłożonego do konstrukcji. Pojazd będzie się poruszał wzdłuż zdefiniowanego wcześniej toru. W trakcie prezentacji animacji na ekranie pojawia się pasek narzędziowy umożliwiający zatrzymanie, wznowienie odtwarzania animacji, przewinięcie animacji itp.
Zatrzymać animację wciskając klawisz  ; zamknąć pasek służący do prezentacji animacji	Zatrzymanie prezentacji animacji
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Składowa przypadku



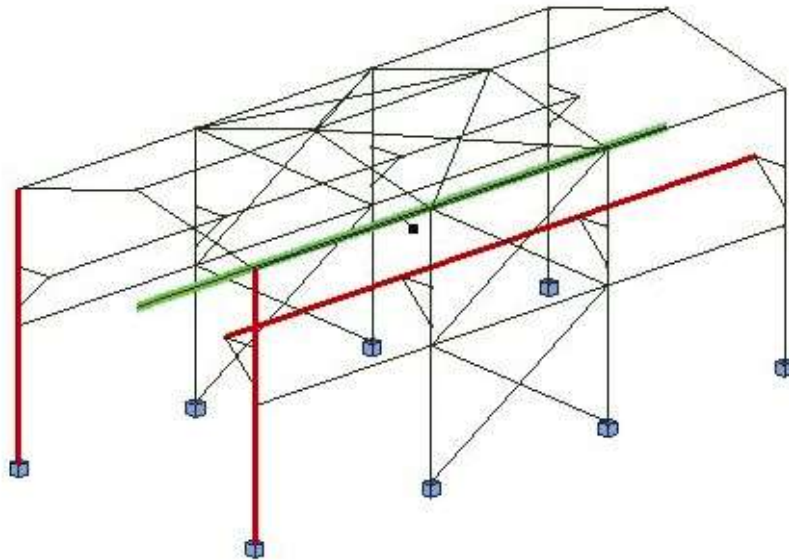
Otwarcie ekranu REZULTATY systemu Robot . Ekran zostanie podzielony na trzy części: ekran graficzny zawierający model konstrukcji, okno dialogowe Wykresy oraz tabelę z wartościami reakcji
Wybranie piątego przypadku obciążenia (<i>obciążenie suwnicą</i>)
Wybranie deformacji modelu konstrukcji (dla konkretnego przypadku obciążenia), której wykres zostanie przedstawiony
Prezentacja deformacji konstrukcji; istnieje również możliwość prezentacji innych wartości dostępnych w oknie dialogowym Wykresy
Otwarcie okna dialogowego Składowa przypadku
Otwarcie okna dialogowego Animacja
Przygotowanie animacji wybranej wielkości na podstawie podanych parametrów i rozpoczęcie wykonywania animacji
Zatrzymanie prezentacji animacji
Zamknięcie okna dialogowego Składowa przypadku
Wyłączenie prezentacji deformacji modelu konstrukcji

9.7.3. Wymiarowanie konstrukcji

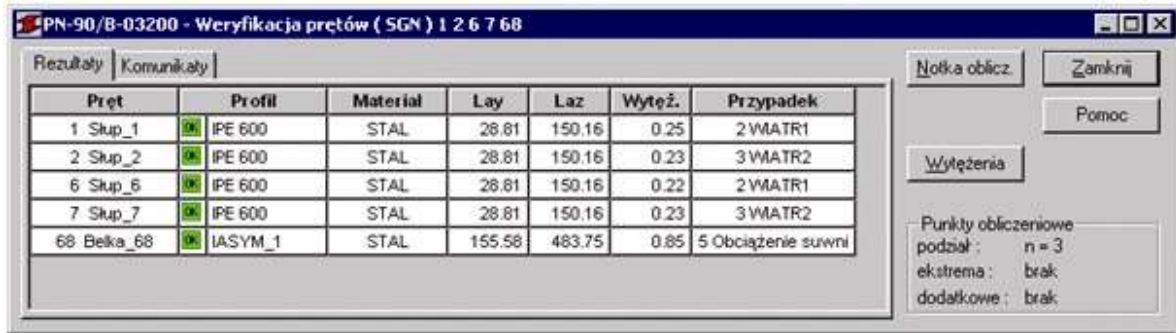
Polska norma stalowa: PN90/B-03200

LKM w pole służące selekcji ekranów systemu Robot Wymiarowanie / Wymiarowanie stali/aluminium	Rozpoczęcie wymiarowania stalowych elementów konstrukcji. Ekran zostanie podzielony na trzy części: ekran graficzny zawierający model konstrukcji, okna dialogowe: Definicje oraz Obliczenia
--	--

LKM w klawisz Lista znajdujący się w oknie dialogowym Obliczenia na wysokości pola <i>Weryfikacja prętów</i>	Otwarcie okna dialogowego Selekcja prętów
Wpisać numery prętów: 1, 2, 6, 7 (słupy), 68 (belka podsuwnicowa) w polu znajdującym się powyżej klawisza Poprzednia , Zamknij (patrz rysunek poniżej)	Wybór prętów, które zostaną zweryfikowane
LKM w klawisz Lista w polu <i>Obciążenia</i> znajdujące się w oknie dialogowym Obliczenia	Otwarcie okna dialogowego Selekcja przypadków
LKM w klawisz Wszystko , Zamknij	Wybranie wszystkich przypadków obciążenia
W polu <i>Stan graniczny</i> włączyć opcję <i>Nośność</i> , natomiast wyłączyć opcję <i>Użytkowanie</i>	Wybranie tej opcji powoduje, że obliczenia prętów będą prowadzone dla stanu granicznego nośności



LKM w klawisz Obliczenia	Rozpoczęcie weryfikacji wybranych prętów konstrukcji; na ekranie pojawi się okno dialogowe pokazane na rysunku poniżej
---------------------------------	--



LKM w pole zawierające dostępne wyniki obliczeń dla pręta nr 2	Otwarcie okna dialogowego Wyniki dla wybranego pręta
LKM w zakładkę Wyniki uproszczone	Wyświetlenie wyników obliczeniowych dla pręta nr 2 (rysunek poniżej)



OK	Zamknięcie okna dialogowego Wyniki
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Weryfikacja prętów
Zapisz	Zapisanie wyników obliczeń i zamknięcie okna dialogowego Archiwizacja wyników obliczeń


LKM w klawisz Nowy na zakładce <i>Grupy</i> w oknie dialogowym Definicje	Przejsie na zakładkę umożliwiającą definicję grup prętów
Zdefiniować pierwszą grupę o następujących parametrach: Numer: 1 Nazwa: Słupy Lista prętów: LKM w ekran graficzny; wybrać wszystkie słupy trzymając klawisz CTRL wciśnięty Materiał: Stal	Definicja pierwszej grupy prętów zawierającej wszystkie słupy w konstrukcji
Zapisz	Zapisanie parametrów pierwszej grupy prętów
Przejsie na ekran graficzny, a następnie wybrać z menu górnego <i>Widok / Rzutowanie / Zx 3d</i>	Wybranie tej opcji spowoduje, że konstrukcja prezentowana będzie jako przestrzenna, ale ustawiona w ten sposób, że widoczna jest w płaszczyźnie ZX
<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów

Na zakładce <i>Pręty</i> wyłączyć opcję <i>Opis prętów/Numery prętów</i> LKM w klawisz OK	Wyłączenie prezentacji numerów prętów na ekranie; zamknięcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
LKM w klawisz Nowy na zakładce <i>Grupy</i> w oknie dialogowym Definicje	Wybranie tej opcji umożliwia definicję kolejnej grupy prętów
Zdefiniować parametry drugiej grupy prętów : Numer: 2 Nazwa: Krokwie Materiał: Stal	Definicja parametrów drugiej grupy prętów
LKM w opcję <i>Lista prętów</i> . Przejsie na ekran graficzny i wybrać oknem wszystkie krokwie	Wybranie prętów dźwigara stalowego
<i>Widok / Rzutowanie / 3D xyz</i>	Ustawienie aksonometrycznego widoku konstrukcji. <i>UWAGA: Oprócz krokwi zostały wybrane inne pręty konstrukcji (pręty stężeń i belek podłużnych). Aby selekcja zawierała tylko pręty dźwigara stalowego, należy w ekranie graficznym, trzymając wciśnięty klawisz CTRL, zaznaczyć pręty nie będące elementami krokwi co spowoduje, że te pręty nie będą występowały w selekcji</i>
Zapisz	Zapisanie parametrów drugiej grupy prętów

LKM w klawisz Lista znajdujący się na wysokości linii <i>Wymiarowanie grup</i> w oknie dialogowym Obliczenia	Otwarcie okna dialogowego Selekcja grup
LKM w klawisz Wszystko (znajdujący się ponad klawiszem Poprzednia), pojawi się lista 1 2 Zamknij	Wybór grup prętów, które będą projektowane
LKM w klawisz Lista w polu <i>Obciążenia</i> znajdujące się w oknie dialogowym Obliczenia	Otwarcie okna dialogowego Selekcja przypadków
LKM w klawisz Wszystko (znajdujący się ponad klawiszem Poprzednia), w polu edycyjnym pojawi się lista 1do5 8 9, Zamknij	Wybór wszystkich przypadków obciążenia
Uaktywnić opcję: <i>Optymalizacja</i> w polu <i>Opcje weryfikacyjne</i> oraz opcję: <i>Nośność</i> w polu <i>Stan graniczny</i>	
Nacisnąć klawisz Opcje , a następnie włączyć opcję: <i>Ciężar</i>	Otwarcie okna dialogowego Opcje optymalizacyjne . Wybór opcji optymalizacyjnej ciężar spowoduje, że optymalizacja uwzględniac będzie ciężar profilu powodując wyszukiwanie wśród profili spełniających kryteria normowe profilu najbliższego w danej grupie
OK	Zamknięcie okna dialogowego Opcje optymalizacyjne
LKM w klawisz Obliczenia	Rozpoczęcie wymiarowania wybranych grup prętów konstrukcji; na ekranie pojawia się okno Rezultatów skróconych pokazane poniżej

Pręt	Profil	Material	Lay	Laz	Wyteż.	Przypadek
Grupa: 1 Słupy						
31 Słup_31	HEB 330	STAL	51.05	197.30	1.00	2 WMATR1
	HEB 360		46.79	185.08	0.79	
	HEB 400		42.31	177.11	0.62	
Grupa: 2 Krokwie						
35 Pręt_35	HEB 120	STAL	152.61	269.33	0.72	2 WMATR1
	HEB 140		129.90	230.35	0.48	
	HEB 160		113.70	203.55	0.33	

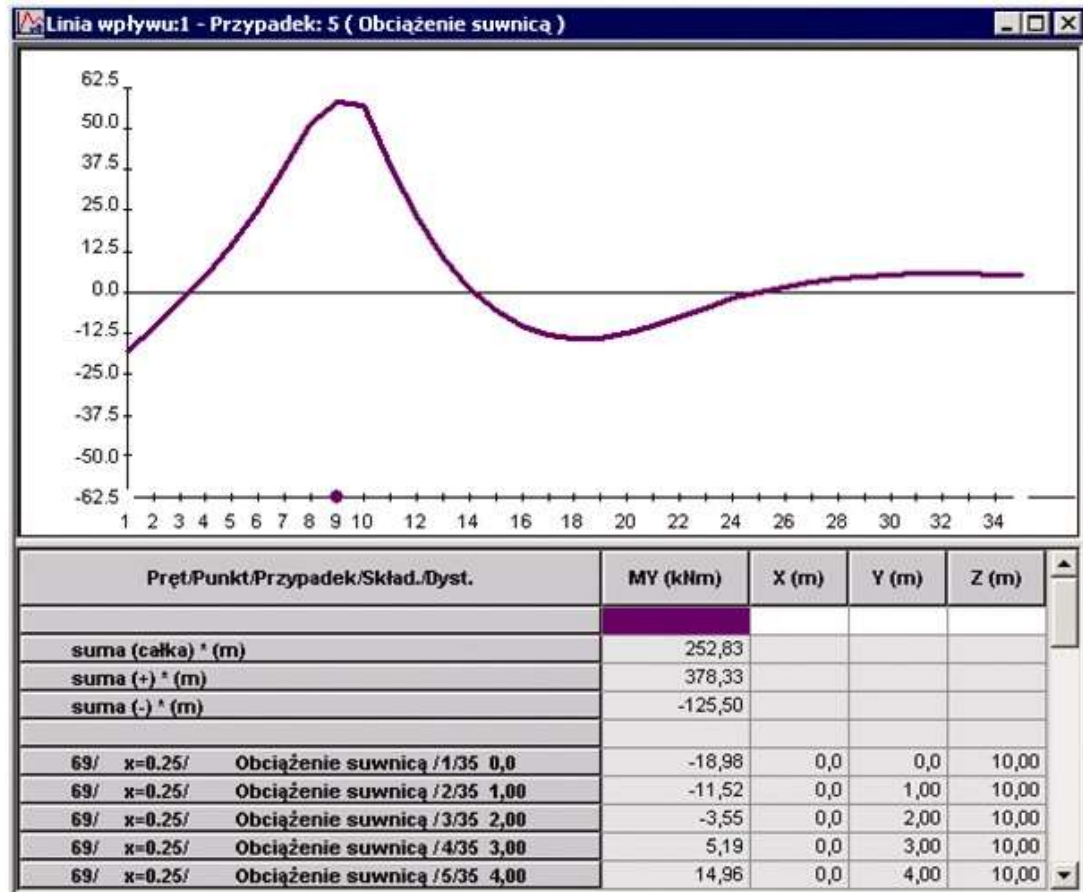
Notka oblicz Zamknij
 Pomoc
 Zmierz\W/sz.
 Punkty obliczeniowe
 podział: n = 3
 ekstrema: brak
 dodatkowe: brak

LKM w klawisz Zmień Wsz. Znajdujący się w oknie pokazanym na rysunku powyżej	Zamiana aktualnych profili prętów dla obydwu grup prętów na obliczone profile (dla słupów z IPE 600 na IPE 360, dla krokwi z HEB 240 na HEB 140). Po zamianie profili prętów w górnym pasku programu Robot prezentowana będzie następująca informacja: <i>Wyniki MES - nieaktualne</i>
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Wymiarowanie grup prętów
Anuluj	Anulowanie zapisu wyników obliczeń i zamknięcie okna dialogowego Archiwizacja wyników obliczeń
	Ponowne obliczenia konstrukcji dla zmienionych profili prętów. Po zakończeniu obliczeń w górnym pasku programu Robot prezentowana będzie następująca informacja: <i>Wyniki MES - aktualne</i>

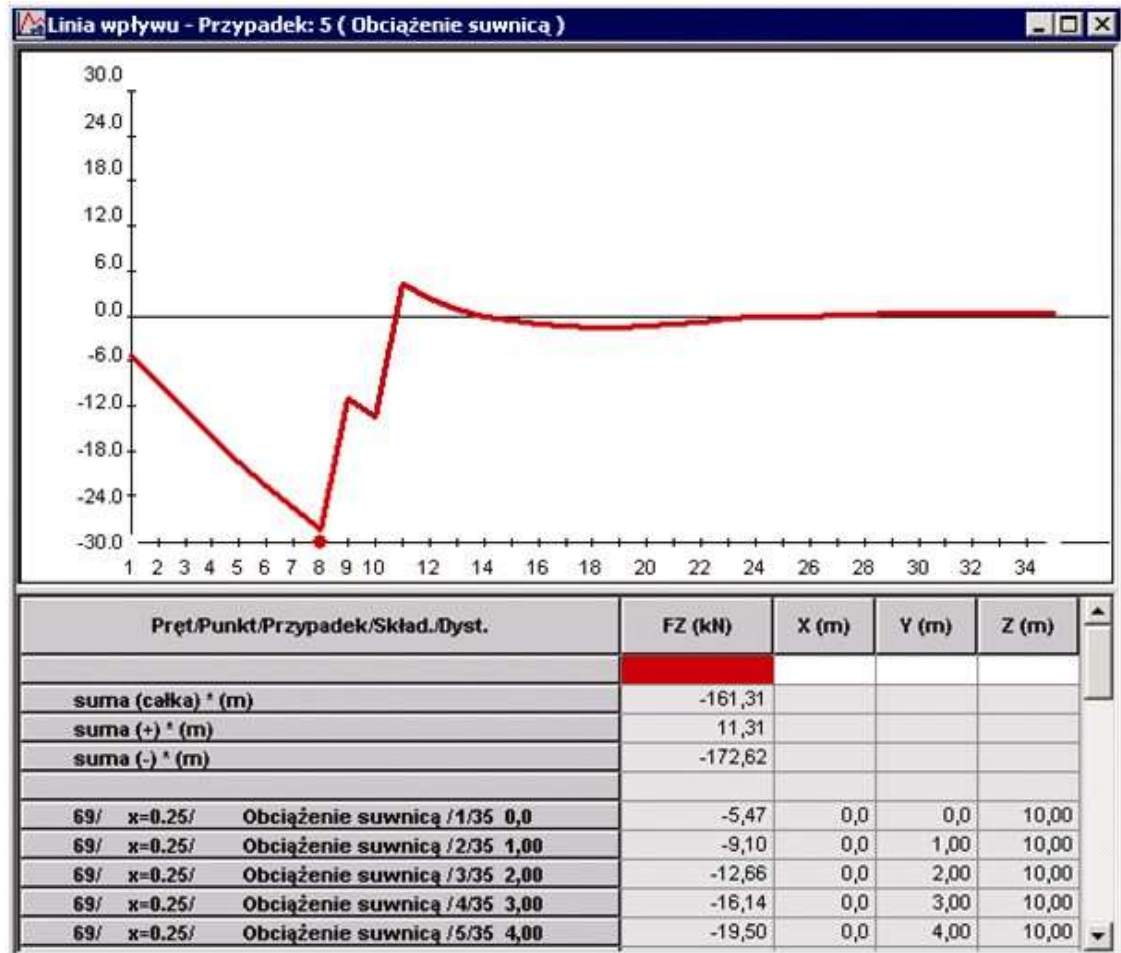
9.7.4. Linia wpływu

LKM w okno do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Start	Przejsięcie do początkowego ekranu systemu Robot
<i>Rezultaty / Zaawansowane / Linia wpływu</i>	Otwarcie okna dialogowego Linie wpływu
W oknie dialogowym Linie wpływu na zakładce NTM włączyć opcję: <i>My</i> Z listy przypadków obciążeń wybrać Obciążenie suwnicą	Wybór momentu zginającego <i>My</i> oraz przypadku obciążenia ruchomego. UWAGA: Linia wpływu może być utworzona tylko dla przypadku obciążenia ruchomego
LKM w pole <i>Element</i> , wybrać graficznie belkę podsuwnicową (belka nr 68)	Wybór pręta (belki podsuwnicowej), dla której program zaprezentuje linię wpływu
LKM w pole <i>Pozycja</i> wpisać wartość 0.25	Wybranie współrzędnej względnej punktu znajdującego się na elemencie, dla którego tworzona będzie linia wpływu
Włączyć opcję <i>otwórz nowe okno</i>	Włączenie tej opcji spowoduje pojawienie się na ekranie nowego okna, w którym prezentowane będą linie wpływu wybranych wielkości
Zastosuj	Otwarcie dodatkowego okna, w którym program wygeneruje linię wpływu wybranej wielkości
PKM w okno ukazujące linię wpływu	Otwarcie menu kontekstowego

Dodaj współrzędne	Wyświetlenie dodatkowych kolumn zawierających współrzędne kolejnych punktów (zobacz rysunek poniżej)
-------------------	--

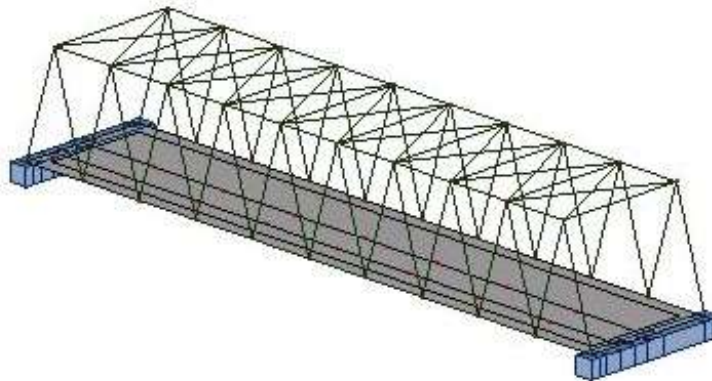


Na zakładce <i>NTM</i> wyłączyć opcję <i>My</i> , a włączyć opcję: <i>Fz</i>	Wybór wielkości dla której program stworzy linię wpływu
Włączyć opcję: <i>otwórz nowe okno Zastosuj</i>	Otwarcie nowego okna w którym zostanie pokazana linia wpływu dla siły <i>FZ</i>
PKM w okno ukazujące linię wpływu dla wybranej wielkości	Otwarcie menu kontekstowego
<i>Dodaj współrzędne</i>	Wyświetlenie dodatkowych kolumn zawierających współrzędne kolejnych punktów (zobacz rysunek poniżej)

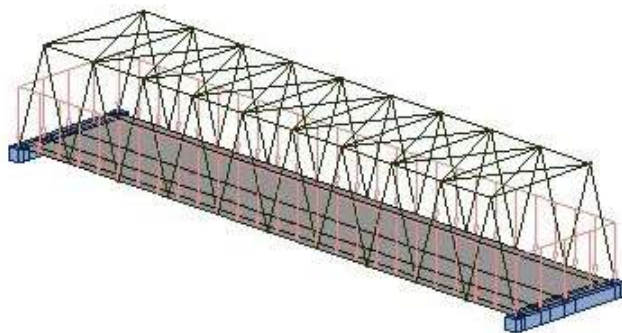


9.8. Most (obciążenie ruchome i analiza czasowa)

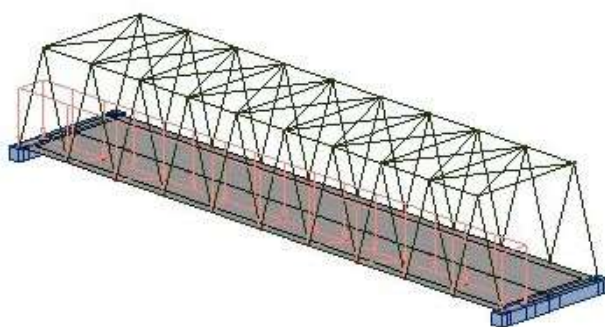
W przykładzie pokazano definicję, analizę i wymiarowanie jednoprzęsłowego mostu kratownicowego z jazdą dołem (rysunek poniżej). Jednostki użyte w zadaniu: (m) i (kN).



Do konstrukcji przyłożono osiem przypadków obciążenia; sześć z nich pokazano poniżej.

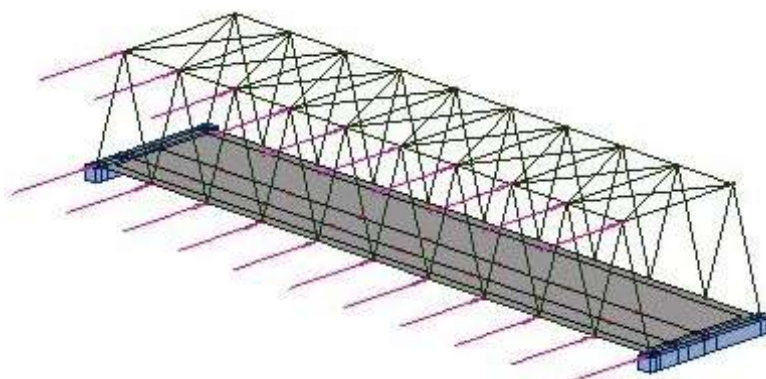


Przypadek 2 - EKSP1

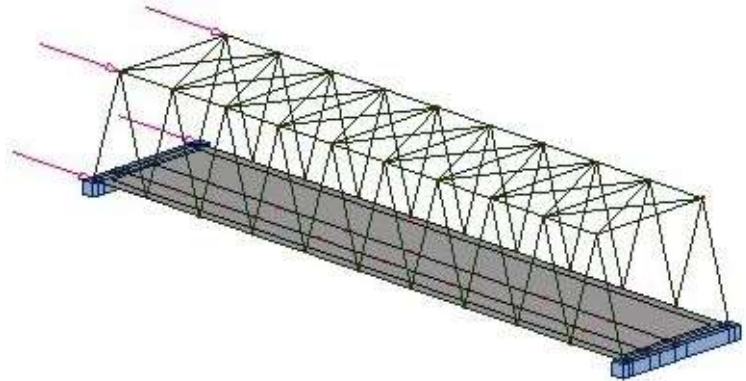


Przypadek 3 - EKSP2

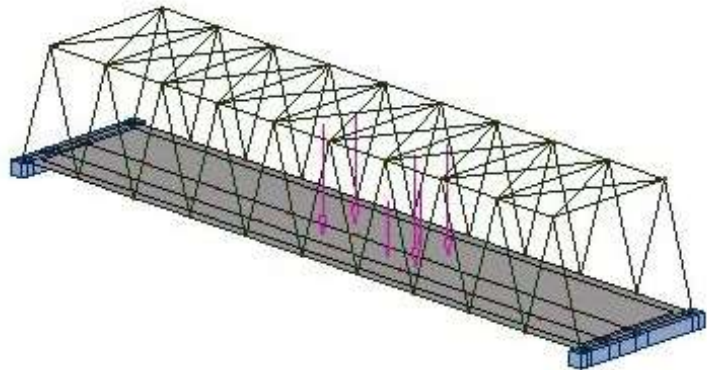
Przypadek 4 - EKSP3 odbicie lustrzane Przypadku 3



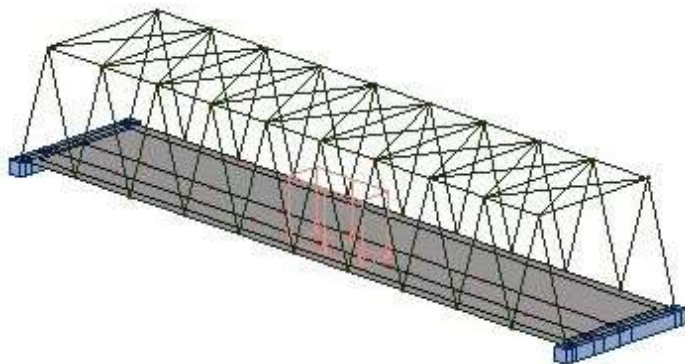
Przypadek 5 - WIATR1



Przypadek 6 - *WIATR2*



Przypadek 7 - *PRZEJAZD SAMOCHODU*



Przypadek 8 - *PRZEJŚCIE TŁUMU*

W przykładzie przestrzegano następujących zasad:

- prezentacja jakiegokolwiek ikony oznacza naciśnięcie tej ikony lewym klawiszem myszki,
- (x) oznacza wybór opcji 'x' z okna dialogowego,
- LKM i PKM - skróty oznaczające kliknięcie odpowiednio lewym i prawym klawiszem myszki.

Aby rozpocząć definicję konstrukcji, uruchom system **Robot** (naciskając odpowiednią ikonę lub wybierając komendę z paska zadań). W okienku, które pojawi się po chwili na ekranie należy wybrać






drugą ikonę z drugiego rzędu (**Projektowanie powłoki**).

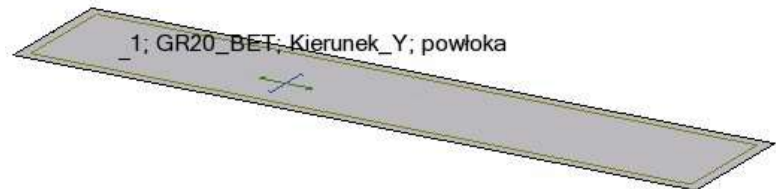
9.8.1. Definicja modelu konstrukcji

Definicja konstrukcji

Jezdnia mostowa - definicja

WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
<i>Widok / Rzutowanie / Xy</i>	Ustawienie widoku konstrukcji w płaszczyźnie XY
Z górnego menu wybrać komendę: <i>Geometria / Obiekty / Polilinia - kontur</i>	Otwarcie okna dialogowego Polilinia - kontur umożliwiającego definicję różnych rodzajów linii (łamane, kontury, polilinie)
LKM w klawisz Geometria	Otwarcie okna dialogowego umożliwiającego definicję konturu
Wpisać następujące współrzędne w polu podświetlonym na zielono: (0,0,0) Dodaj , (30,0,0) Dodaj , (30,6,0) Dodaj , (0,6,0) Dodaj , Zastosuj, Zamknij	Definicja konturu
	Przywrócenie początkowego widoku modelu konstrukcji w oknie graficznym, tak aby cała konstrukcja mieściła się w na ekranie
<i>Geometria / Panele</i>	Otwarcie okna dialogowego Panel , umożliwiającego definicję paneli w konstrukcji
LKM w klawisz  umieszczony z prawej strony pola <i>Grubość</i>	Otwarcie okna dialogowego Nowa grubość

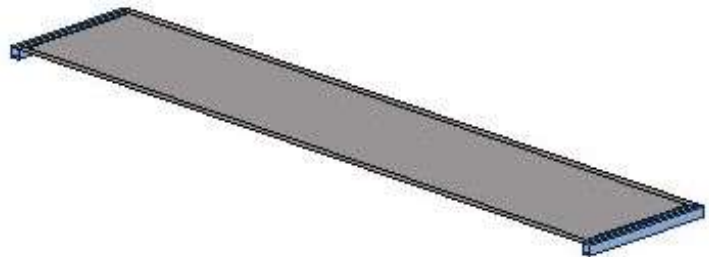
Na zakładce <i>Jednorodne</i> wpisz nową wartość grubości: 20 cm, wpisz nową nazwę GR20_BET, Dodaj, Zamknij	Definicja nowego panelu i zamknięcie okna dialogowego
LKM w klawisz  umieszczony z prawej strony pola <i>Zbrojenie</i>	Otwarcie okna dialogowego Parametry zbrojenia
Na zakładce <i>Ogólne</i> w polu <i>Kierunek zbrojenia głównego</i> wybrać opcję <i>Wzdłuż osi Y</i>	Wybór kierunku zbrojenia głównego
W polu <i>Nazwa</i> wpisać <i>Kierunek_Y</i> Dodaj, Zamknij	Nadanie nazwy dla nowego typu zbrojenia, zamknięcie okna dialogowego Parametry zbrojenia
LKM w pole <i>Zbrojenie</i> wybrać opcję <i>Kierunek_Y</i>	Definicja typu zbrojenia, które zostanie zastosowane w panelu
LKM w opcję <i>punkt wewnętrzny</i> znajdującą się w polu <i>Tworzenie poprzez</i> ; przejść na ekran graficzny i wybrać punkt znajdujący się wewnątrz panelu	Nadanie aktualnie wybranych własności do wybranego panelu
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Panel
<i>Widok / Rzutowanie / 3D xyz</i>	Ustawienie aksonometrycznego widoku konstrukcji; zdefiniowana konstrukcja widoczna jest na poniższym rysunku



Definicja podpór


<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów , pozwalającego wybrać atrybuty konstrukcji do wyświetlenia
Na zakładce <i>Panele / ES</i> wyłączyć opcję <i>Opis paneli</i> , OK	Wyłączenie wyświetlania opisu paneli: numeru i grubości paneli oraz typu zbrojenia

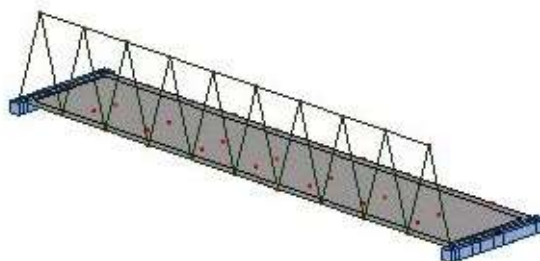
LKM w pole przeznaczone do selekcji ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Podpory	Wybór ekranu systemu Robot umożliwiającego definicję podpór
Wybrać podporę utwierdzoną	Wybór typu podparcia
Przejsć na zakładkę <i>Liniowe</i> , LKM w pole <i>Aktualna selekcja</i>	
Przejsć na ekran graficzny; wciskając lewy klawisz myszki wybrać dwie krótsze krawędzie pomostu, Zastosuj	Nadanie podpór utwierdzonych do dwóch krótszych krawędzi pomostu
LKM w pole przeznaczone do selekcji ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Geometria	Wybór początkowego ekranu systemu Robot
<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów , pozwalającego wybrać atrybuty konstrukcji, które zostaną wyświetlone na ekranie
Na zakładce <i>Model</i> wybrać opcję <i>Podpory - symbole</i> , OK	Wyświetlenie na ekranie symboli zdefiniowanych w konstrukcji podpór, zamknięcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów ; zdefiniowana konstrukcja została wyświetlona na poniższym rysunku





Definicja kratownic mostu (konstrukcje biblioteczne)

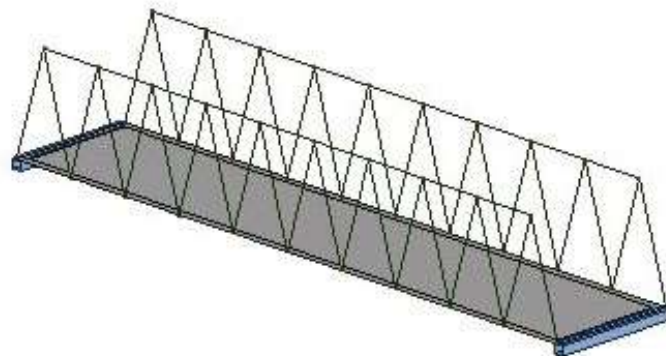
Wybrać ikonę <i>Konstrukcja biblioteczna</i> z prawego paska narzędziowego	Otwarcie okna dialogowego Konstrukcje typowe pozwalającego na definiowanie typowych konstrukcji (lub elementów konstrukcji)
--	--

<p>W polu <i>Wybór bazy konstrukcji</i> wybrać opcję <i>Biblioteka konstrukcji typowych - ramy, kraty, belki</i> (w oknie dialogowym Konstrukcje typowe pojawi się Nowy wybór konstrukcji. LKM (dwukrotnie) w</p>  <p>ikonę (ostatnią w trzecim rzędzie)</p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Krata Trapezowa typ 3</p>
<p>Na zakładce <i>Wymiary</i> LKM w pole <i>Długość L1</i> {30}</p>	<p>Definicja długości dolnego pasa kratownicy (można to również zrobić w sposób graficzny klikając w ekranie graficznym w dwa węzły określające długość pasa kratownicy)</p>
<p>LKM w pole <i>Długość L2</i> {27}</p>	<p>Definicja długości górnego pasa kratownicy</p>
<p>LKM w pole <i>Wysokość H</i> {5}</p>	<p>Definicja wysokości kratownicy</p>
<p>LKM w pole <i>Liczba pól</i> {10}</p>	<p>Definicja liczby pól na które zostanie podzielony pas dolny kratownicy</p>
<p>Włączyć opcję <i>Nie</i> w opcji wyboru <i>Pas ciągły</i></p>	<p>Pas dolny i górny definiowanej kratownicy składać się będzie z odcinków</p>
<p>Na zakładce <i>Wstaw</i> LKM w pole <i>Punkt wstawienia</i>; wpisać współrzędne: (0,0,0)</p>	<p>Definicja współrzędnych wstawienia kratownicy</p>
<p>LKM w klawisze: Zastosuj oraz OK</p>	<p>Wstawienie zdefiniowanej konstrukcji we wskazanym punkcie, zamknięcie okna dialogowego Wstawianie konstrukcji</p>




	<p>Otwarcie okna dialogowego Przekroje</p>
---	---

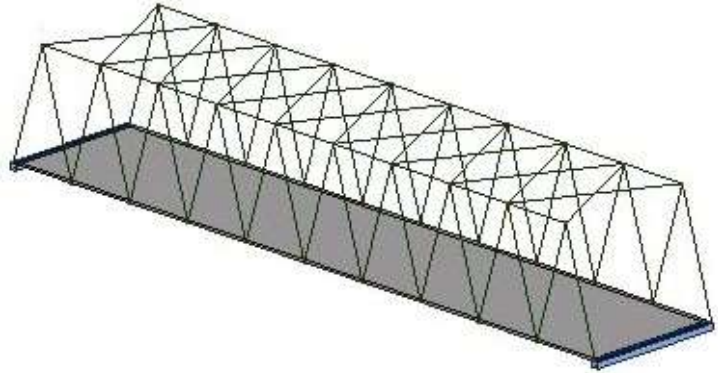
LKM w pole <i>Linie / Pręty</i> , przejść na ekran graficzny i zaznaczyć oknem wszystkie pręty kratownicy (2do40)	Wybór prętów kratownicy
LKM w profil HEB 300	Wybór profilu, który będzie nadawany wybranym prętom. <i>UWAGA:</i> Jeżeli profil HEB 300 nie jest dostępny na liście, należy nacisnąć klawisz  znajdujący się w górnej części okna dialogowego. Na ekranie pojawi się okno dialogowe Nowy przekrój . Na zakładce <i>Standardowe</i> w polu <i>Selekcja przekroju</i> wybrać następujące opcje: <i>Baza danych - Rpln_pro</i> <i>Rodzina - HEB</i> <i>Przekrój - HEB 300</i> Nacisnąć klawisze: Dodaj , a następnie Zamknij , co spowoduje dodanie przekroju HEB 300 do listy dostępnych przekrojów i zamknięcie okna dialogowego Nowy przekrój
LKM w klawisz Zastosuj , akceptacja zmiany materiału na domyślny, Zamknij	Nadanie profilu HEB 300 wszystkim prętom kratownicy, zamknięcie okna dialogowego
<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
Na zakładce <i>Pręty</i> wyłączyć opcję <i>Szkice</i> , OK	Wyłączenie prezentacji profili prętów na ekranie
Przejść na ekran graficzny, wybrać wszystkie pręty wstawionej kratownicy przytrzymując wciśnięty klawisz CTRL	
<i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego Translacja
LKM w polu (dX, dY, dZ) wpisać współrzędne: (0,6,0)	Definicja wektora translacji
Wykonaj, Zamknij	Przesunięcie prętów, podświetlenie przeniesionych prętów, zamknięcie okna dialogowego Translacja ; zdefiniowana konstrukcja pokazana jest na poniższym rysunku



Definicja stężeń

LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Pręty	Wybór ekranu PRĘTY z listy dostępnych ekranów systemu Robot , pozwalającego na definicję prętów
LKM w pole <i>Typ pręta</i> wybrać: <i>Pręt</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> wybrać: IPE 100	Definicja właściwości pręta. UWAGA: jeśli przekrój IPE 100 nie jest dostępny na liście, wciśnij klawisz  znajdujący się z prawej strony opcji <i>Przekrój</i> co spowoduje otwarcie okna dialogowego Nowy przekrój . Na zakładce <i>Standardowe</i> w polu <i>Selekcja przekroju</i> wybrać następujące opcje: <i>Baza danych - Rpln_pro</i> <i>Rodzina - IPE</i> <i>Przekrój - IPE 100</i> Nacisnąć klawisze: Dodaj , a następnie Zamknij , co spowoduje dodanie przekroju IPE 100 do listy dostępnych przekrojów i zamknięcie okna dialogowego Nowy przekrój
LKM w pole <i>początek</i> i <i>koniec</i> (kolor tła zmieni się na kolor zielony) (1.5,0,5) (4.5,6,5) (1.5,6,5) (4.5,0,5)	Definicja stężeń
Przejsć na ekran graficzny PKM w dowolny punkt okna. W otwartym menu kontekstowym wybrać opcję <i>Zaznacz</i> , zaznaczyć zdefiniowane pręty stężeń trzymając wciśnięty klawisz CTRL. Z górnego menu wybrać opcję: <i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego Translacja
LKM w pole (dX, dY, dZ) (3,0,0), w polu <i>Liczba powtórzeń</i> {8}	Definicja wektora translacji i liczby powtórzeń
Wykonaj, Zamknij	Przesunięcie prętów konstrukcji

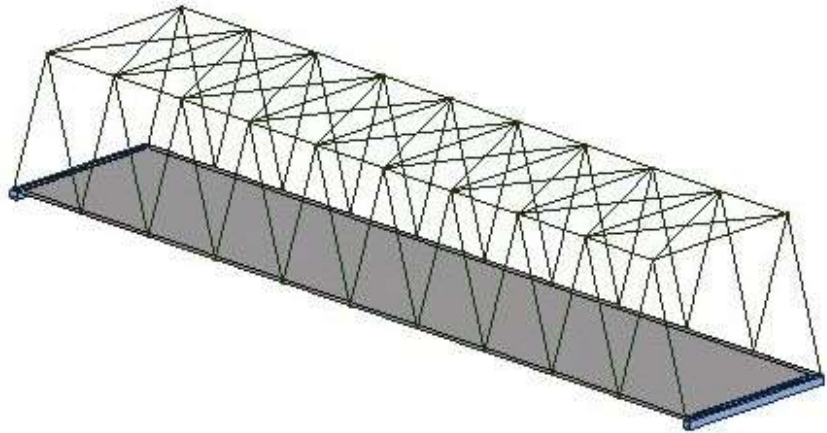
LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Geometria	Wybór początkowego ekranu systemu Robot , zdefiniowana konstrukcja została pokazana na poniższym rysunku



Definicja belek poprzecznych



LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Pręty	Wybór ekranu PRĘTY z listy dostępnych ekranów systemu Robot , umożliwiającego definicję prętów
LKM w pole <i>Typ pręta</i> , wybrać opcję <i>Pręt</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> , wybrać: (IPE 300)	Definicja właściwości pręta. <i>UWAGA: Jeśli przekrój IPE 300 nie jest dostępny na liście, należy postąpić analogicznie jak w przypadku definicji przekroju IPE 100</i>
LKM pole <i>początek</i> i <i>koniec</i> (kolor tła zmieni się na zielony) (1.5,0,5) (1.5,6,5)	Definicja belki poprzecznej
Przejsć na ekran graficzny PKM w dowolny punkt okna; w otwartym menu kontekstowym wybrać opcję <i>Zaznacz</i> i zaznaczyć zdefiniowaną belkę poprzeczną	
Z górnego menu wybrać opcję: <i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego Translacja
LKM w pole (dX, dY, dZ): (3,0,0) polu <i>Liczba powtórzeń</i> {9}	Definicja wektora przesunięcia i liczby powtórzeń



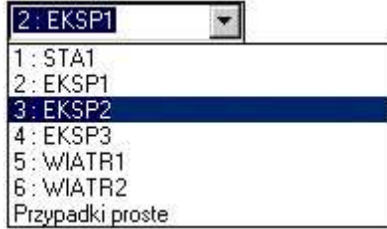
Wykonaj, Zamknij	Przesunięcie wybranego pręta konstrukcji
LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Geometria	Wybór początkowego ekranu systemu Robot ; zdefiniowana konstrukcja została pokazana na poniższym rysunku


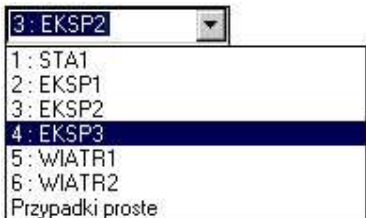


Definicja obciążeń

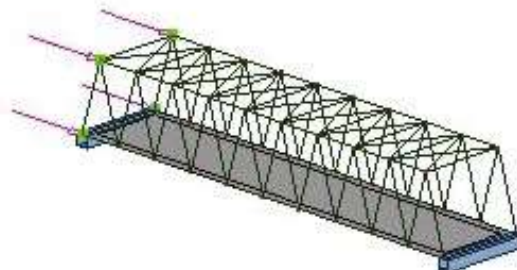
LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Obciążenia	Wybór ekranu systemu Robot umożliwiającego definicję obciążenia przyłożonego do konstrukcji. Monitor komputera zostanie podzielony na trzy części: ekran graficzny, tabelę <i>Obciążenia</i> i okno dialogowe Przypadki obciążeń
LKM w klawisz Nowy w oknie dialogowym Przypadki obciążeń	Definicja przypadku obciążenia stałego (ciężar własny) o standardowej nazwie <i>STA1</i>
LKM w opcję <i>Natura:</i> Wybrać <i>eksploatacyjne</i>	Wybór przypadku obciążenia - <i>eksploatacyjne</i>
LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy	Definicja trzech przypadków obciążenia <i>eksploatacyjnego</i> o standardowo nadanych nazwach: <i>EKSP1</i> , <i>EKSP2</i> i <i>EKSP3</i>
LKM w pole do wyboru natury obciążenia (<i>Natura</i>): Wybrać <i>wiatr</i>	Wybór przypadku obciążenia - <i>wiatr</i>
LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy	Definicja dwóch przypadków obciążenia <i>wiatrem</i> o standardowo nadanych nazwach: <i>WIATR1</i> i <i>WIATR2</i>
	<i>UWAGA: Ciężar własny zostanie automatycznie przyłożony do konstrukcji dla wszystkich elementów w kierunku "Z"</i>

LKM w ikonę  znajdującą się na prawym pasku zadań	Otwarcie okna dialogowego Obciążenie
Na zakładce <i>Powierzchnia</i> znajdującą się w oknie dialogowym Obciążenie wybrać ikonę 	Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne

	Wybór przypadku obciążenia: <i>EKSP1</i>
W polu <i>Wartości Z</i> wpisać wartość: -2.5 Dodaj	Definicja obciążenia jednorodnego działającego na powierzchniowych elementach skończonych zgodnie z kierunkiem osi Z globalnego układu współrzędnych; zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne
W polu <i>Zastosuj do</i> , znajdującym się w oknie dialogowym Obciążenie , wpisać numer panelu: 1	Wyświetlenie aktualnej selekcji panelu konstrukcji, do którego zostanie przyłożone obciążenie
Zastosuj	Nadanie zdefiniowanego obciążenia do wybranego panelu
W oknie dialogowym Obciążenia na zakładce <i>Powierzchnia</i> , nacisnąć klawisz 	Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne (kontur)
	Wybór przypadku obciążenia: <i>EKSP2</i>
W polu <i>Wartości Z</i> wpisać wartość: -2.0	Definicja wartości i kierunku działania obciążenia jednorodnego na konturze


LKM w klawisz Definicja konturu	Otwarcie okna pozwalającego na definicję konturu, do którego zostanie przyłożone obciążenie jednorodne. Można to zrobić przez wpisanie współrzędnych konturu w oknie lub przez wskazanie myszką w ekranie graficznym punktów określających kontur
W zielonym polu wpisać współrzędne określające kontur: (0,0,0); Dodaj (30,0,0); Dodaj (30,1.5,0); Dodaj (0,1.5,0); Dodaj	Definicja konturu, do którego zostanie przyłożone obciążenie
LKM w klawisz Dodaj znajdujący się w dolnej części okna dialogowego Obciążenie jednorodne (kontur)	Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne (kontur)
W polu <i>Zastosuj do</i> wpisać numer panelu: 1	Wyświetlenie aktualnej selekcji panelu konstrukcji, do którego zostanie przyłożone obciążenie
Zastosuj	Nadanie zdefiniowanego obciążenia do wybranego panelu
W oknie dialogowym Obciążenia wybrać zakładkę <i>Powierzchnia</i> ,  wcisnąć ikonę	Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne (kontur)
	Wybór przypadku obciążenia: <i>EKSP3</i>
W polu <i>Wartości Z</i> wpisać wartość: -2.0	Definicja wartości i kierunku działania obciążenia jednorodnego na konturze
LKM w klawisz Definicja konturu	Otwarcie okna pozwalającego na definicję konturu
W zielonym polu wpisać współrzędne określające kontur: (0,4.5,0); Dodaj (30,4.5,0); Dodaj (30,6,0); Dodaj (0,6,0); Dodaj	Definicja konturu, do którego zostanie przyłożone obciążenie

LKM w klawisz Dodaj znajdujący się w dolnej części okna dialogowego Obciążenie jednorodne (kontur)	Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne (kontur)
W polu <i>Zastosuj do</i> wpisać numer panelu: 1	Wyświetlenie aktualnej selekcji panelu konstrukcji, do którego zostanie przyłożone obciążenie
Zastosuj	Nadanie zdefiniowanego obciążenia do wybranego panelu
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie
Z menu górnego wybrać <i>Widok / Rzutowanie / Zx</i>	Ustawienie widoku konstrukcji w płaszczyźnie ZX
Przejsć do tabeli obciążeń. LKM w piąte pole w kolumnie <i>Przypadek</i> , wybrać 5. przypadek obciążenia <i>WIATR1</i> z listy	Definicja obciążenia dla piątego przypadku obciążenia
LKM w pole w kolumnie <i>Typ obciążenia</i> , wybrać typ obciążenia (<i>siła węzłowa</i>) z listy dostępnych typów obciążeń	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie <i>Lista</i> , Wybrać w sposób graficzny, wszystkie węzły bliższej kratownicy	Wybór węzłów, do których zostanie przyłożona <i>siła węzłowa</i>
LKM w pole w kolumnie "FY=", (1.25)	Wybór kierunku działania i wartości siły węzłowej
Z menu górnego wybrać <i>Widok / Rzutowanie / 3d xyz</i>	Ustawienie aksonometrycznego widoku konstrukcji
LKM w 6. pole w kolumnie <i>Przypadek</i> w tabeli obciążeń, wybrać 6. przypadek obciążenia <i>WIATR2</i> z listy	Definicja obciążenia dla szóstego przypadku obciążenia
LKM w pole w kolumnie <i>Typ obciążenia</i> , wybrać (<i>siła węzłowa</i>) z listy dostępnych typów obciążeń	Wybór typu obciążenia
LKM w pole w kolumnie <i>Lista</i> , wybrać cztery węzły kratownicy jak na rysunku poniżej	Wybór węzłów, do których zostanie przyłożona <i>siła węzłowa</i>




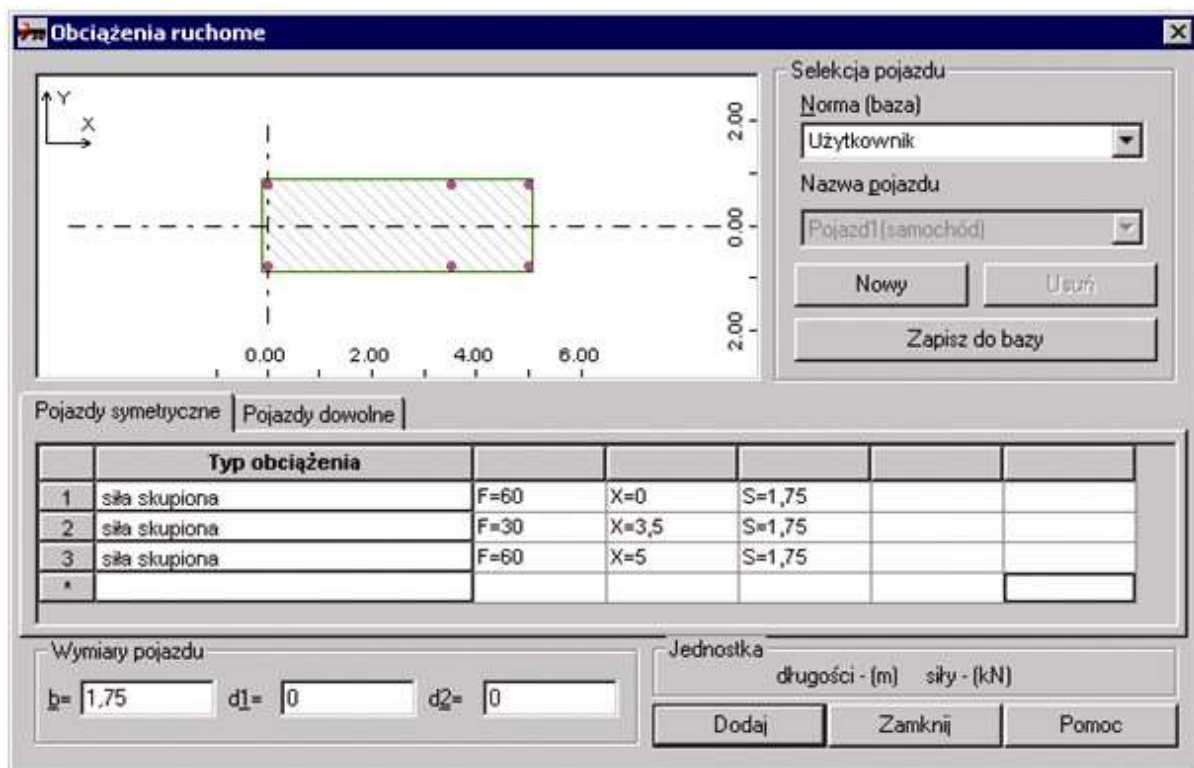
LKM w pole w kolumnie "FX=", wpisać wartość: (0.60)	Wybór kierunku działania i wartości <i>siły</i> węzłowej
LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Geometria	Wybór początkowego ekranu systemu Robot

Definicja obciążenia przyłożonego do jezdni mostu

Narzędzia / Preferencje zadania / Katalogi / Obciążenia pojazdami	Otwarcie okna dialogowego Preferencje zadania
	Naciśnięcie ikony <i>Utwórz nową bazę użytkownika</i> umieszczonej w górnej części okna dialogowego Preferencje zadania , spowoduje otwarcie okna dialogowego Nowe obciążenie ruchome


Wpisać: w polu <i>Katalog - Użytkownik</i> w polu <i>Nazwa katalogu - Katalog</i> użytkownika w polu <i>Opis katalogu - Pojazdy</i> zdefiniowane przez użytkownika w polu <i>Jednostki wewnętrzne</i> <i>katalogu</i> wybrać (kN) jako Jednostkę siły i (m) jako Jednostkę długości	
Utwórz	Utworzenie nowej bazy pojazdów, zamknięcie okna dialogowego Nowe obciążenie ruchome
OK	Zamknięcie okna dialogowego Preferencje zadania
<i>Obciążenia / Obciążenia specjalne / Ruchome</i>	Otwarcie okna dialogowego Obciążenia ruchome

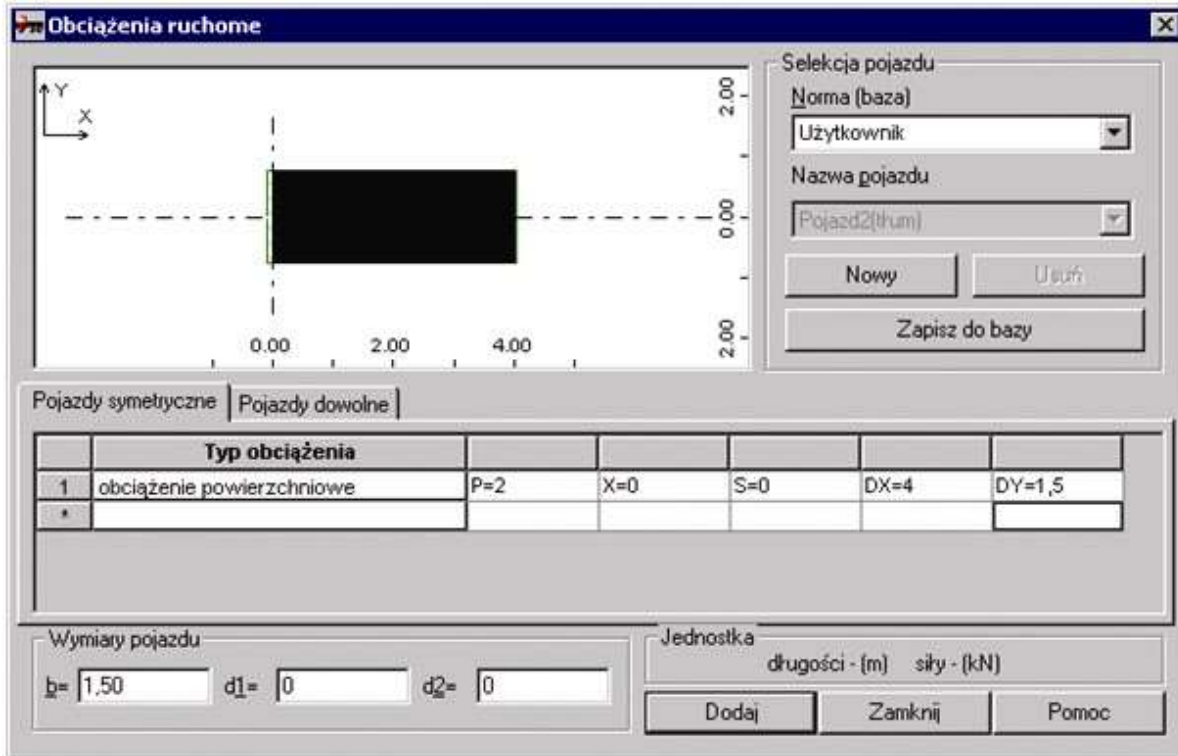
	Otwarcie okna dialogowego Obciążeniaruhome służącego do definicji nowego pojazdu
Na zakładce <i>Pojazdy symetryczne</i> LKM w klawisz Nowy	Definicja nowego pojazdu
Wpisać nazwę pojazdu: Pojazd 1 (Samochód) OK	Definicja nazwy nowego pojazdu
LKM w pierwszą linię w tabeli umiejscowionej w dolnej części okna dialogowego Obciążenie ruchome	Definicja działających sił
Wybrać typ obciążenia: siła skupiona	Selekcja typu obciążenia
F = 60, X = 0.0, S = 1.75	Określenie wartości i położenia <i>siły skupionej</i>
LKM w drugą linię w tabeli umiejscowionej w dolnej części okna dialogowego Obciążenie ruchome	Definicja działających sił
Wybrać typ obciążenia: siła skupiona	Definicja typu obciążenia
F = 30, X = 3.5, S = 1.75	Określenie wartości i położenia <i>siły skupionej</i>
LKM w trzecią linię w tabeli umiejscowionej w dolnej części okna dialogowego Obciążenie ruchome	Definicja działających sił
Wybrać typ obciążenia: siła skupiona	Selekcja typu obciążenia
F = 60, X = 5.0, S = 1.75	Określenie wartości i położenia <i>siły skupionej</i>
LKM w klawisz Zapisz do bazy	Otwarcie okna dialogowego Katalogi obciążeń ruchomych
W oknie dialogowym Katalogi obciążeń ruchomych wybrać katalog Użytkownika, nacisnąć klawisz OK	Zapis zdefiniowanego pojazdu do katalogu <i>Użytkownika</i>
Dodaj, Zamknij	Dodanie nowego pojazdu do listy aktywnych pojazdów, zamknięcie okna dialogowego Obciążenia ruchome



W polu <i>Nazwa</i> , wpisać nazwę obciążenia ruchomego (przypadek obciążenia nr 7) Pojazd 1 (Samochód)	Definicja nazwy obciążenia ruchomego
LKM w klawisz Definiuj	Otwarcie okna dialogowego Polilinia - kontur , pozwalającego na definicję drogi po której będzie się poruszał pojazd

W oknie dialogowym Polilinia - kontur na zakładce <i>Metoda tworzenia</i> wybrać opcję <i>Linia</i> . Nacisnąć klawisz Geometria , a następnie zdefiniować dwa punkty określające drogę pojazdu: Punkt P1 (0,3,0) Punkt P2 (30,3,0)	Definicja drogi trasy obciążenia ruchomego
Zastosuj, Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Polilinia - kontur


LKM w polu <i>Krok {1}</i> Przyjąć wartości domyślne kierunku obciążenia (0,0,-1) co oznacza, że obciążenia ruchome będzie działało zgodnie z kierunkiem osi Z, ale z przeciwnym zwrotem	Definicja kroku zmiany położenia obciążenia ruchomego i kierunku działania obciążenia
LKM opcję <i>Automatyczna</i> w polu <i>Płaszczyzna przyłożenia</i>	Wybór płaszczyzny redystrybucji sił definiujących pojazd. Wybór opcji <i>Automatyczna</i> spowoduje, że siły rozmieszczone będą automatycznie na najbliższych elementach branych ze wszystkich elementów konstrukcji
Zastosuj	Stworzenie przypadku obciążenia ruchomego o nazwie <i>Przejazd samochodu</i>
	Otwarcie okna dialogowego Obciążenia ruchome pozwalającego na definicję nowego przypadku obciążenia ruchomego
Na zakładce <i>Pojazdy symetryczne</i> LKM w klawisz Nowy	Definicja nowego obciążenia ruchomego
Wpisać nazwę obciążenia ruchomego: <i>Pojazd 2 (Tłum)</i> OK	Definicja nazwy dla nowego przypadku obciążenia ruchomego
LKM w pierwszej linii w tabeli umiejscowionej w dolnej części okna dialogowego Obciążenie ruchome	Definicja działających sił
Wybrać typ obciążenia: obciążenie powierzchniowe	Wybór typu obciążenia
P = 2,0; X = 0,0, S = 0,0; DX = 4,0; DY = 1,5	Definicja wartości i umiejscowienia ruchomego obciążenia powierzchniowego
LKM w klawisz Zapisz do bazy	Otwarcie okna dialogowego Katalog obciążeń ruchomych
OK w oknie dialogowym Katalog obciążeń ruchomych	Zapisanie zdefiniowanego pojazdu w bazie użytkownika; zamknięcie okna Katalog obciążeń ruchomych
Dodaj, Zamknij	Dodanie zdefiniowanego pojazdu do listy aktywnych pojazdów, zamknięcie okna dialogowego Obciążenia ruchome



<p>W polu <i>Nazwa</i> wpisać nazwę obciążenia ruchomego (przypadek obciążenia nr 8) Pojazd 2 (Tłum)</p>	<p>Definicja nazwy obciążenia ruchomego</p>
<p>LKM w klawisz Definiuj</p>	<p>Rozpoczęcie definicji trasy obciążenia ruchomego, otwarcie okna dialogowego Polilinia - kontur</p>
<p>W oknie dialogowym Polilinia - kontur na zakładce <i>Metoda tworzenia</i> wybrać opcję <i>Linia</i>. Nacisnąć klawisz Geometria, a następnie zdefiniować dwa punkty określające drogę pojazdu: Punkt P1 (0,1.5,0) Punkt P2 (30,1.5,0)</p>	<p>Definicja drogi trasy obciążenia ruchomego</p>
<p>Zastosuj, Zamknij</p>	<p>Zamknięcie okna dialogowego Polilinia - kontur</p>
<p>LKM w polu <i>Krok</i> {1} Przyjąć wartości domyślne kierunku obciążenia (0,0,-1) co oznacza, że obciążenia ruchome będzie działało zgodnie z kierunkiem osi Z ale z przeciwnym zwrotem</p>	<p>Definicja kroku zmiany położenia obciążenia ruchomego i kierunku działania obciążenia</p>

LKM opcję <i>Automatyczna</i> w polu <i>Płaszczyzna przyłożenia</i>	Wybór płaszczyzny redystrybucji sił definiujących pojazd. Wybór opcji <i>Automatyczna</i> spowoduje, że siły rozmieszczone będą automatycznie na najbliższych elementach branych ze wszystkich elementów konstrukcji
Zastosuj, Zamknij	Utworzenie przypadku obciążenia ruchomego o nazwie <i>Ruchome obciążenie powierzchniowe</i> , zamknięcie okna dialogowego <i>Polilinia - kontur</i>


9.8.2. Analiza konstrukcji

Narzędzia / Preferencje zadania / Analiza konstrukcji	Otwarcie okna dialogowego <i>Preferencje zadania</i>
Wyłączyć opcję <i>Automatyczne zamrażanie wyników obliczeń konstrukcji</i> , OK	Wyłączenie zamrażania wyników obliczeń konstrukcji, zamknięcie okna dialogowego <i>Preferencje zadania</i>
	Rozpoczęcie obliczeń zdefiniowanej konstrukcji. Kiedy obliczenia zostaną zakończone w górnym pasku systemu Robot zostanie wyświetlona następująca informacja: <i>Wyniki MES: aktualne</i>



9.8.3. Prezentacja wyników






LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Rezultaty / Rezultaty - mapy	Wybór ekranu systemu Robot , służącego do oglądania wyników obliczeń. Ekran monitora zostanie podzielony na dwie części: edytor graficzny zawierający model konstrukcji oraz okno dialogowe <i>Mapy</i>
--	--

<ul style="list-style-type: none"> 1 : STA1 2 : EKSP1 3 : EKSP2 4 : EKSP3 5 : WIA1R1 6 : WIA1R2 7 : Pojazd 1 (Samochód) 8 : Pojazd 2 (Tłum) 13 : Pojazd 1 (Samochód) + 14 : Pojazd 1 (Samochód) - 15 : Pojazd 2 (Tłum) + 16 : Pojazd 2 (Tłum) - Przypadki proste 	Wybór drugiego przypadku obciążenia <i>EKSP1</i>
---	--

Na zakładce <i>Szczegółowe</i> włączyć opcję z oznaczającą przemieszczenie w kierunku osi <i>z</i> znajdującą się na wysokości opcji <i>Przemieszczenia - u,w</i>	Włączenie wizualizacji przemieszczenia prostopadłego do powierzchni elementu skończonego
Włączyć opcję <i>mapy</i>	Wyniki otrzymane dla powierzchniowych elementów skończonych prezentowane będą w postaci map
LKM w klawisz Zastosuj	Prezentacja przemieszczenia konstrukcji
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 1 : STA1 2 : EKSP1 3 : EKSP2 4 : EKSP3 5 : WIATR1 6 : WIATR2 7 : Pojazd 1 (Samochód) 8 : Pojazd 2 (Tłum) 13 : Pojazd 1 (Samochód) + 14 : Pojazd 1 (Samochód) - 15 : Pojazd 2 (Tłum) + 16 : Pojazd 2 (Tłum) - Przypadki proste </div>	Wybór siódmego przypadku obciążenia <i>Pojazd 1 (Samochód)</i>
Na zakładce <i>Deformacje</i> włączyć opcję <i>włączone</i>	Wybranie tej opcji powoduje, że dla konstrukcji prezentowana będzie deformacja
LKM w klawisz Zastosuj	Prezentacja przemieszczenia konstrukcji
<i>Obciążenia / Wybierz składową przypadku</i>	Otwarcie okna dialogowego Składowa przypadku
LKM w klawisz Animacja	Otwarcie okna dialogowego Animacja
LKM w klawisz Start	Po naciśnięciu klawisza Start program przygotowuje animację wybranej wielkości na podstawie podanych parametrów i rozpoczyna wykonywanie animacji
Stop (LKM w klawisz ) , zamknąć pasek narzędziowy	Zatrzymanie animacji pojazdu
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Składowa przypadku
Wyłączyć opcje: <i>Przemieszczenia - u,w</i> oraz <i>włączone</i> znajdujące się w oknie dialogowym Mapy, Zastosuj	

9.8.4. Wymiarowanie prętów konstrukcji

LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Pręty	Wybór ekranu systemu Robot , służącego do definiowania prętów w konstrukcji. Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: edytor graficzny zawierający model konstrukcji, okno dialogowe: Pręt i tabelę Pręty
Przejsć na ekran graficzny, z górnego menu wybrać: <i>Geometria / Parametry normowe / Typ pręta stalowego / aluminiowego</i>	Otwarcie okna dialogowego Typ pręta
	Otwarcie okna dialogowego Definicja pręta - parametry pozwalającego zmieniać parametry typu pręta dla polskiej normy stalowej PN90/B-03200
W polu <i>Wsp. Długości wyboczeniowej mi</i> y nacisnąć klawisz 	Otwarcie okna dialogowego Schematy wyboczeniowe , pozwalającego na zmianę długości wyboczeniowej prętów
Wybrać ostatni klawisz w drugim rzędzie  , OK	Nadanie wybranego schematu wyboczeniowego i odpowiadającego mu współczynnika długości wyboczeniowej, zamknięcie okna dialogowego Schematy wyboczeniowe
W polu <i>Wsp. Długości wyboczeniowej mi</i> z nacisnąć klawisz 	Otwarcie okna dialogowego Schematy wyboczeniowe , pozwalającego na zmianę długości wyboczeniowej prętów
Wybrać ostatni klawisz w drugim rzędzie  , OK	Nadanie wybranego schematu wyboczeniowego i odpowiadającego mu współczynnika długości wyboczeniowej, zamknięcie okna dialogowego Schematy wyboczeniowe
W polu <i>Typ pręta</i> wpisać: <i>Pasy</i>	Nadanie nazwy dla nowego typu pręta
Zapisz, Zamknij	Zapisanie aktualnych parametrów dla typu pręta <i>Pasy</i> , zamknięcie okna dialogowego Definicja pręta - parametry
LKM w opcję <i>Linie / Pręty</i> w oknie dialogowym Typ pręta , przejść na ekran graficzny i wybrać wszystkie pręty pasów dolnego i górnego trzymając wciśnięty klawisz CTRL (2do19 40do59)	Wybór prętów tworzących pasy kratownic
Zastosuj	Nadanie aktualnego typu pręta (<i>Pasy</i>) do wybranych elementów kratownicy

	Otwarcie okna dialogowego Definicja pręta - parametry pozwalającego zmieniać parametry typu pręta dla polskiej normy stalowej PN90/B-03200
Nacisnąć klawisz  w polu <i>Wsp. długości wyboczeniowej mi y</i>	Otwarcie okna dialogowego Schematy wyboczeniowe , pozwalającego na zmianę długości wyboczeniowej prętów
Wybrać pierwszy klawisz w trzecim rzędzie  , OK	Nadanie wybranego schematu wyboczeniowego i odpowiadającego mu współczynnika długości wyboczeniowej, zamknięcie okna dialogowego Schematy wyboczeniowe
Nacisnąć klawisz  w polu <i>Wsp. długości wyboczeniowej mi z</i>	Otwarcie okna dialogowego Schematy wyboczeniowe , pozwalającego na zmianę długości wyboczeniowej prętów
Wybrać pierwszy klawisz w trzecim rzędzie  , OK	Nadanie wybranego schematu wyboczeniowego i odpowiadającego mu współczynnika długości wyboczeniowej, zamknięcie okna dialogowego Schematy wyboczeniowe
W polu <i>Typ pręta</i> wpisać: <i>Krzyżulce</i>	Nadanie nazwy dla nowego typu pręta
Zapisz, Zamknij	Zapisanie aktualnych parametrów dla typu pręta <i>Krzyżulce</i> , zamknięcie okna dialogowego Definicja pręta - parametry
LKM w opcję <i>Linie / Pręty</i> w oknie dialogowym Typ pręta , przejść na ekran graficzny i wybrać wszystkie krzyżulce kratownicy trzymając wciśnięty klawisz CTRL (20do39 60do79)	Wybór prętów tworzących krzyżulce kratownicy
Zastosuj, Zamknij	Nadanie aktualnego typu pręta (<i>Krzyżulce</i>) do wybranych elementów kratownicy, zamknięcie okna dialogowego Typ pręta

Wymiarowanie konstrukcji


Polska norma stalowa: PN90/B-03200

LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Wymiarowanie / Wymiarowanie stali / aluminium	Wybór ekranu systemu Robot , służącego do wymiarowania konstrukcji stalowych (aluminiowych). Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: edytor graficzny zawierający model konstrukcji oraz okna dialogowe: Definicje i Obliczenia
LKM w klawisz Nowy na zakładce <i>Grupy</i> znajdującej się w oknie dialogowym Definicje	Rozpoczęcie definicji pierwszej grupy prętów
Zdefiniować pierwszą grupę prętów o następujących parametrach : Numer: 1 Nazwa: <i>Pas górny</i> Lista prętów: LKM w okno graficzne z modelem konstrukcji; trzymając wciśnięty klawisz CTRL wybrać pręty górnych pasów kratownic (11do19 51do59) Materiał: <i>Stal</i>	Definicja pierwszej grupy prętów złożonej z elementów tworzących pasy górne kratownic
Zapisz	Zapis parametrów pierwszej grupy prętów
LKM w klawisz Nowy na zakładce <i>Grupy</i> znajdującej się w oknie dialogowym Definicje	Rozpoczęcie definicji drugiej grupy prętów
Zdefiniować drugą grupę prętów o następujących parametrach : Numer: 2 Nazwa: <i>Pas dolny</i> Lista prętów: LKM w okno graficzne; trzymając wciśnięty klawisz CTRL wybrać pręty dolnych pasów kratownic (40do50 2do10) Materiał: <i>Stal</i>	Definicja drugiej grupy prętów złożonej z prętów tworzących pasy dolne kratownic
Zapisz	Zapis parametrów drugiej grupy prętów
LKM w klawisz Nowy na zakładce <i>Grupy</i> znajdującej się w oknie dialogowym Definicje	Rozpoczęcie definicji trzeciej grupy prętów


Zdefiniować trzecią grupę prętów o następujących parametrach : Numer: 3 Nazwa: <i>Krzyżulce</i> Lista prętów: LKM w okno graficzne; trzymając wciśnięty klawisz CTRL wybrać krzyżulce obu kratownic (20do39 60do79) Materiał: <i>Stal</i>	Definicja trzeciej grupy prętów złożonej z krzyżulców kratownicy
Zapisz	Zapis parametrów trzeciej grupy prętów
LKM w klawisz Nowy na zakładce <i>Grupy</i> znajdującej się w oknie dialogowym Definicje	Rozpoczęcie definicji czwartej grupy prętów
Zdefiniować czwartą grupę prętów o następujących parametrach : Numer: 4 Nazwa: <i>Stężenia</i> Lista prętów: LKM w okno graficzne; trzymając wciśnięty klawisz CTRL wybrać pręty stężące kratownicy (80do97) Materiał: <i>Stal</i>	Definicja czwartej grupy prętów złożonej z prętów stężących kratownicy
Zapisz	Zapis parametrów czwartej grupy prętów
LKM w klawisz Nowy na zakładce <i>Grupy</i> znajdującej się w oknie dialogowym Definicje	Rozpoczęcie definicji piątej grupy prętów
Zdefiniować piątą grupę prętów o następujących parametrach : Numer: 5 Nazwa: <i>Belki poprzeczne</i> Lista prętów: LKM w okno graficzne; trzymając wciśnięty klawisz CTRL wybrać belki poprzeczne łączące obie kratownicy (98do107) Materiał: <i>Stal</i>	Definicja piątej grupy prętów złożonej z belek poprzecznych łączących pasy górne kratownic
Zapisz	Zapis parametrów piątej grupy prętów
W oknie dialogowym Obliczenia włączyć opcję <i>Wymiarowanie grup</i>	Włączenie tej opcji spowoduje przeprowadzone wymiarowania grup. <i>UWAGA: Aby można było rozpocząć obliczenia w trybie wymiarowania, musi być zdefiniowana przynajmniej jedna grupa prętów</i>

LKM w klawisz Lista znajdujący się w oknie dialogowym Obliczenia na wysokości opcji <i>Wymiarowanie grup</i>	Otwarcie okna dialogowego Selekcja grup
Nacisnąć klawisz Wszystko znajdujący się w górnej części okna dialogowego Selekcja grup Zamknij	Wybór wszystkich grup prętów, zamknięcie okna dialogowego Selekcja grup
Uaktywnić opcję: <i>Optymalizacja</i> w polu <i>Opcje weryfikacyjne</i> oraz opcję: <i>Nośność</i> w polu <i>Stan graniczny</i> Wyłączyć opcję <i>Użytkowanie</i> w polu <i>Stan graniczny</i>	
Nacisnąć klawisz Opcje , a następnie włączyć opcję: <i>Ciężar</i>	Otwarcie okna dialogowego Opcje optymalizacyjne . Wybór opcji optymalizacyjnej ciężar spowoduje, że optymalizacja uwzględniac będzie ciężar profilu powodując wyszukiwanie wśród profili spełniających kryteria normowe profilu najbliższego w danej grupie
OK	Zamknięcie okna dialogowego Opcje optymalizacyjne
LKM w klawisz Lista w polu <i>Obciążenia</i> znajdujące się w oknie dialogowym Obliczenia	Otwarcie okna dialogowego Selekcja przypadków
LKM w klawisz Wszystko (znajdujący się ponad klawiszem Poprzednia), w polu edycyjnym pojawi się lista 1do8 13do16, Zamknij	Wybór wszystkich przypadków obciążenia, zamknięcie okna dialogowego Selekcja przypadków
LKM w klawisz Obliczenia	Rozpoczęcie wymiarowania wybranych grup prętów konstrukcji; na ekranie pojawia się okno Rezultatów skróconych pokazane poniżej

Pręt	Profil	Materiał	Lay	Laz	Wyteż.	Przypadek
Grupa: 1 Pas górny						
55	HEB 120	STAL	59.51	98.10	1.41	1 STA1
	HEB 140		50.63	83.88	0.94	
	HEB 160		44.30	74.14	0.66	
Grupa: 2 Pas dolny						
40	HEB 100	STAL	72.11	118.37	0.32	1 STA1
	HEB 120		59.51	98.10	0.19	
Grupa: 3 Krzyżulce						
22	HEB 140	STAL	70.47	116.77	1.20	13 Pojazd 1 (Samochód) +
	HEB 160		61.67	103.21	0.82	
	HEB 180		54.53	91.51	0.60	
Grupa: 4 Stężenia						
89 Pręt_89	IPE 220	STAL	73.66	270.77	0.09	1 STA1
	IPE 240		67.25	248.91	0.06	
	IPE 270		59.73	221.76	0.04	
Grupa: 5 Belki poprzeczne						
105 Pręt_105	IPE 200	STAL	72.72	268.80	0.11	7 Pojazd 1 (Samochód) /21/
	IPE 220		65.88	242.19	0.09	
	IPE 240		60.15	222.63	0.06	


<p>LKM w klawisz Zmień Wsz. Znajdujący się w oknie pokazanym na rysunku powyżej</p>	<p>Zamiana aktualnych profili prętów dla wszystkich grup prętów na obliczone profile: - dla pasa górnego z HEB 300 na HEB 140, - dla pasa dolnego z HEB 300 na HEB 100, - dla krzyżulców z HEB 300 na HEB 160 - dla stężeń z IPE 100 na IPE 240 - dla belek poprzecznych z IPE 300 na IPE 220 Po zamianie profili prętów w górnym pasku programu Robot prezentowana będzie następująca informacja: Wyniki MES - nieaktualne</p>
<p>Zamknij</p>	<p>Zamknięcie okna rezultatów skróconych Wymiarowanie grup prętów</p>
<p>Anuluj</p>	<p>Anulowanie zapisu wyników obliczeń i zamknięcie okna dialogowego Archiwizacja wyników obliczeń</p>
	<p>Rozpoczęcie obliczeń zdefiniowanej konstrukcji. Kiedy obliczenia zostaną zakończone w górnym pasku systemu Robot zostanie wyświetlona następująca informacja: Wyniki MES: aktualne</p>
<p>LKM w klawisz Obliczenia w oknie dialogowym Obliczenia</p>	<p>Rozpoczęcie wymiarowania wybranych grup prętów konstrukcji; na ekranie pojawia się okno Rezultatów skróconych pokazane poniżej</p>

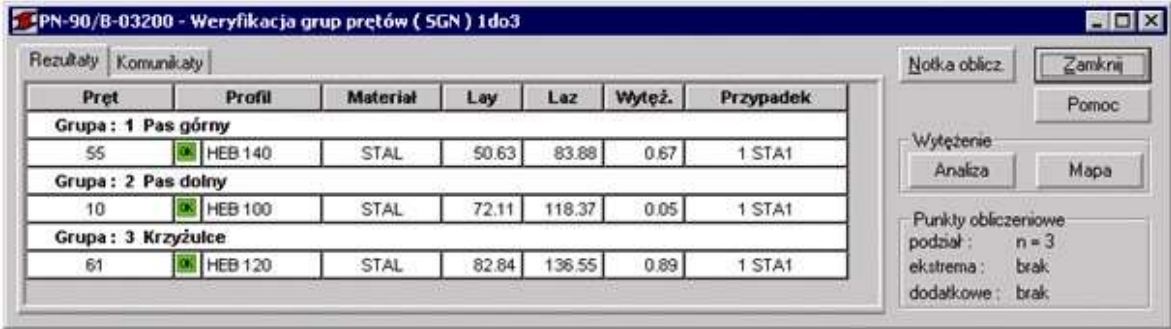
Pręt	Profil	Materiał	Lay	Laz	Wyteż.	Przypadek
Grupa: 1 Pas górny						
55	<input type="checkbox"/> HEB 120	STAL	59.51	98.10	1.05	1 STA1
	<input checked="" type="checkbox"/> HEB 140		50.63	63.88	0.70	
	<input type="checkbox"/> HEB 160		44.30	74.14	0.50	
Grupa: 2 Pas dolny						
10	<input checked="" type="checkbox"/> HEB 100	STAL	72.11	118.37	0.05	1 STA1
	<input type="checkbox"/> HEB 120		59.51	98.10	0.03	
Grupa: 3 Krzyżulce						
61	<input type="checkbox"/> HEB 100	STAL	100.38	164.78	1.71	1 STA1
	<input checked="" type="checkbox"/> HEB 120		82.84	136.55	0.97	
	<input type="checkbox"/> HEB 140		70.47	116.77	0.61	
Grupa: 4 Stężenia						
89 Pręt_89	<input type="checkbox"/> IPE 220	STAL	73.66	270.77	0.40	1 STA1
	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 240		67.25	248.91	0.29	
	<input type="checkbox"/> IPE 270		59.73	221.76	0.20	
Grupa: 5 Belki poprzeczne						
102 Pręt_102	<input type="checkbox"/> IPE 200	STAL	72.72	268.80	0.09	1 STA1
	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 220		65.88	242.19	0.07	
	<input type="checkbox"/> IPE 240		60.15	222.63	0.06	

LKM w klawisz Zmień Wsz. Znajdujący się w oknie pokazanym na rysunku powyżej	Zamiana aktualnych profili prętów dla wszystkich grup prętów na obliczone profile: - dla pasa górnego – bez zmian, - dla pasa dolnego – bez zmian, - dla krzyżulców z HEB 160 na HEB 120, - dla stężeń – bez zmian, - dla belek poprzecznych – bez zmian. Po zamianie profili prętów w górnym pasku programu Robot prezentowana będzie następująca informacja: Wyniki MES - nieaktualne
	Rozpoczęcie obliczeń zdefiniowanej konstrukcji. Kiedy obliczenia zostaną zakończone w górnym pasku systemu Robot zostanie wyświetlona następująca informacja: Wyniki MES: aktualne
Zamknij	Zamknięcie okna rezultatów skróconych Wymiarowanie grup prętów
Zapisz	Zapisanie wyników obliczeń i zamknięcie okna dialogowego Archiwizacja wyników obliczeń

Weryfikacja prętów

LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Wymiarowanie / Wymiarowanie stali / aluminium	Wybór ekranu systemu Robot , służącego do wymiarowania konstrukcji stalowych (aluminiowych)
--	--

LKM w klawisz Lista znajdujący się w oknie dialogowym Obliczenia na wysokości opcji <i>Weryfikacja grup</i>	Otwarcie okna dialogowego Selekcja grup
Na zakładce <i>Grupa</i> wciskając klawisz CTRL wybrać następujące grupy: Krzyżulce, Pas dolny i Pas górny. Nacisnąć klawisz  co spowoduje, że w polu edycyjnym pojawi się lista 1do3 Zamknij	Wybór grup prętów, które będą weryfikowane; zamknięcie okna dialogowego Selekcja grup
LKM w klawisz Lista znajdujący się w polu <i>Obciążenia</i> w oknie dialogowym Obliczenia	Otwarcie okna dialogowego Selekcja przypadków
LKM w klawisz Wszystko (znajdujący się ponad klawiszem Poprzednia), w polu edycyjnym pojawi się lista 1do8 13do16, Zamknij	Wybór wszystkich przypadków obciążeniowych, zamknięcie okna dialogowego Selekcja przypadków
LKM w klawisz Obliczenia	Rozpoczęcie wymiarowania wybranych grup prętów konstrukcji; na ekranie pojawia się okno Rezultatów skróconych pokazane poniżej
Zamknij	Zamknięcie okna rezultatów skróconych Weryfikacja grup prętów
Zapisz	Zapisanie wyników obliczeń i zamknięcie okna dialogowego Archiwizacja wyników obliczeń

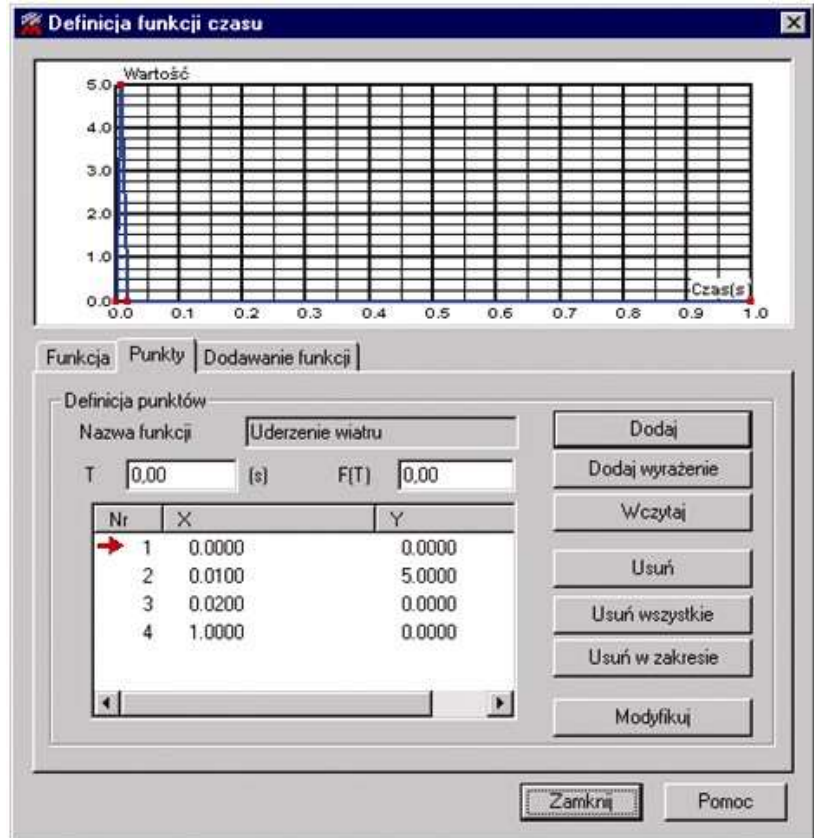


Pręt	Profil	Materiał	Lay	Laz	Wyteż.	Przypadek
Grupa: 1 Pas górny						
55	HEB 140	STAL	50.63	83.88	0.67	1 STA1
Grupa: 2 Pas dolny						
10	HEB 100	STAL	72.11	118.37	0.05	1 STA1
Grupa: 3 Krzyżulce						
61	HEB 120	STAL	82.84	136.55	0.89	1 STA1

9.8.5. Analiza czasowa konstrukcji (całkowanie równań ruchu)

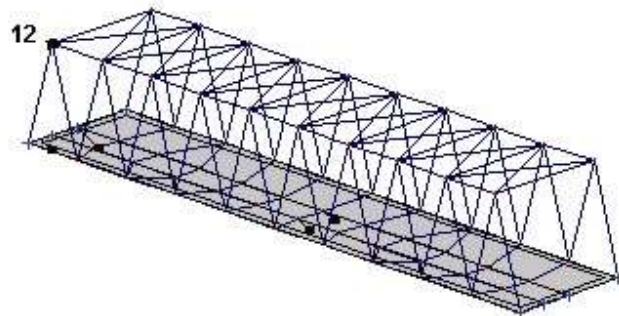
LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Geometria	Wybór początkowego ekranu systemu Robot
Z górnego menu wybrać komendę: <i>Analiza / Rodzaje analizy</i>	Otwarcie okna dialogowego Opcje obliczeniowe , umożliwiającego definiowanie nowych przypadków obciążenia (analiza modalna, spektralna, sejsmiczna itp.), zmiany typu przypadku obciążenia oraz zmiany parametrów wybranego przypadku obciążenia
LKM w klawisz Nowy	Otwarcie okna dialogowego Definicja nowego przypadku służącego do definiowania nowego przypadku dynamicznego w konstrukcji
LKM w klawisz OK w oknie dialogowym Definicja nowego przypadku	Otwarcie okna dialogowego Parametry analizy modalnej . Okno to służy do definiowania parametrów analizy modalnej dla nowego przypadku dynamicznego w konstrukcji
LKM w klawisz Parametry zaawansowane W polu <i>Metoda</i> wybrać opcję <i>Lanczosa</i> , w polu <i>Parametry dla analizy sejsmicznej</i> włączyć opcję <i>Uwzględnij tłumienie (wg PS92)</i> , w polu <i>Liczba postaci</i> : wpisać 3	Wybór metody analizy konstrukcji; wybranie maksymalnej liczby poszukiwanych postaci drgań własnych, uwzględnienie tłumienia w analizie modalnej konstrukcji
LKM w klawisz OK	Dodanie nowego przypadku obciążeniowego (typ analizy <i>Modalna</i>) do listy przypadków obciążeniowych
LKM w klawisz Nowy	Otwarcie okna dialogowego Definicja nowego przypadku
Wybrać opcję <i>Całkowanie równań ruchu</i> , LKM w klawisz OK w oknie dialogowym Definicja nowego przypadku	Otwarcie okna dialogowego Analiza równań ruchu , służącego do definiowania parametrów analizy równań ruchu dla nowego przypadku dynamicznego w konstrukcji
LKM w klawisz Definicja funkcji	Otwarcie okna dialogowego Definicja funkcji czasu
Na zakładce <i>Funkcja</i> w polu <i>Zdefiniowane funkcje</i> wpisać nazwę <i>Uderzenie wiatru</i> LKM w klawisz Dodaj	Nadanie nazwy <i>Uderzenie wiatru</i> dla funkcji czasowej. W oknie dialogowym pojawią się dwie nowe zakładki: <i>Punkty</i> i <i>Dodawanie funkcji</i>


<p>Na zakładce <i>Punkty</i> zdefiniować kolejne punkty funkcji czasowej wpisując następujące wartości: T = 0.00; F(T) = 0.00 T = 0.01; F(T) = 5.00 T = 0.02; F(T) = 0.00 T = 1.00; F(T) = 0.00 Zamknij</p>	<p>Definicja funkcji czasowej dokonana przez wpisanie odpowiednich wartości punktu czasowego T [s] i odpowiadającej mu wartości bezwymiarowej funkcji F(T). Zamknijcie okna dialogowego Definicja funkcji czasu</p>
---	--

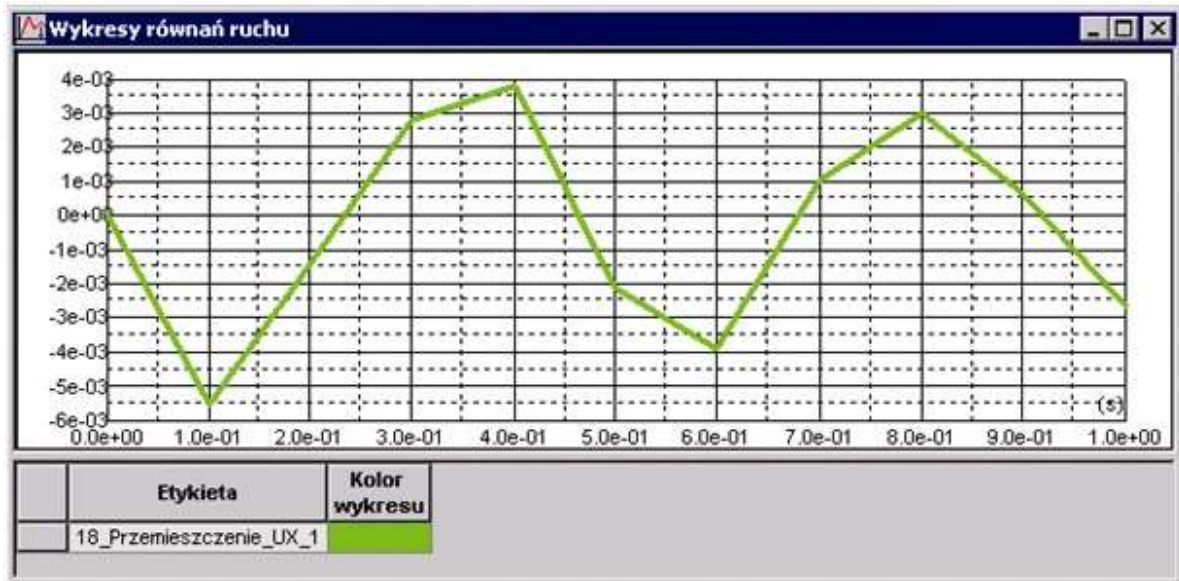


<p>W polu <i>Równania ruchu</i> znajdującego się w oknie dialogowym Analiza równań ruchu, wybrać z listy dostępnych przypadków obciążenia <i>WIATR1</i></p>	<p>Określenie numeru wybranego przypadku</p>
<p>LKM w klawisz Dodaj, OK</p>	<p>Zostaje przypisany przypadek statyczny wykorzystywany w analizie czasowej</p>
<p><i>Narzędzia / Preferencje zadania / Analiza konstrukcji</i></p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Preferencje zadania</p>

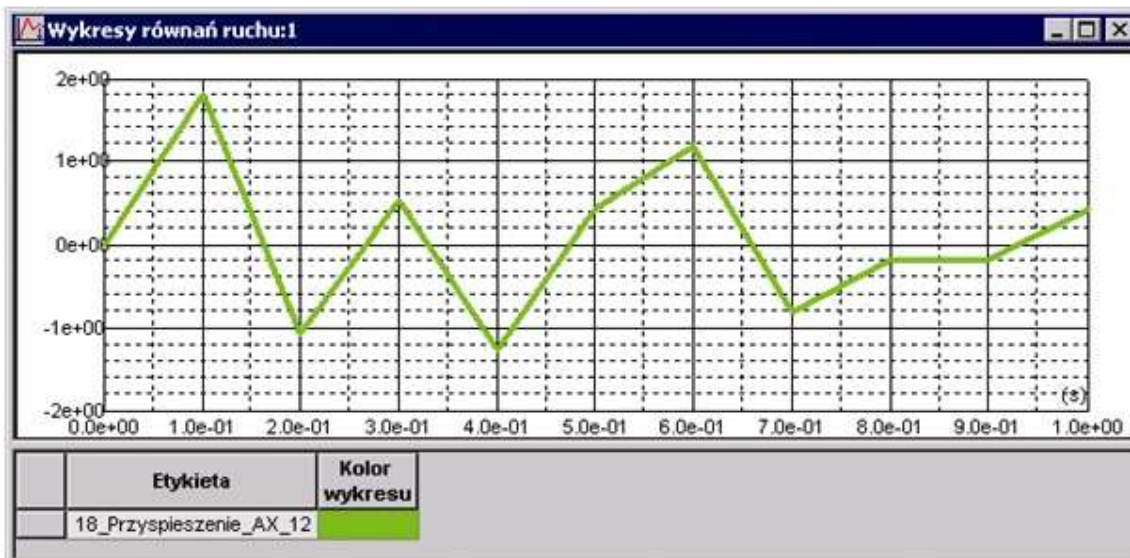
Wybrać opcję <i>Algorytm DSC</i> (<i>Zwolnienia na prętach</i>) OK	Przyjęcie do obliczeń algorytmu DSC, zamknięcie okna dialogowego Preferencje zadania
LKM w klawisz Obliczenia	Rozpoczęcie obliczeń konstrukcji dla zdefiniowanych przypadków obciążeniowych
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Opcje obliczeniowe
<i>Rezultaty / Zaawansowane / Analiza czasowa - wykresy</i>	Otwarcie okna dialogowego Równania ruchu
LKM w klawisz Dodaj	Otwarcie okna dialogowego Definicja wykresu służącego do definicji wykresów wielkości obliczonych podczas analizy czasowej
Na zakładce <i>Węzły</i> wybrać następujące opcje: <i>Przemieszczenie, UX</i>	Wybór przemieszczenia w kierunku UX
W polu <i>Punkt</i> wpisać numer węzła (12)	Wybór węzła nr 12 (patrz rysunek poniżej), dla którego zostanie zaprezentowane przemieszczenie



Dodaj, Zamknij	W oknie dialogowym Równania ruchu , w panelu <i>Dostępne wykresy</i> pojawi się zdefiniowana wielkość przemieszczenia o standardowo nadanej nazwie <i>Przemieszczenie_UX_12</i> , zamknięcie okna dialogowego Definicja wykresu
Zaznaczyć <i>Przemieszczenie_UX_12</i> (zostanie ono podświetlone), a następnie nacisnąć klawisz 	Przeniesienie wybranego wykresu do panelu <i>Prezentowane wykresy</i>
Włączyć opcję <i>otwórz nowe okno</i> i nacisnąć klawisz Zastosuj	Na ekranie pojawi się wykres <i>Przemieszczenie_UX_12</i> pokazany na poniższym rysunku

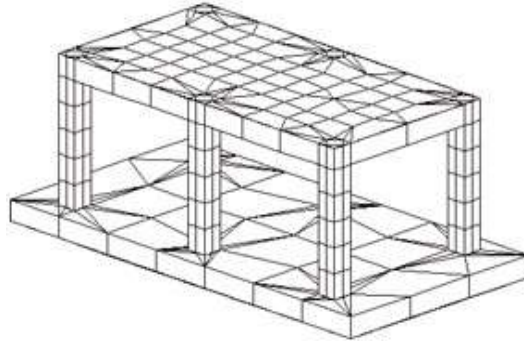


Usunięcie wybranego wykresu z prawego panelu
Otwarcie okna dialogowego Definicja wykresu służącego do definicji wykresów wielkości obliczonych podczas analizy czasowej
Wybór przyspieszenia w kierunku UX
Wybór węzła nr 12
W oknie dialogowym Równania ruchu , w panelu <i>Dostępne wykresy</i> pojawi się zdefiniowana wielkość przemieszczenia o standardowo nadanej nazwie <i>Przyspieszenie_AX_12</i> , zamknięcie okna dialogowego Definicja wykresu
Przeniesienie wybranego wykresu do prawego panelu
Na ekranie pojawi się wykres <i>Przyspieszenie_AX_12</i> pokazany na poniższym rysunku

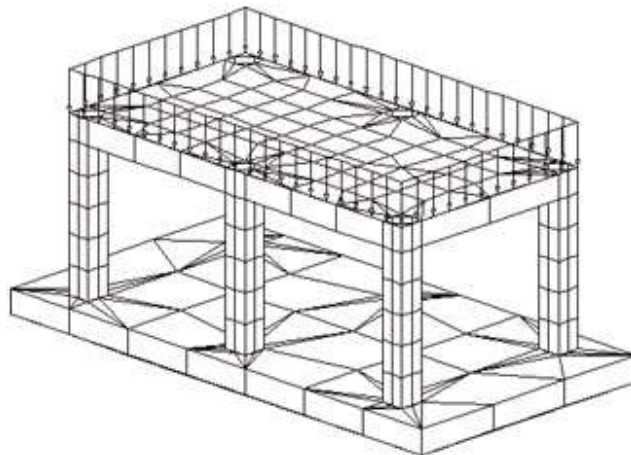


9.9. Fundament blokowy

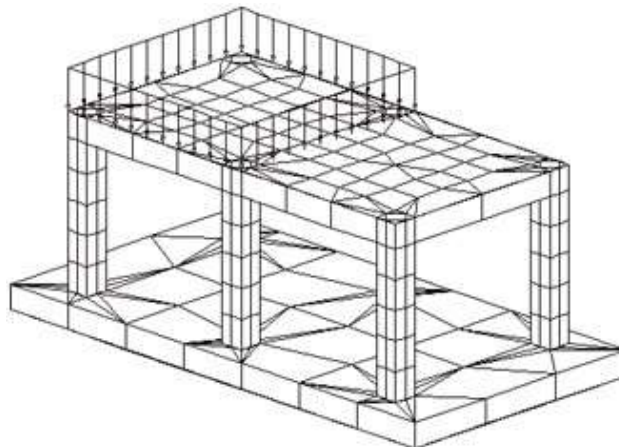
W przykładzie pokazano definicję i analizę fundamentu blokowego pod maszyną, którego schemat przedstawiono na rysunku poniżej. Jednostki użyte w zadaniu (m) i (kN).



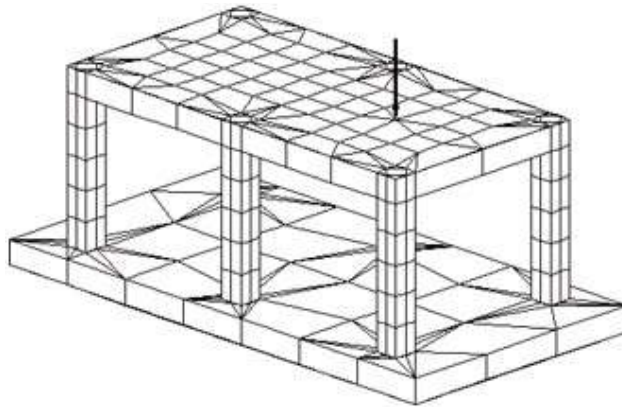
Do konstrukcji zostały przyłożone cztery przypadki obciążeniowe, z których trzy pokazano na rysunkach poniżej.



Przypadek 2 - EKSP1



Przypadek 3 - EKSP2



Przypadek 4 - EKSP3

W przykładzie przestrzegano następujących zasad:

- prezentacja jakiegokolwiek ikony oznacza naciśnięcie tej ikony lewym klawiszem myszki,
- (x) oznacza wybór opcji 'x' z okna dialogowego,
- **LKM** i **PKM** - skróty oznaczające kliknięcie odpowiednio lewym i prawym klawiszem myszki.

Aby rozpocząć definicję konstrukcji, uruchom system **Robot** (naciskając odpowiednią ikonę lub wybierając komendę z paska zadań). W okienku, które pojawi się po chwili na ekranie należy wybrać




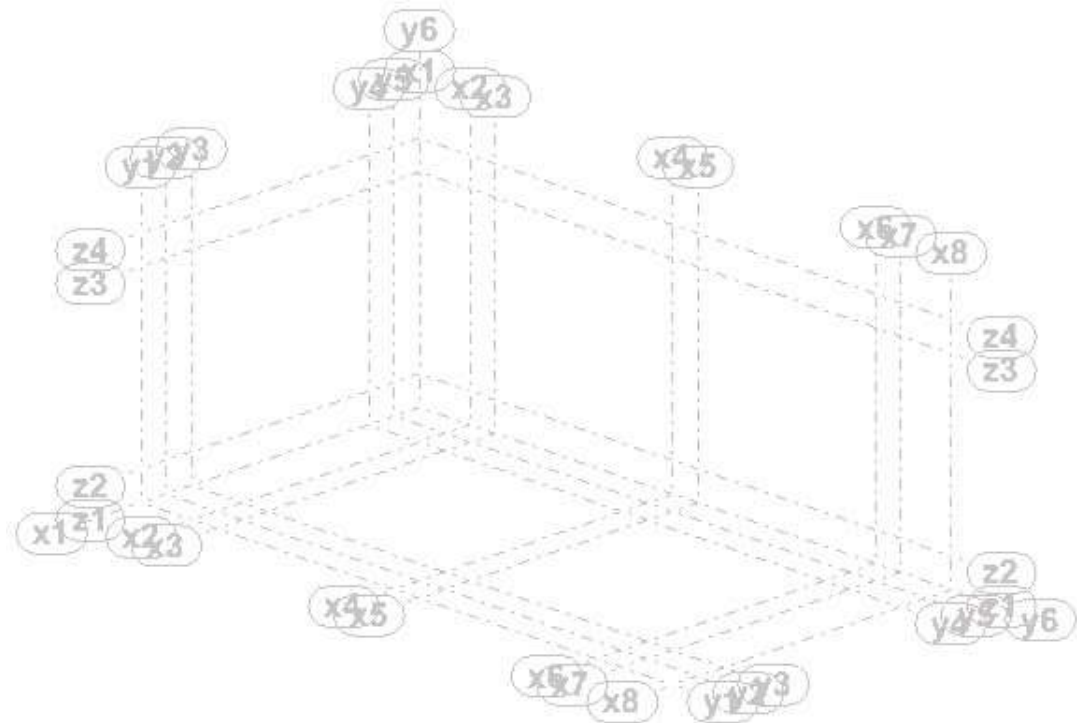
ostatnią ikonę w drugim rzędzie (**Projektowanie konstrukcji objętościowej**).

9.9.1. Definicja modelu konstrukcji


Definicja osi konstrukcyjnych

WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
<i>Geometria / Oś konstrukcji</i>	Otwarcie okna dialogowego Oś konstrukcji , pozwalającego na definiowanie osi konstrukcji

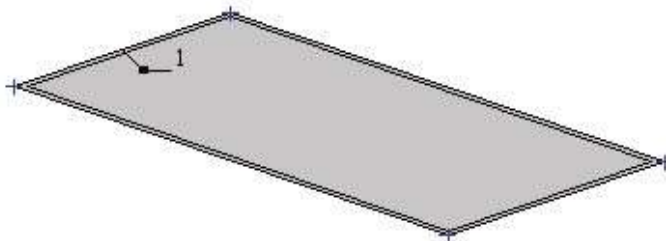
<p>Na zakładce X wybrać opcję <i>Definiuj</i> znajdującą się w polu <i>Numeracja</i>, wpisać x1 w polu edycyjnym, a następnie wpisać następujące współrzędne określające położenie osi:</p> <p>(0.0) Wstaw, (1.0) Wstaw, (1.5) Wstaw, (5.0) Wstaw, (5.5) Wstaw, (9.0) Wstaw, (9.5) Wstaw, (10.5) Wstaw</p>	<p>Określenie sposobu numerowania osi (x1, x2, x3...)</p>
<p>Na zakładce Y wybrać opcję <i>Definiuj</i> znajdującą się w polu <i>Numeracja</i>, wpisać y1 w polu edycyjnym, a następnie wpisać następujące współrzędne określające położenie osi:</p> <p>(0.0) Wstaw, (0.5) Wstaw, (1.0) Wstaw, (4.5) Wstaw, (5.0) Wstaw, (5.5) Wstaw</p>	<p>Określenie sposobu numerowania osi (y1, y2, y3...)</p>
<p>Na zakładce Z wybrać opcję <i>Definiuj</i> znajdującą się w polu <i>Numeracja</i>, wpisać z1 w polu edycyjnym, a następnie wpisać następujące współrzędne określające położenie osi:</p> <p>(0.0) Wstaw, (0.5) Wstaw, (3.5) Wstaw, (4.0) Wstaw</p>	<p>Określenie sposobu numerowania osi (z1, z2, z3...)</p>
<p>Zastosuj, Zamknij</p>	<p>Wyświetlenie zdefiniowanych osi konstrukcji na ekranie, zamknięcie okna dialogowego Osie konstrukcji</p>
<p><i>Widok / Rzutowanie / 3D xyz</i></p>	<p>Wyświetlenie aksonometrycznego widoku konstrukcji</p>
	<p>Przywrócenie początkowego widoku konstrukcji (rysunek poniżej)</p>




Podstawa fundamentu

Widok / Rzutowanie / <i>Xy</i>	Ustawienie konstrukcji w płaszczyźnie <i>XY</i>
Wybierz z górnego menu <i>Geometria / Obiekty / Polilinia - kontur</i>	Otwarcie okna dialogowego Polilinia - kontur służącego do definiowania różnego rodzaju linii (łamane, kontury)
LKM w klawisz Geometria	Otwarcie części okna dialogowego, w której znajdują się pola służące do określania współrzędnych punktów określających kontur
Ustawić kursor w zielonym polu edycyjnym, przejść do edytora graficznego, a następnie wybrać punkty definiujące kontur (będące punktami przecięcia odpowiednich osi konstrukcyjnych): x1 - y1, x8 - y1, x8 - y6, x1 - y6 Zastosuj, Zamknij	Definicja konturu, zamknięcie okna dialogowego Polilinia - kontur
	Przywrócenie początkowego widoku konstrukcji



<i>Geometria / Panele</i>	Otwarcie okna dialogowego Panel umożliwiającego definicję paneli w konstrukcji
Włączyć opcję <i>bok</i> umiejscowioną w polu <i>Typ obszaru</i>	Wybranie tej opcji powoduje, iż tworzony obiekt będzie definiowany jako ścianka (bez nadania własności takich jak typ zbrojenia czy grubość) co umożliwia wykorzystanie tego obiektu przy tworzeniu konstrukcji objętościowej
LKM w opcję <i>Punkt wewnętrzny</i> znajdującą się w polu <i>Tworzenie poprzez</i> , wybrać jakikolwiek punkt wewnątrz konturu	Nadanie wybranych własności do wyselekcjonowanego panelu
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Panel
<i>Widok / Rzutowanie / 3D xyz</i>	Wybranie tej komendy powoduje przedstawienie na ekranie aksonometrycznego widoku konstrukcji; zdefiniowaną konstrukcję (bez osi konstrukcyjnych) przedstawiono na poniższym rysunku





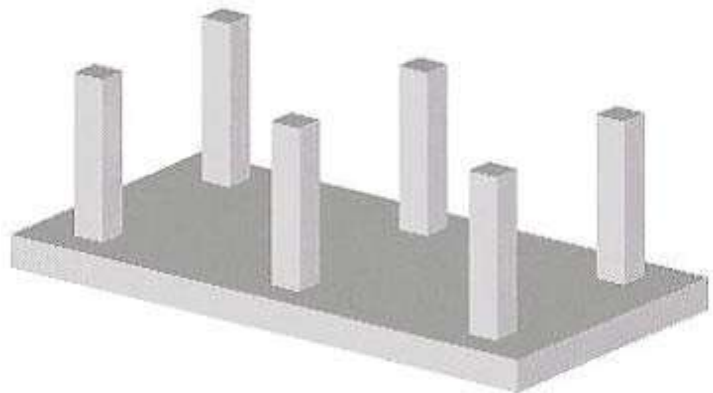
 W polu edycyjnym wpisać 1 , Enter	Wybiera zdefiniowany panel (nr 1), którego kolor zmienia się na czerwony
<i>Geometria / Obiekty / Wyciąganie</i>	Otwiera okno dialogowe Wyciąganie , umożliwiające tworzenie prostych elementów objętościowych poprzez wyciągnięcie zdefiniowanych uprzednio elementów dwuwymiarowych
Włączyć opcję <i> do osi</i> , wybrać oś Z	Wybranie tej opcji powoduje, iż wyselekcjonowany obiekt będzie wyciągany wzdłuż osi, równoległej do osi Z globalnego układu współrzędnych
W polu edycyjnym wpisać liczbę 0.5 określającą długość wektora ciągnięcia	Definiuje długość wektora ciągnięcia
W polu <i>Liczba podziałów</i> wpisać 1	Definiuje liczbę podziałów podczas wyciągania wybranego obiektu

Zastosuj, Zamknij	Wyciąga wybrany dwuwymiarowy obiekt o zadany wektor ciągnięcia wzdłuż wyselekcjonowanej osi równoległej do osi Z globalnego układu współrzędnych
--------------------------	--

Słupy

<i>Widok / Praca 3D / Globalna płaszczyzna pracy</i>	Otwarcie okna dialogowego Płaszczyzna pracy , pozwalającego na ustalenie płaszczyzny w której odbywać się będzie tworzenie lub modyfikacja konstrukcji
Przejdź do ekranu graficznego, a następnie wybrać graficznie punkt przecięcia się następujących osi konstrukcyjnych: x1 - y1 - z2 , a następnie nacisnąć klawisz Zastosuj	Ustawienie globalnej płaszczyzny pracy; współrzędne w oknie dialogowym Płaszczyzna pracy zmieniają się automatycznie na wybrane (0.00; 0.00; 0.50)
Zamknąć okno dialogowe Płaszczyzna pracy klikając przycisk 	Zamknięcie okna dialogowego Płaszczyzna pracy
<i>Widok / Rzutowanie / Xy</i>	Wybranie tej opcji spowoduje ustawienie widoku konstrukcji w płaszczyźnie XY dla ostatnio podanej wartości współrzędnej Z (tj. Z = 0.5); tylko elementy znajdujące się w tej płaszczyźnie pozostaną widoczne
<i>Geometria / Obiekty / Sześcian</i>	Otwarcie okna dialogowego Sześcian , pozwalającego na definiowanie sześcianu
W polu <i>Metoda tworzenia</i> wybrać opcję <i>dwa punkty</i>	Wybór tej opcji spowoduje, iż prostokąt podstawy sześcianu będzie definiowany przy pomocy dwóch przeciwległych wierzchołków
Przejdź do edytora graficznego i wybrać dwa przeciwległe wierzchołki prostokąta zdefiniowane przez punkty przecięcia się następujących osi konstrukcyjnych: x2 - y2 , x3 - y3 , następnie w polu <i>Wysokość</i> wpisać 3 , Zastosuj, Zamknij	Utworzenie sześcianu, zamknięcie okna dialogowego
 W polu edycyjnym wpisać 2 , Enter	Wybranie elementu konstrukcyjnego nr 2 (ostatnio zdefiniowany sześcian)


<i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego Translacja
W polu <i>Wektor translacji</i> wpisać współrzędne wektora przesunięcia: (4.0, 0.0, 0.0) , w polu <i>Liczba powtórzeń</i> wpisać 2 , Wykonaj	Przesuwa wybrany sześcian
W polu edycyjnym obok ikony  wpisać 2do4 , Enter	Wybranie ostatnio zdefiniowanych sześcianów (elementy konstrukcyjne 2, 3 i 4)
W polu <i>Wektor translacji</i> wpisać współrzędne wektora przesunięcia: (0.0, 4.0, 0.0) , w polu <i>Liczba powtórzeń</i> wpisać 1 , Wykonaj, Zamknij	Przesunięcie wybranych sześcianów
<i>Widok / Rzutowanie / 3D xyz</i>	Wybranie tej komendy powoduje przedstawienie na ekranie aksonometrycznego widoku konstrukcji; zdefiniowaną konstrukcję (bez osi konstrukcyjnych) przedstawiono na poniższym rysunku
	Wybranie tej opcji powoduje niewyświetlanie niewidocznych linii w konstrukcji (ikona znajduje się w lewym dolnym rogu ekranu)



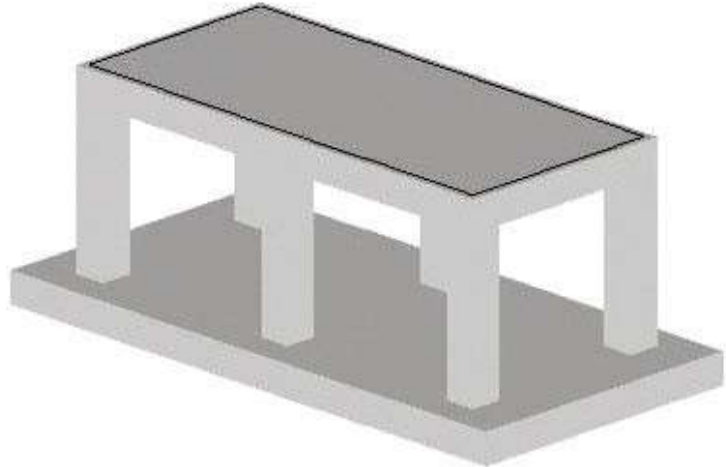
Górna część fundamentu

<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów umożliwiającego wyświetlanie na ekranie wybranych atrybutów konstrukcji
Na zakładce <i>Panele / ES</i> wyłączyć opcję <i>Opis paneli</i> , OK	Wyłączenie prezentacji opisu paneli: numeru i grubości paneli oraz typu zbrojenia. Zamknięcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów


Widok / Praca 3D / Globalna płaszczyzna pracy	Otwarcie okna dialogowego Płaszczyzna pracy , pozwalającego na ustalenie płaszczyzny w której odbywać się będzie tworzenie lub modyfikacja konstrukcji
Przejsć do ekranu graficznego, a następnie wybrać graficznie punkt przecięcia się następujących osi konstrukcyjnych: x2 - y2 - z4 , a następnie nacisnąć klawisz Zastosuj	Ustawienie globalnej płaszczyzny pracy; współrzędne w oknie dialogowym Płaszczyzna pracy zmieniają się automatycznie na wybrane (1.00, 0.50, 4.00)


Zamknąć okno dialogowe Płaszczyzna pracy naciskając 	Zamknięcie okna dialogowego Płaszczyzna pracy
Widok / Rzutowanie / Xy	Wybranie tej opcji spowoduje ustawienie widoku konstrukcji w płaszczyźnie XY, dla ostatnio podanej współrzędnej Z (tj. z = 4.0); tylko elementy znajdujące się w tej płaszczyźnie pozostaną widoczne
Wybierz z górnego menu <i>Geometria / Obiekty / Polilinia - kontur</i>	Otwarcie okna dialogowego Polilinia - kontur służącego do definiowania różnego rodzaju linii (łamane, kontury)
Ustawić kursor w zielonym polu edycyjnym, przejść do edytora graficznego, a następnie wybrać punkty definiujące kontur (będące punktami przecięcia odpowiednich osi konstrukcyjnych): x2 - y2, x7 - y2, x7 - y5, x2 - y5, Zastosuj, Zamknij	Definicja konturu, zamknięcie okna dialogowego Polilinia - kontur
<i>Geometria / Panele</i>	Otwarcie okna dialogowego Panel umożliwiającego definicję paneli w konstrukcji
Włączyć opcję <i>bok</i> umiejscowioną w polu <i>Typ obszaru</i>	Wybranie tej opcji powoduje, iż tworzony obiekt będzie definiowany jako ścianka (bez nadania własności takich jak typ zbrojenia czy grubość) co umożliwi wykorzystanie tego obiektu przy tworzeniu konstrukcji objętościowej
LKM w opcję <i>Punkt wewnętrzny</i> znajdującą się w polu <i>Tworzenie poprzez</i> , wybrać jakikolwiek punkt wewnątrz konturu	Nadanie wybranych własności do wyselekcjonowanego panelu
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Panel

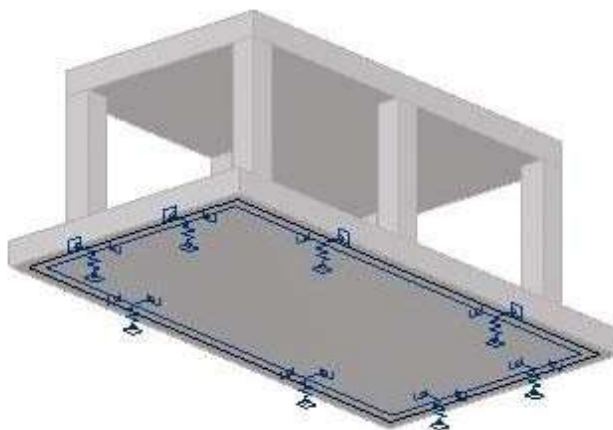
W polu edycyjnym obok ikony  wpisać 8, Enter	Wybranie ostatnio zdefiniowanego konturu
<i>Geometria / Obiekty / Wyciąganie</i>	Otwiera okno dialogowe Wyciąganie , umożliwiające tworzenie prostych elementów objętościowych przez wyciągnięcie zdefiniowanych uprzednio elementów dwuwymiarowych
Włączyć opcję <i> do osi</i> , wybrać oś Z	Wybranie tej opcji powoduje, iż wyselekcjonowany obiekt będzie wyciągany wzdłuż osi, równoległej do osi Z globalnego układu współrzędnych
W polu edycyjnym wpisać liczbę -0.5 określającą długość wektora	Definiuje długość wektora ciągnięcia
W polu <i>Liczba podziałów</i> wpisać 1	Definiuje liczbę podziałów podczas wyciągania wybranego obiektu
Zastosuj, Zamknij	Wyciąga wybrany dwuwymiarowy obiekt o zadany wektor ciągnięcia wzdłuż wyselekcjonowanej osi równoległej do osi Z globalnego układu współrzędnych
	Wybranie tej opcji powoduje niewyświetlanie niewidocznych linii w konstrukcji (ikona znajduje się w lewym dolnym rogu ekranu)
<i>Widok / Rzutowanie / 3D xyz</i>	Wyświetlenie aksonometrycznego widoku konstrukcji
	Wybranie tej opcji powoduje niewyświetlanie niewidocznych linii w konstrukcji (ikona znajduje się w lewym dolnym rogu ekranu)
	Wyświetlenie początkowego widoku konstrukcji (patrz rysunek poniżej)



Definicja podpór

LKM w pole przeznaczone do selekcji ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Podpory	Wybór ekranu systemu Robot przeznaczonego do definicji podpór
W oknie dialogowym Podpory nacisnąć ikonę 	Otwarcie okna dialogowego Definicja podpory służącego do definiowania nowego typu podpory
Na zakładce <i>Sprężyste</i> odblokować kierunek UZ, w polu <i>KZ</i> wpisać wartość: 70000 kN/m Zablokować pozostałe kierunki	Definicja współczynnika sprężystości podpory w kierunku osi Z
W polu <i>Etykieta</i> wpisać nazwę dla nowej podpory: <i>Podpora sprężysta</i> Dodaj, Zamknij	Nadanie nazwy do definiowanego typu podpory
Przejsć na zakładkę <i>Powierzchniowe</i> , LKM w polu <i>Aktualna selekcja</i> w oknie dialogowym Podpory	Wybrana zostanie powierzchnia konstrukcji objętościowej
Przejsć na ekran graficzny i wybrać powierzchnię będącą podstawą fundamentu - w polu <i>Aktualna selekcja</i> powinno pojawić się 1_REF(1)	Wybór powierzchni podstawy fundamentu, do której zostanie przyłożony nowy typ podpory
LKM w klawisz Zastosuj	Wyselekcjonowany typ podpory zostanie nadany do wybranej powierzchni konstrukcji


LKM w pole przeznaczone do selekcji ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Geometria	Wybór początkowego ekranu systemu Robot
<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów umożliwiającego wyświetlanie na ekranie wybranych atrybutów konstrukcji
Na zakładce <i>Model</i> wybrać opcję <i>Podpory - symbole</i> Zastosuj, OK	Na ekranie zostaną wyświetlone symbole podpór; zdefiniowana konstrukcja przedstawiona została na poniższym rysunku
	Użycie opcji widok dynamiczny pozwala na obrót i przesunięcie konstrukcji, aby można było przedstawić dolną, podporową część konstrukcji






Generacja siatki

W celu lepszego dopasowania siatki elementów skończonych zdefiniujemy dodatkowe węzły

<i>Widok / Siatka / Definiuj krok</i>	Otwarcie okna dialogowego Definicja kroku siatki służącego do zmiany kroku siatki prezentowanej na ekranie
W polu <i>Krok siatki</i> ustawić krok siatki Dx oraz Dy na 0.25 Zastosuj, Zamknij	Zmiana kroku siatki, zamknięcie okna dialogowego Definicja kroku siatki
<i>Widok / Praca 3D / Globalna płaszczyzna pracy</i>	Otwarcie okna dialogowego Płaszczyzna pracy , pozwalającego na ustalenie płaszczyzny w której odbywać się będzie tworzenie lub modyfikacja konstrukcji
Przejsć na ekran graficzny, a następnie wybrać graficznie punkt przecięcia się następujących osi konstrukcyjnych: x1 - y1 - z1 , a następnie nacisnąć klawisz Zastosuj	Ustawienie globalnej płaszczyzny pracy; współrzędne w oknie dialogowym Płaszczyzna pracy zmienią się automatycznie na wybrane (0.00, 0.00, 0.00)

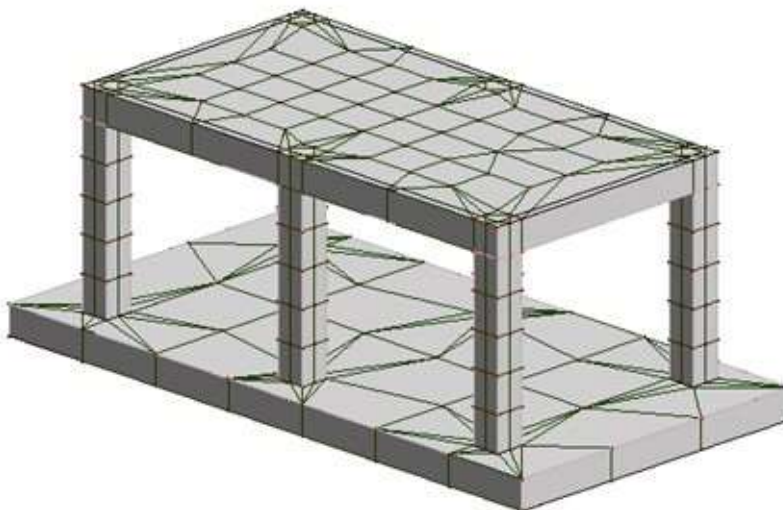
<i>Widok / Rzutowanie / Xy</i>	Wybranie tej opcji spowoduje ustawienie konstrukcji w płaszczyźnie XY dla ostatnio podanej wartości współrzędnej Z (tj. $z = 0.0$); tylko elementy znajdujące się w tej płaszczyźnie pozostaną widoczne
<i>Geometria / Węzły</i>	Otwarcie okna dialogowego Węzły umożliwiającego definicję węzłów w konstrukcji
Zdefiniować dodatkowe węzły o współrzędnych będących punktami przecięcia następujących osi konstrukcji: x2 - y2, x2 - y3, x3 - y3, x3 - y2, oraz węzły o następujących współrzędnych: (1.25, 0.50, 0.00), (1.00, 0.75, 0.00), (1.25, 1.00, 0.00), (1.50, 0.75, 0.00) Zamknij	Definicja węzłów, zamknięcie okna dialogowego Węzły
W polu edycyjnym umiejscowionym obok ikony  wpisać: wsz, Enter	Wybranie wszystkich węzłów w konstrukcji
<i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego Translacja
W polu: <i>Wektor translacji</i> wpisać: (4.00, 0.00, 0.00) w polu <i>Liczba powtórzeń</i> wpisać: 2 Wykonaj, Zamknij	

W polu edycyjnym umiejscowionym obok ikony  wpisać: wsz, Enter	Wybranie wszystkich węzłów w konstrukcji
<i>Edycja / Edytuj / Lustro poziome</i>	Otwarcie okna dialogowego Symetria pozioma
LKM w pole <i>Położenie płaszczyzny</i> 2.75	Definicja położenia poziomej osi symetrii
Wykonaj, Zamknij	Wykonanie symetrii poziomej wybranych węzłów, zamknięcie okna dialogowego Symetria pozioma
<i>Widok / Rzutowanie / 3D xyz</i>	Wyświetlenie aksonometrycznego widoku konstrukcji

Widok / Praca 3D / Globalna płaszczyzna pracy	Otwarcie okna dialogowego Płaszczyzna pracy , pozwalającego na ustalenie płaszczyzny, w której odbywać się będzie tworzenie lub modyfikacja konstrukcji
W ekranie graficznym wybrać punkt przecięcia się następujących osi konstrukcyjnych: x2 - y2 - z4 , a następnie nacisnąć klawisz Zastosuj	Ustawienie globalnej płaszczyzny pracy; współrzędne w oknie dialogowym Płaszczyzna pracy zmieniają się automatycznie na wybrane (1.00, 0.50, 4.00)
Nacisnąć przycisk  znajdujący się w oknie dialogowym Płaszczyzna pracy	Zamknięcie okna dialogowego Płaszczyzna pracy
Widok / Rzutowanie / Xy	Wybranie tej opcji spowoduje ustawienie konstrukcji w płaszczyźnie XY dla ostatnio podanej wartości współrzędnej Z (tj. $z = 4.0$); tylko elementy znajdujące się w tej płaszczyźnie pozostaną widoczne
Geometria / Węzły	Otwarcie okna dialogowego Węzły umożliwiającego definicję węzłów w konstrukcji
Zdefiniować dodatkowe węzły o współrzędnych będących punktami przecięcia następujących osi konstrukcji: x2 - y3, x3 - y3, x3 - y2, x2 - y2 , oraz węzły o następujących współrzędnych: (1.25, 1.00, 4.00), (1.50, 0.75, 4.00), (1.25, 0.50, 4.00), (1.00, 0.75, 4.00), Zamknij	Definicja węzłów, zamknięcie okna dialogowego Węzły
W polu edycyjnym umiejscowionym obok ikony  wpisać: 49do56 , Enter	Wybranie węzłów znajdujących się w aktualnej płaszczyźnie pracy
Edycja / Edytuj / Przesuń	Otwarcie okna dialogowego Translacja
W polu: <i>Wektor translacji</i> wpisać: (4.00, 0.00, 0.00) w polu <i>Liczba powtórzeń</i> wpisać: 2 Wykonaj, Zamknij	

W polu edycyjnym umiejscowionym obok ikony  wpisać numery zdefiniowanych ostatnio węzłów: 49do72, Enter	Wybranie węzłów znajdujących się aktualnej w płaszczyźnie pracy
<i>Edycja / Edytuj / Lustro poziome</i>	Otwarcie okna dialogowego Symetria pozioma
LKM w pole <i>Położenie płaszczyzny</i> 2.75	Definicja położenia poziomej osi symetrii
Wykonaj, Zamknij	Wykonanie symetrii poziomej wybranych węzłów, zamknięcie okna dialogowego
<i>Geometria / Węzły</i>	Otwarcie okna dialogowego Węzły
W polu <i>Współrzędne</i> wpisać współrzędne dodatkowego węzła: (7.25, 2.75, 4.00) Dodaj, Zamknij	Definicja dodatkowego węzła nr 97, do którego zostanie przyłożone obciążenie węzłowe
W polu edycyjnym obok ikony  wpisać 1 i 8, Enter	Wybranie elementów objętościowych nr 1 i 8 (podstawa i wierzchołek fundamentu)
<i>Analiza / Model obliczeniowy / Opcje siatkowania</i>	Otwarcie okna dialogowego Opcje siatkowania
W polu <i>Dopuszczalne metody siatkowania</i> wybrać opcję <i>Delaunay</i> , w polu <i>Generacja siatki</i> wybrać opcję <i>Automatyczna</i> i wpisać 5 w polu edycyjnym <i>Podział 1</i> , OK	Ustawienie parametrów siatkowania dla wybranych elementów konstrukcji
Wpisać 2do7 w polu edycyjnym obok ikony  Enter	Wybranie elementów objętościowych tworzących kolumny fundamentu
<i>Analiza / Model obliczeniowy / Opcje siatkowania</i>	Otwarcie okna dialogowego Opcje siatkowania
W polu <i>Dopuszczalne metody siatkowania</i> wybrać opcję <i>Delaunay</i> , w polu <i>Generacja siatki</i> wybrać opcję <i>Automatyczna</i> i wpisać 2 w polu edycyjnym <i>Podział 1</i> , OK	Ustawienie parametrów siatkowania dla wybranych elementów konstrukcji




<i>Analiza / Model obliczeniowy / Generacja</i>	Generacja modelu obliczeniowego konstrukcji (elementów skończonych)
<i>Widok / Rzutowanie / 3D xyz</i>	Przedstawienie aksonometrycznego widoku konstrukcji; zdefiniowaną konstrukcję (bez uwidocznienia osi konstrukcyjnych) pokazano na poniższym rysunku







<i>Geometria / Charakterystyki / Charakterystyki brył</i>	Otwarcie okna dialogowego Charakterystyki brył
LKM w polu <i>Selekcja</i>	Wpisać wsz (wszystkie elementy konstrukcji)
LKM w materiał <i>Beton</i>	Wybór materiału. Jeżeli materiału nie ma na liście dostępnych materiałów, należy nacisnąć ikonę <i>Definicja nowej charakterystyki brył</i> i dodać beton do listy materiałów
Zastosuj, Zamknij	Nadanie materiału wszystkim elementom konstrukcji i zamknięcie okna dialogowego

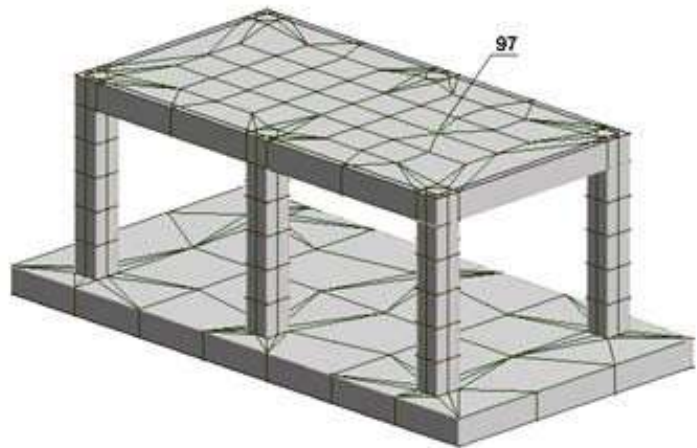
Definicja obciążenia

<i>Widok / Rzutowanie / Xy</i>	Wybranie tej opcji spowoduje ustawienie konstrukcji w płaszczyźnie XY dla ostatnio podanej wartości współrzędnej Z (tj. $z = 4.0$); tylko elementy znajdujące się w tej płaszczyźnie pozostaną widoczne
LKM w polu przeznaczone do selekcji ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Obciążenia	Wybór ekranu systemu Robot przeznaczonego do definicji obciążenia

LKM w klawisz Nowy w oknie dialogowym Przypadki obciążeń	Definicja przypadku obciążenia ciężarem własnym, któremu zostanie nadana standardowa nazwa STA1
LKM w opcję <i>eksploatacyjne</i> znajdującą się w polu <i>Natura</i>	Wybór natury obciążenia
LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy	Definicja trzech przypadków obciążeniowych o naturze <i>eksploatacyjne</i> , którym zostaną nadane standardowe nazwy EKSP1, EKSP2 i EKSP3
	<i>UWAGA: Obciążenie ciężarem własnym został automatycznie nadane przez program w kierunku "Z"</i>
LKM w ikonę  znajdującą się na prawym pasku narzędziowym	Otwarcie okna dialogowego Obciążenie
Na zakładce <i>Powierzchnia</i> wybrać ikonę  (Obciążenie powierzchniowe jednorodne)	Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne
	Wybór drugiego przypadku obciążeniowego (<i>EKSP1</i>)
W polu <i>Wartości Z</i> wpisz - 20	Definicja obciążenia jednorodnego działającego na powierzchni ES
Dodaj	Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne
Umieścić kursor w polu <i>Zastosuj do</i> , przejść do ekranu graficznego i wybrać kontur definiujący górną powierzchnię fundamentu. W polu edycyjnym powinno pojawić się 8_REF(1)	Wyświetla aktualny wybór konturu dla obciążenia powierzchniowego
Zastosuj	Nadaje zdefiniowane obciążenie powierzchniowe do wybranego konturu


<p>Na zakładce <i>Powierzchnia</i> wybrać ikonę  (Obciążenie powierzchniowe jednorodne na konturze)</p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne (kontur)</p>
	<p>Wybór trzeciego przypadku obciążeniowego (<i>EKSP2</i>)</p>
<p>W polu <i>Wartości Z</i> wpisz - 40</p>	<p>Definicja obciążenia jednorodnego działającego na powierzchni ES</p>
<p>LKM w klawisz Definicja konturu</p>	<p>Otwarcie okna dialogowego umożliwiającego definicję konturu, do którego zostanie przyłożone obciążenie</p>
<p>Przejdź na ekran graficzny, a następnie zdefiniować kontur, do którego zostanie przyłożone obciążenie, wskazując punkty przecięcia się następujących osi konstrukcyjnych: x2 - y2, x5 - y2, x5 - y5, x2 - y5</p>	<p>Definicja konturu</p>
<p>LKM w klawisz Dodaj znajdujący się w dolnej części okna dialogowego Obciążenie jednorodne (kontur)</p>	<p>Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne (kontur)</p>
<p>Umieścić kursor w polu <i>Zastosuj do</i>, przejść do ekranu graficznego i wybrać kontur definiujący górną powierzchnię. W polu edycyjnym powinno pojawić się 8_REF(1)</p>	<p>Wyświetla aktualny wybór konturu dla obciążenia powierzchniowego</p>
<p>Zastosuj</p>	<p>Nadanie wybranego obciążenia do zdefiniowanego konturu na wyselekcjonowanym panel</p>
<p>W oknie dialogowym Obciążenie na zakładce <i>Węzeł</i> wybrać ikonę  (Siła węzłowa)</p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Siła węzłowa</p>

	Wybierz przypadek obciążeniowy <i>EKSP3</i>
W polu edycyjnym <i>Wartości Z</i> wpisać wartość - 20 Dodaj	Definicja obciążenia siłą skupioną działającą w wybranych węzłach
W polu <i>Zastosuj do</i> wpisać 97	Wybranie węzła, do którego zostanie nadane obciążenie (patrz poniższy rysunek)




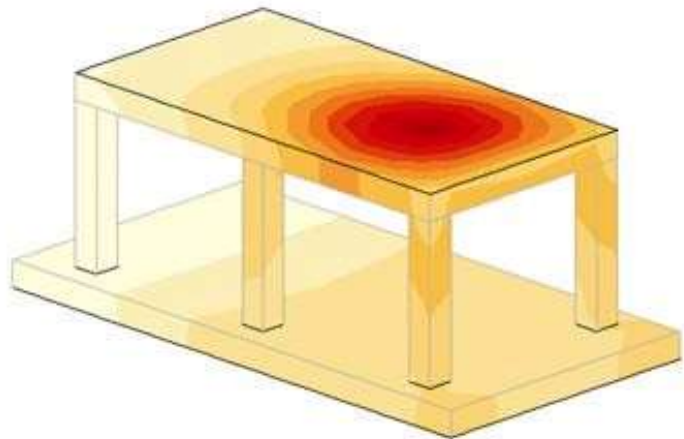
Zastosuj, Zamknij	Nadanie obciążenia siłą skupioną do wybranego węzła, zamknięcie okna dialogowego <i>Siła skupiona</i>
--------------------------	--

9.9.2. Analiza konstrukcji

	Rozpoczęcie obliczeń zdefiniowanej konstrukcji. Kiedy obliczenia zostaną zakończone w górnym pasku systemu Robot zostanie wyświetlona następująca informacja: <i>Wyniki MES: aktualne</i>
---	---

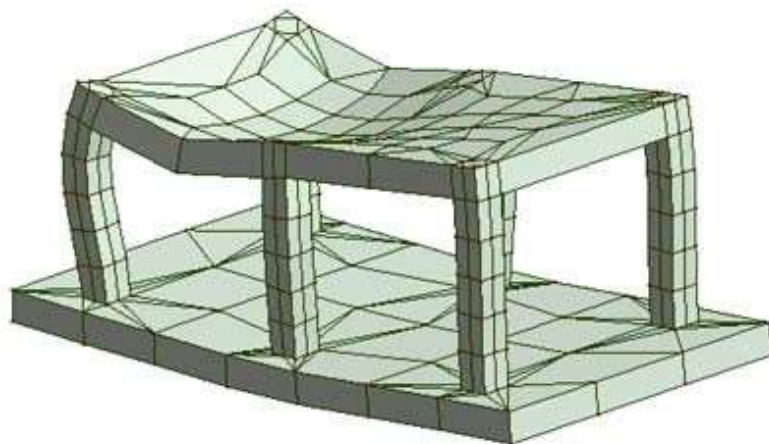
9.9.3. Prezentacja wyników w postaci map

LKM w pole przeznaczone do selekcji ekranów systemu Robot Rezultaty / Rezultaty - mapy	Wybór ekranu systemu Robot przeznaczonego do prezentacji rezultatów
	Wybór czwartego przypadku obciążeniowego (4:EKSP3)
Na zakładce <i>Szczegółowe</i> wybrać opcję <i>Przemieszczenia całkowite</i> umiejscowioną w dolnej części zakładki	Wybór wielkości, która ma być prezentowana
Włączyć opcję <i>mapy</i> (jeśli nie jest aktywna)	Wyniki dla objętościowych elementów skończonych wyświetlane będą w postaci map
LKM w klawisz Zastosuj	Prezentacja przemieszczenia całkowitego konstrukcji dla wybranego przypadku obciążeniowego (patrz rysunek poniżej)



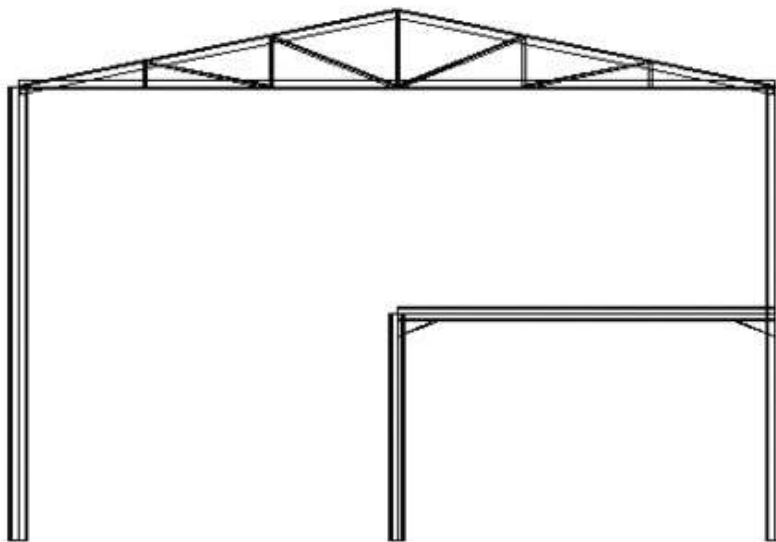
Na zakładce <i>Szczegółowe</i> wyłączyć opcję <i>Przemieszczenia całkowite</i> umiejscowioną w dolnej części zakładki, przejść na zakładkę <i>Deformacje</i> i uaktywnić opcję <i>włączone</i>	Włączenie tej opcji umożliwia prezentację deformacji konstrukcji dla wybranego przypadku obciążeniowego
--	---

<p>2: EKSP1</p> <ul style="list-style-type: none">1: STA12: EKSP13: EKSP24: EKSP3 <p>Przypadki proste</p>	Wybór trzeciego przypadku obciążeniowego (3:EKSP2)
LKM w klawisz Zastosuj	Prezentacja deformacji konstrukcji



9.10. Przykład projektowania konstrukcji prętowej według normy EuroCode 3

Ten przykład przedstawia definicję, analizę i wymiarowanie prostej stalowej ramy płaskiej prezentowanej na poniższym rysunku. W definicji użyto kratownicy wygenerowanych za pomocą biblioteki typowych konstrukcji dostępnych w systemie **Robot**. W modelu uwzględniono zalecenia normowe EC3 w zakresie imperfekcji geometrycznych i analizy sprężysto-plastycznej materiału. Jednostki danych: (m) i (kN).



Podczas definiowania konstrukcji wykorzystywane będą następujące zasady:

- prezentacja dowolnej ikony oznacza naciśnięcie tej ikony lewym klawiszem myszki,
 - { x } oznacza wybór opcji 'x' z okna dialogowego,
 - LKM i PKM - skróty używane do oznaczenia kliknięcia odpowiednio lewym lub prawym klawiszem myszki.
- Aby rozpocząć definiowanie konstrukcji, uruchom system **Robot** (naciśnij odpowiednią ikonę lub wybierz komendę z paska zadań). W okienku pojawiającym się po chwili na ekranie (jest ono opisane w rozdziale




2.1 podręcznika) należy wybrać pierwszą ikonę (**Projektowanie ramy płaskiej**).

9.10.1. Definicja modelu konstrukcji

Wybór norm

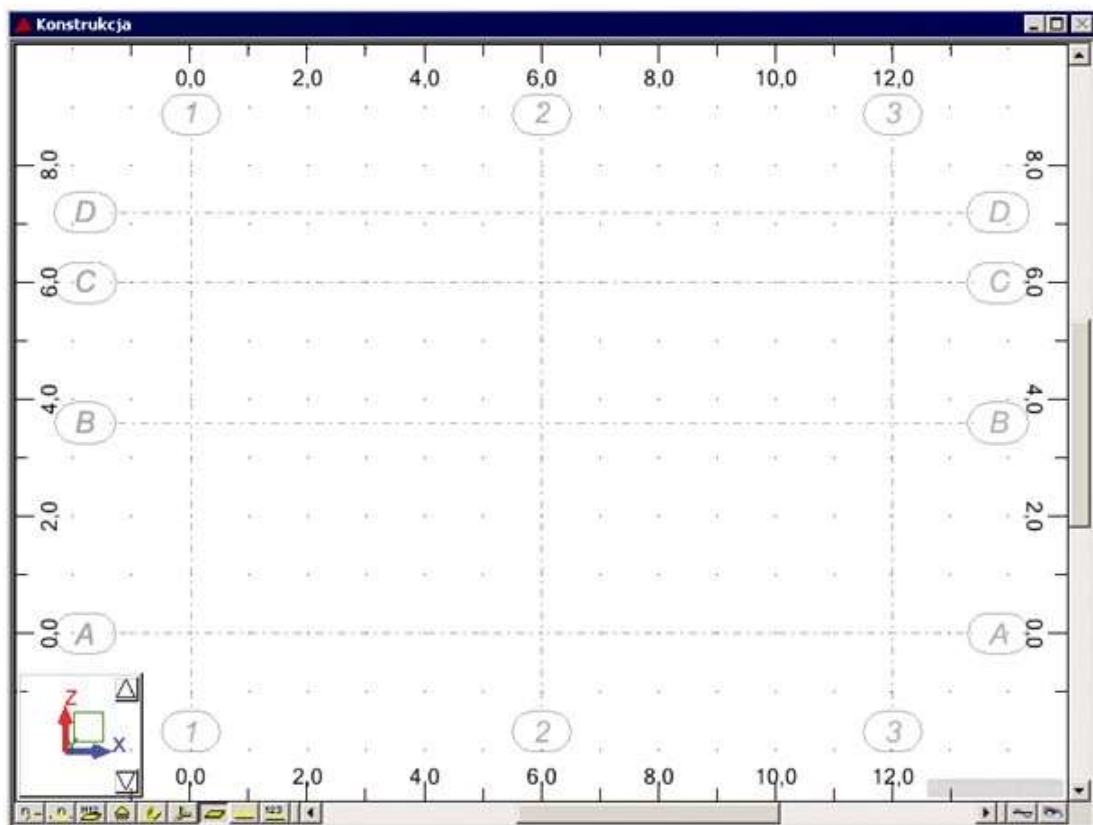
WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
<i>Narzędzia / Preferencje zadania</i>	Otwarcie okna dialogowego Preferencje zadania
<i>Materiały</i>	Wybór opcji <i>Materiały</i> z drzewka okna dialogowego

Wybór z listy rozwijalnej <i>Materiały</i> : <i>Eurocode</i>	Wybór bazy materiałów Eurocode
Modyfikacja	Otwarcie okna dialogowego Definicja materiału
W polu <i>Nazwa</i> wpisać <i>STAL</i>	Definicja materiału o tej nazwie będzie wymagana do wczytania konstrukcji bibliotecznej
Dodaj, OK	Dodanie do bazy materiału o nazwie <i>STAL</i>
<i>Normy projektowe</i>	Wybór opcji <i>Normy projektowe</i> z drzewka okna dialogowego
<i>Stalowe / aluminiowe</i> : <i>EN 1993-1-1:2005</i>	Wybór normy Eurokod 3 do wymiarowania konstrukcji stalowych <i>Uwaga</i> : <i>Jeżeli normy EN 1993-1-1:2005 nie ma na liście dostępnych norm, należy kliknąć klawisz Więcej norm i w dodatkowym oknie dialogowym Konfiguracja listy norm dodać ją do listy aktualnych norm.</i>
 <i>Obciążenia</i>	Wybór opcji <i>Normy - projektowe - Obciążenia</i> z drzewka okna dialogowego
<i>Kombinacje normowe</i> : <i>EN 1990:2002</i> Zaakceptować ostrzeżenia o zmianach normy	Wybór normy Eurocode do automatycznych kombinacji normowych <i>Uwaga</i> : <i>Jeżeli normy EN 1990:2002 nie ma na liście dostępnych norm, należy kliknąć klawisz Więcej norm i w dodatkowym oknie dialogowym Konfiguracja listy norm dodać ją do listy aktualnych norm.</i>
OK ostrzeżenia o Zaakceptować zmianach normy	Zaakceptowanie przyjętych parametrów i zamknięcie okna dialogowego Preferencje zadania ; zaakceptować ostrzeżenia o zmianach normy

Definicja osi konstrukcyjnych



<i>Geometria / Osie konstrukcji</i>	Rozpoczęcie definiowania osi konstrukcji; na ekranie pojawia się okno dialogowe Osie konstrukcji
Na zakładce X: Pozycja: {0} Liczba powtórzeń: {2} Rozstaw: {6} Numeracja: 1, 2, 3 ...	Definicja parametrów pionowych osi konstrukcyjnych
LKM w klawisz Wstaw	Zdefiniowane zostały pionowe osie konstrukcji

LKM w zakładkę Z	Rozpoczęcie definiowania parametrów poziomych osi konstrukcyjnych
Na zakładce Z: Pozycja: {0.0} Numeracja: A, B, C ...	Definicja parametrów poziomych osi konstrukcyjnych
LKM w klawisz Wstaw	Zdefiniowana została pozioma oś konstrukcji
Pozycja: {3.6}, Wstaw Pozycja: {6.0}, Wstaw Pozycja: {7.2}, Wstaw	Definicja kolejnych osi
LKM w klawisze: Zastosuj , Zamknij	Utworzenie zdefiniowanych osi konstrukcyjnych i zamknięcie okna dialogowego Osie konstrukcji . Na ekranie pojawią się osie konstrukcji przedstawione na poniższym rysunku.

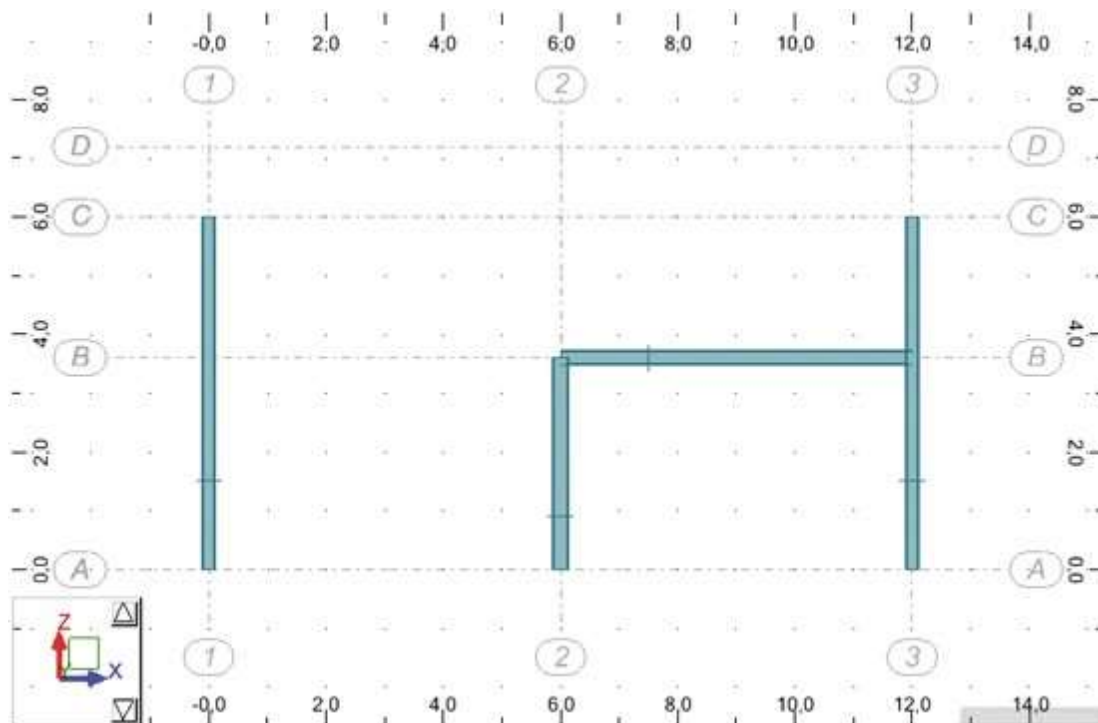


Definicja prętów konstrukcji

Geometria / Charakterystyki / Profile prętów	Otwarcie okna dialogowego Przekroje
--	--

	Otwarcie okna dialogowego Nowy przekrój
Wybór rodziny dwuteowników, w polu <i>Przekrój</i> wybór profilu IPE 240, Dodaj HEB 300, Dodaj HEB 240, Dodaj	Definicja przekrojów profili <i>IPE 240</i> , <i>HEB 240</i> i <i>HEB 300</i>
Zamknij (okno Nowy przekrój) Zamknij (okno Przekroje)	Zamknięcie okna dialogowego Przekroje i Nowy przekrój
	Otwarcie okna dialogowego Pręt
LKM w pole <i>Typ pręta</i> i wybór typu: <i>Słup</i>	Wybór charakterystyk pręta do wymiarowania; w polu <i>Przekrój</i> powinien widnieć ostatnio zdefiniowany przekrój <i>HEB 240</i>
LKM w pole <i>Początek</i> (tło pola zostanie zmienione na kolor zielony)	Rozpoczęcie definiowania prętów w konstrukcji (słupy konstrukcji)
Wskazać graficznie lub wpisać punkty początku i końca prętów (0,0) (0,6) oraz (12,0) (12,6)	Definicja słupów leżących na liniach konstrukcyjnych oznaczonych numerem 1 i 3 (w zakresie A-C)
LKM w pole <i>Przekrój</i> i wybór przekroju <i>HEB 300</i>	Wybór <i>HEB 300</i> jako aktualny przekrój
LKM w pole <i>Początek</i> (tło pola zostanie zmienione na kolor zielony)	Rozpoczęcie definiowania prętów w konstrukcji (słup środkowy)
Wskazać graficznie lub wpisać punkty początku i końca pręta (6,0) (6,3.6)	Definicja słupa leżącego na linii konstrukcyjnej oznaczonych numerem 2 (w zakresie A-B)
LKM w pole <i>Typ pręta</i> i wybór typu: <i>Belka</i>	Wybór charakterystyk pręta do wymiarowania
LKM w pole <i>Przekrój</i> i wybór przekroju <i>IPE 240</i>	Wybór <i>IPE 240</i> jako aktualny przekrój
LKM w pole <i>Początek</i> (tło pola zostanie zmienione na kolor zielony)	Rozpoczęcie definiowania prętów w konstrukcji (belka pomiędzy słupami)
Wskazać graficznie lub wpisać punkty początku i końca pręta (6.0,3.6) (12.0,3.6)	Definicja belki leżącej na linii konstrukcyjnej oznaczonej literą B (w zakresie 2-3)
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Pręt

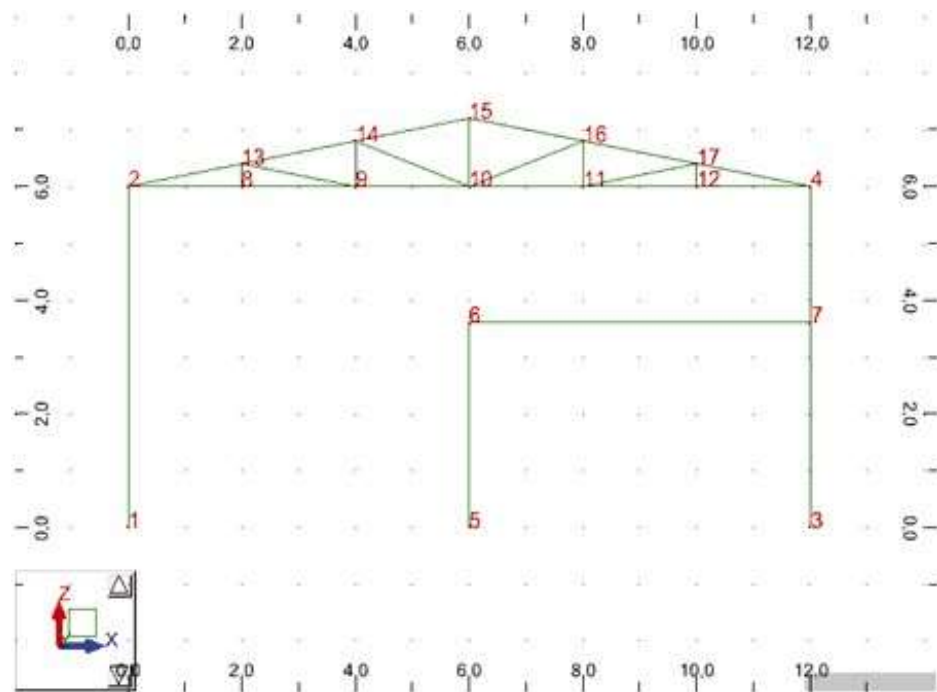
Widok / Wyświetl	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
Na zakładce <i>Pręty</i> włączyć opcję <i>Symbole, Szkice</i> Zastosuj	Włączenie prezentacji symboli i szkiców prętów na ekranie



Definicja konstrukcji bibliotecznej

Na zakładce: <i>Węzły</i> , włącz opcję <i>Numery węzłów</i> <i>Konstrukcja</i> , wyłącz opcję <i>Osie konstrukcyjne</i> , <i>Pręty</i> , wyłącz opcję <i>Symbole, Szkice</i> Zastosuj, OK	Włączenie prezentacji numerów węzłów oraz wyłączenie prezentacji osi konstrukcyjnych, symboli oraz szkiców prętów. Zamknięcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów
	Otwarcie okna dialogowego Konstrukcje typowe i rozpoczęcie definiowania konstrukcji bibliotecznej
LKM (2 razy) w ikonę (1) ikona w ostatnim rzędzie)	Wybór kratownicy trójkątnej typu 1; na ekranie pojawia się okno dialogowe Wstawianie konstrukcji , w którym zdefiniowane mogą zostać parametry kratownicy
Na zakładce <i>Wymiary</i> LKM w pole <i>Długość L</i> {12}	Definicja długości kratownicy (można ją również zdefiniować graficznie w polu graficznym)

LKM w pole <i>Wysokość H</i> {1.2}	Definicja wysokości kratownicy (można ją również zdefiniować graficznie w polu graficznym)
LKM w opcję: <i>Połączenia przegubowe: Nie</i>	
LKM w zakładkę <i>Wstaw</i>	
LKM w pole <i>Punkt wstawienia</i> Wskazać graficznie węzeł numer 2 o współrzędnych (0, 0, 6)	Definicja początkowego węzła kratownicy
LKM w klawisz Zastosuj	Akceptacja zdefiniowanych danych (możliwa weryfikacja)
LKM w klawisz OK	Utworzenie zdefiniowanej kratownicy i zamknięcie okna dialogowego Wstawianie konstrukcji ; zdefiniowana konstrukcja jest pokazana na poniższym rysunku





Dodanie pomocniczego węzła


<i>Edycja / Podział</i>	Otwarcie okna dialogowego Podział
<i>Podział LKM</i> • <i>w odległości</i>	Wybór sposobu definicji wstawiania węzła podziału przez współrzędną na długości pręta

Wpisać w pole <i>Odległość od wierzchołka</i> wartość 3.6 [m]	Określenie miejsca wstawienia pomocniczego węzła
Przejsć na pole graficzne i wskazać (LKM) lewy słup u jego podstawy (pręt nr 1)	Wskazanie pręta do podziału. <i>UWAGA: Jeżeli definiujemy podział przez współrzędna na długości pręta, to należy zwrócić uwagę na to, że współrzędna liczona jest od wskazanego początku pręta.</i>
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Podział

Definicja wzmocnień na prętach



 w dolnym pasku stanu	Przywrócenie domyślnego zestawu widoczności atrybutów
<i>Geometria / Cechy dodatkowe / Wzmocnienia</i>	Otwarcie okna dialogowego Wzmocnienia
LKM w polu z listą zdefiniowanych atrybutów, wybrać domyślnie zdefiniowany <i>Wzmocnienie_ 0.1x1</i>	Wybór typu wzmocnienia (zostanie podświetlony)
Przejsć na pole graficzne; wskazać początek i koniec pręta belki (numer 4)	Definicja wzmocnienia na początku i końcu belki 
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Wzmocnienia

Definicja podpór


	Otwarcie okna dialogowego Podpory
W oknie dialogowym Podpory (zakładka <i>Węzłowe</i>) wybrać podporę <i>Utwierdzenie</i>	Wybór typu pełnego utwierdzenia (zostanie podświetlona)
Przejsć na pole graficzne; wskazać węzeł nr 1 (dolny węzeł skrajnego słupa)	Przypisanie podpory w węźle nr 1
W oknie dialogowym Podpory wybrać podporę <i>Przegub</i>	Wybór typu podpory przegubowej (zostanie podświetlona)

Przejdź na pole graficzne; wskaźać węzły nr 3 i 5 (dolne węzły pozostałych słupów)	Przypisanie podpory w węzłach nr 3 i 5
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Podpory

Definicja imperfekcji geometrycznych

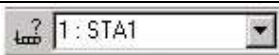



 w dolnym pasku stanu	Przywrócenie domyślnego zestawu widoczności atrybutów
<i>Geometria / Cechy dodatkowe / Imperfekcje geometryczne</i>	Otwarcie okna dialogowego Imperfekcje geometryczne
	Otwarcie okna dialogowego Definicja imperfekcji
W polu <i>etykieta</i> wpisać <i>Wykonawcze</i> , wyłączyć opcję <i>Automatyczne</i> , włączyć opcję <i>Użytkownika i absolutne</i> , wpisać wartość 5 [cm]	Definicja parametrów nowego typu imperfekcji o wartość strzałki ugięcia równej 5 cm
Dodaj, Zamknij	Zamknięcie okna Definicja imperfekcji
LKM w polu z listą zdefiniowanych atrybutów, wybrać domyślny typ imperfekcji (<i>Automatyczna</i>)	Wybór typu imperfekcji (zostanie podświetlony)
Przejdź na pole graficzne; wskaźać pręt numer 1 (lewy słup)	Definicja imperfekcji (automatycznej wg EC3) dla słupa
LKM w polu z listą zdefiniowanych atrybutów, wybrać zdefiniowany typ imperfekcji <i>Wykonawcze</i>	Wybór typu imperfekcji (zostanie podświetlony)
Przejdź na pole graficzne; wskaźać dolny pas kratownicy (pręt numer 5)	Definicja imperfekcji (zdefiniowanej przez użytkownika) dla dolnego pasa kratownicy
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Imperfekcje geometryczne

Definicja przypadków obciążeniowych

 w dolnym pasku stanu	Przywrócenie domyślnego zestawu widoczności atrybutów
<i>Obciążenia / Przypadki</i>	Otwarcie okna dialogowego Przypadki obciążeń

LKM w klawisz Nowy	Definicja przypadku obciążenia o naturze: stałe i standardowej nazwie STA1
LKM w pole <i>Natura, Eksploatacyjne (Live 1)</i>	Wybór natury przypadku obciążenia: eksploatacyjne
LKM w klawisz Nowy	Definicja przypadku obciążenia o naturze: eksploatacyjne i standardowej nazwie: EKSP1
LKM w klawisz Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Przypadki obciążeń

Definicja obciążeń dla utworzonych przypadków obciążenia

 wybór 1: STA1	Wybór przypadku numer 1 - obciążenia ciężar własnym STA1
<i>Obciążenia / Definicja obciążeń</i>	Otwarcie okna dialogowego Obciążenie
Wybierz zakładkę <i>Pręt</i> 	Wybór Obciążenie jednorodne
<i>Wartości:</i> pZ: {-3} [kN/m] Dodaj	Definicja wartości obciążenia jednorodnego na pręcie
LKM w pole <i>Zastosuj</i> do wpisanie listy prętów zewnętrznej obwiedni: 1 2 6 7	Definicja obciążenia jednorodnego na wskazanych prętach, modelujące ciężar okładzin ścian i pokrycia dachowego
Zastosuj	Definicja obciążenia na liście prętów
 wybór 2: EKSP1	Wybór przypadku obciążenia eksploatacyjnego EKSP1
Wybierz zakładkę <i>Węzeł</i> 	Wybór obciążenia Siła węzłowa
<i>Parametry obciążenia,</i> X: {10} [kN] Z: {-100} [kN], Dodaj	Definicja wartości obciążenia węzłowego
Przejdźcie na okno graficzne z widokiem konstrukcji i wskazanie (LKM) węzłów nr 6 i 18	Definicja obciążenia węzłowego, modelującego obciążenie suwnicą

Zastosuj	Definicja obciążenia w wybranych węzłach
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Obciążenia

Generacja obciążeń śniegiem i wiatrem


<i>Obciążenia / Obciążenia specjalne / Wiatr i Śnieg 2D/3D</i>	Otwarcie okna dialogowego Śnieg i wiatr 2D/3D
Naciśnięcie klawisza Auto pole <i>Głębokość: 30,</i> pole <i>Rozstaw: 6 (m)</i>	Automatyczna generacja zewnętrznej obwiedni konstrukcji dla generacji obciążeń klimatycznych
Naciśnięcie klawisza Parametry	Otwarcie dodatkowego okna dialogowego (Obciążenia klimatyczne), w którym zdefiniowane mogą zostać szczegółowe parametry; zostaną przyjęte domyślne parametry
Generuj, OK	Naciśnięcie tego klawisza powoduje rozpoczęcie generacji obciążeń wiatrem i śniegiem dla przyjętych parametrów; na ekranie pojawią się notki, w których prezentowane będą parametry przypadków śniegiem i wiatrem
Zamknięcie edytora tekstu z notkami	Pojawiły się nowe przypadki obciążeniowe (wiatr i śnieg)
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Śnieg i wiatr 2D/3D

Generacja automatycznych kombinacji normowych

<i>Obciążenia / Kombinacje automatyczne</i>	Otwarcie okna dialogowego Kombinacje normowe przypadków
<i>Kombinacje automatyczne uproszczone</i>	Wybranie tej opcji powoduje generację uproszczonych kombinacji normowych.
LKM w klawisz Więcej>	Otwiera się okno Kombinacje normowe przypadków EN 1990:2002 , w którym można zdefiniować parametry generacji kombinacji (np. definicje grup, relacji itp.).
LKM w zakładkę <i>Przypadki</i>	Okno zawiera listę przypadków, które biorą udział w kombinacjach automatycznych oraz ich przypisanie do natur i grup
LKM w zakładkę <i>Relacje</i> , w polu <i>Natura</i> wybrać typy przypadków: <i>stałe, eksploatacyjne, wiatr, śnieg</i>	Okno zawiera relacje pomiędzy przypadkami i grupami, co określa sposób kombinowania przypadków

Generuj	Naciśnięcie tego klawisza powoduje rozpoczęcie generacji kombinacji normowych, a następnie zamknięcie okna dialogowego Kombinacje normowe przypadków EN 1990:2002 .
----------------	--


Obliczenia i sprawdzenie wyników

<i>Analiza / Obliczenia</i>	Uruchomienie obliczeń
<i>Rezultaty / Naprężenia</i>	Otwarcie tabeli naprężeń prętów
LKM na zakładkę <i>Ekstrema globalne</i>	Obliczenie maksymalnych naprężeń w prętach.
LKM  (prawy, górny róg tabeli)	Zamknięcie tabeli
<i>Plik / Zapisz</i>	Otwarcie okna zapisu
W polu <i>Nazwa pliku</i> wpisać wybraną nazwę przykładu np. <i>Rama_EC3</i>	Domyślny format zapisu RTD
LKM klawisz Zapisz	Zapis przykładu

9.10.2. Analiza sprężysto-plastyczna

Dodatkowo przeprowadzona zostanie analiza przypadku wyjątkowego uderzenia suwnicą w słup hali. W przypadku tym uwzględnimy analizę w zakresie plastycznym.

Zmiana definicji przypadków obciążeniowych



<i>Obciążenia / Przypadki</i>	Otwarcie okna dialogowego Przypadki obciążeń
LKM w klawisz Usuń wszystko	Usunięcie wszystkich przypadków obciążeniowych
LKM w klawisz Nowy	Definicja przypadku obciążenia o domyślnej naturze i standardowej nazwie STA1
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Przypadki obciążeń
<i>Obciążenia / Definicja obciążeń</i>	Otwarcie okna dialogowego Obciążenie
	Wybór obciążenia Siła węzłowa


Parametry obciążenia, X: {120} [kN] Z: {0}	Definicja wartości obciążenia węzłowego
LKM w klawisz Dodaj znajdujący się na dole okna dialogowego	
Przejdźcie na okno graficzne z widokiem konstrukcji i wskazanie (LKM) węzła nr 18	Definicja obciążenia węzłowego, modelującego obciążenie wyjątkowe suwnicą
Zastosuj, Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Obciążenia

Obliczenia i sprawdzenie wyników

<i>Analiza / Obliczenia</i>	Uruchomienie obliczeń
Naprowadzić kursor myszy na skrajny słup (pręt 1), tak aby został podświetlony, PKM	Wywołanie menu kontekstowego widoku konstrukcji
<i>Właściwości obiektu</i>	Wywołanie opcji Właściwości pręta z informacją o pręcie nr 1
Zakładka <i>Weryfikacja</i>	Uprozczone wymiarowanie pręta stalowego. Jak można stwierdzić, nie spełnia on weryfikacji normowej
Zastosuj, Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Właściwości pręta

Zmiana profili prętów do analizy sprężysto-plastycznej

	Otwarcie okna dialogowego Przekroje
LKM na HEB 240 na liście profili	Wybór aktualnego profilu
	Otwarcie okna dialogowego Nowy przekrój z wyborem profilu HEB 240
LKM w polu obok klawisza Analiza sprężysto-plastyczna	Włączenie analizy sprężysto-plastycznej dla wybranego przekroju. Utworzona jest nowa nazwa przekroju: <i>HEB 240EP</i>
Dodaj, Zamknij	Definicja profili i zamknięcie okna dialogowego

Przejdźcie na okno graficzne z widokiem konstrukcji i wskazanie słupów zewnętrznych (pręty nr 1, 2)	Zmiana przekroju na wskazanych prętach na przekrój <i>HEB 240EP</i> ; zaakceptować ostrzeżenie o zmianie stanu aktualności rezultatów
W oknie Przekroje LKM na IPE 240 na liście profili	Wybór aktualnego profilu
	Otwarcie okna dialogowego Nowy przekrój z wyborem profilu IPE 240
LKM w polu obok klawisza Analiza sprężysto-plastyczna	Włączenie analizy sprężysto-plastycznej dla wybranego przekroju; utworzona jest nowa nazwa przekroju: <i>IPE 240EP</i>
Dodaj, Zamknij	Definicja profili i zamknięcie okna dialogowego
Przejdźcie na okno graficzne z widokiem konstrukcji i wskazanie (LKM) belki (pręt nr 4)	Zmiana przekroju na wskazanym pręcie na: <i>IPE 240EP</i>
Zamknij w oknie dialogowym Przekroje	Zamknięcie okna dialogowego Przekroje

Obliczenia i sprawdzenie wyników

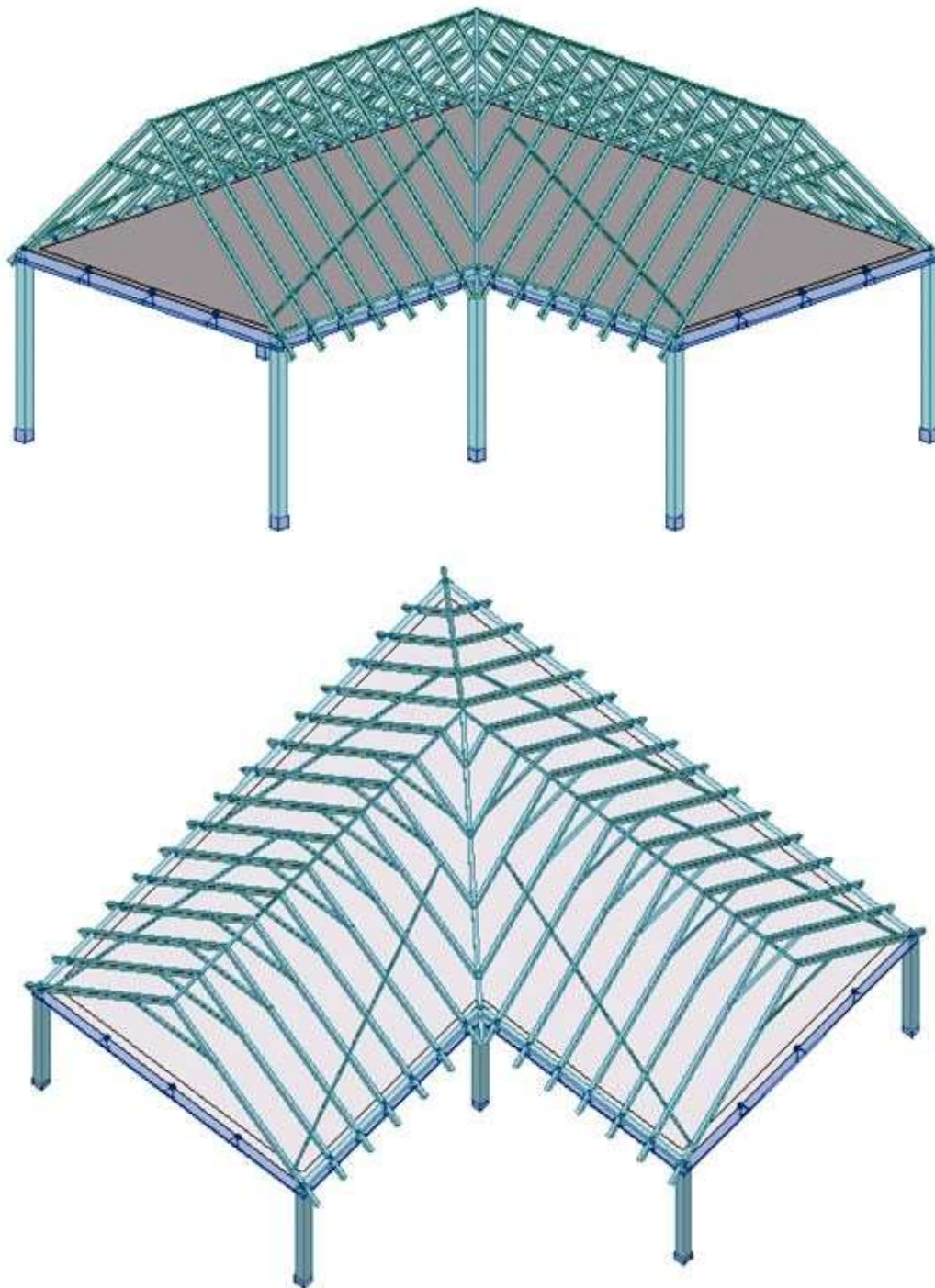
<i>Analiza / Obliczenia</i>	Uruchomienie obliczeń
<i>Rezultaty / Przemieszczenia</i>	Otwarcie tabeli przemieszczeń węzłów
LKM na zakładkę <i>Ekstrema globalne</i>	Obliczenie maksymalnych przemieszczeń węzłów (patrz rysunek poniżej). Jak widać, pomimo pracy w zakresie plastycznym, konstrukcja zachowuje stabilność
<i>Plik / Zapisz jako</i>	Otwarcie okna zapisu
W polu <i>Nazwa pliku</i> wpisać wybraną nazwę przykładu np. <i>Rama_EC3_EP</i>	Domyślny format zapisu RTD
LKM klawisz Zapisz	Zapis przykładu

	UX (cm)	UZ (cm)	RY (Rad)
MAX	5,5083	5,2668	0,011
Węzeł	8	10	18
Przypadek	1	1	1
MIN	0,0	-0,0351	-0,002
Węzeł	1	13	13
Przypadek	1	1	1

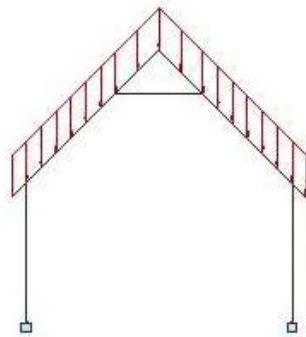
Ekstrema globalne Info

9.11. Przykład projektowania konstrukcji drewnianej (więźba dachowa)

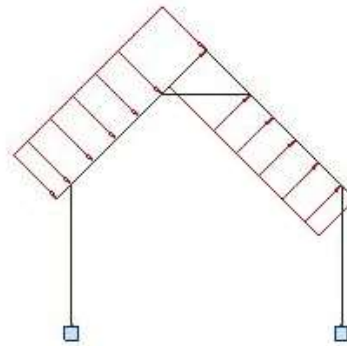
Ten przykład przedstawia definicję, analizę i wymiarowanie prostej, drewnianej więźby dachowej prezentowanej na poniższym rysunku. Jednostki danych: (m) i (kN).



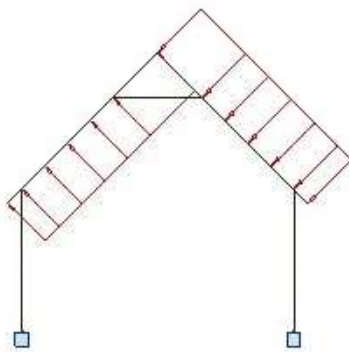
Konstrukcja została obciążona dziesięcioma przypadkami obciążenia, pięć z nich pokazano na rysunkach poniżej.



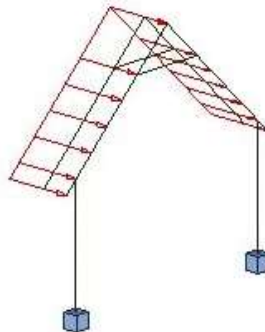
PRZYPADK 2



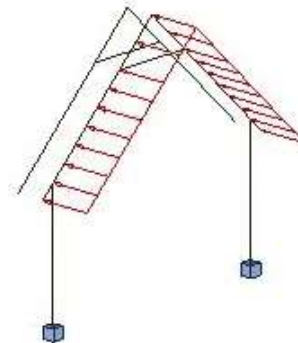
PRZYPADK 3



PRZYPADK 4

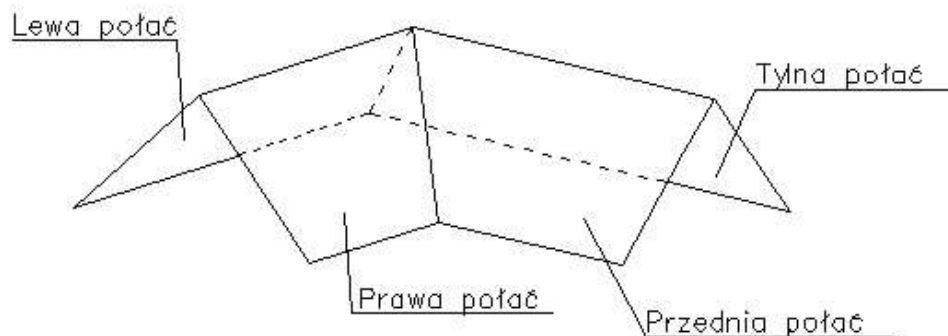


PRZYPADK 5



PRZYPADK 6

Przyjęto następujące nazwy połaci dachowych



Podczas definiowania konstrukcji wykorzystywane będą następujące zasady:

- prezentacja dowolnej ikony oznacza naciśnięcie tej ikony lewym klawiszem myszki,
- { x } oznacza wybór opcji 'x' z okna dialogowego,
- LKM i PKM - skróty używane do oznaczenia kliknięcia odpowiednio lewym lub prawym klawiszem myszki.

Aby rozpocząć definiowanie konstrukcji, uruchom system **Robot** (naciśnij odpowiednią ikonę lub wybierz komendę z paska zadań). W okienku pojawiającym się po chwili na ekranie (jest ono opisane w rozdziale




2.1 podręcznika) należy wybrać drugą ikonę w drugim wierszu (**Projektowanie powłoki**).

9.11.1. Definicja modelu konstrukcji

Wybór norm obliczeniowych



WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
<i>Narzędzia / Preferencje zadania</i>	Otwarcie okna dialogowego Preferencje zadania
<i>Materiały</i>	Wybór opcji <i>Materiały</i> z drzewka okna dialogowego
Wybór Eurocode z pola <i>Materiały</i>	Wybór materiałów Eurocode
Wybór C24 z pola <i>Zestaw podstawowy / Drewno</i>	Wybór klasy drewna C24
<i>Normy projektowe</i>	Wybór opcji <i>Normy projektowe</i> z drzewka okna dialogowego
Wybór ENV 1995-1-1:1992 z pola <i>Drewniane</i>	Wybór normy drewnianej Eurokod <i>Uwaga: Jeżeli normy ENV 1995-1-1:1992 nie ma na liście dostępnych norm, należy kliknąć klawisz Więcej norm i w dodatkowym oknie dialogowym Konfiguracja listy norm dodać ją do listy aktualnych norm</i>
<i>Normy projektowe / Obciążenia</i>	Wybór opcji <i>Obciążenia</i> z drzewka okna dialogowego
Wybór EN 1990:2002 z pola <i>Kombinacje normowe</i>	Wybór normy kombinacji normowych Eurocode
Wybór EN 1991-1-3/4:2005 z pola <i>Obciążenia klimatyczne</i>	Wybór normy obciążeń klimatycznych Eurokod 1 <i>Uwaga: Jeżeli normy EN 1991-1-3/4:2005 nie ma na liście dostępnych norm, należy kliknąć klawisz Więcej norm i w dodatkowym oknie dialogowym Konfiguracja listy norm dodać ją do listy aktualnych norm</i>
OK	Zamknięcie okna dialogowego Preferencje zadania

Definicja osi


	Rozpoczęcie definiowania osi konstrukcji na ekranie pojawia się okno dialogowe Osie konstrukcji
<p>Na zakładce X wybrać opcję <i>Definiuj</i> znajdującą się w polu <i>Numeracja</i>, wpisać x1 w polu edycyjnym, a następnie wpisać współrzędne określające położenie osi: (-0.4) Wstaw, (0.0) Wstaw, (2.55) Wstaw, (3.8) Wstaw, (5.05) Wstaw, (7.6) Wstaw, (8.0) Wstaw, (13.5) Wstaw</p>	Określenie sposobu numerowania osi (x1, x2, x3...)
<p>Na zakładce Y wybrać opcję <i>Definiuj</i> znajdującą się w polu <i>Numeracja</i>, wpisać y1 w polu edycyjnym, a następnie wpisać następujące współrzędne określające położenie osi: (0.0) Wstaw, (5.9) Wstaw, (9.7) Wstaw, (13.5) Wstaw</p>	Określenie sposobu numerowania osi (y1, y2, y3...)
<p>Na zakładce Z wybrać opcję <i>Definiuj</i> znajdującą się w polu <i>Numeracja</i>, wpisać z1 w polu edycyjnym, a następnie wpisać następujące współrzędne określające położenie osi: (-4.0) Wstaw, (-0.4) Wstaw, (0.0) Wstaw, (2.55) Wstaw, (3.8) Wstaw</p>	Określenie sposobu numerowania osi (z1, z2, z3...)
<p>Zastosuj, Zamknij</p>	Wyświetlenie zdefiniowanych osi konstrukcji na ekranie, zamknięcie okna dialogowego Osie konstrukcji
<p><i>Widok / Rzutowanie / 3D xyz</i></p>	Wyświetlenie aksonometrycznego widoku konstrukcji

Wiązar konstrukcji jętkowej


<p><i>Widok / Rzutowanie / Zx</i></p>	Ustawienie konstrukcji w płaszczyźnie ZX
---------------------------------------	--

	Otwarcie okna dialogowego Przekroje
	Otwarcie okna dialogowego Nowy przekrój

Wybrać opcję <i>Drewniany</i> znajdującą się w polu <i>Typ profilu</i>	Wybór materiału, z jakiego będzie wykonany przekrój
Na zakładce <i>Parametryczny</i> w polu <i>Wymiary</i> wpisać: b = 5, h = 14, w polu <i>Etykieta</i> wpisać nazwę przekroju: jętka, Dodaj	Definicja wymiarów przekroju użytkownika. Przekrój zdefiniowany przez użytkownika pojawi się na liście aktywnych profili w oknie dialogowym Przekrój
Na zakładce <i>Parametryczny</i> w polu <i>Wymiary</i> wpisać: b = 8, h = 16, w polu <i>Etykieta</i> wpisać nazwę przekroju: krokiew, Dodaj	Definicja wymiarów przekroju użytkownika. Przekrój zdefiniowany przez użytkownika pojawi się na liście aktywnych profili w oknie dialogowym Przekrój
Na zakładce <i>Parametryczny</i> w polu <i>Wymiary</i> wpisać: b = 12, h = 16, w polu <i>Etykieta</i> wpisać nazwę przekroju: murlata, Dodaj	Definicja wymiarów przekroju użytkownika. Przekrój zdefiniowany przez użytkownika pojawi się na liście aktywnych profili w oknie dialogowym Przekrój
Na zakładce <i>Parametryczny</i> w polu <i>Wymiary</i> wpisać: b = 3.8, h = 10, w polu <i>Etykieta</i> wpisać nazwę przekroju: wiatrownica, Dodaj	Definicja wymiarów przekroju użytkownika. Przekrój zdefiniowany przez użytkownika pojawi się na liście aktywnych profili w oknie dialogowym Przekrój
Na zakładce <i>Parametryczny</i> w polu <i>Wymiary</i> wpisać: b = 4, h = 22, w polu <i>Etykieta</i> wpisać nazwę przekroju: kalenica, Dodaj, Zamknij	Definicja wymiarów przekroju użytkownika. Zamknięcie okna dialogowego Nowy przekrój . Przekrój zdefiniowany przez użytkownika pojawi się na liście aktywnych profili w oknie dialogowym Przekrój
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Przekroje
<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlanie atrybutów , pozwalającego wybrać atrybuty konstrukcji, które zostaną wyświetlone na ekranie

Na zakładce <i>Widok</i> wyłączyć opcję <i>Siatka</i> OK	Wyłączenie prezentacji siatki na ekranie. Zamknięcie okna dialogowego Przekroje
	Otwarcie okna dialogowego Pręt
LKM w pole <i>Typ pręta</i> wybrać: <i>Pręt drewniany</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> , wybrać: (jętka)	Wybór właściwości pręta
LKM w pole <i>początek</i> , przejść do edytora graficznego, a następnie wybrać punkty definiujące pręta (będące punktami przecięcia odpowiednich osi konstrukcyjnych): (x3 - z4), (x5 - z4)	Definicja jętki
LKM w pole <i>Typ pręta</i> wybrać: <i>Belka drewniana</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> , wybrać: (krokiew)	Wybór właściwości pręta
LKM w pole <i>początek</i> , przejść do edytora graficznego, a następnie wybrać punkty definiujące współrzędne pręta (będące punktami przecięcia odpowiednich osi konstrukcyjnych): (x1 - z2), (x2 - z3) (x2 - z3), (x3 - z4) (x3 - z4), (x4 - z5) (x4 - z5), (x5 - z4) (x5 - z4), (x6 - z3) (x6 - z3), (x7 - z2)	Definicja krokwi
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Pręt

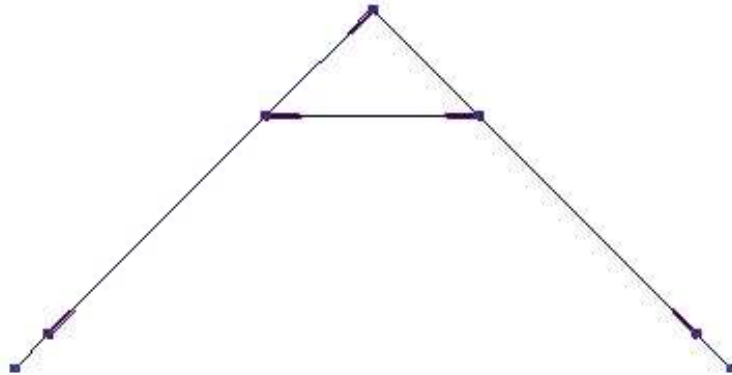
Definicja zwolnień w wiazarze

<i>Geometria / Zwolnienia</i>	Otwarcie okna dialogowego Zwolnienie
	Otwarcie okna dialogowego Definicja zwolnienia
W polu <i>Etykieta</i> wpisać: Przegub – Przegub2, Zaznaczyć opcję <i>Kierunki zwolnione</i> : <i>RY, RZ Początek i Koniec</i> , Dodaj, Zamknij	Definicja nowego rodzaju zwolnienia. Zamknięcie okna dialogowego Definicja zwolnienia



Wybranie typu zwolnienia
Nadanie zwolnienia jętcie
Wybranie typu zwolnienia
Nadanie zwolnień na krokwiach
Zamknięcie okna dialogowego Zwolnienie
Otwarcie okna dialogowego Wyświetlenie atrybutów

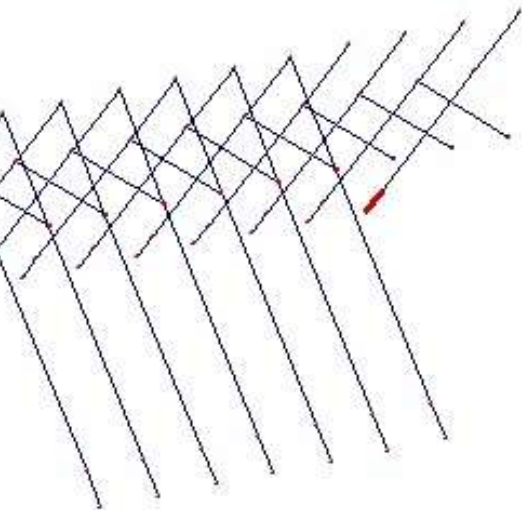
Włączenie prezentacji symboli zwolnień oraz wyłączenie szkiców przekrojów.
Zamknięcie okna dialogowego **Wyświetlenie atrybutów**



Definiowanie pozostałych wiązarów dachowych

<i>Widok / Rzutowanie / 3D xyz</i>	Wyświetlenie aksonometrycznego widoku konstrukcji
CTRL + A	Zaznaczenie wszystkich elementów
<i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego Translacja
LKM w polu (<i>dX, dY, dZ</i>) wpisać współrzędne: (0, 0.9, 0) w polu <i>Liczba powtórzeń</i> {6}	Definicja wektora translacji i liczby powtórzeń
Wykonaj	Wykonanie translacji prętów, podświetlenie ostatniego wiazara
PKM w okno graficzne z widokiem konstrukcji i z menu kontekstowego wybrać komendę <i>Zaznacz</i>	
LKM poza konstrukcją, LKM w jętkę oraz pręty wchodzące w skład lewej krokwi (ostatniego wiazara) jednocześnie z wciśniętym klawiszem CTRL	Zaznaczenie lewej krokwi oraz jętki ostatniego wiazara

LKM w polu <i>Liczba powtórzeń</i> wpisać liczbę: {3}	Definicja liczby powtórzeń
Wykonaj	Wykonanie translacji prętów, podświetlenie ostatniej jętki oraz lewej krokwi
PKM w okno graficzne z widokiem konstrukcji i z menu kontekstowego wybrać komendę <i>Zaznacz</i>	
LKM poza konstrukcją, LKM + CTRL pręty wchodzące w skład lewej krokwi (ostatniego wiazara)	Zaznaczenie lewej krokwi będącej częścią ostatniego wiazara
LKM w polu <i>Liczba powtórzeń</i> wpisać liczbę: {1}	Definicja liczby powtórzeń
Wykonaj	Wykonanie translacji prętów, podświetlenie lewej krokwi
PKM w okno graficzne z widokiem konstrukcji i z menu kontekstowego wybrać komendę <i>Zaznacz</i>	
LKM poza konstrukcją, LKM w dolny fragment lewej krokwi	Zaznaczenie fragmentu lewej krokwi będącej częścią ostatniego wiazara



Definicja liczby powtórzeń

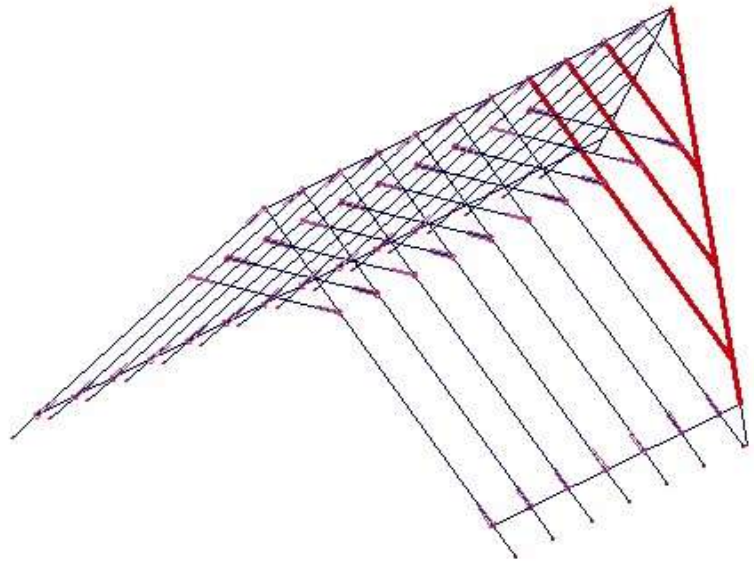
Wykonanie translacji prętów i zamknięcie okna dialogowego Translacja
Otwarcie okna dialogowego Pręt
Wybór właściwości pręta
Definicje krokwi narożnej i koszowej oraz skróconych krokwi dochodzących do nich

Definicja murłat i kalenicy

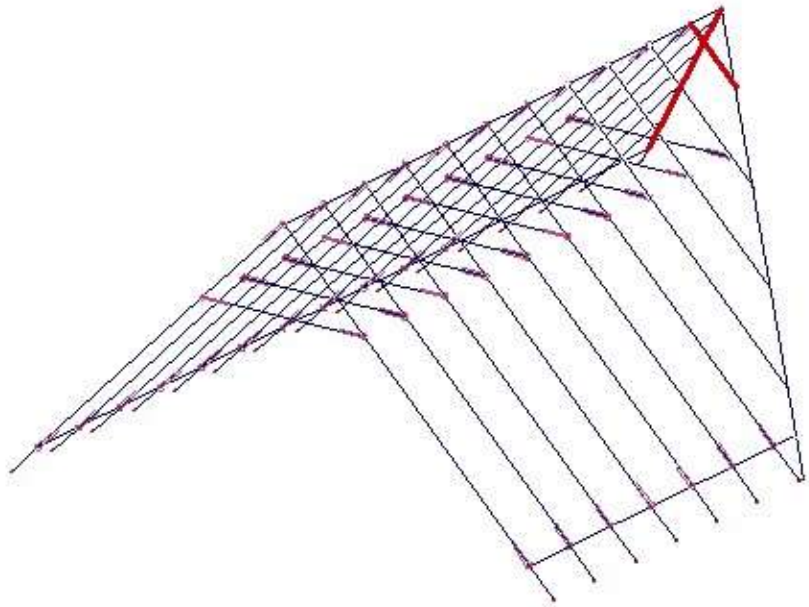
LKM w pole <i>Typ pręta</i> wybrać: <i>Pręt drewniany</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> , wybrać: (kalenica)	Wybór właściwości pręta
W polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> wpisać współrzędne początku i końca pręta: (3.8, 0, 3.8) (3.8, 9.7, 3.8) Dodaj	Definicja kalenicy
LKM w pole <i>Typ pręta</i> wybrać: <i>Pręt drewniany</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> , wybrać: (murłata)	Wybór właściwości pręta
W polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> wpisać współrzędne początku i końca pręta: (0, 0, 0) (0, 13.5, 0) Dodaj , (7.6, 0, 0) (7.6, 5.9, 0) Dodaj	Definicja murłat
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Pręt



Definicja pozostałych zwolnień

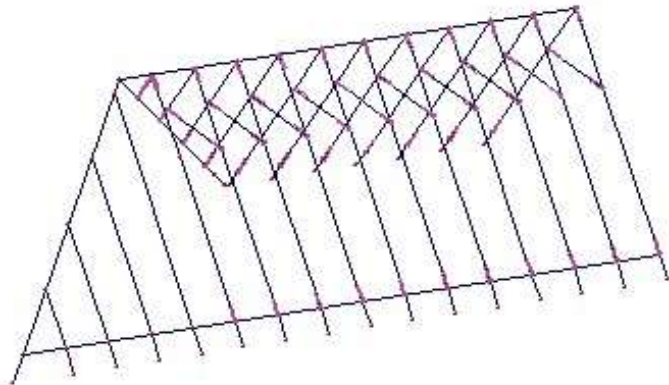
<i>Geometria / Zwolnienia</i>	Otwarcie okna dialogowego Zwolnienie
W oknie dialogowym Zwolnienie LKM w zwolnienie: <i>Przegub – Utwierdzenie</i> (zostanie ono podświetlone)	Wybranie typu zwolnienia
LKM w pręty numer 70, 73, 74, 75 (patrz rysunek poniżej) tak, aby strzałki na pręcie skierowane były do góry	Nadanie zwolnień na wskazanych prętach



W oknie dialogowym Zwolnienie LKM w zwolnienie: <i>Przegub – Przegub</i> (zostanie ono podświetlone)	Wybranie typu zwolnienia
LKM w pręty numer 71, 76 (patrz rysunek poniżej)	Nadanie zwolnień na wskazanych prętach

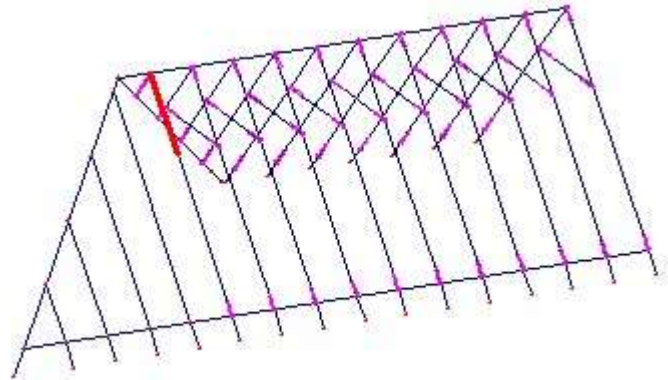


	Przywrócenie początkowego widoku konstrukcji, tak aby cała konstrukcja mieściła się na ekranie
	Przy pomocy narzędzi dynamicznego powiększania, obracania i przesuwania należy obrócić konstrukcję wokół osi Z. Po przesunięciu w lewą, górną ćwiartkę ekranu graficznego kursor myszki zmienia kształt. Przytrzymując lewy klawisz myszy można dynamicznie zmieniać położenie konstrukcji. Należy ustawić następujący widok konstrukcji (rysunek poniżej)

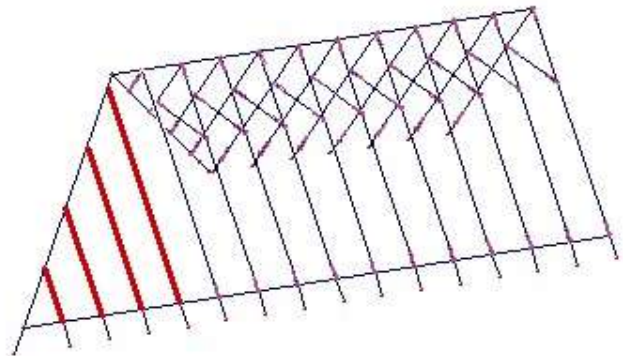


W oknie dialogowym Zwolnienie LKM w: <i>USUŃ</i> zwolnienie elementowe: (zostanie ono podświetlone)	Wybranie funkcji usunięcia zwolnienia
--	---------------------------------------


LKM w pręt numer 64 (patrz rysunek poniżej)	Usunięcie zwolnienia ze wskazanego pręta
---	--



W oknie dialogowym Zwolnienie LKM w zwolnienie: <i>Przegub – Przegub</i> (zostanie ono podświetlone)	Wybranie typu zwolnienia
LKM w pręty numer 77, 78, 79 i 80 (patrz rysunek poniżej)	Nadanie zwolnień na wskazanych prętach
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Zwolnienie




Pozostała część konstrukcji drewnianej

	Otwarcie okna dialogowego Pręt
---	---------------------------------------



LKM w pole <i>Typ pręta</i> wybrać: <i>Pręt drewniany</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> , wybrać: (wiatrownica)	Wybór właściwości pręta
W polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> wpisać współrzędne początku i końca pręta: (7.3, 0, 0.3) (5.35, 7.2, 2.25) Dodaj (0.3, 0, 0.3) (2.25, 5.4, 2.25) Dodaj (0.3, 5.4, 0.3) (2.25, 10.8, 2.25) Dodaj	Definicje krokwi narożnej i koszowej oraz skróconych krokwi dochodzących do nich
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego <i>Pręt</i>
CTRL + A	Zaznaczenie wszystkich elementów
<i>Edycja / Edytuj / Symetria płaszczyznowa</i>	Otwarcie okna dialogowego <i>Symetria płaszczyznowa</i>
W polach <i>Punkt 1</i> , <i>Punkt 2</i> , <i>Punkt 3</i> wpisać współrzędne punktów płaszczyzny (7.6, 5.9, 0) (3.8, 9.7, 3.8) (0, 13.5, 0)	Zdefiniowanie płaszczyzny odbicia
Wykonaj, Zamknij	Odbicie konstrukcji względem zdefiniowanej płaszczyzny. Zamknięcie okna dialogowego <i>Symetria płaszczyznowa</i>
PKM w okno graficzne z widokiem konstrukcji i z menu kontekstowego wybrać komendę <i>Zaznacz</i>	
LKM poza konstrukcją	Odnaczenie podświetlonej części konstrukcji
<i>Widok / Rzutowanie / 3D xyz</i>	Wyświetlenie aksonometrycznego widoku konstrukcji
<i>Geometria / Zwolnienia</i>	Otwarcie okna dialogowego <i>Zwolnienie</i>
W oknie dialogowym <i>Zwolnienie</i> LKM w zwolnienie: <i>Przegub – Utwierdzenie</i> (zostanie ono podświetlone)	Wybranie typu zwolnienia
LKM w skopiowaną kalenicę tak, aby strzałki na pręcie skierowane były od miejsca styku dwóch desek kalenicowych	Nadanie zwolnienia na wskazanym pręcie

Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Zwolnienie
---------	---


Definicja konturu

Widok / Rzutowanie / Xy	Ustawienie konstrukcji w płaszczyźnie XY
	Otwarcie okna dialogowego Polilinia – kontur
LKM w opcje <i>Kontur</i> w polu <i>Metoda tworzenia</i>	Wybór opcji kontur
Używając myszki zdefiniuj wierzchołki, których współrzędnymi są punkty przecięcia odpowiednich osi konstrukcyjnych: (x2 – y1), (x2 – y4), (x8 – y4), (x8 – y2), (x6 – y2), (x6 – y1), (x2 – y1)	Definicja konturu. Kontur definiowany jest przez sześć wierzchołków (siódmy wierzchołek jest podany, aby zamknąć kontur)
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Polilinia – kontur


Właściwości płyty

	Otwarcie okna dialogowego Grubości ES służącego do definiowania grubości płyty
	Definicja nowej grubości powierzchniowych elementów skończonych
Na zakładce <i>Jednorodne</i> w polu <i>Gr=</i> wpisz wartość { 14 }	Definicja grubości płyty
W polu <i>Materiał:</i> wybierz { BETON }	Wybór materiału: BETON
Dodaj i Zamknij	Dodanie nowego typu grubości (GR14) do listy zdefiniowanych typów grubości i zamknięcie okna dialogowego Nowa grubość
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Grubości ES

Nadanie właściwości płyty

	Otwarcie okna dialogowego Panel
LKM w opcję: <i>Charakterystyki/Grubość</i> : wybierz: GR14 LKM w opcję: <i>Charakterystyki/Zbrojenie</i> : wybierz: Powłoka żelbetowa	Wybór typu grubości (GR14) i typu zbrojenia płyty
LKM w opcję <i>Tworzenie poprzez / Punkt wewnętrzny</i> : LKM w punkt znajdujący się wewnątrz wcześniej utworzonego konturu w oknie graficznym z widokiem konstrukcji	Definicja konturu panelu
Zamknij	Zakończenie definicji panelu. Zamknięcie dialogowego okna Panel

Definicja podpór dla płyty



	Otwarcie okna dialogowego Podpory
LKM w opcję <i>Przegub</i>	Wybór typu podpory
Przejdź na zakładkę <i>Liniowe</i> , LKM w pole <i>Aktualna selekcja</i> , LKM + CTRL we wszystkie krawędzie płyty	Wybór elementu, w którym definiowana będzie podpora (linie krawędzi panelu)
Zastosuj i Zamknij	Utworzenie podpór na krawędziach płyty. Zamknięcie okna dialogowego Podpory

Parametry siatki elementów skończonych


<i>Narzędzia / Preferencje zadania / Parametry pracy</i>	Otwarcie okna dialogowego służącego do wyboru parametrów siatkowania
W polu <i>Rodzaj siatkowania</i> wybierz opcję <i>Użytkownika</i> LKM w klawisz Modyfikacja	Wybór typu siatkowania określonego przez użytkownika
LKM w opcję <i>Dopuszczalne metody siatkowania / Delaunay</i>	Wybór metody Delaunay'a

LKM w klawisz Opcje zaawansowane W polu <i>Elementy skończone / Typ (powierzchniowe)</i> wybierz opcję <i>Trójkąty 3-węzłowe</i>	Wybór rodzaju podziału na elementy skończone
OK	Akceptacja zmian i zamknięcie okna dialogowego Zaawansowane opcje siatkowania
OK	Zamknięcie okna dialogowego Preferencje zadania i akceptacja dokonanych zmian

Definicja słupów

<i>Widok / Rzutowanie / Zx</i>	Ustawienie konstrukcji w płaszczyźnie ZX
	Otwarcie okna dialogowego Pręt
Obok pola <i>Przekrój</i> nacisnąć klawisz 	Otwarcie okna dialogowego Nowy przekrój
Wybrać opcję <i>Słup żelbetowy</i> znajdującą się w polu <i>Typ profilu</i>	Wybór materiału oraz rodzaj elementu
Na zakładce <i>Parametry ogólne</i> w polu <i>Wymiary</i> wpisać: b = 25, h = 25, w polu <i>Etykieta</i> wpisać nazwę przekroju: słup 25x25, Dodaj	Definicja wymiarów przekroju. Przekrój zdefiniowany przez użytkownika pojawi się na liście aktywnych profili w oknie dialogowym Przekrój
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Nowy przekrój
LKM w pole <i>Typ pręta</i> wybrać: <i>Słup żelbetowy</i> LKM w pole <i>Przekrój</i> , wybrać: (słup 25x25)	Wybór właściwości pręta
LKM w pole <i>początek</i> , przejść do edytora graficznego, a następnie wybrać punkty definiujące współrzędne pręta (będące punktami przecięcia odpowiednich osi konstrukcyjnych): (x2 – z1), (x2 – z3) (x6 – z1), (x6 – z3)	Definicja słupów
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Pręt

Definicja podpór dla słupów

	Otwarcie okna dialogowego Podpory
Przejdź na zakładkę Węzłowe , LKM w podporę o nazwie <i>Utwierdzenie</i>	Wybór typu podpory oraz rodzaju selekcji
Przejdź do edytora graficznego, a następnie LKM w dolne węzły obydwu słupów	Utworzenie podpór w dolnych częściach słupów
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Podpory

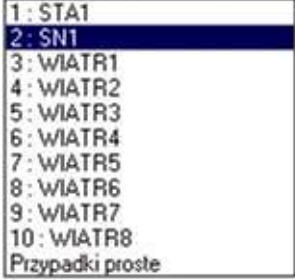




Utworzenie pozostałych słupów



<i>Widok / Rzutowanie / 3d xyz</i>	Wybór aksonometrycznego widoku konstrukcji
Przejdź do edytora graficznego, a następnie LKM w prawy słup	Zaznaczenie (podświetlenie) prawego słupa
<i>Edycja / Edytuj / Przesuń</i>	Otwarcie okna dialogowego Translacja
LKM w pole (<i>dX, dY, dZ</i>), wpisać współrzędne przesunięcia: (0, 5.9, 0)	Definicja wektora translacji
Wykonaj	Skopiowanie słupa o zadany wektor, a także podświetlenie skopiowanego elementu
LKM w pole (<i>dX, dY, dZ</i>), wpisać współrzędne przesunięcia: (5.9, 0, 0)	Definicja wektora translacji
Wykonaj	Skopiowanie słupa o zadany wektor, a także podświetlenie skopiowanego elementu
LKM w pole (<i>dX, dY, dZ</i>), wpisać współrzędne przesunięcia: (0, 7.6, 0)	Definicja wektora translacji
Wykonaj	Skopiowanie słupa o zadany wektor, a także podświetlenie skopiowanego elementu
LKM w pole (<i>dX, dY, dZ</i>), wpisać współrzędne przesunięcia: (-13.5, 0, 0)	Definicja wektora translacji
Wykonaj	Skopiowanie słupa o zadany wektor, a także podświetlenie skopiowanego elementu





LKM w pole (dX, dY, dZ) , wpisać współrzędne przesunięcia: (0, -6.3, 0)	Definicja wektora translacji
Wykonaj, Zamknij	Skopiowanie słupa o zadany wektor, podświetlenie skopiowanego elementu oraz zamknięcie okna dialogowego Translacja




Definicja obciążenia przyłożonego do konstrukcji





LKM w pole do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Obciążenia	Rozpoczęcie definiowania obciążenia przyłożonego do konstrukcji. Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: ekran graficzny zawierający model konstrukcji, okno dialogowe Przypadki obciążeń i tabelę zawierającą opis przypadków obciążeń
LKM w klawisz Nowy w oknie dialogowym Przypadki obciążeń	Definicja obciążenia ciężarem własnym i nadanie mu standardowej nazwy STA1
LKM w pole <i>Natura</i> (Śnieg)	Wybranie przypadku obciążenia: śnieg. <i>UWAGA: Jeżeli numer przypadku obciążenia nie zostanie zmieniony automatycznie, należy wpisać ręcznie numer (2)</i>
LKM w klawisz Nowy	Definicja przypadku obciążenia o naturze: śnieg, któremu zostanie nadana standardowa nazwa: SN1
LKM w pole <i>Natura</i> (Wiatr)	Wybranie przypadku obciążenia: wiatr
LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy LKM w klawisz Nowy	Utworzenie ośmiu przypadków obciążenia o naturze: <i>wiatr</i> , nadanie im standardowych nazw WIATR1, WIATR2, WIATR3, WIATR4, WIATR5, WIATR6, WIATR7 i WIATR8
<i>Widok / Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego Wyświetlenie atrybutów
Na zakładce <i>Model</i> wyłączyć opcje <i>Zwolnienia</i> , OK	Wyłączenie prezentacji symboli zwolnień. Zamknięcie okna dialogowego Wyświetlenie atrybutów


	Wybranie 2 przypadku obciążenia z pola <i>Przekładki</i>
<p>LKM w ikonę  znajdującą się na prawym pasku zadań</p>	Otwarcie okna dialogowego Obciążenie
<p>Na zakładce <i>Pręt</i> znajdującą się w ikonę oknie dialogowym Obciążenie</p> <p>wybrać </p>	Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne
<p>W polu <i>Wartości pZ</i> wpisać: -0.86 LKM w opcję: <i>Obciążenie rzutowane</i> (uaktywnij) Dodaj</p>	Definicja obciążenia jednorodnego działającego na elemencie prętowym zgodnie z kierunkiem osi Z globalnego układu współrzędnych. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne
<p>Przejsć do edytora graficznego, a następnie LKM w każdą krokiew Zastosuj</p>	Obciążenie dachu śniegiem
<p><i>Widok / Rzutowanie / 3d xyz</i></p>	Wybór aksonometrycznego widoku konstrukcji
<p> wybór 3: WIATR1</p>	Wybór pierwszego przypadku obciążenia wiatrem
<p>Na zakładce <i>Pręt</i> znajdującą się w ikonę oknie dialogowym Obciążenie</p> <p>wybrać </p>	Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne
<p>W polu <i>Wartości pZ</i> wpisać: -0.40 LKM w opcję: <i>W układzie lokalnym</i> Dodaj</p>	Definicja obciążenia jednorodnego działającego na elemencie prętowym zgodnie z kierunkiem osi Z lokalnego układu współrzędnych. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne






<p>Przejdź do edytora graficznego, a następnie LKM w kroku tworzącym lewą połac dachu. Aby ułatwić selekcję, należy skorzystać z ikony</p>  <p>Zastosuj</p>	<p>Obciążenie lewej połaci dachu wiatrem wiejącym z lewej strony (parcie). Użycie ikony <i>Obrót, powiększenie, przesunięcie</i> podczas selekcji krokwi</p>
<p>Na zakładce <i>Pręt</i> znajdującej się w ikonę oknie dialogowym Obciążenie</p>  <p>wybrać</p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>W polu <i>Wartości pZ</i> wpisać: 0.34 Dodaj</p>	<p>Definicja obciążenia jednorodnego działającego na elemencie prętowym zgodnie z kierunkiem osi Z lokalnego układu współrzędnych. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>







<p>Przejdź do edytora graficznego, a następnie LKM w kroku tworzącym prawą połac dachu. Aby ułatwić selekcję, należy skorzystać z ikony</p>  <p>Zastosuj</p>	<p>Obciążenie prawej połaci dachu wiatrem wiejącym z lewej strony (ssanie). Użycie ikony <i>Obrót, powiększenie, przesunięcie</i> w celu usprawnienia selekcji krokwi</p>
 <p>wybór 4: WIATR2</p>	<p>Wybór drugiego przypadku obciążenia wiatrem</p>
<p>Na zakładce <i>Pręt</i> znajdującej się w ikonę oknie dialogowym Obciążenie</p>  <p>wybrać</p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>W polu <i>Wartości pZ</i> wpisać: -0.40 Dodaj</p>	<p>Definicja obciążenia jednorodnego działającego na elemencie prętowym zgodnie z kierunkiem osi Z lokalnego układu współrzędnych. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>Przejdź do edytora graficznego, a następnie LKM w kroku tworzącym prawą połac dachu. Aby ułatwić selekcję, należy skorzystać z ikony</p>  <p>Zastosuj</p>	<p>Obciążenie prawej połaci dachu wiatrem wiejącym z prawej strony (parcie). Użycie ikony <i>Obrót, powiększenie, przesunięcie</i> podczas selekcji krokwi</p>


<p>Na zakładce <i>Pręt</i> znajdującej się w ikonę oknie dialogowym Obciążenie</p> <p>wybrać </p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>W polu <i>Wartości pZ</i> wpisać: 0.34 Dodaj</p>	<p>Definicja obciążenia jednorodnego działającego na elemencie prętowym zgodnie z kierunkiem osi Z lokalnego układu współrzędnych. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>Przejsć do edytora graficznego, a następnie LKM w krokwie tworzące lewą połąć dachu. Aby ułatwić selekcję, należy skorzystać z ikony</p> <p></p> <p>Zastosuj</p>	<p>Obciążenie lewej połąć dachu wiatrem wiejącym z prawej strony (ssanie). Użycie ikony <i>Obrót, powiększenie, przesunięcie</i> w celu usprawnienia selekcji krokwi</p>
<p></p> <p>wybór 5: WIATR3</p>	<p>Wybór trzeciego przypadku obciążenia wiatrem</p>

<p>Na zakładce <i>Pręt</i> znajdującej się w ikonę oknie dialogowym Obciążenie</p> <p>wybrać </p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>W polu <i>Wartości pY</i> wpisać: 0.42 W polu <i>Wartości pZ</i> wpisać: 0 Dodaj</p>	<p>Definicja obciążenia jednorodnego działającego na elemencie prętowym zgodnie z kierunkiem osi Y lokalnego układu współrzędnych. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>Przejsć do edytora graficznego, a następnie LKM w krokwie tworzące pierwszy wiązár lewej i prawej połąć. Aby ułatwić selekcję, należy</p> <p>skorzystać z ikony </p> <p>Zastosuj</p>	<p>Obciążenie dachu wiatrem wiejącym z przodu. Użycie ikony <i>Obrót, powiększenie, przesunięcie</i> podczas selekcji krokwi</p>
<p></p> <p>wybór 6: WIATR4</p>	<p>Wybór czwartego przypadku obciążenia wiatrem</p>
<p>Na zakładce <i>Pręt</i> znajdującej się w ikonę oknie dialogowym Obciążenie</p> <p>wybrać </p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>


<p>W polu <i>Wartości pY</i> wpisać: -0.42 Dodaj</p>	<p>Definicja obciążenia jednorodnego działającego na elemencie prętowym zgodnie z kierunkiem osi Y lokalnego układu współrzędnych. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>Przejdź do edytora graficznego, a następnie LKM w krokwie tworzące pierwszy wiązar lewej i prawej połąci. Aby ułatwić selekcję, należy skorzystać z ikony  Zastosuj</p>	<p>Obciążenie dachu wiatrem wiejącym z przodu. Użycie ikony <i>Obrót</i>, <i>powiększenie</i>, <i>przesunięcie</i> podczas selekcji krokwi</p>
<p> wybór 7: WIATR5</p>	<p>Wybór piątego przypadku obciążenia wiatrem</p>
<p>Na zakładce <i>Pręt</i> znajdującej się w ikonę oknie dialogowym Obciążenie wybrać </p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>W polu <i>Wartości pZ</i> wpisać: -0.40 W polu <i>Wartości pY</i> wpisać: 0 Dodaj</p>	<p>Definicja obciążenia jednorodnego działającego na elemencie prętowym zgodnie z kierunkiem osi Z lokalnego układu współrzędnych. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>Przejdź do edytora graficznego, a następnie LKM w krokwie tworzące tylną połąć dachu. Aby ułatwić selekcję, należy skorzystać z ikony  Zastosuj</p>	<p>Obciążenie tylnej połąci dachu wiatrem wiejącym z tyłu (parcie). Użycie ikony <i>Obrót</i>, <i>powiększenie</i>, <i>przesunięcie</i> podczas selekcji krokwi</p>
<p>Na zakładce <i>Pręt</i> znajdującej się w ikonę oknie dialogowym Obciążenie wybrać </p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>

<p>W polu <i>Wartości pZ</i> wpisać: 0.34 Dodaj</p>	<p>Definicja obciążenia jednorodnego działającego na elemencie prętowym zgodnie z kierunkiem osi Z lokalnego układu współrzędnych. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>Przejdź do edytora graficznego, a następnie LKM w kroku tworzące przednią połączyć dachu. Aby ułatwić selekcję, należy skorzystać z ikony </p> <p>Zastosuj</p>	<p>Obciążenie przedniej połączyć dachu wiatrem wiejącym z tyłu strony (ssanie). Użycie ikony <i>Obrót</i>, <i>powiększenie</i>, <i>przesunięcie</i> w celu usprawnienia selekcji krokwi</p>
<p> wybór 8: WIATR6</p>	<p>Wybór szóstego przypadku obciążenia wiatrem</p>
<p>Na zakładce <i>Pręt</i> znajdującej się w ikonę oknie dialogowym Obciążenie wybrać </p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>W polu <i>Wartości pZ</i> wpisać: -0.40 Dodaj</p>	<p>Definicja obciążenia jednorodnego działającego na elemencie prętowym zgodnie z kierunkiem osi Z lokalnego układu współrzędnych. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>Przejdź do edytora graficznego, a następnie LKM w kroku tworzące przednią połączyć dachu. Aby ułatwić selekcję, należy skorzystać z ikony </p> <p>Zastosuj</p>	<p>Obciążenie przedniej połączyć dachu wiatrem wiejącym z przodu (parcie). Użycie ikony <i>Obrót</i>, <i>powiększenie</i>, <i>przesunięcie</i> podczas selekcji krokwi</p>
<p>Na zakładce <i>Pręt</i> znajdującej się w ikonę oknie dialogowym Obciążenie wybrać </p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>W polu <i>Wartości pZ</i> wpisać: 0.34 Dodaj</p>	<p>Definicja obciążenia jednorodnego działającego na elemencie prętowym zgodnie z kierunkiem osi Z lokalnego układu współrzędnych. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>

<p>Przejdź do edytora graficznego, a następnie LKM w kroku tworzące tylną połączyć dachu. Aby ułatwić selekcję, należy skorzystać z ikony</p>  <p>Zastosuj</p>	<p>Obciążenie tylnej połączyć dachu wiatrem wiejącym z przodu (ssanie). Użycie ikony <i>Obrót, powiększenie, przesunięcie</i> w celu usprawnienia selekcji kroki</p>
 <p>wybór 9: WIATR7</p>	<p>Wybór siódmego przypadku obciążenia wiatrem</p>
<p>Na zakładce <i>Pręt</i> znajdującej się w ikonę oknie dialogowym Obciążenie</p>  <p>wybrać</p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>W polu <i>Wartości pY</i> wpisać: -0.42 W polu <i>Wartości pZ</i> wpisać: 0 Dodaj</p>	<p>Definicja obciążenia jednorodnego działającego na elemencie prętowym zgodnie z kierunkiem osi Y lokalnego układu współrzędnych. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>Przejdź do edytora graficznego, a następnie LKM w kroku tworzące pierwszy wiązarkę przedniej i tylnej połączyć. Aby ułatwić selekcję, należy skorzystać z ikony</p>  <p>Zastosuj</p>	<p>Obciążenie dachu wiatrem wiejącym z prawej strony. Użycie ikony <i>Obrót, powiększenie, przesunięcie</i> podczas selekcji kroki</p>
 <p>wybór 10: WIATR8</p>	<p>Wybór ósmego przypadku obciążenia wiatrem</p>
<p>Na zakładce <i>Pręt</i> znajdującej się w ikonę oknie dialogowym Obciążenie</p>  <p>wybrać</p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>
<p>W polu <i>Wartości pY</i> wpisać: 0.42 Dodaj</p>	<p>Definicja obciążenia jednorodnego działającego na elemencie prętowym zgodnie z kierunkiem osi Y lokalnego układu współrzędnych. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie jednorodne</p>








Przejsć do edytora graficznego, a następnie LKM w kroku tworzące pierwszy węzeł przedniej i tylnej połaci. Aby ułatwić selekcję, należy skorzystać z ikony  Zastosuj	Obciążenie dachu wiatrem wiejącym z lewej strony. Użycie ikony <i>Obrót</i> , <i>powiększenie</i> , <i>przesunięcie</i> podczas selekcji kroków
LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Geometria	Wybór początkowego ekranu systemu Robot

9.11.2. Analiza konstrukcji

<i>Narzędzia / Preferencje zadania</i>	Otwarcie okna dialogowego Preferencje zadania
<i>Analiza konstrukcji</i>	Wybór opcji <i>Analiza konstrukcji</i> z drzewka okna dialogowego
<i>Metody rozwiązywania układu równań: Automatyczna</i>	Wybór automatycznej metody rozwiązywania układu równań dla zdefiniowanej konstrukcji
Wyłączyć opcję <i>Automatyczne zamrażanie wyników obliczeń konstrukcji</i>	Wyłączenie zamrażania wyników obliczeń konstrukcji
OK	Zaakceptowanie przyjętych parametrów i zamknięcie okna dialogowego Preferencje zadania
	Rozpoczęcie obliczeń zdefiniowanej konstrukcji. Kiedy obliczenia zostaną zakończone w górnym pasku systemu Robot zostanie wyświetlona następująca informacja: <i>Wyniki MES: aktualne</i>

9.11.3. Definicja kombinacji normowych

<i>Obciążenia/Kombinacje automatyczne</i>	Otwarcie okna dialogowego Kombinacje normowe przypadków
<i>Kombinacje ręczne - generacja</i>	Wybranie opcji umożliwiającej rozpoczęcie generacji kombinacji ręcznych
LKM w klawisz Więcej>	Otwierane jest okno dialogowe Kombinacje normowe przypadków – etap 1/2 , w którym może zostać rozpoczęta generacja kombinacji

<p>Na zakładce <i>Grupy</i> wybrać wiatr z pola <i>Natura</i> LKM+CTRL w <i>WIATR1, WIATR8</i></p>  <p>Utwórz grupę z przypadków LKM w opcję <i>Operator / i</i></p>	<p>Utworzenie nowej grupy z przypadków obciążenia WIATR1 oraz WIATR8. Obciążenia te mogą występować jednocześnie</p>
	<p>Powrót do pierwszej grupy</p>
<p>LKM+CTRL w <i>WIATR2, WIATR7</i></p>  <p>Utwórz grupę z przypadków LKM w opcję <i>Operator / i</i></p>	<p>Utworzenie nowej grupy z przypadków obciążenia WIATR2 oraz WIATR7. Obciążenia te mogą występować jednocześnie</p>
	<p>Powrót do pierwszej grupy</p>
<p>LKM+CTRL w <i>WIATR3, WIATR6</i></p>  <p>Utwórz grupę z przypadków LKM w opcję <i>Operator / i</i></p>	<p>Utworzenie nowej grupy z przypadków obciążenia WIATR3 oraz WIATR6. Obciążenia te mogą występować jednocześnie</p>
	<p>Powrót do pierwszej grupy</p>
<p>LKM w opcję <i>Operator / i</i></p>	<p>Zmiana relacji pomiędzy obciążeniami w grupie 1</p>
<p>Na zakładce <i>Relacje</i> wybrać wiatr z pola <i>Natura</i> Usuń wszystko LKM w opcję <i>Operator / albo</i></p> 	<p>Definicja relacji pomiędzy grupami wiatrów. Poszczególne grupy wzajemnie się wykluczają</p>

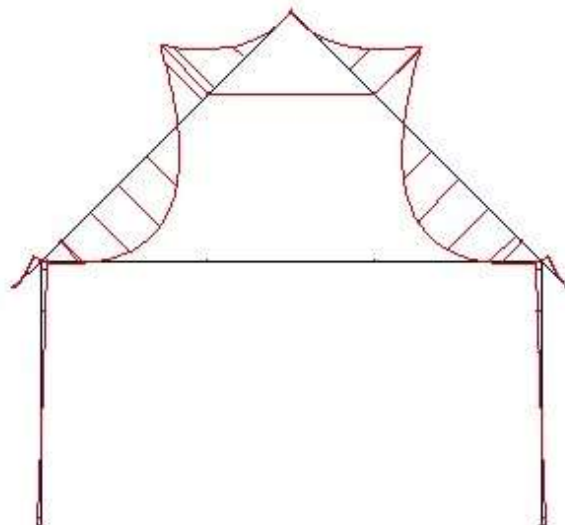


LKM w klawisz Dalej >	Otwierane jest okno dialogowe Kombinacje normowe przypadków – etap 2/2 .
	Naciśnięcie tej ikony powoduje, że wszystkie przypadki znajdujące się na liście zostaną wybrane (oznacza to, że wszystkie przypadki będą uwzględniane podczas generacji kombinacji normowych)
LKM w klawisz Generuj >	Generacja kombinacji normowych i zamknięcie okna dialogowego Kombinacje normowe przypadków – etap 2/2 .

9.11.4. Analiza wyników

	Rozpoczęcie obliczeń zdefiniowanej konstrukcji. Kiedy obliczenia zostaną zakończone w górnym pasku systemu Robot zostanie wyświetlona następująca informacja: Wyniki MES: aktualne
	Przywrócenie początkowego widoku konstrukcji, tak aby cała konstrukcja mieściła się na ekranie
Widok / Rzutowanie / Zx	Ustawienie konstrukcji w płaszczyźnie ZX
Z pola Przypadki wybrać SN1 	Wybranie drugiego przypadku obciążenia

Rezultaty / Wykresy na prętach	Otwarcie okna dialogowego Wykresy
Na zakładce <i>NTM</i> zaznaczyć opcje <i>Moment MY</i> Zastosuj	Wybranie opcji moment My. Wykres momentów My dla pierwszego wiaźzara dachu




Na zakładce <i>NTM</i> odznaczyć opcje <i>Moment MY</i> Zastosuj, Zamknij	Wyłączenie opcji moment My. Zamknięcie okna dialogowego Wykresy
---	---

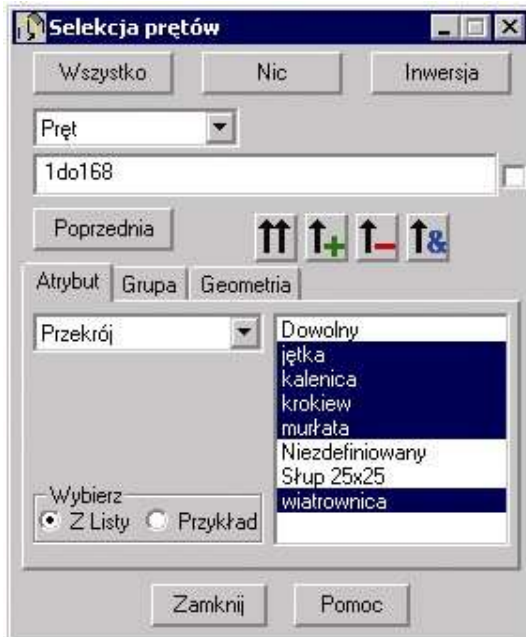
9.11.5. Wymiarowanie konstrukcji

Norma drewniana: Eurocode 5

Weryfikacja prętów

LKM w pole służące selekcji ekranów systemu Robot Wymiarowanie / Wymiarowanie drewna	Rozpoczęcie wymiarowania drewnianych elementów konstrukcji. Ekran zostanie podzielony na trzy części: ekran graficzny zawierający model konstrukcji, okna dialogowe: Definicje oraz Obliczenia
LKM w klawisz Lista znajdujący się w oknie dialogowym Obliczenia na wysokości pola <i>Weryfikacja prętów</i>	Otwarcie okna dialogowego Selekcja prętów

<p>LKM (+CTRL) w jętka, kalenica, krokiew, murlata, wiatrownica</p> <p> pojawi się lista 1do168</p> <p>Zamknij</p>	<p>Wybranie prętów, które będą zweryfikowane.</p> <p>Zamknięcie okna dialogowego Selekcja prętów</p>
--	---



<p>Otwarcie okna dialogowego Selekcja przypadków</p>
<p>Wybranie wszystkich przypadków obciążenia</p>
<p>Wybranie tej opcji spowoduje, że obliczenia prętów będą prowadzone dla stanu granicznego nośności</p>
<p>Rozpoczęcie weryfikacji wybranych prętów konstrukcji, na ekranie pojawi się okno pokazane na rysunku poniżej</p>



Otwarcie okna dialogowego **Wyniki** dla wybranego pręta


Wyświetlenie wyników obliczeniowych dla pręta nr 3

Zamknięcie okna dialogowego **Wyniki**

Zamknięcie okna dialogowego **Weryfikacja prętów**

Zapisanie wyników obliczeń i zamknięcie okna dialogowego **Archiwizacja wyników obliczeń**

Definicja przekrojów drewnianych

LKM w pole służące selekcji ekranów systemu Robot Narzędzia / Projektowanie profili	Rozpoczęcie tworzenia nowych przekrojów drewnianych
	Otwarcie okna dialogowego Prostokąt
W polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> wpisać współrzędne początku i końca pręta: (0, 0) (7, 14) Wykonaj	Zdefiniowanie wymiarów przekroju
PKM w okno Lity z menu kontekstowego wybrać komendę Wskaż	
LKM w utworzony prostokąt	Zaznaczenie zdefiniowanego konturu
<i>Kontury / Właściwości</i>	Otwarcie okna dialogowego Właściwości
Z pola <i>Materiał</i> , wybrać C35 OK	Przypisanie przekrojowi klasy drewna C35. Zamknięcie okna dialogowego Właściwości
<i>Plik / Zapisz do baz</i>	Otwarcie okna dialogowego Zapis profilu do bazy

W polu <i>Nazwa</i> wpisać: kro W polu <i>Wymiar1</i> wpisać: 7 W polu <i>Wymiar3</i> wpisać: 14 Pole wymiar <i>Wymiar2</i> pozostawić bez zmian, OK	Zapisanie profilu do bazy UZYTKOWNIK
<i>Plik / Nowy przekrój / Lity</i>	Rozpoczęcie definiowania nowego przekroju
W polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> wpisać współrzędne początku i końca pręta: (0, 0) (8, 16) Wykonaj	Zdefiniowanie wymiarów przekroju
PKM w okno Lity z menu kontekstowego wybrać komendę <i>Wskaż</i>	
LKM w utworzony prostokąt	Zaznaczenie zdefiniowanego konturu
<i>Kontury / Właściwości</i>	Otwarcie okna dialogowego Właściwości
Z pola <i>Materiał</i> , wybrać C35 OK	Przypisanie przekrojowi klasy drewna C35. Zamknięcie okna dialogowego Właściwości

<i>Plik / Zapisz do baz</i>	Otwarcie okna dialogowego Zapis profilu do bazy
W polu <i>Nazwa</i> wpisać: kro W polu <i>Wymiar1</i> wpisać: 8 W polu <i>Wymiar3</i> wpisać: 16 Pole wymiar <i>Wymiar2</i> pozostawić bez zmian, OK	Zapisanie profilu do bazy UZYTKOWNIK
<i>Plik / Nowy przekrój / Lity</i>	Rozpoczęcie definiowania nowego przekroju
W polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> wpisać współrzędne początku i końca pręta: (0, 0) (8, 18) Wykonaj	Zdefiniowanie wymiarów przekroju
PKM w okno Lity z menu kontekstowego wybrać komendę <i>Wskaż</i>	
LKM w utworzony prostokąt	Zaznaczenie zdefiniowanego konturu
<i>Kontury / Właściwości</i>	Otwarcie okna dialogowego Właściwości
Z pola <i>Materiał</i> , wybrać C35 OK	Przypisanie przekrojowi klasy drewna C35. Zamknięcie okna dialogowego Właściwości


<i>Plik / Zapisz do baz</i>	Otwarcie okna dialogowego Zapis profilu do bazy
W polu <i>Nazwa</i> wpisać: kro W polu <i>Wymiar1</i> wpisać: 8 W polu <i>Wymiar3</i> wpisać: 18 Pole wymiar <i>Wymiar2</i> pozostawić bez zmian, OK	Zapisanie profilu do bazy UZYTKOWNIK
<i>Plik / Nowy przekrój / Lity</i>	Rozpoczęcie definiowania nowego przekroju
W polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> wpisać współrzędne początku i końca pręta: (0, 0) (10, 14) Wykonaj	Zdefiniowanie wymiarów przekroju
PKM w okno Lity z menu kontekstowego wybrać komendę <i>Wskaż</i>	
LKM w utworzony prostokąt	Zaznaczenie zdefiniowanego konturu
<i>Kontury / Właściwości</i>	Otwarcie okna dialogowego Właściwości
Z pola <i>Materiał</i> , wybrać C35 OK	Przypisanie przekrojowi klasy drewna C35. Zamknięcie okna dialogowego Właściwości
<i>Plik / Zapisz do baz</i>	Otwarcie okna dialogowego Zapis profilu do bazy

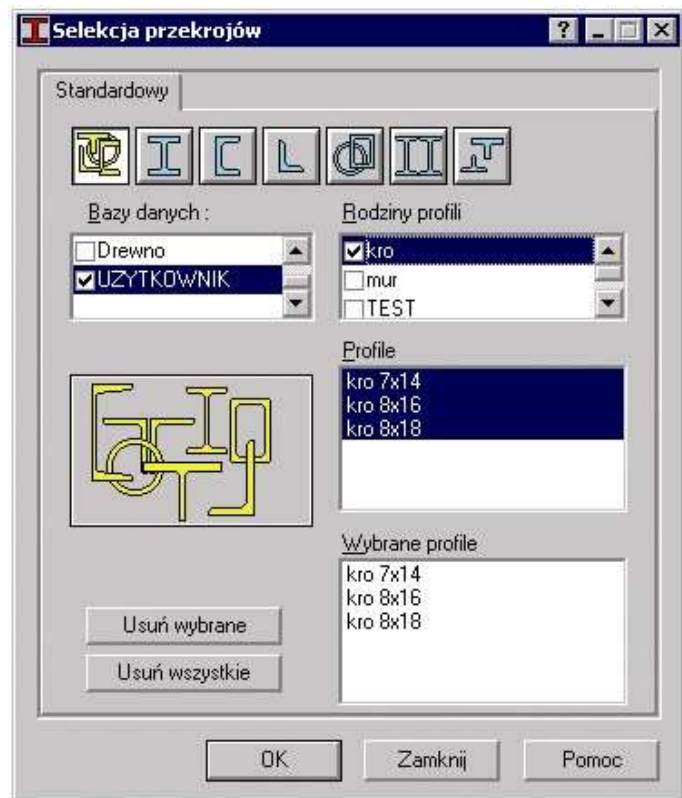
W polu <i>Nazwa</i> wpisać: mur W polu <i>Wymiar1</i> wpisać: 10 W polu <i>Wymiar3</i> wpisać: 14 Pole wymiar <i>Wymiar2</i> pozostawić bez zmian, OK	Zapisanie profilu do bazy UZYTKOWNIK
<i>Plik / Nowy przekrój / Lity</i>	Rozpoczęcie definiowania nowego przekroju
W polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> wpisać współrzędne początku i końca pręta: (0, 0) (12, 14) Wykonaj	Zdefiniowanie wymiarów przekroju
PKM w okno Lity z menu kontekstowego wybrać komendę <i>Wskaż</i>	
LKM w utworzony prostokąt	Zaznaczenie zdefiniowanego konturu
<i>Kontury / Właściwości</i>	Otwarcie okna dialogowego Właściwości

Z pola <i>Materiał</i> , wybrać C35 OK	Przypisanie przekrojowi klasy drewna C35. Zamknięcie okna dialogowego Właściwości
<i>Plik / Zapisz do baz</i>	Otwarcie okna dialogowego Zapis profilu do bazy
W polu <i>Nazwa</i> wpisać: mur W polu <i>Wymiar1</i> wpisać: 12 W polu <i>Wymiar3</i> wpisać: 14 Pole wymiar <i>Wymiar2</i> pozostawić bez zmian, OK	Zapisanie profilu do bazy UZYTKOWNIK
<i>Plik / Nowy przekrój / Lity</i>	Rozpoczęcie definiowania nowego przekroju
W polach <i>Początek</i> i <i>Koniec</i> wpisać współrzędne początku i końca pręta: (0, 0) (12, 16) Wykonaj	Zdefiniowanie wymiarów przekroju
PKM w okno Lity z menu kontekstowego wybrać komendę <i>Wskaż</i>	
LKM w utworzony prostokąt	Zaznaczenie zdefiniowanego konturu
<i>Kontury / Właściwości</i>	Otwarcie okna dialogowego Właściwości
Z pola <i>Materiał</i> , wybrać C35 OK	Przypisanie przekrojowi klasy drewna C35. Zamknięcie okna dialogowego Właściwości
<i>Plik / Zapisz do baz</i>	Otwarcie okna dialogowego Zapis profilu do bazy
W polu <i>Nazwa</i> wpisać: mur W polu <i>Wymiar1</i> wpisać: 12 W polu <i>Wymiar3</i> wpisać: 16 Pole wymiar <i>Wymiar2</i> pozostawić bez zmian, OK	Zapisanie profilu do bazy UZYTKOWNIK

Wymiarowanie grup prętów

LKM w pole służące selekcji ekranów systemu Robot Wymiarowanie / Wymiarowanie drewna	Rozpoczęcie wymiarowania drewnianych elementów konstrukcji. Ekran zostanie podzielony na trzy części: ekran graficzny zawierający model konstrukcji, okna dialogowe: Definicje oraz Obliczenia
LKM w klawisz Nowy na zakładce <i>Grupy</i> w oknie dialogowym Definicje	Przejdźcie na zakładkę umożliwiającą definicję grup prętów

<p>Zdefiniować pierwszą grupę o następujących parametrach: Numer: 1 Nazwa: Krokwie Materiał: C35 Drewno iglaste C35 4PN-EN 338</p>	<p>Definicja pierwszą grupy prętów zawierającej wszystkie krokwie konstrukcji</p>
<p>LKM w pole edycyjne <i>Lista prętów</i>. Przejść na ekran graficzny i wybrać wszystkie krokwie trzymając wciśnięty klawisz CTRL. Aby ułatwić selekcję, należy skorzystać z ikony </p>	<p>Wybranie krokwi. Użycie ikony <i>Obrót, powiększenie, przesunięcie</i> podczas selekcji krokwi</p>
<p>Przekroje</p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Selekcja przekrojów</p>
<p>W polu <i>Baza danych</i> zaznaczyć UZYTKOWNIK W polu <i>Rodzina profili</i> zaznaczyć kro OK</p>	<p>Wybór przekrojów. Zamknięcie okna dialogowego Selekcja przekrojów</p>




Zapisanie parametrów pierwszej grupy prętów
Wybranie tej opcji umożliwia definicję kolejnej grupy prętów
Definicja drugiej grupy prętów zawierającej wszystkie murłaty konstrukcji
Wybranie krokwi. Użycie ikony <i>Obrót</i> , <i>powiększenie</i> , <i>przesunięcie</i> podczas selekcji murłat
Otwarcie okna dialogowego Selekcja przekrojów
Wybór przekrojów. Zamknięcie okna dialogowego Selekcja przekrojów
Zapisanie parametrów drugiej grupy prętów
Otwarcie okna dialogowego Selekcja grup
Wybranie grup prętów, które będą projektowane. Zamknięcie okna dialogowego Selekcja grup
Otwarcie okna dialogowego Selekcja przypadków
Wybór wszystkich przypadków obciążenia. Zamknięcie okna dialogowego Selekcja przypadków

Otwarcie okna dialogowego **Opcje optymalizacyjne**.
Wybór opcji optymalizacyjnej ciężar spowoduje, że optymalizacja uwzględniać będzie ciężar profilu powodując wyszukiwanie wśród profili spełniających kryteria normowe profilu najlżejszego w danej grupie

Zamknięcie okna dialogowego **Opcje optymalizacyjne**

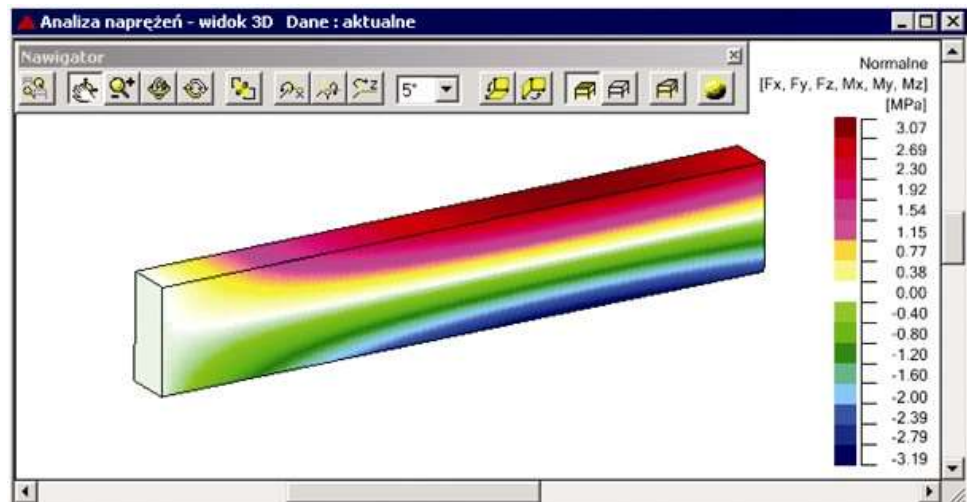
Rozpoczęcie wymiarowania wybranych grup prętów konstrukcji; na ekranie pojawi się okno **Rezultatów skróconych**


Pręt	Profil	Materiał	Lay	Łaz	Wyteż.	Przypadek
Grupa: 1 Krokwie						
70 Belka drewniana_70	kro 8x16	C35	142.50	285.00	1.03	11 SGN /19/
	kro 8x18		126.67	285.00	0.86	
Grupa: 2 Murłaty						
83 Pręt drewniany_83	mur 10x14	C35	145.99	204.38	1.10	11 SGN /3/
	mur 12x14		145.99	170.32	0.92	
	mur 12x16		127.74	170.32	0.76	


LKM w klawisz Zmień Wsz. . Znajdujący się w oknie pokazanym na rysunku powyżej	Zmiana przekrojów drewnianych dla obu grup (murłaty na mur12x14, krokwie na kro8x18). Po zamianie profili prętów w górnym pasku programu Robot prezentowana będzie następująca informacja: <i>Wyniki MES – nieaktualne</i>
	Ponowne obliczenie konstrukcji dla zmienionego przekroju murłaty. Po zakończeniu obliczeń w górnym pasku programu Robot prezentowana będzie następująca informacja: <i>Wyniki MES – aktualne</i>
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Wymiarowanie grup prętów
Zapisz	Zapisanie wyników obliczeń i zamknięcie okna dialogowego Archiwizacja wyników obliczeń

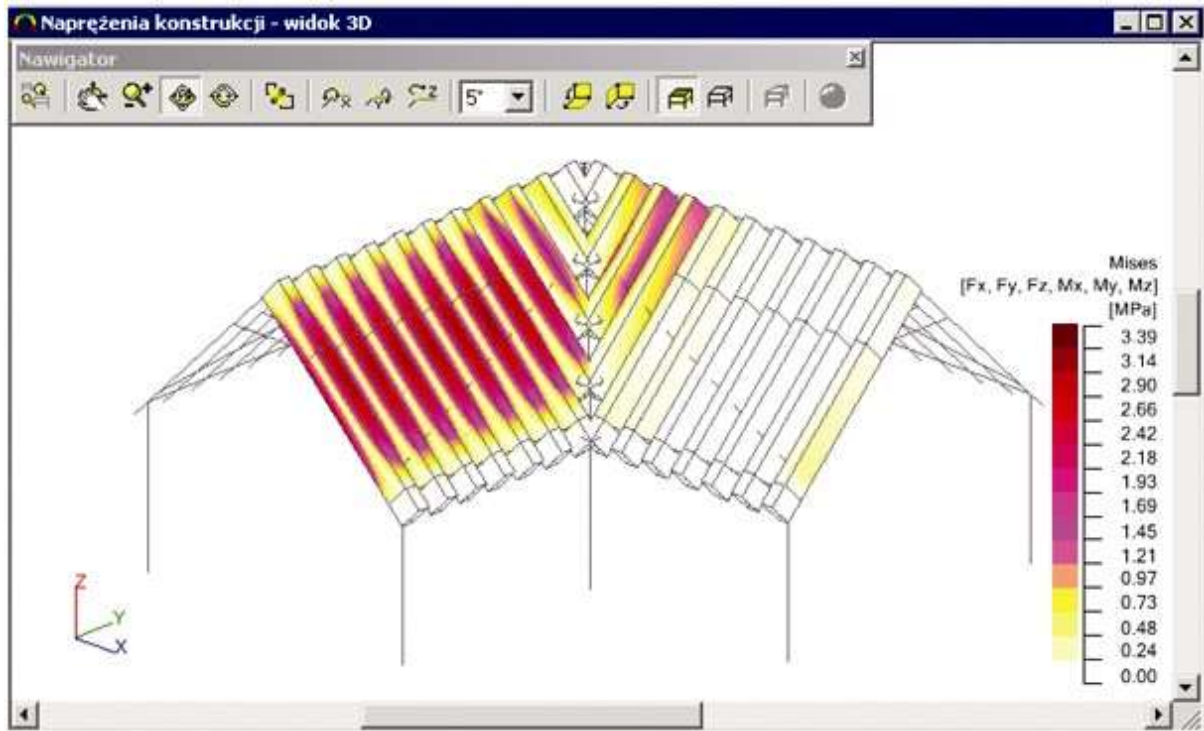
9.11.6. Analiza naprężeń

LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Geometria	Wybór początkowego ekranu systemu Robot
<i>Rezultaty / Analiza naprężeń / Analiza pręta</i>	Rozpoczęcie analizy naprężeń dla krokwi nr 3. Ekran monitora zostaje podzielony na pięć części: okno dialogowe Analiza naprężeń , okno graficzne z widokiem konstrukcji oraz trzy okna, w których prezentowane są mapy naprężeń (w przekroju poprzecznym oraz dwóch przekrojach podłużnych: XY i XZ)
W oknie dialogowym Analiza naprężeń wpisać 3 w polu edycyjnym <i>Pręt nr</i> Enter Wybrać WIATR1 z pola <i>Przypadek</i> Zastosuj	Wybór pręta oraz rodzaju obciążenia
LKM w okno przedstawiające mapy naprężeń <i>Widok / Widok 3D</i>	Przedstawienie widoku 3D map naprężeń analizowanej krokwi



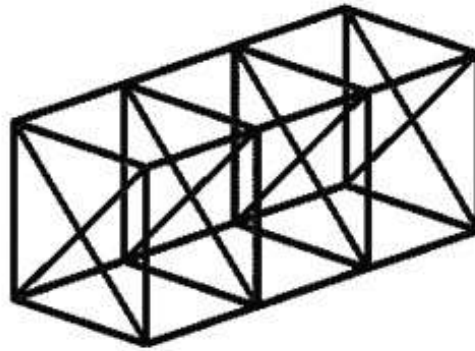
LKM w pole przeznaczone do wyboru ekranów systemu Robot Model konstrukcji / Rezultaty / Analiza naprężeń konstrukcji	Rozpoczęcie analizy naprężeń konstrukcji. Na ekranie monitora pojawia się okno z widokiem konstrukcji, tabela rezultatów w dolnej części oraz okno dialogowe zarządzające analizą naprężeń Naprężenia konstrukcji . W oknie dokonywany jest wybór naprężeń oraz określony może zostać sposób prezentacji graficznej naprężeń
Z pola <i>Przypadki</i> wybrać WIATR1 	Wybranie trzeciego przypadku obciążenia

LKM+CTRL w krokwie prawej i przedniej połaci w oknie graficznym z widokiem konstrukcji	Selekcja krokwi prawej i przedniej połaci
LKM w opcję <i>Mises</i> w prawym dolnym rogu okna dialogowego Naprężenia konstrukcji	Wybór rodzaju naprężeń
LKM w opcję <i>Wybrane pręty Zastosuj</i>	Rozpoczęcie obliczeń do analizy naprężeń dla wybranych prętów
LKM w ikonę  znajdującą się na prawym pasku zadań	Generowanie widoku 3D

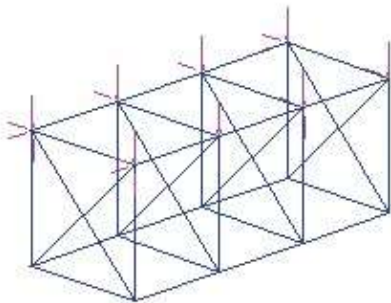


9.12. Przykład projektowania konstrukcji prętowej z masami dodanymi

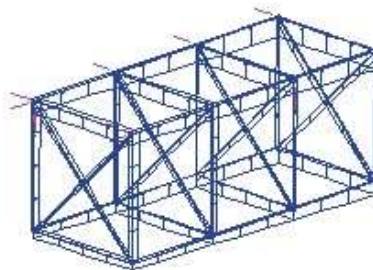
Ten przykład przedstawia definicję stalowej ramy przestrzennej prezentowanej na poniższym rysunku. Jednostki danych: (m) i (kN).



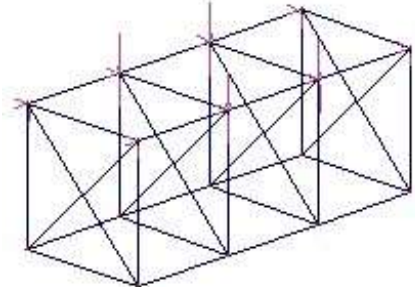
Na konstrukcji zdefiniujemy także masy dodane. Będą one uczestniczyć w obciążeniach statycznych i dynamicznych. Jako obciążenie zdefiniowane zostaną siły bezwładności od ruchu liniowego oraz w ruchu obrotowym. Przeprowadzimy także analizę modalną i harmoniczną.



PRZYPADEK 1 i 2



PRZYPADEK 3



PRZYPADEK 4

Podczas definiowania konstrukcji wykorzystywane będą następujące zasady:


- prezentacja dowolnej ikony oznacza naciśnięcie tej ikony lewym klawiszem myszki,
- { x } oznacza wybór opcji 'x' z okna dialogowego,
- LKM i PKM - skróty używane do oznaczenia kliknięcia odpowiednio lewym lub prawym klawiszem myszki.




Aby rozpocząć definiowanie konstrukcji, uruchom system **Robot** (naciśnij odpowiednią ikonę lub wybierz komendę z paska zadań). W okienku pojawiającym się po chwili na ekranie (jest ono opisane w rozdziale 2.1 podręcznika) należy wybrać przedostatnią ikonę w pierwszym wierszu (**Projektowanie ramy**

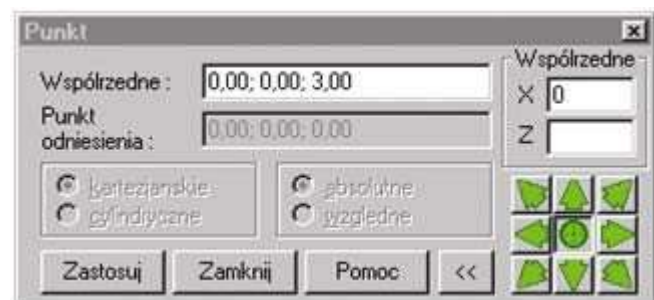
przestrzennej)



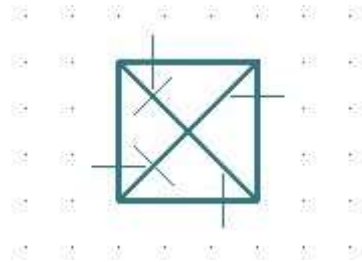
9.12.1. Definicja modelu konstrukcji

WYKONYWANA OPERACJA	OPIS
	Otwarcie okna dialogowego Przekroje

	Otwarcie okna dialogowego Nowy przekrój
Zakładka <i>Parametryczny</i> , typ przekroju 	Definicja nowego przekroju rury okrągłej o zadanych wymiarach
Etykieta: O 100x5 $d = 10.0$ (cm) $t = 0.5$ Dodaj	Definicja przekroju rury 100x5 (mm)
Etykieta: O 75x3 $d = 7.5$ (cm) $t = 0.3$ Dodaj, Zamknij	Definicja przekroju rury 75x3 (mm)
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Przekroje
	Otwarcie okna dialogowego Pręt
LKM w pole TYP PRĘTA i wybór typu: <i>Pręt</i> LKM w pole PRZEKRÓJ i wybór typu O 100x5	Wybór charakterystyk pręta
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Ciągnięcie</i>	Włączenie opcji <i>Ciągnięcie</i> , która umożliwia definicję kolejnych prętów tak, że koniec poprzedniego jest początkiem następnego pręta
LKM w pole <i>Początek</i> (tło pola zostanie zmienione na kolor zielony)	Rozpoczęcie definiowania prętów w konstrukcji (słupy konstrukcji)
Wskazać na widoku graficznym punkt o współrzędnych: (0,0,0)	Definicja początku pręta
Nacisnąć na klawiaturze dowolny klawisz z liczbą	Wyświetlenie okna dialogowego Punkt do numerycznej definicji węzłów

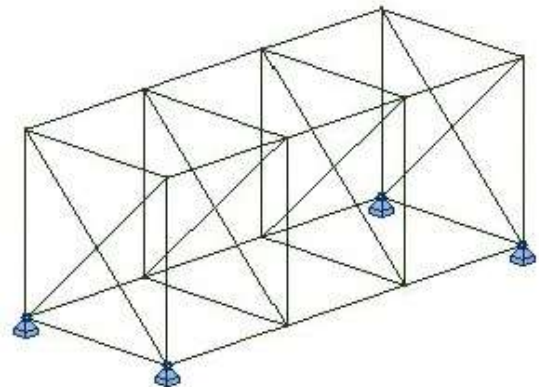



	Definicja prętów w formie kwadratu
t	Zamknięcie okna dialogowego Punkt
u	Wybór charakterystyk pręta
	Wyłączenie opcji Ciągnięcie
ola)	Rozpoczęcie definiowania prętów w konstrukcji (słupy konstrukcji)
kt	Definicja dwóch prętów, przekątnych kwadratu





	Zamknięcie okna dialogowego Pręt
	Wybór widoku aksonometrycznego konstrukcji
	Otwarcie okna dialogowego Przekroje
	Wybór przekroju <i>O 100x5</i> jako domyślny i zamknięcie okna dialogowego Przekroje
	Selekcja wszystkich prętów konstrukcji (wyselekcjonować je można również za pomocą okna)
	Otwarcie okna dialogowego Translacja
	Definicja wektora translacji
	Definicja liczby powtórzeń wykonywanej operacji kopiowania


	Włączenie opcji <i>Ciągnięcie</i> , która umożliwia automatyczną definicję prętów pomiędzy kopiowanymi węzłami. Definiowane automatycznie pręty posiadają charakterystyki wybrane aktualnie jako domyślne
	Wykonanie translacji konstrukcji i zamknięcie okna dialogowego Translacja
	Wyłączenie aktualnej selekcji prętów i węzłów
	Wybór widoku płaskiego konstrukcji w płaszczyźnie XY dla $Z=0.0$
	Otwarcie okna dialogowego Podpory
Wybór typu podpory	Wybór typu podpory
Wybór węzłów konstrukcji, w których zdefiniowane zostaną podpory konstrukcji	Wybór węzłów konstrukcji, w których zdefiniowane zostaną podpory konstrukcji
W polu <i>Aktualna selekcja</i> zostanie wpisana lista wyselekcjonowanych węzłów: 1 4 13 16	W polu <i>Aktualna selekcja</i> zostanie wpisana lista wyselekcjonowanych węzłów: 1 4 13 16
Wybrany typ podpory zostanie nadany w wyselekcjonowanych węzłach konstrukcji. Zamknięcie okna dialogowego Podpory	Wybrany typ podpory zostanie nadany w wyselekcjonowanych węzłach konstrukcji. Zamknięcie okna dialogowego Podpory







Wybór ekranu systemu Robot ułatwiającego definiowanie obciążeń konstrukcji (obecność okna dialogowego i tabeli obciążeń)
Definicja przypadku obciążenia o naturze: ciężar własny i standardowej nazwie STA1. W pierwszym przypadku automatycznie dodawany jest ciężar własny dla całej konstrukcji, co jest widoczne w tabeli obciążeń
Wyświetlenie okna dialogowego do wyboru widoku w przestrzeni. 
Wybór widoku płaskiego konstrukcji
Wybór płaszczyzny rzutu XY (początkowo dla Z=0.0)
Wybór płaszczyzny rzutu XY o współrzędnej Z=3.0
Zamknięcie okna dialogowego Widok
Wywołanie okna dialogowego definicji obciążeń
Przejsięcie na zakładkę definicji obciążeń ciężarem własnym i siłami bezwładności
Wywołanie okna dialogowego definicji mas dodanych

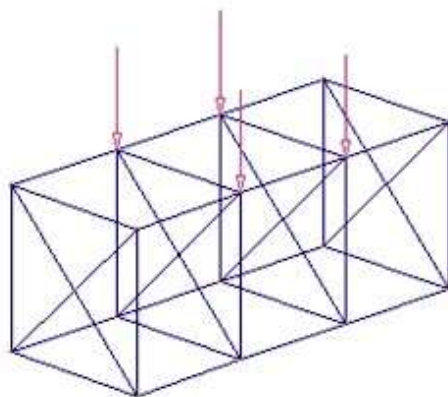
<p>Wpisać <i>Wartości ciężaru (kG)</i>:</p> <p>X = 100</p> <p>Y = 100 Z = 100</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> <i>Zastosuj do wszystkich przypadków</i></p> <p>Dodaj</p>	<p>Definicja mas węzłowych o ciężarze 100 kG na przesuwnych stopniach swobody.</p> <p>Masy będą uczestniczyć we wszystkich przypadkach (statycznych i dynamicznych)</p>
<p>LKM w pole <i>Zastosuj do</i></p>	<p>Wybór węzłów konstrukcji, w których zdefiniowane zostaną masy dodane</p>

Przejdź na ekran graficzny; Trzymając wciśnięty lewy klawisz myszki zaznaczyć oknem wszystkie węzły na widocznej płaszczyźnie pracy	W polu <i>Zastosuj do</i> zostanie wpisana lista wyselekcjonowanych węzłów: 2do14K4 3do15K4
Zastosuj, Zamknij	Zdefiniowane masy dodane zostaną nadane w wyselekcjonowanych węzłach konstrukcji. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie
<i>Widok / Rzutowanie / 3d xyz</i>	Wybór widoku aksonometrycznego konstrukcji
W oknie dialogowym Przypadki obciążeń LKM w klawisz Nowy	Definicja nowego przypadku obciążenia o naturze: ciężar własny i standardowej nazwie: STA2
<i>Obciążenia / Definicja obciążeń</i> 	Wywołanie okna dialogowego definicji obciążeń
Zakładka <i>Ciężar i masa</i>	Przejdźcie na zakładkę definicji obciążeń ciężarem własnym i siłami bezwładności
 <i>Sily bezwładności</i>	Wywołanie okna dialogowego definicji obciążeń siłami bezwładności w ruchu liniowym od przyspieszenia
<input checked="" type="checkbox"/> <i>relatywnie x g</i> Wpisać a: Z = -1 <input checked="" type="checkbox"/> <i>Zastosuj do mas dodanych</i> Dodaj	Definicja obciążenia siłami bezwładności w ruchu liniowym z przyspieszeniem ziemskim g dla mas węzłowych, czyli uwzględniamy ciężar własny mas dodanych
Zastosuj, Zamknij	Obciążenie stosowane dla mas dodanych nie wymaga selekcji, ponieważ działa dla wszystkich mas przypisanych do danego przypadku. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie





W oknie dialogowym Przypadki obciążeń wybrać naturę obciążenia: <i>eksploatacyjne</i> wpisać nazwę przypadku: TRANSPORT LKM w klawisz Nowy	Definicja nowego przypadku obciążenia o naturze: eksploatacyjne, nazwie: TRANSPORT <i>Obciążenie w tym przypadku ma za zadanie modelizację działania sił bezwładności na ramę i na dodatkowe masy w ruchu obrotowym wywołanym kołysaniem (statku) podczas transportu</i>
<i>Obciążenia / Definicja obciążeń</i> 	Wywołanie okna dialogowego definicji obciążeń
Zakładka <i>Ciężar i masa</i>	Przejdźcie na zakładkę definicji obciążeń ciężarem własnym i siłami bezwładności





 <p><i>Siły w ruchu obrotowym</i></p>	<p>Wywołanie okna dialogowego definicji obciążeń siłami bezwładności w ruchu obrotowym od przyspieszenia obrotowego (siła styczna) i prędkości (siła odśrodkowa)</p>
<p>Wpisać współrzędne środka obrotu C: (0.0, 0.0, -5.0) Wpisać <i>Prędkości i przyspieszenie kołowe (Rad/..):</i> $vX=0,5$ $aX=0,2$ $vY=0,2$ $aY=0,1$ Dodaj</p>	<p>Definicja obciążenia siłami bezwładności w ruchu obrotowym wokół punktu C. Obrót wokół osi X z prędkością $v= 0,5$ (rad/s) i przyspieszeniem $a= 0,2$ (rad/s²). Obrót wokół osi Y z prędkością $v= 0,2$ (rad/s) i przyspieszeniem $a= 0,1$ (rad/s²)</p>
<p>LKM w pole <i>Zastosuj do</i></p>	<p>Wybór elementów konstrukcji, w których zdefiniowane zostaną podpory konstrukcji</p>
<p>Przejsć i kliknąć na ekran graficzny; { Ctrl + A }</p>	<p>Wybór całej konstrukcji. W polu <i>Zastosuj do</i> zostanie wpisana lista wszystkich prętów</p>
<p>Zastosuj</p>	<p>Definicja obciążenia</p>
 <p><i>Siły w ruchu obrotowym</i></p>	<p>Ponowne wywołanie okna dialogowego definicji obciążeń siłami bezwładności w ruchu obrotowym</p>
<p><input checked="" type="checkbox"/> <i>Zastosuj do mas dodanych</i> Dodaj</p>	<p>Dla aktualnych parametrów obciążenia wybieramy opcję definicji dla mas węzłowych w konstrukcji</p>
<p>Zastosuj, Zamknij</p>	<p>Definicja obciążenia, obciążenie stosowane dla mas dodanych nie wymaga selekcji ponieważ działa dla wszystkich mas przypisanych do danego przypadku. Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie</p>
<p><i>Analiza / Rodzaje analizy</i></p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Opcje obliczeniowe</p>
<p>LKM w klawisz Nowy</p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Definicja nowego przypadku służącego do definiowania nowego przypadku dynamicznego w konstrukcji</p>
<p>LKM w klawisz OK w oknie dialogowym Definicja nowego przypadku</p>	<p>Otwarcie okna dialogowego Parametry analizy modalnej. Okno to służy do definiowania parametrów analizy modalnej dla nowego przypadku dynamicznego w konstrukcji</p>
<p>LKM w klawisz Parametry zaawansowane w polu <i>Liczba postaci</i> wpisać: 5 w polu <i>Metoda</i> wybrać opcję: <i>Lanczosa</i></p>	<p>Wybór metody analizy konstrukcji oraz maksymalnej liczby poszukiwanych postaci drgań własnych</p>

LKM w klawisz OK	Dodanie nowego przypadku obciążeniowego (typ analizy <i>Modalna</i>) do listy przypadków obciążeniowych
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Opcje obliczeniowe
W oknie dialogowym Przypadki obciążeń dla natury obciążenia: <i>eksploatacyjne</i> wpisać nazwę przypadku: ROTOR LKM w klawisz Nowy	Definicja nowego przypadku obciążenia o naturze: eksploatacyjne, nazwie: ROTOR <i>Obciążenie w tym przypadku ma za zadanie modelizację działania maszyny umieszczonej na ramie przez uwzględnienie jej ciężaru oraz wibrującej siły w analizie harmonicznego</i>
Obciążenia / Definicja obciążeń 	Wywołanie okna dialogowego definicji obciążeń
Zakładka Węzeł  Siła węzłowa	Wywołanie okna dialogowego definicji obciążeń siłą węzłową
Wpisać: $FZ = -0,5$ (kN) Dodaj	Definicja siły węzłowej. Obciążenie to będzie następnie użyte w analizie harmonicznego jako obciążenie od drgań wymuszonych
LKM w pole <i>Zastosuj do</i>	Wybór węzłów konstrukcji, w których zdefiniowane zostaną siły węzłowe
Przejsć na ekran graficzny; Trzymając wciśnięty lewy klawisz myszki zaznaczyć oknem cztery środkowe węzły na górnej płaszczyźnie ramy	W polu <i>Zastosuj do</i> zostanie wpisana lista wyselekcjonowanych węzłów: 6 7 10 11
Zastosuj	Zdefiniowane siły zostaną nadane na wybranych węzłach konstrukcji



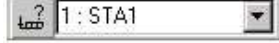
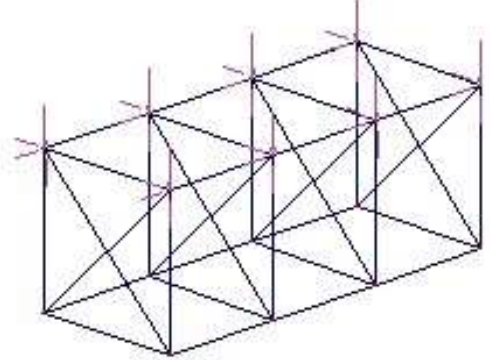
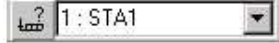
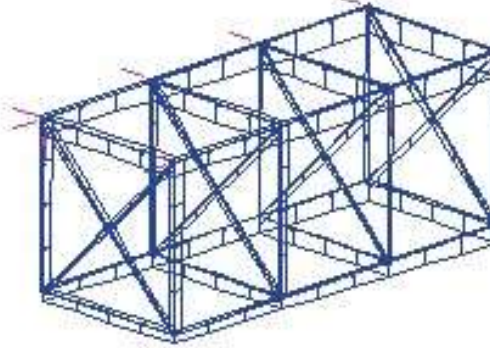



Zakładka Ciężar i masa	Przejsćie na zakładkę definicji obciążeń ciężarem własnym i siłami bezwładności
-------------------------------	---

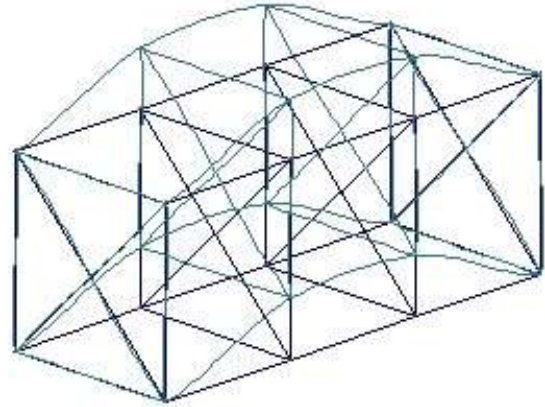
 <p>Masy dodane – węzłowe</p>	Wywołanie okna dialogowego definicji mas dodanych
<p>Wpisać <i>Wartości ciężaru (kG)</i>: $X = 0$ $Y = 0$ $Z = 200$</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> <i>Zastosuj do wszystkich przypadków, Dodaj</i></p>	Definicja mas węzłowych o ciężarze 200 kG na kierunku swobody Z. Masy są definiowane jedynie dla aktualnego przypadku
LKM w pole <i>Zastosuj do</i>	Wybór węzłów konstrukcji, w których zdefiniowane zostaną masy węzłowe
Przejsć na ekran graficzny; Trzymając wciśnięty lewy klawisz myszki zaznaczyć oknem cztery środkowe węzły na górnej płaszczyźnie ramy	W polu <i>Zastosuj do</i> zostanie wpisana lista wyselekcjonowanych węzłów: 6 7 10 11
Zastosuj, Zamknij	Zdefiniowane masy dodane zostaną nadane w wyselekcjonowanych węzłach konstrukcji; Zamknięcie okna dialogowego Obciążenie
<i>Analiza / Rodzaje analizy</i>	Otwarcie okna dialogowego Opcje obliczeniowe
W oknie na liście przypadków wybrać LKM przypadek:  5 ROTOR	Wybór aktywnego przypadku
Zmień typ analizy	Otwarcie okna dialogowego Zmiana typu analizy
 <p><i>Analiza harmoniczna</i> OK</p>	Zmiana typu analizy przypadku 5 na analizę harmoniczną. Otwarcie okna dialogowego Parametry analizy harmonicznej
 <p>Częstotliwość wpisać: 20 (Hz), OK</p>	Definicja parametrów analizy harmonicznej. Akceptacja parametrów i zamknięcie okna dialogowego
Zamknij	Zamknięcie okna dialogowego Opcje obliczeniowe
<i>Obciążenia / Tabela mas</i>	Otwarcie tabeli mas dodanych
LKM w ostatnim wierszu w pierwszej kolumnie dla definicji masy FZ=200(kG)	Zmiana przypadku, do którego przypisane są masy dodane. <i>Masy mogą być przypisane do pojedynczego przypadku albo do wszystkich przypadków statycznych lub dynamicznych</i>

<p>Zmienić na liście na</p>  <p>pozycję: dynamiczne</p> <p>{Enter}</p>	<p>Wybór przypisania masy do wszystkich przypadków dynamicznych, jakimi są w przykładzie analizy: harmoniczna i modalna</p>												
<p>LKM w zakładkę tabeli <i>Wartości</i></p>	<p>Przejsięcie na zakładkę <i>Wartości</i>, sprawdzenie definicji mas</p>												
<p> w tabeli mas</p>	<p>Zamknięcie tabeli Masy dodane</p>												
<p><i>Obciążenia / Kombinacje ręczne</i></p>	<p>Otwiera okno dialogowe Definicja / zmiana kombinacji</p>												
<p>OK w oknie definicji parametrów kombinacji</p>	<p>Akceptacja parametrów kombinacji. Otwiera się okno dialogowe Kombinacje</p>												
<p>Wybrać przypadek 1 z <i>Listy przypadków</i>, podać wartość współczynnika w polu <i>auto</i></p>	<p>Definicja przypadków i współczynników kombinacji. <i>UWAGA: Jeśli w polu współczynnik pozostanie wybrany "auto", to współczynnik kombinacji zostaną przyjęte automatycznie według normy przyjętej w Preferencjach zadania</i></p>												
<p>LKM  dla wybranego przypadku, następnie powtórzyć wybór dla przypadku numer 2 i 3, Zastosuj</p>	<p>Definicja kombinacji przypadków 1+2+3, jak na rysunku poniżej</p> <table border="1" data-bbox="651 1052 1057 1392"> <thead> <tr> <th>współczynnik</th> <th>N...</th> <th>Nazwa przypa...</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.10</td> <td>1</td> <td>STA1</td> </tr> <tr> <td>1.10</td> <td>2</td> <td>STA2</td> </tr> <tr> <td>1.30</td> <td>3</td> <td>TRANSPORT</td> </tr> </tbody> </table>	współczynnik	N...	Nazwa przypa...	1.10	1	STA1	1.10	2	STA2	1.30	3	TRANSPORT
współczynnik	N...	Nazwa przypa...											
1.10	1	STA1											
1.10	2	STA2											
1.30	3	TRANSPORT											
<p>Nowa</p>	<p>Definicja nowej kombinacji</p>												
<p>OK w oknie definicji parametrów kombinacji</p>	<p>Akceptacja parametrów kombinacji</p>												
<p>Wybrać przypadki i przenieść je do definicji kombinacji  dla przypadków 1, 2 i 5 Zastosuj, Zamknij</p>	<p>Definicja kombinacji przypadków 1+2+5; zamknięcie okna dialogowego Kombinacje</p>												

9.12.2. Obliczenia i analiza wyników

	Rozpoczęcie obliczeń dla zdefiniowanej konstrukcji
LKM w pole do wyboru ekranu systemu Robot Rezultaty / Rezultaty	Wybór ekranu REZULTATY systemu Robot . Ekran monitora zostanie podzielony na trzy części: pole graficzne zawierające model konstrukcji, okno dialogowe Wykresy i tabelę prezentującą wartości reakcji
PKM, <i>Wyświetl</i>	Otwarcie okna dialogowego do wyboru widoczności atrybutów konstrukcji
LKM, zakładka <i>Obciążenia</i>	Przejsięcie na zakładkę opcji widoczności obciążeń
<input checked="" type="checkbox"/>  <i>Sily generowane automatycznie, OK</i>	Włączenie widoczności sił, które są generowane automatycznie dla pewnych typów obciążeń
Z górnego paska selekcji  wybór 2: STA2	Wybór aktualnego przypadku, widoczne są siły węzłowe wygenerowane automatycznie dla mas dodanych w obciążeniu siłami bezwładności w ruchu liniowym 
Z górnego paska selekcji  wybór 3: TRANSPORT	Wybór aktualnego przypadku, widoczne są siły liniowe i węzłowe wygenerowane automatycznie dla mas dodanych i prętów w obciążeniu siłami bezwładności w ruchu obrotowym 
LKM  w dolnym pasku stanu	Przywrócenie domyślnego zestawu widoczności konstrukcji

wybór zakładki <i>Deformacja</i> w oknie Wykresy włączenie opcji <i>Deformacja</i>	Wybór prezentacji deformacji konstrukcji dla wybranego przypadku obciążeniowego
LKM w klawisz Zastosuj	Prezentacja deformacji konstrukcji (rysunek poniżej); podobnie można przedstawiać wykresy innych wielkości dostępnych w oknie dialogowym Wykresy



Otwarcie tabeli wyników <i>Naprężenia</i>
Wybór kombinacji 6 i 7 jako aktualnego przypadku w tabeli
Wywołanie okna dialogowego Wybór wielkości dla prętów z menu kontekstowego tabeli
Wyłączenie kolumn w tabeli z rezultatami naprężeń od sił osiowych i czystego zginania. Zamknięcie okna dialogowego parametrów
Przejdźcie na zakładkę wyświetlającą maksymalne i minimalne wartości i selekcji ustawionych w tabeli
Zamknięcie tabeli <i>Naprężenia</i>
Otwarcie tabeli wyników <i>Wyniki dynamiki</i>

Wybór przypadku analizy modalnej <i>Jak widać, częstotliwość wymuszenia harmonicznego (20 Hz) nie powoduje rezonansu z wartościami częstotliwości drgań własnych</i>
Zamknięcie tabeli <i>Wyniki dynamiki</i>

10. ZAŁĄCZNIKI

10.1. Załącznik 1 - Elementy prętowe (nieliniowa analiza w programie Robot)

Przyjęte oznaczenia: E -

moduł Younga G - moduł

Kirchoffa ν -

współczynnik Poissona

fd - granica sprężystości

Ax - powierzchnia przekroju

Ix - moment bezwładności przy skręcaniu

Iy - moment bezwładności przy zginaniu w płaszczyźnie XZ Iz - moment

bezwładności przy zginaniu w płaszczyźnie YZ ky, kz - współczynniki

poprawkowe dla sztywności ścinania w kierunku Y i Z L - długość pręta.

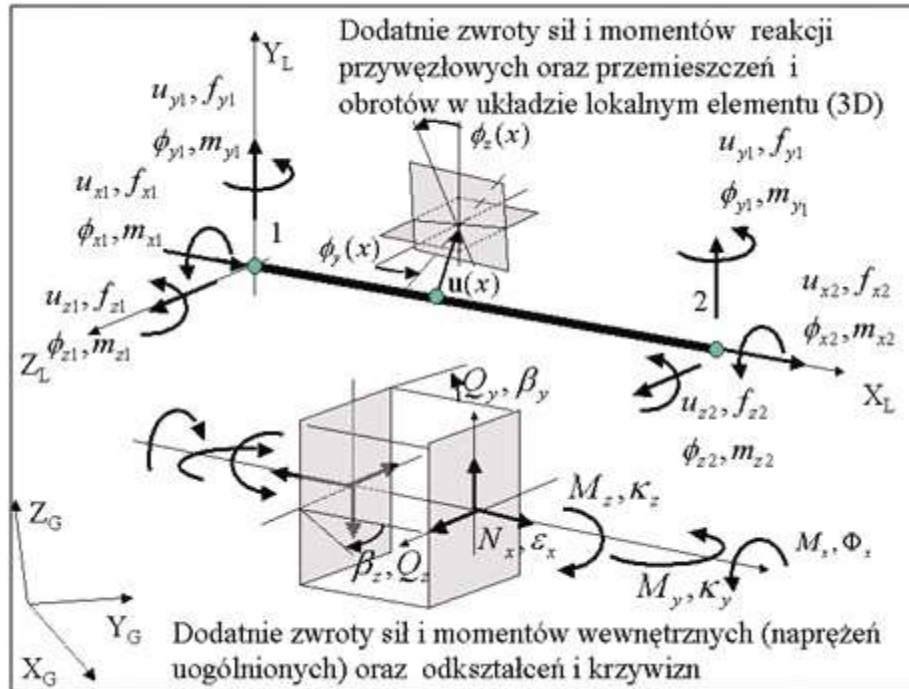
1. Uwagi wstępne i założenia

Przyjęte zostały następujące założenia dla elementów prętowych (belkowych):

- Jednolite sformułowanie dla 2D i 3D (ramy 2D i 3D, ruszty)
- Jednolity element umożliwiający analizę materiałowo i/lub geometrycznie nieliniową
- Element używa jedynie standardowych stopni swobody w 2 węzłach skrajnych $\mathbf{d u} = \{ \boldsymbol{\phi} \} = [u \ u_x \ u_y \ u_z \ \phi \ \phi_x \ \phi_y \ \phi_z]^T$
- Dopuszczalne jest wykorzystanie:
 - wpływu ścinania (model Timoshenki)
 - zmiennego przekroju - tylko dla nieliniowości geometrycznej - podłoże Winklera
- Dostępne są 2 poziomy nieliniowości geometrycznej:
 - Nieliniowość teoria II rzędu
 - P-DELTA możliwie jak najdokładniejsza teoria - duże przemieszczenia i obroty (podejście przyrostowe z aktualizacją geometrii tzw. Aktualizowany Opis Lagrange'a - AOL)
- W granicy przy założeniu małych przemieszczeń i braku nieliniowości fizycznej wyniki są identyczne jak w standardowych elementach liniowych
- W analizie nieliniowości materiałowej używa się podejścia warstwowego i prawa konstytutywnego naprężenie odkształcenie dla stanu jednoosiowego na szczelbu punktu (warstwy)
- Stany ścinania i skręcania są traktowane jako liniowo sprężyste i nie sprężone ze stanem sił osiowych / zginania na szczelbu przekroju
- Zwolnienia i przeguby o charakterystyce nieliniowej mogą być realizowane jedynie jako elementy DSC
- Dopuszczalne są wszystkie rodzaje obciążeń elementowych (tak jak dla standardowych elementów). Z tym założeniem że siły węzłowe działające na konstrukcję są wyznaczane na początku procesu (to znaczy nie są uwzględniane zmiany w przekazywaniu się obciążeń elementowych do węzłów wywołane nieliniowością geometryczną bądź materiałową)
- Oprócz elementu sprężysto-plastycznego, możliwa jest również generacja przegubów sprężystoplastycznych w wybranych przekrojach pręta jako rozszerzenie opcji "przeguby nieliniowe" (patrz punkt 5)

2. Geometria, kinematyka i aproksymacja pola deformacji

Geometria, konwencja znakowania sił, przemieszczeń, naprężeń i odkształceń



Podstawowe zależności kinematyczne

W układzie lokalnym elementu w zakresie geometrycznie liniowym odkształcenia uogólnione \mathbf{E} na poziomie przekroju, stanowią (symbol $() \cdot ' _x$ oznacza różniczkowanie wzdłuż kierunku osi pręta):

$$\mathbf{E} = \{ \epsilon \quad \kappa \quad \kappa \quad \beta \quad \beta \quad \varphi_{ox, y, z} \}^T$$

gdzie:

Odształcenie podłużne w osi pręta: $\epsilon_{ox} = u'_x$

Krzywizny: $\kappa_y = \phi_{y,x}$

$$\kappa_z = -\phi_{z,x}$$

Średnie kąty odkształcenia postaciowego: $\beta_y = v'_x - \phi_z$

$$\beta_z = +w_{,x} \phi_y$$

Jednostkowy kąt skręcenia: $\varphi = \phi_{x,x}$

Aproksymacja pola przemieszczeń

Z uwagi na możliwość uwzględnienia wpływu ścinania i zgodności wyników uzyskanych dla elementu liniowego, wprowadzone zostały tak zwane fizyczne funkcje kształtu uwzględniające wpływ ścinania.

9	$\frac{1}{(1+2\kappa)[2\kappa\xi\xi\xi + 3^2 - 2^3]}$	$\frac{1}{L(1+2)\kappa} [2\kappa\xi\xi + 6 - 6]$
10	$\frac{L^2}{(1+2)\kappa} [\kappa\xi + (1-\kappa\xi\xi) - 3^2]$	$\frac{1}{(1+2\kappa)[\kappa + 2(1-\kappa\xi\xi) - 3^2]}$

gdzie: x

$$\xi = \frac{x}{L}$$

$$\kappa = \sqrt{\left\{ \left[\frac{k_{GALy} 6EI^2}{2}, k_{GALz} 6EI^2 \right] \right\}}$$

odpowiednio dla płaszczyzn XY i XZ.

Relacje kinematyczne w zapisie macierzowym (teoria geometrycznie liniowa)

Ogólnie, przy uwzględnieniu wpływu odkształceń narzuconych

$$\mathbf{E}^o = \{ \varepsilon, \kappa, \kappa_{o\Delta T}, \kappa_{y\Delta T}, \kappa_{z\Delta T} \}$$

Przyrost odkształceń uogólnionych (przekrojowych):

$$\Delta \mathbf{E} \mathbf{B} \mathbf{u} = {}_L \Delta_{Loc} - \Delta \mathbf{E}^o$$

$$\Delta \mathbf{u}_{Loc} = \Delta \mathbf{T} \mathbf{u}_{Glo},$$

\mathbf{T} - macierz transformacji *global* \rightarrow *local*

2D:

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{ox} \\ \kappa_y \\ \beta_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,x} & 0 & 0 & h_{2,x} & 0 & 0 \\ 0 & -h_{3,x} & -h_{4,x} & 0 & -h_{5,x} & -h_{6,x} \\ 0 & h_3 - h_{7,x} & h_4 - h_{8,x} & 0 & h_5 - h_{9,x} & h_6 - h_{10,x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u}_1 \\ \mathbf{u}_2 \end{bmatrix}$$

3D:

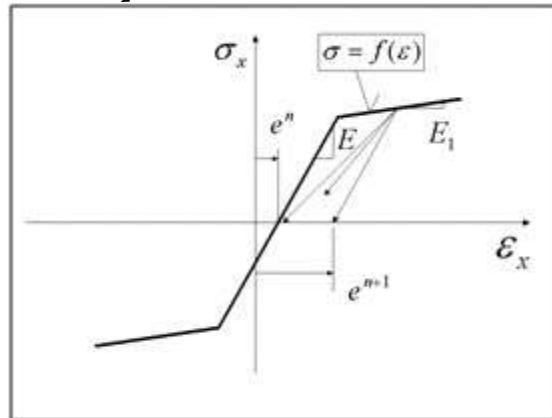
$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{ox} \\ \kappa_y \\ \kappa_z \end{bmatrix} =$$

Przyjmuje się je w postaci ogólnej, przyrostowej, gdzie naprężenia aktualne σ_x^{n+1} wyznacza się jako

funkcję naprężenia w ostatnim stanie równowagi σ_x^n i aktualnego przyrostu odkształceń z uwzględnieniem odkształceń narzuconych (termicznych) $\sigma_{x^{n+1}} = F(\sigma_x^n, \Delta \epsilon_x)$

bazując na funkcji $\sigma = f(\epsilon)$ opisującej zależność w procesie aktywnego obciążenia i na specyfikacji prawa odciążenia i powtórnego obciążenia. W szczególności może to być prawo sprężysto - plastyczne ze wzmocnieniem liniowym, i wyspecyfikowanym prawem odciążenia tj.: (a) sprężyste, (b) plastyczne, (c) zniszczenie, (d) mieszane. Dla odciążenia sprężystego proces bierny i aktywny odbywa się po tej samej ścieżce $\sigma = f(\epsilon)$. Dla pozostałych odbywa się po prostej określonej początkowym punktem danego procesu odciążenia $\{\epsilon_{UNL}, \sigma_{UNL}\}$ i modułem odciążenia D_{UNL} wyznaczanym jako

$$\text{(b)} \quad D_{UNL_P} = E; \quad \text{(c)} \quad D_{UNL_D} = \frac{\sigma_x^n}{\epsilon_x^n - \epsilon_x^{n-1}}; \quad \text{(d)} \quad D_{UNL_M} = (1 - a)D_{UNL_P} + aD_{UNL_D}.$$



e^n jest zapamiętanym odkształceniem, przy którym rozpoczął się aktualny proces czynny, rozpoczęty po przejściu przez 0 w naprężeniach przy odciążaniu ($e^1 = 0$).

W analizie konieczna jest też aktualna sztywność rozumiana jako pochodna

$$D_x = \left. \frac{\partial \sigma}{\partial \epsilon} \right|$$

Wyznaczanie sił i sztywności przekrojowych

Na poziomie przekroju, wektor sił przekrojowych (naprężeń uogólnionych) tworzą:

$$(2D) : \Sigma = \{N_x, M_z, Q_y\}^T$$

$$(3D) : \Sigma = \{N_x, M_y, M_z, Q_x, Q_y, Q_z, M_{y,z}, M_{z,x}\}^T$$

Stany ścinania i skręcania Σ_{ST} są traktowane jako liniowo sprężyste i nie sprzężone ze stanem sił osiowych/zginania na szczelbu przekroju.

$$Q_{yn+1} = \frac{q_y}{y} + \frac{q_z}{z} \cdot \Delta\beta Q k GA_y$$

$$Q_{zn+1} = \frac{q_y}{y} + \frac{q_z}{z} \cdot \Delta\beta Q k GA_z M_{xn}$$

$$^{-1} = \frac{q_y}{y} + \frac{q_z}{z} \cdot \Delta\phi M GI$$

Stany ściskania / rozciągania i zginania \sum_{NM} są w ogólności traktowane jako sprzężone przy użyciu podejścia warstwowego. Dopóki jednak zagwarantowany jest stan sprężysty tj. dopóki odkształcenia uogólnione aktualnie spełniają następujący warunek stanu sprężystego:

$$\varepsilon_{ox} + \kappa_{y} + \kappa_{z} \leq 1,$$

$\varepsilon_{ox} \text{ ELA } \kappa_{y} \text{ ELA } \kappa_{z} \text{ ELA}$

gdzie:

$\varepsilon_{ox \text{ ELA}} = \min(l \cdot f_{dl} / E l)$; $\kappa_{y \text{ ELA}} = \min(l \cdot f_{dl} / (E I_y))$; $\kappa_{z \text{ ELA}} = \min(l \cdot f_{dl} / (E I_z))$, |
 przekrój traktowany jest jako sprężysty i podejście warstwowo nie jest uaktywniane.

$$N_{xn+1} = \frac{q_x}{x} + \frac{q_y}{y} \cdot \Delta\varepsilon N EA_o$$

$$M_{yn+1} = \frac{q_y}{y} + \frac{q_z}{z} \cdot \Delta\kappa M EI_y_y$$

$$M_{zn+1} = \frac{q_z}{z} + \frac{q_y}{y} \cdot \Delta\kappa M EI_z_z$$

Po stwierdzonym naruszeniu warunku stanu sprężystego, naprężenia wywołane odkształceniami osiowymi i zginaniem są wyznaczone osobno dla każdej warstwy i na ich podstawie wyznaczone są wielkości przekrojowe

$$N_{xn} = \sum_{i=1}^{N_{\text{layer}}} \sigma_{xln+1} A_i$$

$$M_{yn+1} = \sum_{i=1}^{N_{\text{layer}}} \sigma_{xln+1} A_i z_i$$

$$M_{zn+1} = \sum_{i=1}^{N_{\text{layer}}} \sigma_{xln+1} A_i y_i$$

$$[N]_{N_{\text{layer}}} \quad [M_y] \quad [M_z]$$

$$\Rightarrow \sum_{l=1}^{N_{\text{layer}}} \sigma_l A_l$$

Sztywność na poziomie przekroju **D** wyznaczana jest: w stanie sprężystym jako:

$\mathbf{D} = \text{diag } EA \ EI \{ \dots, EI_z, k \ GA \ k \ GA \ GI_y \dots, z \dots, x \}$
 po przekroczeniu warunku stanu sprężystego,
 jako:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{D}_{NM} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{D}_{ST} \end{bmatrix} \mathbf{D} = \begin{bmatrix} \mathbf{1} \\ \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

gdzie:

$$A_l = \sum_{i=1}^{N_{\text{layer}}} \frac{1}{V_l \cdot V_{IT}} \sum_{i=1}^{N_{\text{layer}}} \begin{bmatrix} z_l & y_l \\ z_l & y_l \end{bmatrix} \mathbf{D}_{NMD}$$

$$= \begin{bmatrix} D_{A1} & \dots \\ \dots & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_l & y_l \\ z_l & y_l \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{D}_{ST} = \text{diag } k \ GA \ k \ GA \ GI \{ y, z, x \}$$

Wektor sił węzłowych i macierz sztywności elementu

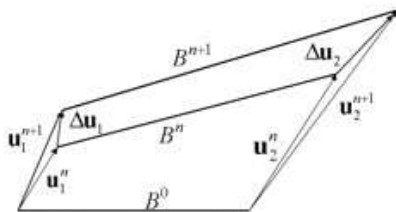
Wyznaczane są wzorami standardowymi, przy użyciu kwadratury Gaussa (Ngauss=3).

$$\mathbf{fB}_T = \int_0^L \sum_{iG=1}^{NGAUSS} \mathbf{B}_T(x_{iG}) \boldsymbol{\Sigma}_{iG} W \, dx = \sum_{iG=1}^{NGAUSS} \mathbf{B}_T(x_{iG}) \boldsymbol{\Sigma}_{iG} W \, dx$$

$$= \int_0^L \mathbf{K}_e \mathbf{B} \mathbf{D} \mathbf{B}_T \, dx = \sum_{iG=1}^{NGAUSS} \mathbf{B}_T(x_{iG}) \mathbf{D} \mathbf{B}_{iG} (x_{iG}) W \, dx$$

4. Nieliniowość geometryczna

Rozważa się następujące konfiguracje:



B^0 - początkowa

B^n - odniesienia (ostatnia, dla której spełnione są warunki równowagi) B^{n+1} - aktualna (iterowana)

Punktem wyjścia sformułowania elementu jest zasada prac wirtualnych, zapisana dla przyrostów przemieszczeń w formie:

$$\int \tau \delta \eta_{ij} \Delta_{ij} dV + \int_V C_{ijkl} \Delta \epsilon_{kl} \Delta_{ij} dV = F_{n+1} - \int_V \tau \delta_{ij} \Delta e_{ij} dV, \quad \forall \delta u$$

gdzie: $\Delta \epsilon$, przyrost odkształcenia przy przejściu B^n do B^{n+1} , Δe , $\Delta \eta$ są jego częściami odpowiednio: liniowa i nieliniową względem przyrostu przemieszczeń Δu , a τ jest naprężeniem odniesionym do konfiguracji odniesienia, a C_{ijkl} tensorem stycznych modułów sprężystości.

Opcja *Nieliniowość*

Odpowiada dotychczasowemu sformułowaniu nieliniowemu tj. teorii II rzędu. Zmiana dotyczy jedynie faktu, że wobec możliwej nieliniowości materiałowej wprowadza się sformułowanie przyrostowe, ale bez modyfikacji geometrii elementu.

Związki kinematyczne

Przyrosty odkształceń w zapisie macierzowym:

$$\Delta = \Delta + \Delta = \Delta E e \eta \mathbf{B} \mathbf{u}_{Loc} + 1/2 \mathbf{g} \mathbf{H} \mathbf{g}^T \quad N \quad \text{gdzie:}$$

$$\mathbf{g} = \{u, ;, ;^x v^x w, ;^x \phi \phi \phi^x, ;^x y, ;^x z, ;^x\}^T \text{ gradient przyrostu przemieszczeń}$$

$$\mathbf{g} = \mathbf{\Gamma} \Delta \mathbf{u}$$

$$\mathbf{\Gamma} = \mathbf{N},^x$$

$$\mathbf{a} \mathbf{H}_N = \begin{bmatrix} [0 \ 00] & [001 \ 0 \ 000000 \ 00] \\ [01 \ 00 \ 00] & [0000 \ 00] \\ [0000 \ 00] & [0000 \ 00] \end{bmatrix}; (2D); \quad \text{(3D) jest macierzą wyboru.}$$

Wektor sił węzłowych i macierz sztywności elementu

$$\mathbf{K}_{Loc} = \mathbf{K}_L + \mathbf{K}_\sigma$$

$$\mathbf{f}_{n+1} = \mathbf{f}_{n+1ext} - \int_L \mathbf{B}^T \Sigma_{n+1} dx - \mathbf{K}_{\sigma n+1} \mathbf{u}_{n+1} = \mathbf{f}_{n+1ext} - \mathbf{f}_{n+1int L} - \mathbf{f}_{n+1int NL}$$

$$\mathbf{K}_L = \int_L \mathbf{B} \mathbf{D} \mathbf{B}^T dx$$

$$\mathbf{K}_s = \int_0^L \mathbf{\Gamma}^T (\mathbf{N} \mathbf{H}_N) \mathbf{\Gamma} dx$$

Algorytm na poziomie elementu

Nie ma modyfikacji geometrii elementu, transformacja *local-global* przeprowadzona przy użyciu początkowej macierzy transformacji \mathbf{T}

$$\Delta \mathbf{u}_{Loc} = \mathbf{T} \mathbf{u}_{Glo},$$

$$\Delta = \Delta \mathbf{E} \mathbf{B} \mathbf{u}_{Loc} + \frac{1}{2} \mathbf{g} \mathbf{H} \mathbf{g}_T - \Delta \mathbf{E}_0 \quad \text{wyznaczenie odkształceń uogólnionych}$$

$$\Sigma^{n+1} = \Sigma \Sigma^{n+1}(\Delta, \Delta) \mathbf{E} \quad \text{wyznaczenie naprężeń (sił przekrojowych)} \quad \mathbf{K}_\sigma =$$

$$\mathbf{K}_\sigma(\Sigma^{n+1}) \quad \text{macierz sztywności naprężeniowej} \quad \mathbf{f}_{n+1Loc} = \mathbf{f}_{n+1ext} - \mathbf{f}_{n+1intL} - \mathbf{f}_{n+1intNL}$$

$$\mathbf{f}_{Glo} = \mathbf{T} \mathbf{f}_{Loc}$$

$$\mathbf{K}_{Loc} = \mathbf{K}_L + \mathbf{K}_\sigma$$

$$\mathbf{K}_{Glo} = \mathbf{T} \mathbf{K}_{Loc} \mathbf{T}^T$$

Opcja P-DELTA

Jest to pewien wariant opisu pręta z dopuszczeniem dużych przemieszczeń. Wykorzystuje się podejście uaktualnianego opisu Lagrange'a.

Wektor sił węzłowych i macierz sztywności elementu

$$\mathbf{K}_{Loc} = \mathbf{K}_L + \mathbf{K}_\sigma$$

$$\mathbf{f}_{n+1} = \mathbf{f}_{n+1ext} - \int_0^L \mathbf{B}_T \Sigma_{n+1} dx = \mathbf{f}_{n+1ext} - \mathbf{f}_{n+1int}$$

$$\mathbf{K}_L = \int_0^L \mathbf{B} \mathbf{D} \mathbf{B}^T dx$$

$$\mathbf{K}_s = \int_0^L \mathbf{\Gamma}^T (\underline{\Sigma}^{n+1}) \mathbf{\Gamma} dx$$

$$\underline{\Sigma} = \begin{bmatrix} N & M_y & 0 \\ M_y & N & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2D),$$

$$\underline{\Sigma} = \begin{bmatrix} N & M_y & M_z & 0 & 0 & 0 \\ M_y & N & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ M_z & 0 & N & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3D)$$

Algorytm na poziomie elementu

Modyfikacji geometrii elementu, transformacja *local-global* przeprowadzona przy użyciu aktualnych macierzy transformacji ${}^n \mathbf{T}, {}^{n+1} \mathbf{T}$

$$\Delta \mathbf{u}_{Loc} = {}^n \mathbf{T} \mathbf{u} \Delta_{Glo},$$

$$\Delta \mathbf{E} = (\mathbf{B} \mathbf{B} + {}_{NL}) \Delta \mathbf{u}_{Loc} - \Delta \mathbf{E}_0$$

wyznaczenie odkształceń uogólnionych

$$\Sigma^{n+1} = \Sigma \Sigma^{n+1}({}^n, \Delta) \mathbf{E},$$

wyznaczenie naprężeń (sił przekrojowych) wg p.3

$$\mathbf{K}_\sigma = \mathbf{K}_\sigma(\Sigma^{n+1}),$$

macierz sztywności naprężeniowej dla aktualnych naprężeń \mathbf{f}

$${}^{n+1} Loc = \mathbf{f}_{n+1 ext} - \mathbf{f}_{n+1 int}$$

modyfikacja geometrii

$${}^{n+1} L = {}^n L + \Delta u_{x Loc}$$

aktualizowana długość elementu

$$\Delta \alpha, \Delta \beta, \Delta \gamma$$

kąty Eulera wyznaczone jak dla elementu o współrzędnych $\{0, 0, 0, {}^n L, \Delta v, \Delta w\}$, $\Delta \gamma = \Delta(\phi_{x1} + \Delta \phi_{x1}) / 2$

$$\Delta \mathbf{T} = \mathbf{T}(\Delta \alpha, \Delta \beta, \Delta \gamma);$$

macierz transformacji dla kątów $\Delta \alpha, \Delta \beta, \Delta \gamma$

$${}^{n+1} \mathbf{T} = \Delta \mathbf{T} \cdot {}^n \mathbf{T}$$

$$\mathbf{f}_{Glo} = {}^{n+1} \mathbf{T} \mathbf{f}_{T Loc}$$

Transformacja do układu globalnego

$$\mathbf{K}_{Loc} = \mathbf{K}_L + \mathbf{K}_\sigma$$

$$\mathbf{K}_{Glo} = {}^{n+1} \mathbf{T} \mathbf{K}_{T Loc} {}^{n+1} \mathbf{T}$$

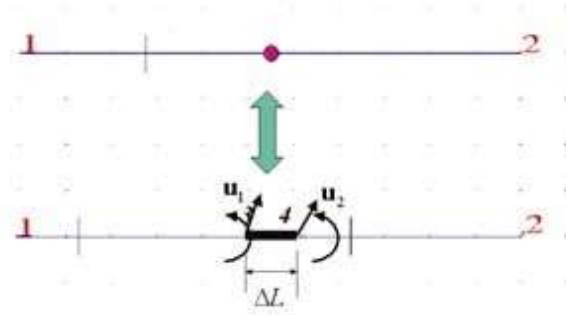
Po osiągnięciu stanu równowagi w danym kroku przyrostowym nadpisywane są przechowywane zmienne

opisujące geometrię elementu: ${}^n L = {}^{n+1} L$

$$\mathbf{T} = \mathbf{T}$$

5. Przeguby sprężysto-plastyczne

Alternatywnie, sprężysto-plastyczną pracę konstrukcji można modelować wprowadzając przeguby nieliniowe w wybranych przekrojach pręta. Charakterystykę przegubu, reprezentowanego przez 2-węzłowy element typu DSC, tworzy się wykorzystując algorytm analizy przekroju, opisany w p.3.2 przy czym rolę odkształceń uogólnionych \mathbf{E} pełnią wzajemne przemieszczenia węzłów (odniesione do kierunków lokalnych pręta) podzielone przez umowną (fikcyjną długość ΔL) elementu równą minimalnej wysokości przekroju, pełniąca formalną rolę objętości elementu $dV = \Delta L$. Siły i przemieszczenia nowo utworzonych węzłów elementu DSC stanowią globalne stopnie swobody, to znaczy nie są one kondensowane.



Algorytm na szczelbu elementu

- wyznaczenie odkształceń uogólnionych w przekroju $\Delta \mathbf{E} = \mathbf{B} \Delta \mathbf{u}_{Glo}$
- wyznaczenie sił przekrojowych (naprężeń uogólnionych) i sztywności przekroju wg p.3.2

$$\Sigma^{n+1} = \Sigma \Sigma^n, \Delta \mathbf{E}$$

$$\mathbf{D}^{n+1} = \mathbf{D}(\Sigma^n, \Delta \mathbf{E})$$

- wyznaczenie sił (reakcji przywęzłowych) i sztywności elementu DSC \mathbf{f}

$${}_{n+1} \mathbf{f} = -\mathbf{B}^T \Sigma_{n+1} \Delta L$$

$$\mathbf{K}_{n+1} = \mathbf{B} \mathbf{D}_{n+1} \mathbf{B} \Delta L$$

gdzie

:

$$[\mathbf{T}, \mathbf{T}]_{;}$$

$$\mathbf{B} = -\begin{bmatrix} \Delta L & \Delta L \\ c & s & 0 \\ s & c & 0 \end{bmatrix}; \quad (2D)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{T0}_{3 \times 3} & \mathbf{T0}_{3 \times 3} \end{bmatrix}; (3D)$$

10.2. Załącznik 2 - Przykłady generacji siatki powierzchniowych elementów skończonych (płyty i powłoki)

Metoda Coons'a

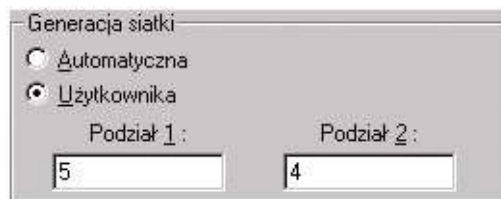
Metoda ta polega na utworzeniu powierzchni Coons'a na konturze, którego przeciwległe krawędzie są podzielone na jednakową liczbę odcinków. Przeciwnie brzegi łączone są liniami prostymi, w ten sposób linie przecinając się tworzą elementy skończone. Metodę Coons'a stosuje się w programie **Robot** dla obszarów trójwymiarowych 3D oraz dla konturów płaskich o kształcie czworokątnym lub trójkątnym. Dla paneli z otworami zaleca się stosowanie metody Delaunay'a.

Opcje sterujące podziałem konturu - Podział1 i Podział2

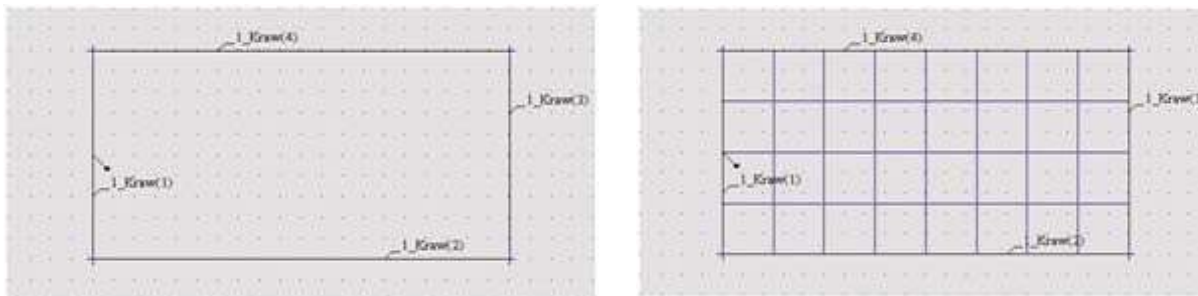
Parametry odpowiedzialne za podział konturu znajdują się w wyżej omówionym oknie dialogowym **Opcje siatkowania** w polu *Generacja siatki*, i są to:

Podział 1 - określa ilość odcinków na drugiej krawędzi **Podział**

2 - określa ilość odcinków na pierwszej krawędzi.

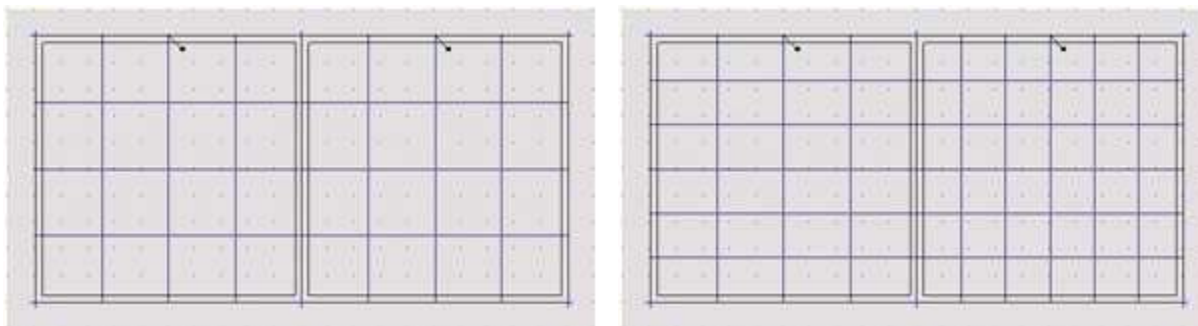


Krawędzie konturu zdefiniowane są kolejnością rysowania, pierwsza narysowana krawędź ma numer 1, kolejne mają coraz wyższą numerację (rosnącą co 1). Np. jeżeli wprowadzimy kontur prostokątny tak jak na poniższym rysunku i ustalimy **Podział1 = 8** oraz **Podział2 = 4**, to krawędź numer 2 zostanie podzielona na 8 odcinków, a krawędź numer 1 na 4. To zdefiniuje podziały na przeciwległych bokach - odpowiednio krawędź 4 na tyle samo co krawędź 2 (czyli 8 odcinków), krawędź 3 tyle co krawędź 1.



Kontur i wygenerowana siatka dla parametrów: *Podział1* = 8 i *Podział2* = 4

Jeżeli z warunków kompatybilności wynika, że wstępny podany przez użytkownika podział jest zbyt mały to program automatycznie zwiększy ilość odcinków na danej krawędzi. Np. dla dwóch paneli stykających się bokami ustalmy parametry na **Podział1** = 4 oraz **Podział2** = 4. Następnie dla prawego panela zwiększymy podział na **Podział1** = 6 oraz **Podział2** = 6, lewy panel niech pozostanie bez zmian. Widzimy, że aby zachować kompatybilność na wspólnym boku, program zwiększył podział na lewym panelu.



Parametry odpowiedzialne za typ generowanej siatki

Oprócz ustawiania wartości podziału boków konturów, program pozwala nam na kontrolę rodzaju generowanej siatki. Opcje służące do wyboru typu powierzchni znajdują się w polu *Parametry metody Coons'a*. Przy ustawianiu opcji w tym polu należy pamiętać o wybraniu odpowiednich elementów skończonych. W przeciwnym przypadku jeżeli ustawimy np. *Typ podziału obszaru*: Kwadraty w obszarze prostokątnym, a w polu *Elementy skończone*: Trójkąty to zamiast spodziewanej siatki złożonej z elementów czworokątnych uzyskamy siatkę trójkątną.

Przykłady:

Parametry wspólne dla wszystkich przykładów:

Dopuszczalne metody siatkowania Coons:

Często

Stopień wymuszenia: *Rekomendowany*

Przykład 1

Pole Generacja siatki

Podział1 = 4, **Podział2 = 5**

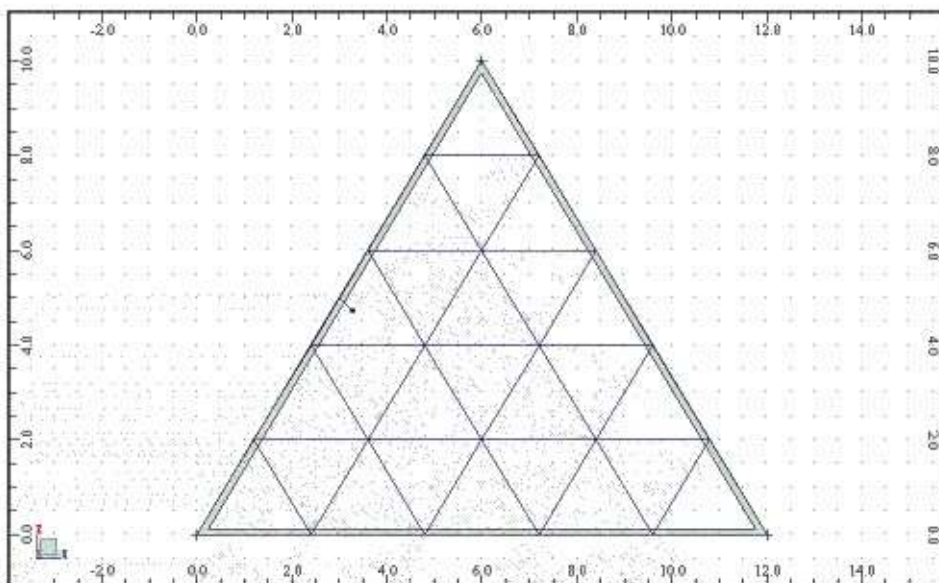
Pole Parametry metody Coons'a

Typ podziału obszaru: **Trójkąty w obszarze trójkątnym** Stopień wymuszenia: *Rekomendowany*

Pole Elementy skończone

Typ: **Trójkąty 3-węzłowe**

Stopień wymuszenia: *Rekomendowany*



Dla *Typ podziału obszaru: Trójkąty w obszarze trójkątnym* oraz *Trójkąty i kwadraty w obszarze trójkątnym* program tworzy regularne siatki (każdy bok trójkątnego panela jest podzielony na tyle samo odcinków). Dlatego, jeżeli wprowadzimy różne wartości *Podział1* oraz *Podział2* program użyje tej większej (w naszym przypadku *Podział2 = 5*).

UWAGA: Jeżeli dla tego typu siatki w polu Elementy skończone wybierzemy czworokątne to stopień ich wymuszenia musi być niższy bądź równy od stopnia wymuszenia rodzaju siatki. W przeciwnym razie zostanie wygenerowana siatka złożona z elementów czworokątnych i trójkątnych (czyli taka jakbyśmy wybrali Typ podziału obszaru: Trójkąty i kwadraty w obszarze trójkątnym).

Przykład 2

Pole Generacja siatki

Podział1 = 5, **Podział2 = 6**

Pole Parametry metody Coons'a

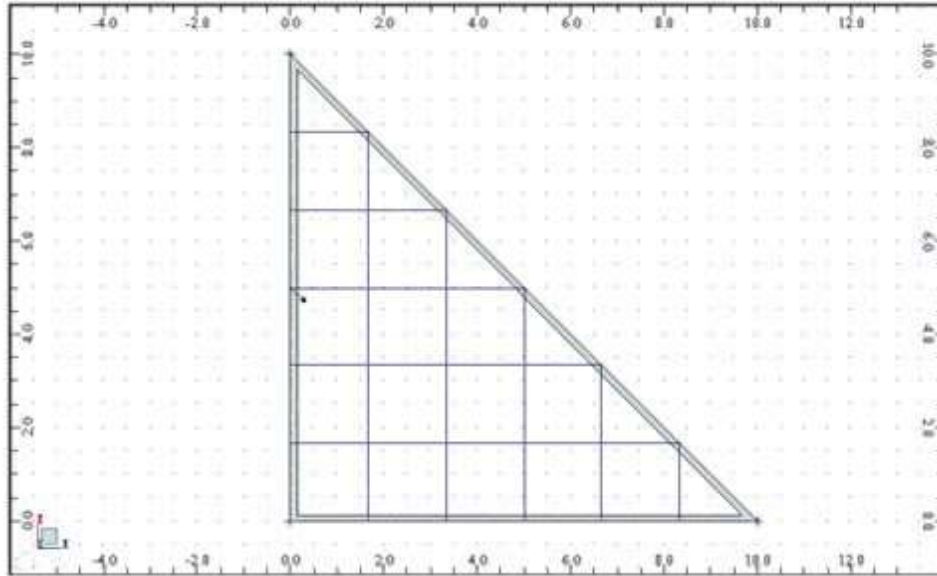
Typ podziału obszaru: **Trójkąty i kwadraty w obszarze trójkątnym**

Stopień wymuszenia: **Rekomendowany**

Pole Elementy skończone

Typ: **Trójkąty 3-węzłowe**

Stopień wymuszenia: **Proponowany**



W tym przypadku stopień wymuszenia elementów skończonych (*Proponowany*) jest niższy niż stopień wymuszenia typu siatki (*Rekomendowany*). Wynika to z faktu, iż muszą tu być użyte elementy trójkątne i czworokątne, zatem wymuszenie jednego rodzaju elementów (trójkątnych) spowodowałoby wygenerowanie jednorodnej siatki złożonej tylko z takich elementów.

Przykład 3

Pole Generacja siatki

Podział1 = 5, Podział2 = 4

Pole Parametry metody Coons'a

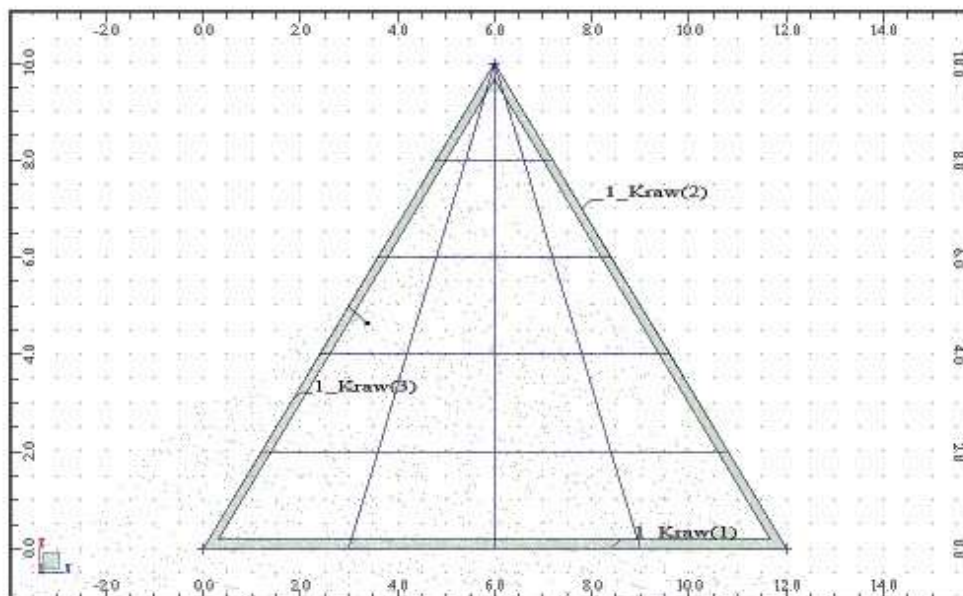
Typ podziału obszaru: **Trójkąty i trapezy w obszarze trójkątnym**

Stopień wymuszenia: **Rekomendowany**

Pole Elementy skończone

Typ: **Czworokąty 4-węzłowe**

Stopień wymuszenia: **Proponowany**



Mamy tutaj do czynienia z podobną sytuacją co w poprzednim przykładzie. Gdybyśmy użyli elementów trójkątnych z wymuszeniem wyższym niż wymuszenie typu siatki, to otrzymalibyśmy siatkę złożoną z samych trójkątów. Ponieważ chcemy mieć siatkę złożoną z mieszanych elementów, można wybrać czworokąty jako typ elementów skończonych. W tym przypadku ustawienie wymuszenia większego niż typ siatki nie spowoduje nam wygenerowania samych elementów czworokątnych. Niemniej jednak może się stać tak, że siatka w ogóle się nie wygeneruje, zatem lepiej jest nadać wymuszenie niższe.

Jak widać na powyższym rysunku w przeciwieństwie do poprzednich typów siatek (Trójkąty, Trójkąty i kwadraty), tutaj jeden z boków może mieć inny podział. Dzielenie krawędzi odbywa się w ten sposób, że krawędź numer 2 jest dzielona na *Podział1* odcinków, natomiast to czy *Podział2* zostanie przypisany do krawędzi 3 czy 1 (lub do obydwu naraz) wynika z orientacji siatki. Orientacja jest wyznaczana w ten sposób, że wierzchołek od którego siatka rozchodzi się promieniście znajduje się w wierzchołku trójkąta o największym kącie rozwarcia.

Najlepiej obrazuje to następny przykład - 3 trójkątne panele o identycznych parametrach siatkowania, różniące się numeracją krawędzi.

Przykład 4

Pole Generacja siatki

Podział1 = 5, Podział2 = 3

Pole Parametry metody Coons'a

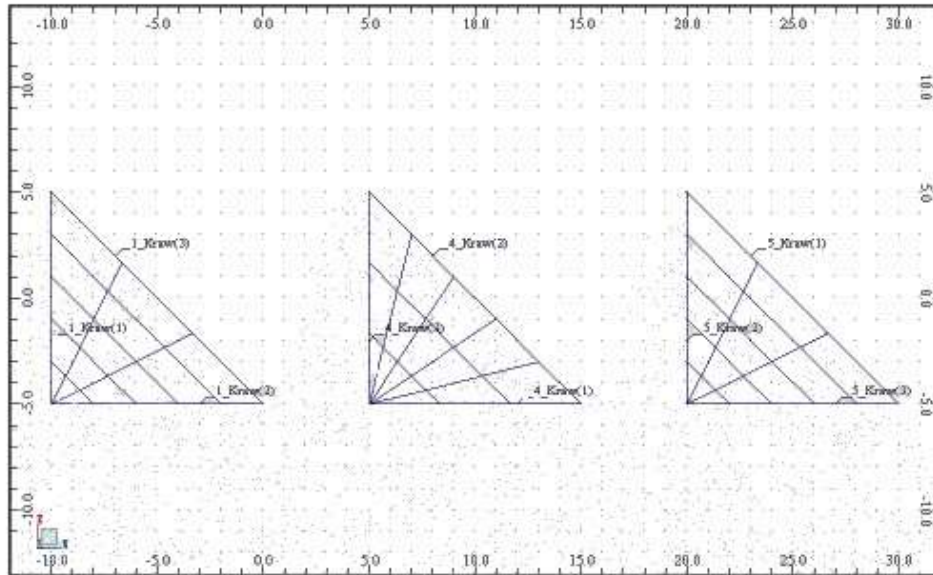
Typ podziału obszaru: **Trójkąty i trapezy w obszarze trójkątnym**

Stopień wymuszenia: **Rekomendowany**

Pole Elementy skończone

Typ: **Czworokąty 4-węzłowe**

Stopień wymuszenia: **Proponowany**



Przykład 5

Pole Generacja siatki

Podział1 = 3, Podział2 = 6

Pole Parametry metody Coons'a

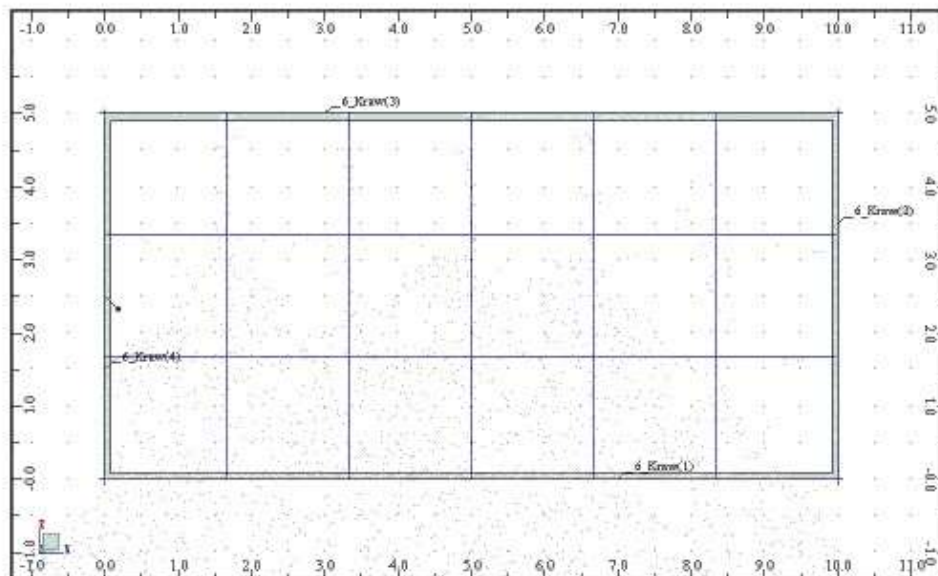
Typ podziału obszaru: **Kwadraty w obszarze prostokątnym**

Stopień wymuszenia: **Dowolny**

Pole Elementy skończone

Typ: **Czworokąty 4-węzłowe**

Stopień wymuszenia: **Dowolny**



Wystarczą tutaj dosyć niskie wartości wymuszenia (Dowolny), ponieważ obszar jest regularny. Tak jak było powiedziane wcześniej, trzeba uważać na typ elementów skończonych. Gdyby wybrać tutaj elementy trójkątne bez wymuszenia (*Stopień wymuszenia: Brak*), to nawet wartość *Stopień wymuszenia:*

Narzucony dla tego typu siatki nie zapewniłaby wygenerowania czworokątów. Analogicznie jest w przypadku Typ podziału obszaru: *Trójkąty w obszarze prostokątnym*.

Przykład 6

Pole Generacja siatki

Podział1 = 3, Podział2 = 6

Pole Parametry metody Coons'a

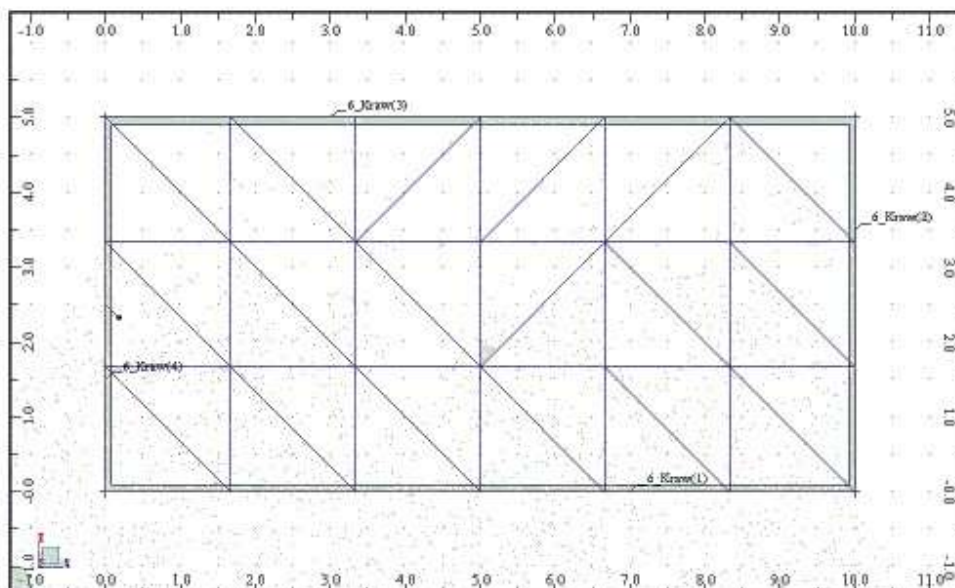
Typ podziału obszaru: **Trójkąty w obszarze prostokątnym**

Stopień wymuszenia: **Dowolny**

Pole Elementy skończone

Typ: **Trójkąty 3-węzłowe**

Stopień wymuszenia: **Dowolny**



Przykład 7

Pole Generacja siatki

Podział1 = 2, Podział2 = 5

Pole Parametry metody Coons'a

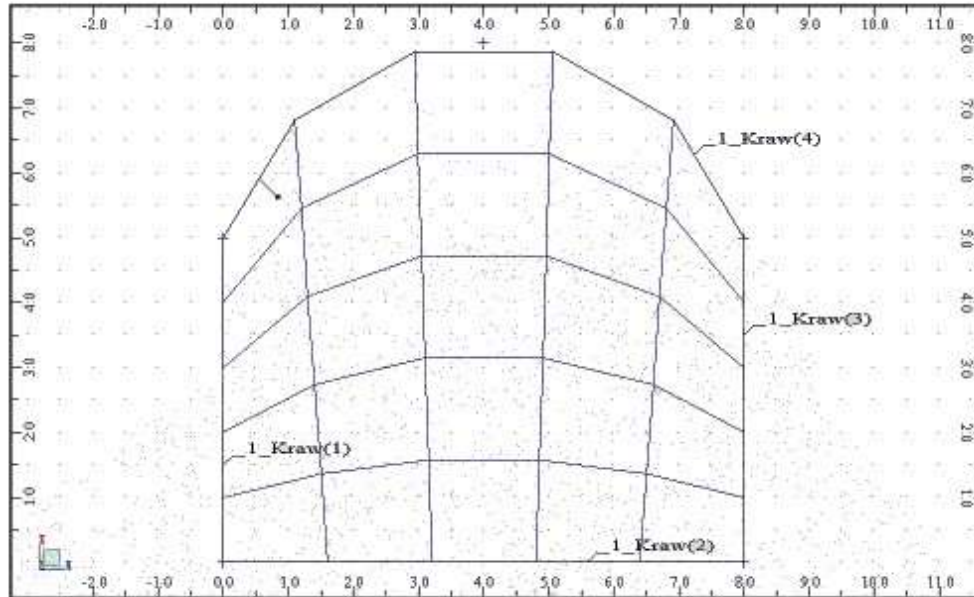
Typ podziału obszaru: **Kwadraty w obszarze prostokątnym**

Stopień wymuszenia: **Rekomendowany**

Pole Elementy skończone

Typ: **Czworokąty 4-węzłowe**

Stopień wymuszenia: **Dowolny**

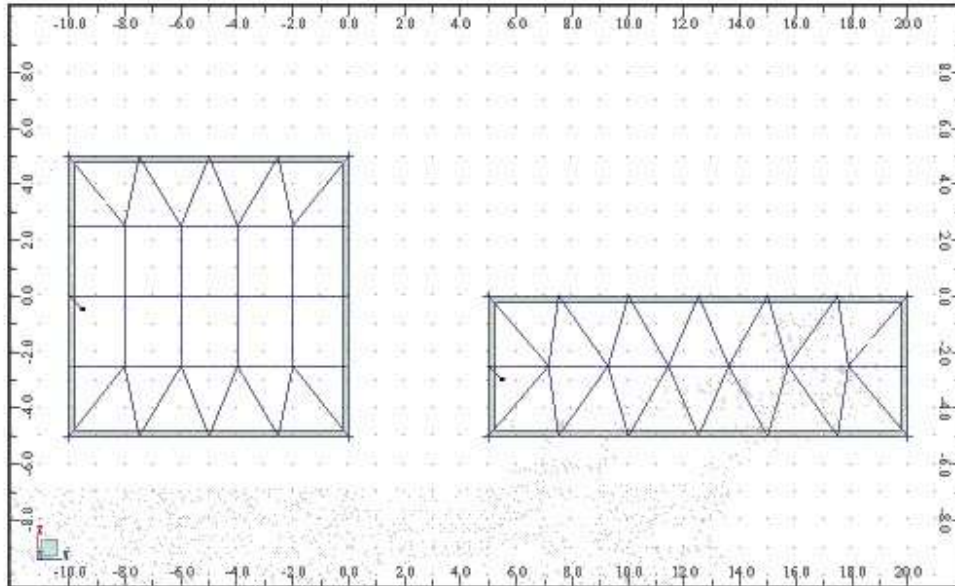


Dla płyt których jedna z krawędzi jest obiektem z narzuconym już podziałem (np. łuk), należy pamiętać, że program nie wygeneruje mniejszego podziału niż to wynika z definicji obiektu. Np. na powyższym rysunku zdefiniowano kontur, którego jedna z krawędzi jest łukiem z podziałem równym 5 (*Łuk - Parametry* - w polu *Dyskretyzacja* ustawić *Kątowo*: 5). Pomimo ustawienia w opcjach siatkowania *Podział1* = 2, program i tak generuje 5 odcinków. Dopiero wprowadzenie większego podziału spowoduje zmianę na krawędzi 2 i w konsekwencji na 4. Wynika to z faktu, iż łuk utworzony jest z określonej liczby węzłów połączonych odcinkami, a algorytm siatkujący generując elementy skończone dopasowuje podział do ilości węzłów. Utworzenie więc mniejszego podziału, niż to wynika z definicji łuku, wiązałoby się z usunięciem istniejących węzłów, jest to jednak operacja niedozwolona.

Metoda Delaunay'a i Kang'a

Metoda Delaunay'a

Metoda triangulacji polega na podziale dowolnej powierzchni płaskiej 2D na siatkę trójkątów. Metoda Delaunay'a bardzo dobrze sobie radzi z otworami w konturach, trzeba je jednak wcześniej zdefiniować jako brzegi konturu. Do generacji siatki przy pomocy tej metody używamy tylko jednego parametru - *Podział1*. Podział konturu odbywa się w ten sposób, iż tworzony zostaje kwadrat o obwodzie takim samym jak interesujący nas obszar. Następnie każdy bok kwadratu jest dzielony na *Podział1* odcinków, wyznaczając w ten sposób długość bazową służącą do równomiernego podziału brzegów naszego konturu. Poniższy rysunek bardzo dobrze ilustruje tę sytuację, obydwa panele mają ustawiony *Podział1* = 4. W wyniku podziału kwadratu o tym samym obwodzie co prostokątna płyta, wyznaczona została długość odcinka równa 2.5, zatem nasz prostokąt jest podzielony na 16 równych odcinków ($16 \cdot 2.5 = 40 = \text{obwód płyty}$).



W metodzie Delaunay'a mamy wpływ na rodzaj generowanej siatki poprzez ustawianie opcji w polu *Elementy skończone*. Możemy tutaj wybrać typ elementów skończonych oraz zdefiniować *współczynnik konwersji elementów trójkątnych na czworokątne* (UWAGA: W polu *Elementy skończone* opcja *Stopień wymuszenia dla metody Delaunay* nie jest brana pod uwagę). Współczynnik konwersji ma istotne znaczenie, ponieważ dzięki zamianie na elementy kwadratowe uzyskujemy mniejszą liczbę elementów. Zazwyczaj dodatkowo przy pomocy elementów kwadratowych otrzymujemy dokładniejsze wyniki obliczeń. Współczynnik jest wielkością wagową przyjmującą wartość pomiędzy **-1** a **+1**.

- **-1** oznacza, iż tylko te trójkąty zostaną zamienione, które wspólnie tworzą figury bardzo zbliżone do kwadratów



- **+1** oznacza, że program będzie tworzył elementy kwadratowe we wszystkich możliwych miejscach (UWAGA: może to doprowadzić do wygenerowania źle uwarunkowanych elementów)



UWAGA: Po to, aby można było konwertować elementy trójkątne, w polu *Elementy skończone* muszą być wybrane elementy czworokątne.

Przykłady:

Parametry wspólne dla wszystkich przykładów:

Dopuszczalne metody siatkowania

Delaunay: Często

Stopień wymuszenia: *Rekomendowany*

Przykład 8

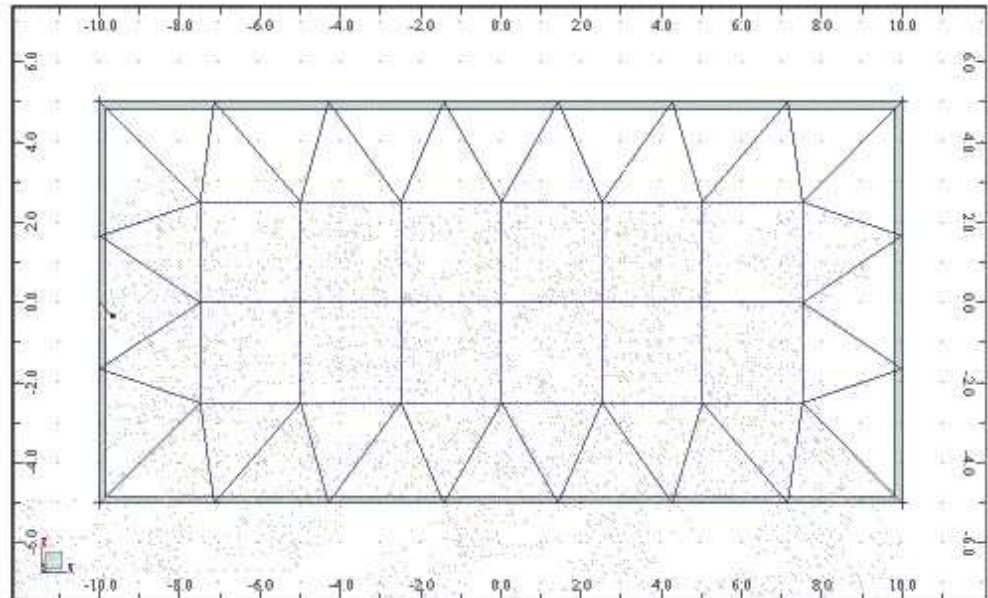
Pole Generacja siatki

Podział1 = 5

Pole Elementy skończone

Typ: **Czworokąty 4-węzłowe**

Współczynnik konwersji: -1



Przykład 9

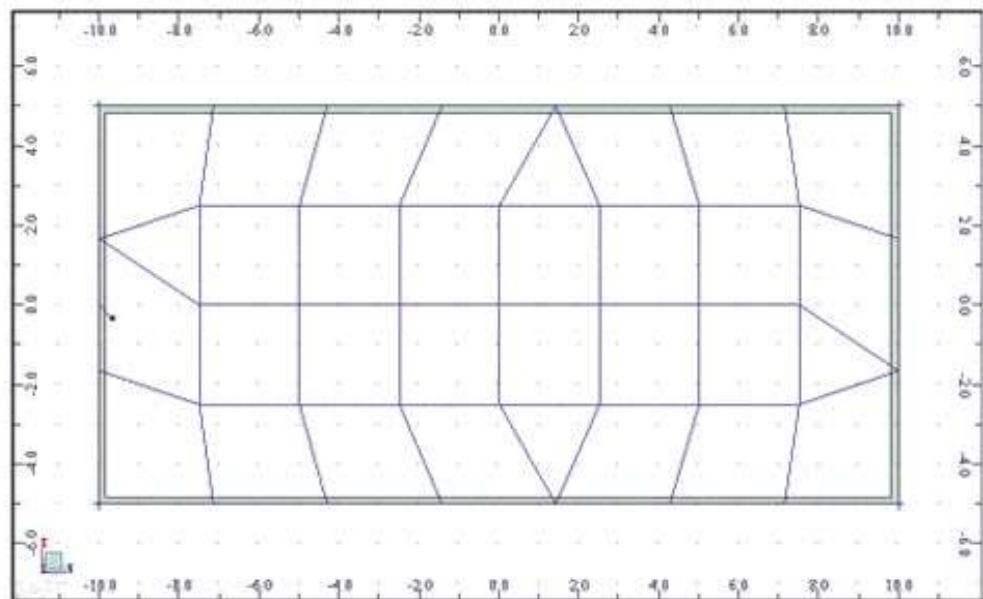
Pole Generacja siatki

Podział1 = 5

Pole Elementy skończone

Typ: **Czworokąty 4-węzłowe**

Współczynnik: **+1**



Przykłady 8 i 9 bardzo ładnie obrazują wpływ współczynnika konwersji, dla **-1** tylko trójkąty w środku płyty zostały zamienione ponieważ tworzyły kwadraty. Natomiast dla **+1** program we wszystkich możliwych miejscach przekonwertował trójkąty. Należy dodać, że konwersja odbywa się po wygenerowaniu siatki, czyli jest to post-processing.

Jeżeli chcemy wygenerować siatkę złożoną tylko z trójkątów to wystarczy w polu *Elementy skończone* wybrać elementy trójkątne, wówczas współczynnik konwersji nie będzie brany pod uwagę.

Przykład 10

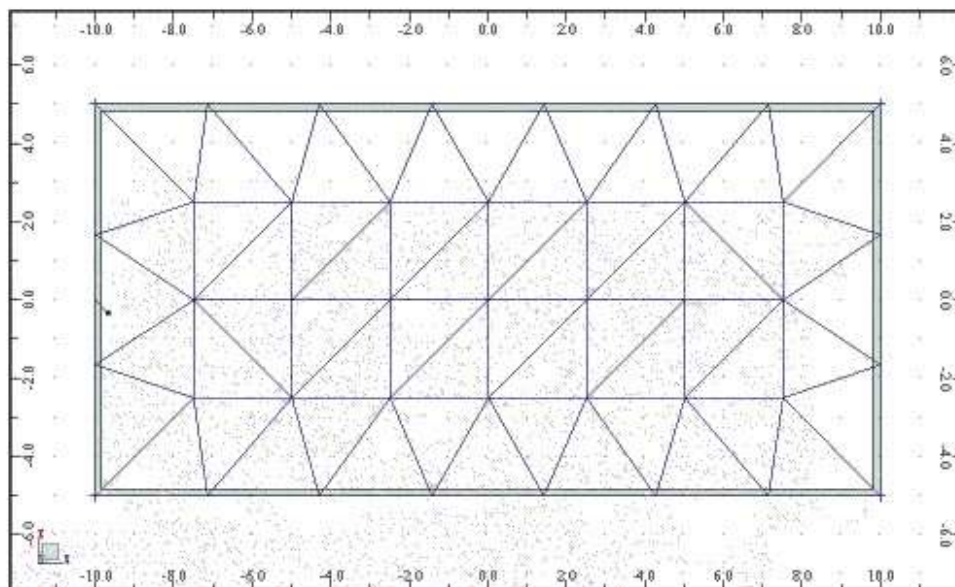
Pole Generacja siatki

Podział1 = 5

Pole Elementy skończone

Typ: **Trójkąty 3-węzłowe**

Współczynnik: nie wpływa - ponieważ wybrane są elementy trójkątne



Delaunay + Kang

Metoda Kanga polega na zagęszczeniu siatki w pobliżu emiterów. Emitery są specjalnymi węzłami, które definiuje się w miejscach konstrukcji wymagających zwiększenia dokładności obliczeń. Dostępne są dwa rodzaje emiterów:

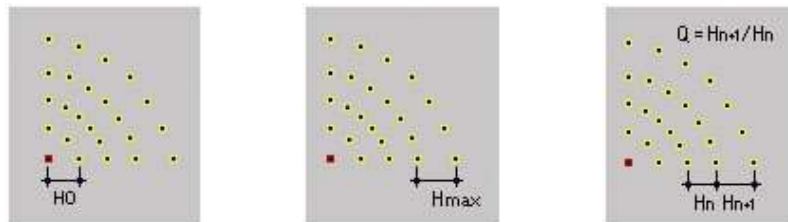
- *emitery użytkownika* - wskazywane przez użytkownika, dostępne po włączeniu opcji *Emitery: Użytkownika* w polu *Parametry metody Delaunay'a* w oknie dialogowym **Opcje siatkowania**. Same emitery definiujemy w oknie dialogowym **Analiza / Model obliczeniowy / Emitery**



- *emitery domyślne* - tworzone automatycznie przez program w narożach, przy otworach, dostępne po ustawieniu *Emitery: Domyślne*.

Zagęszczenie siatki przy pomocy metody Kanga polega na wygenerowaniu fali rozchodzącej się od emitera w głąb obszaru. Dostępne są następujące parametry:

- H_0 - długość pierwszej fali (bezpośrednio przy emiteryze)
- H_{max} - długość ostatniej fali
- Q - współczynnik określający relację między następną i poprzednią falą. Oznacza to iż długości kolejnych fal układają się w następujący ciąg $H_0, H_0 \cdot Q, H_0 \cdot Q^2, \dots, H_{max}$. Z oczywistych powodów współczynnik Q musi spełniać zależność $Q > 1$.



Przykład 11

Pole Generacja siatki

Podział1 = 5

Pole Elementy skończone

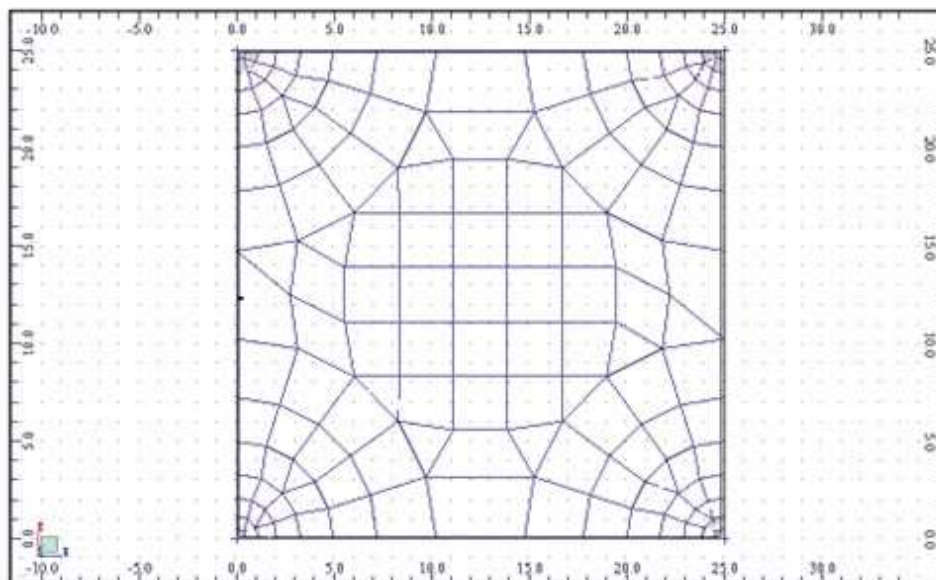
Typ: **Czworokąty 4-węzłowe**

Współczynnik: +1

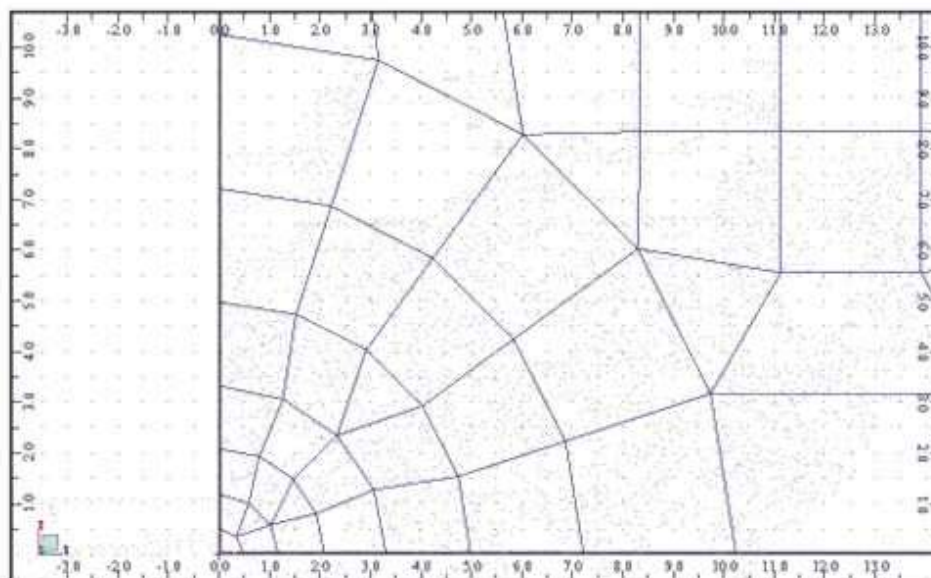
Parametry metody Delaunay'a

Emiter: **Domyślne**

Delaunay + Kang: **H0** = 0.5, **Hmax** = 3, **Q** = 1.35



Ponieważ został wybrany emiter domyślny, dlatego program wygenerował fale w narożach. Poza zagęszczonym obszarem generacja siatki przebiegała metodą Delaunay. Dodatkowo został ustalony współczynnik konwersji +1, co zapewniło maksymalną konwersję trójkątnych elementów na kwadratowe. Ustalenie parametrów $H_0=0.5$, $H_{max}=3$, $Q=1.35$ spowodowało wygenerowanie sześciu fal o następujących długościach: 0.5, 0.68, 0.91, 1.23, 1.66, 2.24, 3.03. Najlepiej prezentuje to zbliżenie lewego dolnego rogu płyty.



Parametry: $H_0=0.5$, $H_{max}=3$, $Q=1.35$. Długości fal 0.5, 0.68, 0.91, 1.23, 1.66, 2.24, 3.03

Aby wygenerować siatkę z emiterem użytkownika należy pamiętać, aby w oknie dialogowym **Opcje siatkowania** w polu *Parametry metody Delaunay'a* była włączona opcja *Emitery: Użytkownika*. Aby zdefiniować emiter użytkownika, należy z menu wybrać opcję *Analiza / Model obliczeniowy / Emitery*. Definiuje się je podając węzeł/punkt płyty oraz wprowadzając długość pierwszej fali $H0$. Natomiast pozostałe parametry, tzn. Q i $Hmax$ ustala się w oknie dialogowym **Opcje siatkowania**. Poniżej znajduje się przykład w którym zdefiniowano emiter użytkownika w lewym dolnym rogu płyty. Emitery domyślne są wyłączone.

Przykład 12

Pole Generacja siatki

Podział1 = 5

Pole Elementy skończone

Typ: **Czworokąty 4-węzłowe**

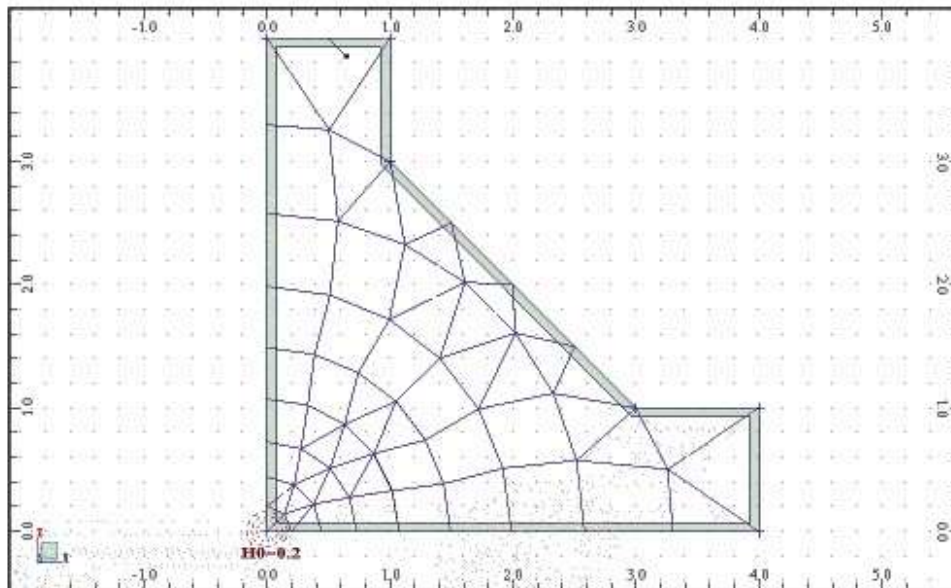
Współczynnik: **-0.6**

Parametry metody Delaunay'a

Emitery: **Użytkownika**

Delaunay + Kang: $H0 = 0.2$ (zdefiniowany w oknie **Emitery**), $Hmax = 1000$, $Q = 1.2$

Emitery domyślne są wyłączone dlatego parametr $H0$, który występuje w oknie dialogowym **Opcje siatkowania** nie ma wpływu na zdefiniowany emiter użytkownika. Ustawienie $Hmax = 1000$ oznacza, że wytworzona fala Kanga generuje się do wnętrza płyty.



Przykład 13

Pole Dopuszczalne metody siatkowania Coons: Często (włączony)

Delaunay: Często

Stopień wymuszenia: Proponowany

Pole Generacja siatki

Podział1 = 6, Podział2 = 6 Parametr

metody Coons'a

Typ podziału obszaru: Kwadraty w obszarze prostokątnym

Stopień wymuszenia: Rekomendowany

Pole Elementy skończone

Typ: Czworokąty 4-węzłowe

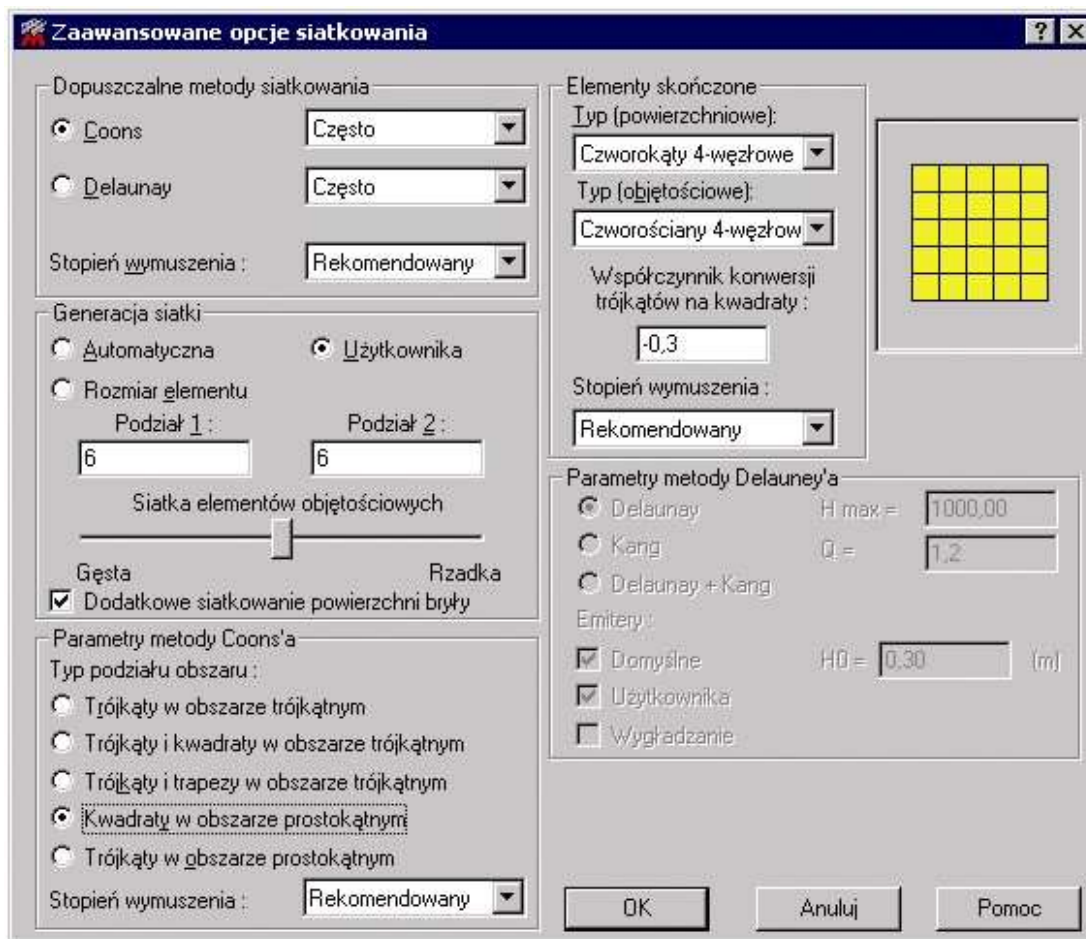
Współczynnik: -0.8

Stopień wymuszenia: Rekomendowany

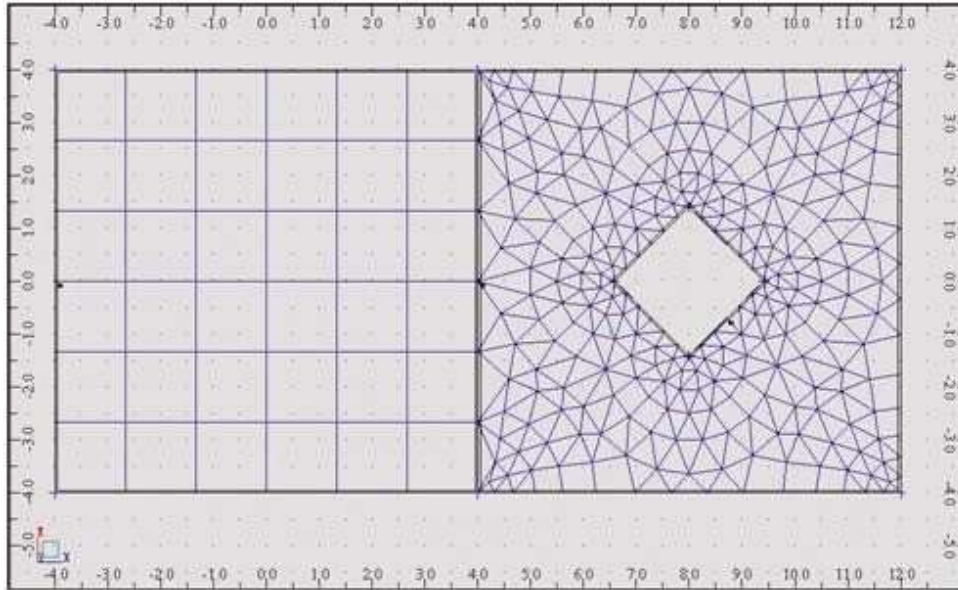
Parametry metody Delaunay'a

Emitery: Domyślne

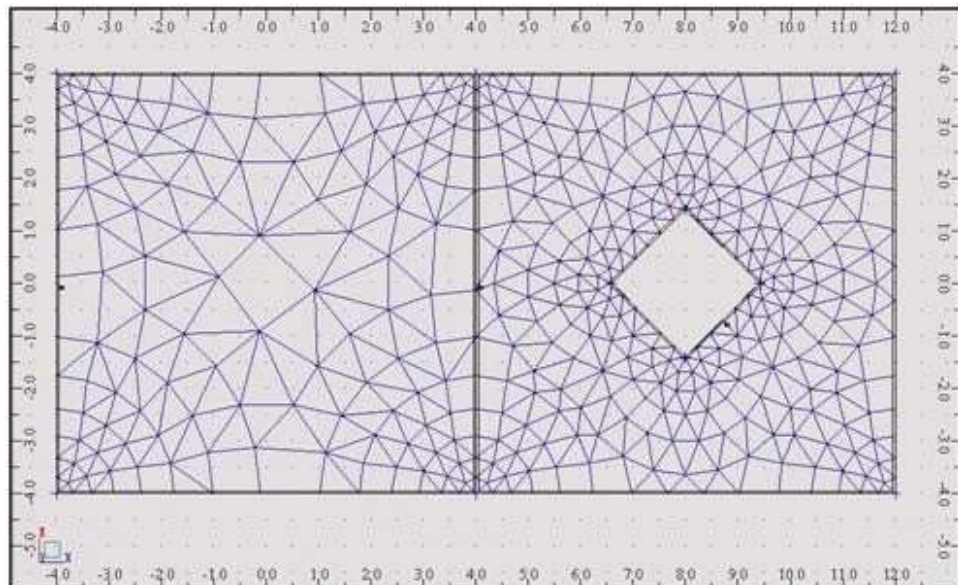
Delaunay + Kang: $H0 = 0.3$, $Hmax = 1000$, $Q = 1.2$



Przykład ten prezentuje użycie globalnych ustawień do generacji siatki: powyższe okno dialogowe otwiera się z menu górnego *Narzędzia / Preferencje zadania / Opcje siatkowania / Modyfikacja / Opcje zaawansowane*. Na podstawie tych ustawień wygenerowane zostały siatki dla dwóch kwadratowych płyt, tzn. na lewym panelu została wygenerowana siatka Coonsa, a na prawym siatka Delaunaya. Opcje siatkowania zostały dobrane tak, aby nie wymusić tylko jednej z dostępnych metod, tzn. *wymuszenie w polu Dopuszczalne metody siatkowania* jest wybrane jako *Proponowane*. Dlatego program automatycznie rozpoznaje regularne obszary (lewy panel) i tam używa metody Coons'a, a wszędzie gdzie pojawiają się jakieś zaburzenia regularności (prawy panel z otworem) używa metody Delaunay'a.



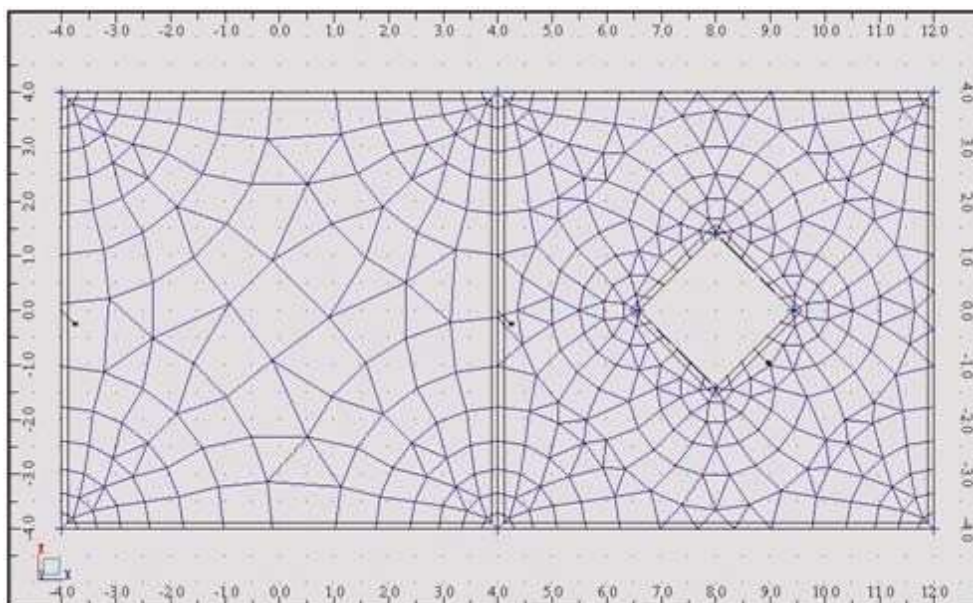
Jeżeli nie chcemy używać metody Coons'a, to wystarczy ustawić w polu *Dopuszczalne metody siatkowania* w liście wyboru Coons: *Nigdy*, pozostałe parametry pozostawić takie jak poprzednio. Przy takich ustawieniach na obydwu panelach uzyskamy siatkowanie przy pomocy metody Delaunaya.



Identyczny efekt uzyskamy poprzez narzucenie metody Delaunaya, tj.:

<input checked="" type="radio"/> Coons	Często
<input type="radio"/> Delaunay	Często
Stopień wymuszenia :	Narzucony

Zobaczmy jak na taką siatkę wpływa współczynnik konwersji elementów trójkątnych na czworokątne. Zmieńmy jego wartość z **-0.8** na **-0.5**, pozostałe parametry (w tym wymuszenie metody Delaunaya na obydwu panelach) pozostawiamy takie jak poprzednio.



W wyniku ustalenia nowego współczynnika otrzymaliśmy bardzo ładną regularną siatkę z dobrze uwarunkowanymi elementami czworokątnymi. W tym przypadku ustawienie współczynnika równego **-0.5** jest optymalne.

Przykład użycia opcji konsolidacji i zagęszczania siatek

Pole Dopuszczalne metody siatkowania

Delaunay: Często (włączony)

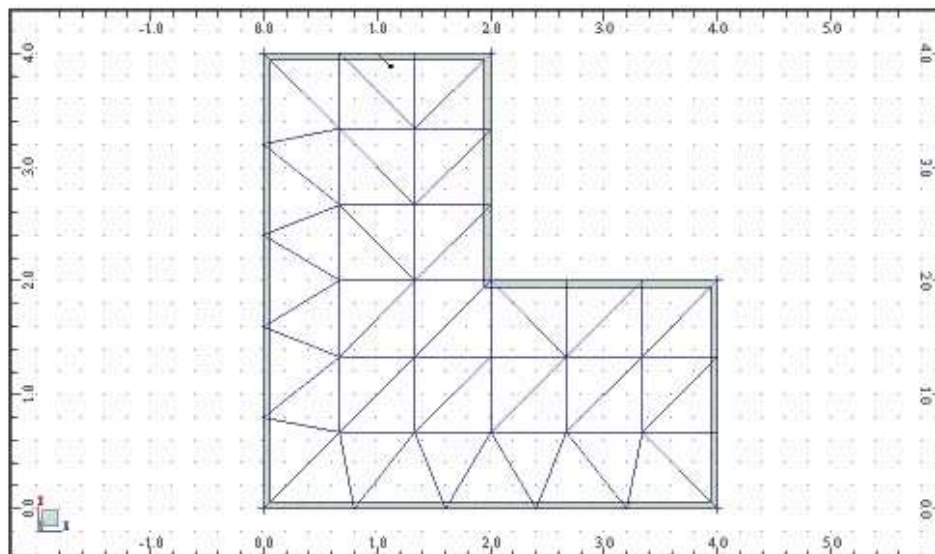
Pole Generacja siatki

Podział1 = 5

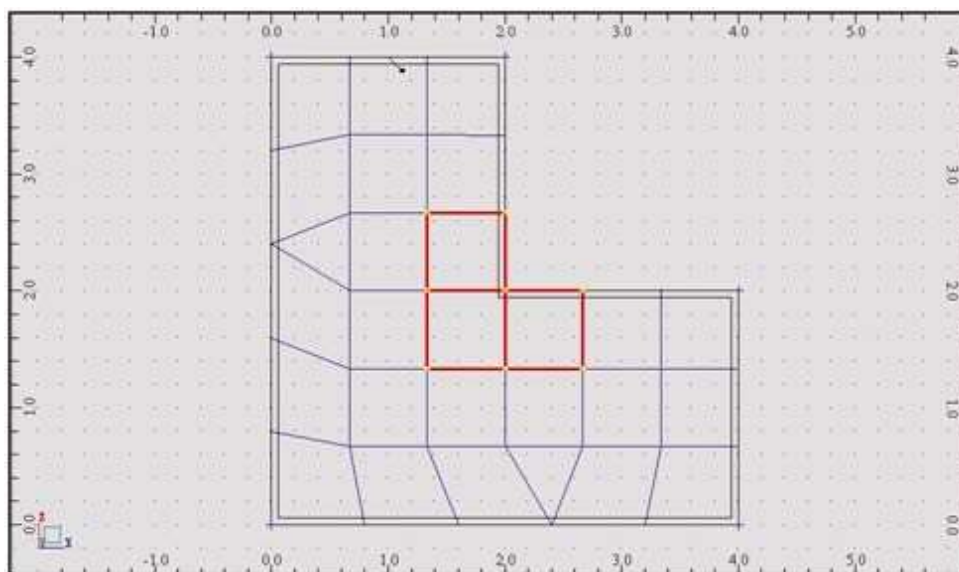
Pole Elementy skończone

Typ: **Trójkąty 3-węzłowe**

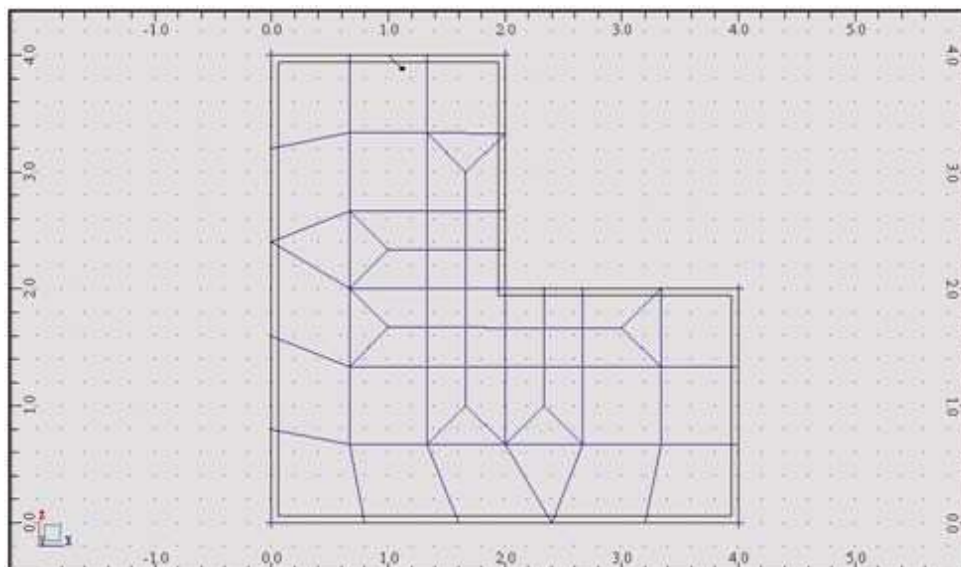
Przyjęte parametry powodują wygenerowanie siatki Delaunay'a złożonej z samych trójkątów.



Aby dokonać konsolidacji siatki, należy zaznaczyć cały panel, a następnie otworzyć okno dialogowe **Konsolidacja siatki** wybierając opcję *Analiza / Model obliczeniowy / Konsolidacja siatki* z menu. Następnie należy przyjąć współczynnik konwersji równy **-0.4** oraz wyłączyć opcję zamrażanie siatki, aby można było modyfikować późniejszą konstrukcję. Po wykonaniu konsolidacji z przyjętymi parametrami otrzymamy siatkę pokazaną na poniższym rysunku.

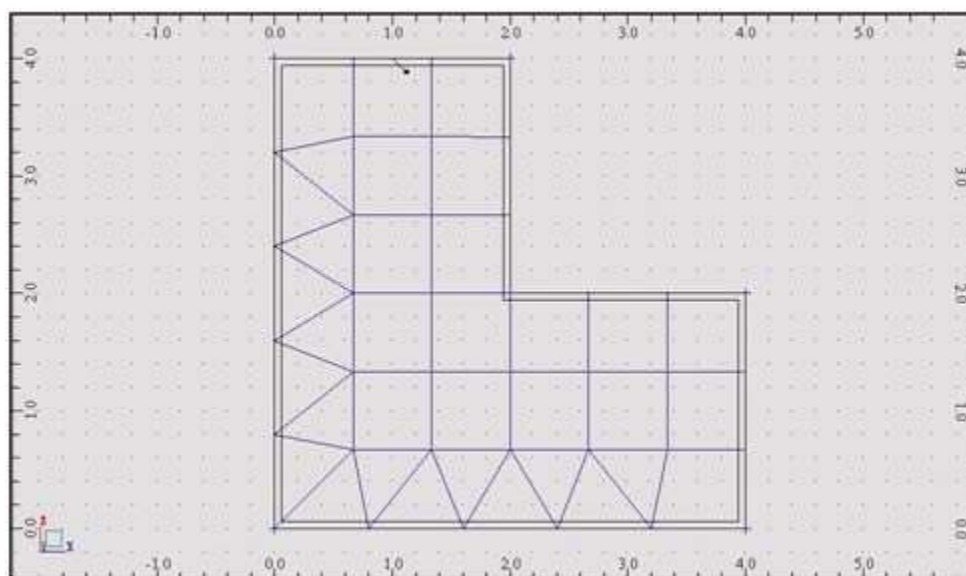


Aby dokonać zagęszczenia elementów znajdujących się w narożu płyty (patrz powyższy rysunek), należy wyselekcjonować pokazane elementy i otworzyć okno dialogowe do zagęszczania siatki (opcja *Analiza / Model obliczeniowy / Zagęszczanie siatki* z menu). Numery wybranych elementów automatycznie pojawiają się w polu *Lista elementów*. Następnie należy wybrać opcję zagęszczanie podwójne. Tak jak poprzednio należy wyłączyć opcję zamrażania siatki.

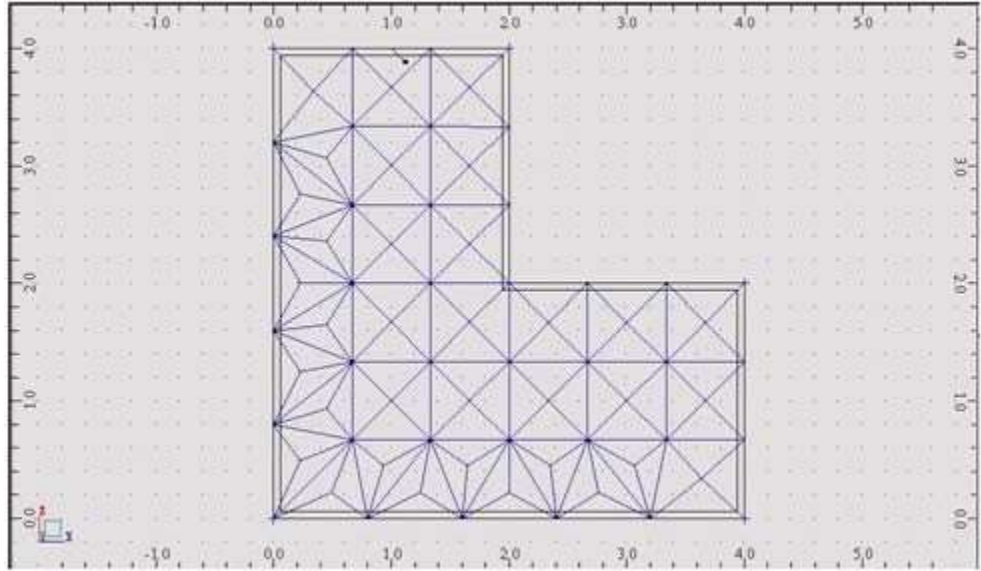


Jak widać na powyższym rysunku boki wybranych elementów zostały podzielone na dwa odcinki; w miejsce każdego z czworokątów powstały cztery mniejsze. Równocześnie dla zachowania ciągłości stopni swobody elementy sąsiadujące z wybranymi elementami też zostały podzielone.

Dokonyjemy teraz generacji modelu obliczeniowego, aby ponownie uzyskać siatkę złożoną z samych trójkątów. Z menu należy wybrać opcję *Analiza / Model obliczeniowy / Generacja*, a następnie wybrać cały panel i przy pomocy opcji *Konsolidacja siatki* dokonać konwersji na elementy czworokątne, tym razem przyjmując współczynnik konwersji równy **-0.8**.



Dla otrzymanej siatki dokonamy teraz zagęszczania bez podziału boków elementów skończonych. W tym celu należy wybrać cały panel, otworzyć okno dialogowe **Zagęszczanie siatki** i wybrać opcję *Typ zagęszczania: Proste*. Po wygenerowaniu modelu konstrukcji otrzymamy poniższą siatkę.

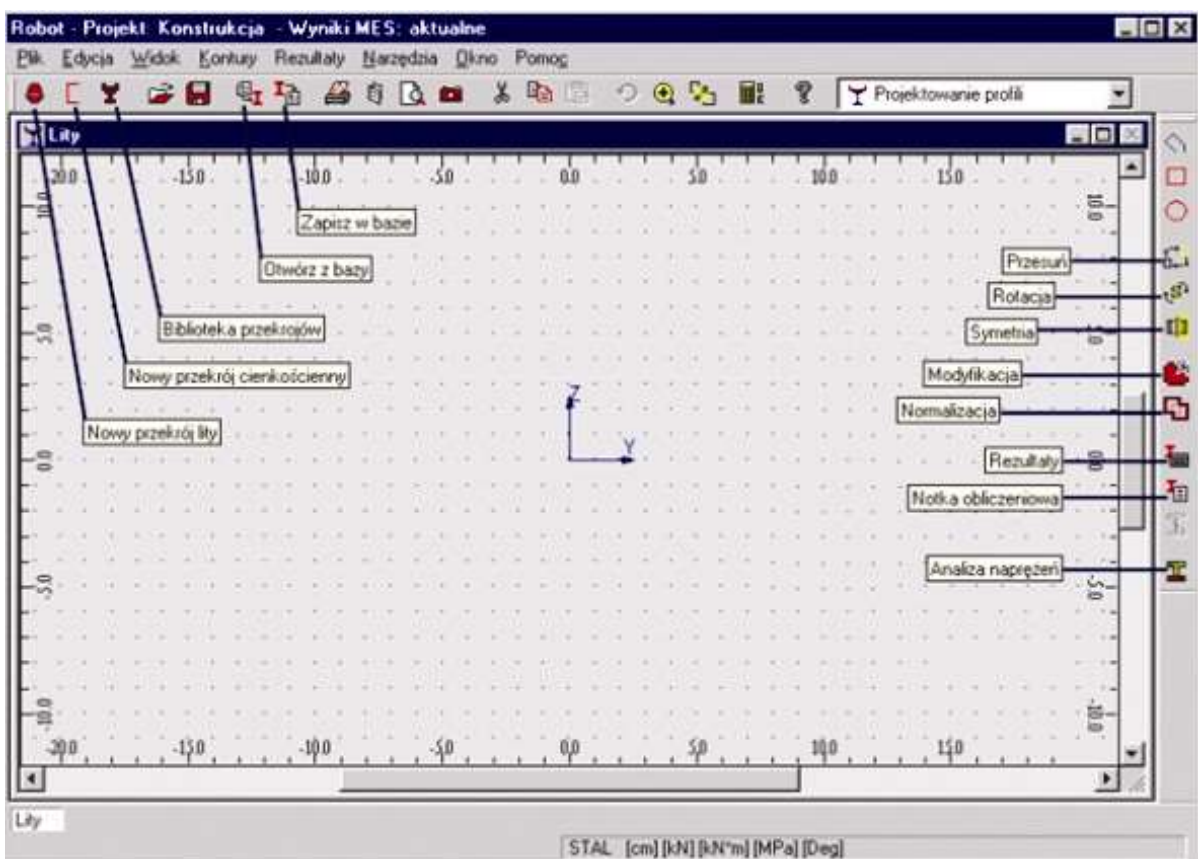


10.3. Załącznik 3 - Projektowanie profili prętów litych/cienkościennech

Wstęp

Kiedy podczas modelowania konstrukcji przychodzi konieczność zastosowanie pręta o nietypowym przekroju, a nie możemy znaleźć w dostępnych bazach profili potrzebnego rozwiązania, możemy taki profil samodzielnie zaprojektować i zapisać do własnej bazy. Przykładem może tu być przekrój złożony z dwóch ceowników tworzących rurę prostokątną o określonej wysokości, którego nie znajdziemy w żadnej ze standardowych baz profili.



Do projektowania dowolnych profili służy moduł **Projektowanie profili** dostępny po wybraniu ekranu **NARZĘDZIA / PROJEKTOWANIE PROFILI** (lub z menu *Narzędzia / Definicja przekroju*).



Projektowanie profili polega na:

- ⌚ Zdefiniowaniu geometrii:
 - wykorzystując bibliotekę przekrojów złożonych
 - wykorzystując istniejące bazy profili walcowanych
 - rysując obrys profilu samodzielnie
 - importując obrys w formacie DXF z dowolnego programu CAD
- ⌚ Wyliczeniu charakterystyk
- ⌚ Zapisaniu przekroju w bazie profili użytkownika

Definiowanie przekroju należy rozpocząć od wyboru rodzaju profilu:

- **lity** (opcja *Plik / Nowy przekrój / Lity* lub ikona )
- **cienkościenny** (opcja *Plik / Nowy przekrój / Cienkościenny* lub ikona )

Wybór rodzaju przekroju poprzecznego wymusza zakres prowadzonych obliczeń, określa w jaki sposób przekrój i wyniki obliczeń będą prezentowane na ekranie oraz narzuca używane algorytmy obliczeniowe.

Modelowanie profili litych

Definicja geometrii

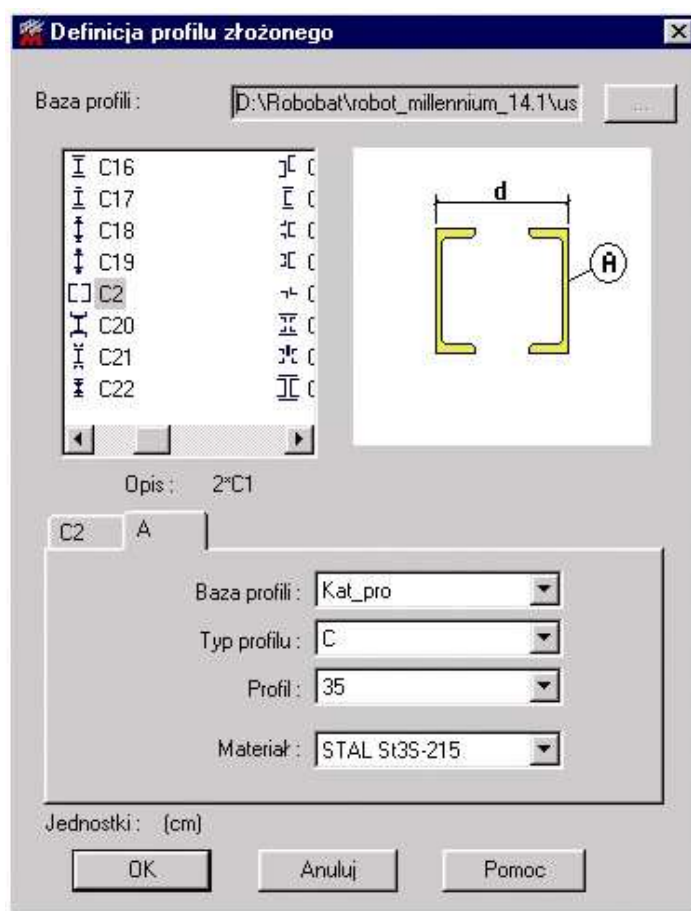
Z biblioteki przekrojów

Najłatwiejszą metodą tworzenia nowego profilu jest skorzystanie z biblioteki przekrojów złożonych. W bazie dostępnych jest kilkadziesiąt typów przekrojów złożonych. Podając odpowiednie wymiary dla wybranego typu w łatwy sposób można zdefiniować nawet dość skomplikowany przekrój złożony.

Opcja jest dostępna z menu: *Plik / Nowy przekrój / Biblioteka przekrojów litych* lub paska narzędziowego



Po wywołaniu biblioteki pokazuje się okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.



Opcja ta umożliwia użytkownikowi wczytanie do modułu **Projektowanie profili** odpowiedniego przekroju z aktywnej bazy przekrojów, która jest prezentowana w górnej części okna dialogowego.

Okno dialogowe jest podzielone na trzy części:

- ◆ pierwszą - z lewej strony, w której prezentowane są typy dostępnych przekrojów (schematycznie są one przedstawiane przy pomocy ikony i symbolu)
- ◆ drugą - z prawej strony, w której prezentowany jest schematyczny rysunek przekroju z wymiarami
- ◆ trzecią, najniższą położoną część, która składać się może z kilku zakładek w zależności od wybranego typu przekroju; na poszczególnych zakładkach użytkownik może określić parametry (wymiarów) składowych elementów przekroju


Aby wczytać profil do modułu **Projektowanie profili**, należy:

- otworzyć okno biblioteki przekrojów złożonych
- z listy wybrać typ rodziny (np. dwa ceowniki - C2)
- na zakładkach zdefiniować parametry profilu (typ ceownika, wymiary, materiał)
- nacisnąć klawisz **OK**.

Okno dialogowe automatycznie się zamknie i w oknie głównym pojawi się wybrany przekrój złożony, dla którego można już obliczyć charakterystyki.

Z bazy profili walcowanych

Gdy w bibliotece profili złożonych nie znajdziemy odpowiedniego rozwiązania, a potrzebny przekrój składa się z profili walcowanych, to możemy go samodzielnie złożyć wczytując z bazy profili walcowanych odpowiednie przekroje.

Służy do tego opcja *Import z baz* (menu *Plik / Import z baz* lub z paska narzędziowego ). Po jej włączeniu pojawia się okno dialogowe, w którym wybieramy bazę, rodzinę profili, a w niej wskazujemy konkretny przekrój.



Po wyborze i wciśnięciu klawisza **OK** profil pojawi się na ekranie. Można teraz poddać go modyfikacji jak również zaimportować kolejny profil i w ten sposób budować złożony przekrój.

Import DXF

Gdy chcemy zaprojektować profil, którego przekrój poprzeczny mamy narysowany w programie CAD (np. AutoCAD, MegaCAD itp.), możemy wczytać rysunek do modułu **Projektowanie profili** i na jego bazie utworzyć potrzebny przekrój.

Pierwszym krokiem jest zapisanie rysunku w programie CAD w formacie DXF. Jest to uniwersalny format graficzny, który prawie wszystkie programy graficzne potrafią obsługiwać.


Następnie z menu *Plik / Import DXF* uruchamiamy okno w którym musimy wskazać plik z rysunkiem w formacie DXF. Na ekranie pojawi się wówczas okno dialogowe pokazane na poniższym rysunku.



W oknie dialogowym znajdują się parametry dyskretyzacji łuków (kątowno, min, stała liczba, liczba podziałów na kąt pełny), czyli w jaki sposób (na ile części) dzielone mają być łuki. Dodatkowo wybrana może zostać płaszczyzna, w której znajdować się będzie wczytywany profil (jest to istotne gdy rysunek w pliku DXF był przestrzenny). Po wyborze odpowiednich parametrów wczytywania pliku o formacie DXF należy nacisnąć klawisz **OK**. Profil zostanie poddany analizie, a następnie wczytany do modułu do definicji przekrojów. Wszystkie obszary zamknięte zostaną automatycznie wypełnione materiałem domyślnym.


Rysowanie przekroju poprzecznego


W oknie głównym modułu **Projektowanie profili** możemy samodzielnie narysować dowolny przekrój. Kontury definiowanego profilu mogą być tworzone przy pomocy następujących opcji: wielokąt, prostokąt i okrąg.

Wielokąt (menu *Kontury / Wielobok* lub ikona ) pozwala na narysowanie różnego typu wieloboków (linii, łuków). Linia lub łuk mogą być zdefiniowane graficznie (należy klikać lewym klawiszem myszki wskazując punkty charakterystyczne linii lub łuku) lub wpisując współrzędne charakterystycznych punktów linii lub łuku z klawiatury w odpowiednich polach edycyjnych okna dialogowego (patrz rysunek poniżej).



Jeżeli kontur definiowany będzie przy pomocy linii, to istnieje możliwość określania w narożach konturu zaokrągleń. Po zdefiniowaniu linii konturu w oknie dialogowym pojawia się opcja *Promień zaokrąglenia*. Jeżeli zostanie ona włączona, to w narożu konturu utworzone zostanie zaokrąglenie o podanym promieniu. Opcja *Relatywnie* powoduje, że współrzędne nowego punktu mogą być wpisywane jako relatywne do poprzedniego punktu.

Prostokąt (menu *Kontury / Prostokąt* lub z paska narzędziowego ) pozwala na rysowanie prostokątów. Współrzędne dwóch przeciwległych wierzchołków prostokąta możemy, podobnie jak w przypadku opcji **Wielokąt**, wprowadzać graficznie lub wpisywać z klawiatury.

Okrąg (menu *Kontury / Okrąg* lub z paska narzędziowego ) pozwala na rysowanie okręgów. Współrzędne środka okręgu i jego promienia można również wprowadzać graficznie lub z klawiatury.


Jeśli podczas rysowania stworzymy obszar zamknięty, program automatycznie wypełni go materiałem. Standardowo materiałem tym jest STAL, ale za pomocą opcji z menu *Kontury / Właściwości domyślne* możemy zmienić domyślny materiał. Natomiast jeśli wewnątrz wypełnionego materiałem obszaru zdefiniujemy inną zamkniętą powierzchnię, wewnątrz niej program usunie materiał tworząc otwór.

Modyfikacje

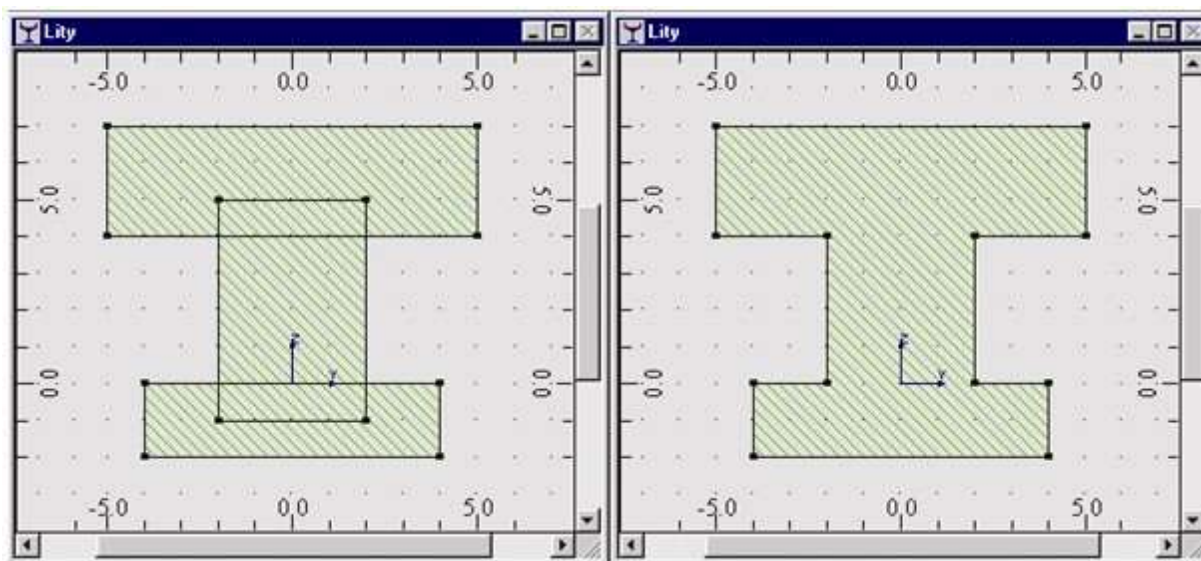
Zdefiniowany kontur może oczywiście zostać zmodyfikowany; służą temu opcje: Normalizacja nakładających się konturów, Modyfikacja punktów oraz Modyfikacja elementów.


Po zdefiniowaniu wielu nakładających się (przecinających się) konturów istnieje możliwość utworzenia nowego konturu profilu, który stanowi obwiednię wszystkich dotychczasowych konturów.

Służą do tego opcja **Normalizacja nakładających się konturów** (menu *Kontury / Normalizacja*

nakładających się konturów lub z paska narzędziowego )

Przed rozpoczęciem normalizacji konturów należy wyselekcjonować te kontury, które będą podlegały normalizacji. Na rysunku z lewej trzy nakładające się kontury, z prawej jeden kontur powstały w wyniku zastosowania normalizacji.



Po utworzeniu konturu istnieje możliwość modyfikacji położenia punktów definiujących kontur. Służą do tego opcja **Modyfikacja punktów** (menu *Kontury / Modyfikacja punktów* lub z paska narzędziowego )


Ta opcja umożliwia zmianę położenia węzłów, a co za tym idzie na automatyczne zmodyfikowanie konturu.

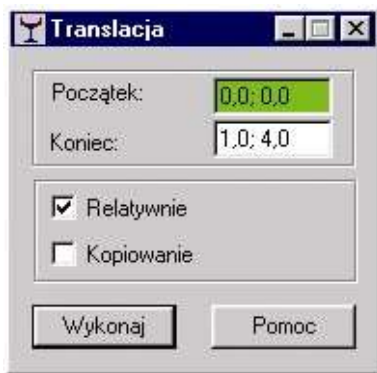
Po wybraniu tej opcji należy wskazać kursorem myszki na jeden z punktów charakterystycznych konturu, a następnie określić jego nowe położenie graficznie lub poprzez wpisanie współrzędnych.


Analogicznie działa opcja **Modyfikacja elementów** (menu *Kontury / Modyfikacja elementów*). Po jej wywołaniu wskazujemy dowolny odcinek prosty lub łuk, a następnie graficznie lub za pomocą okna dialogowego określamy nowe parametry. Możemy zmienić promień zaokrąglenia, podzielić odcinek na dwa mniejsze, jak również usunąć dany odcinek.




Do zmiany położenia zdefiniowanego konturu wykorzystane mogą być również następujące opcje edycyjne: Translacja, Rotacja, Symetria i Skalowanie.

Translacja (menu *Edycja / Translacja* lub z paska narzędziowego ) pozwala na przesunięcie lub skopiowanie konturu profilu lub pewnych jego części do nowego położenia. Przed rozpoczęciem translacji konturów, należy wyselekcjonować te kontury, które będą podlegały przesunięciu lub kopiowaniu. Po wybraniu opcji **Translacja** należy zdefiniować wektor przesunięcia (graficznie na ekranie lub wpisując współrzędne wektora w odpowiednich polach edycyjnych okna dialogowego pokazanego poniżej).



Rotacja (menu *Edycja / Rotacja* lub z paska narzędziowego ) pozwala na obrót (przesunięcie lub kopiowanie) konturu profilu lub pewnych jego części wokół wybranego punktu. Działa analogicznie jak translacja, tyle tylko że określamy tu środek obrotu i kąt o jaki kontur będzie obracany.

Symetria (menu *Edycja / Symetria* lub z paska narzędziowego ) pozwala na symetryczne odbicie konturu profilu lub pewnych jego części względem wybranej osi (pionowej lub poziomej). W oknie dialogowym należy wybrać kierunek osi symetrii (pionowa lub pozioma), a następnie zdefiniować położenie tej osi (graficznie na ekranie lub wpisując współrzędną). Zaznaczenie opcji *Kopiowanie* spowoduje, iż zostanie stworzona kopia konturu.

Skalowanie (menu *Edycja / Skalowanie*) pozwala na dokonanie skalowania konturu profilu lub pewnych jego części względem wybranego punktu. W oknie dialogowym należy zdefiniować środek i mnożnik skalowania. Dodatkowo możemy zdecydować o utworzeniu kopii konturu.

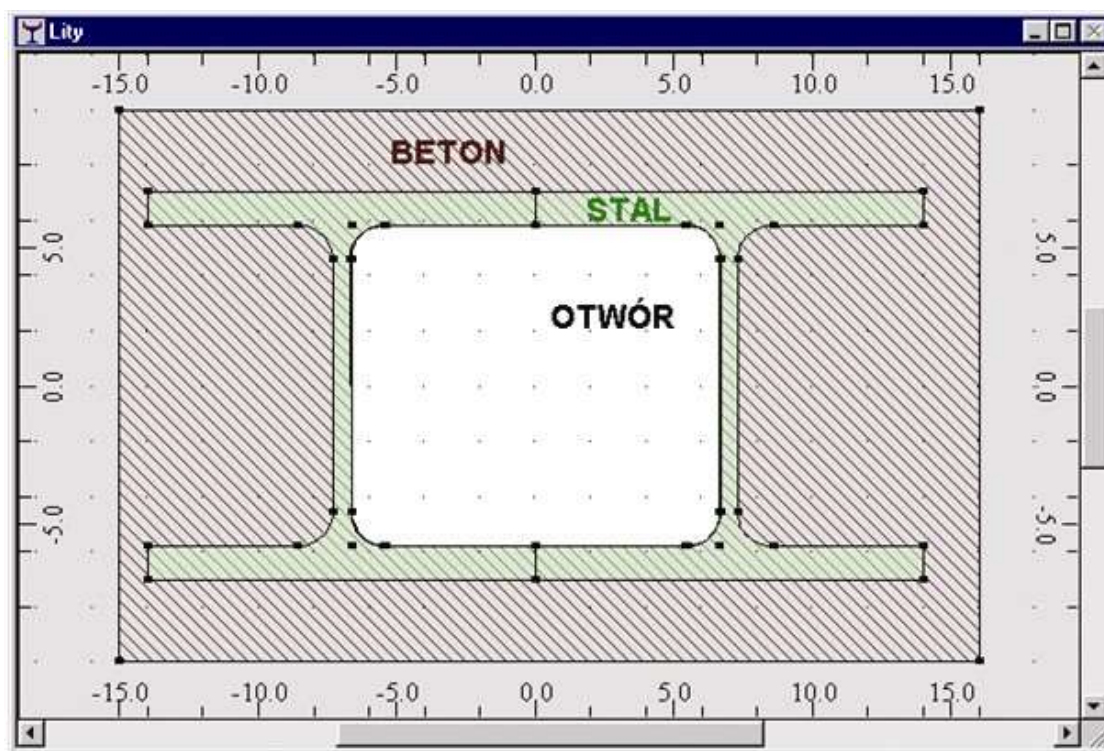
Poza modyfikacjami geometrycznymi mamy oczywiście możliwość nadania różnych własności materiałowych poszczególnym konturom definiowanego profilu. Służy temu opcja **Właściwości** (menu *Kontury / Właściwości*).



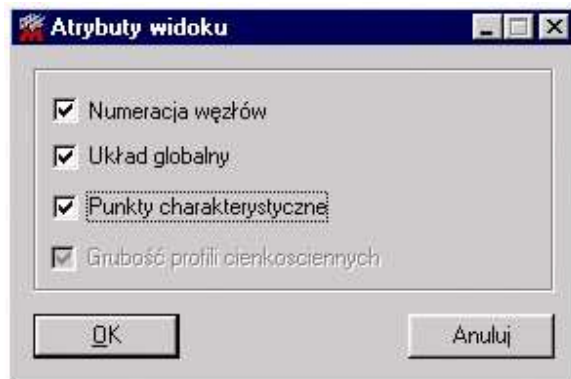
Ta opcja pozwala na zmianę materiału w wybranej części przekroju poprzecznego. Aby zdefiniować inny materiał, wybrany musi być najpierw kontur, któremu nadawane będą nowe własności. Kontur może określać powierzchnię profilu lub dziurę znajdującą się w definiowanym profilu.

Następnie uruchamiamy opcję **Właściwości** i w oknie dialogowym (patrz rysunek) decydujemy czy kontur opisuje profil lity czy dziurę. W przypadku litego podajemy materiał dla wybranego konturu. W dolnej części okna prezentowana jest tabela, w której znajdują się współrzędne charakterystycznych punktów konturu. Możemy je zmieniać wpisując w poszczególne komórki nowe wartości.

Możemy zatem łatwo zdefiniować profil np. z betonu, w którym umieszczony jest inny profil ale już stalowy lub aluminiowy.



Ostatnim trybem modyfikacji jest możliwość zmiany wyświetlania charakterystycznych elementów. Służy do tego opcja **Atrybuty widoku** (menu *Widok / Atrybuty*). Po jej uruchomieniu pojawia się okno dialogowe, w którym możemy zdecydować, czy chcemy wyświetlić numery węzłów charakterystycznych, oznaczenie układu współrzędnych oraz punktów charakterystycznych, a dla profili cienkościennych wyłączyć wyświetlanie ich grubość.



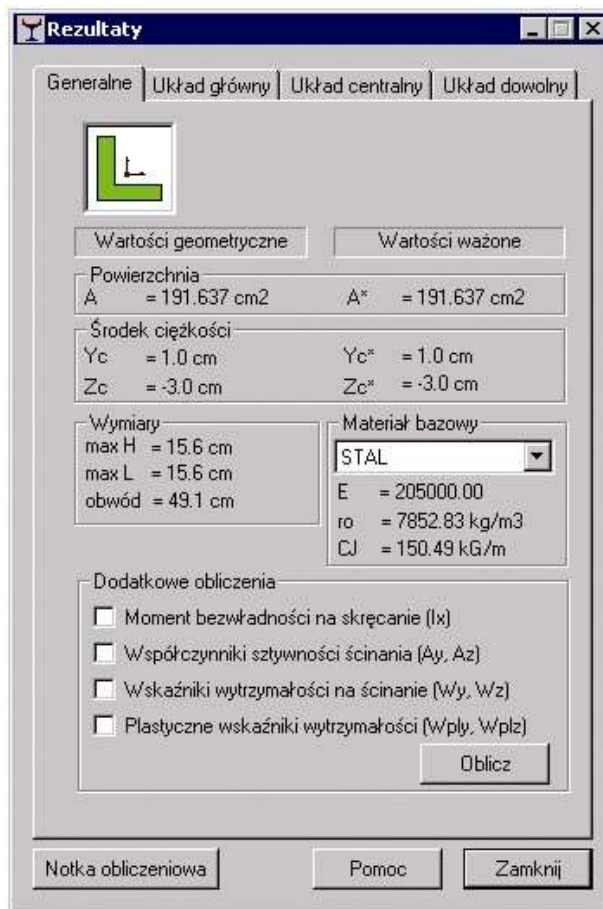
Wyliczanie charakterystyk

Jeśli posiadamy już zamodelowany przekrój poprzeczny możemy przystąpić do obliczeń charakterystyk geometrycznych profilu.

Wywołanie opcji **Rezultaty** (menu *Rezultaty / Charakterystyki geometryczne / Rezultaty* lub z paska

narzędziowego ) powoduje rozpoczęcie obliczeń zdefiniowanego profilu.

W oknie graficznym prezentowane jest wówczas położenie centralnego i głównego układu współrzędnych, a na ekranie pojawia się okno dialogowe **Rezultaty**.



W oknie tym znajdują się cztery zakładki: *Generalne*, *Układ główny*, *Układ centralny*, *Układ dowolny*. Na zakładce *Generalne* wyniki obejmują następujące wielkości (wartości podawane są jako wartości geometryczne i ważone):

- pole powierzchni: A
- współrzędne środka ciężkości: Yc, Zc
- wymiary i obwód: max H, max L, obwód
- parametry materiału bazowego (moduł Younga - E, gęstość - ρ, ciężar na jednostkę - CJ).

Dodatkowo przeprowadzone mogą zostać obliczenia następujących wielkości:

- moment bezwładności na skręcanie Ix
- współczynniki sztywności ścinania (zredukowane pole powierzchni przekroju przy uwzględnianiu wpływu sił ścinających) Ay, Az
- wskaźnik wytrzymałości na ścinanie Wy, Wz
- plastyczny wskaźnik wytrzymałości Wply, Wplz.

Wielkości te standardowo nie są wyliczane. Aby je obliczyć, należy włączyć odpowiednią opcję np. moment bezwładności na skręcanie i nacisnąć klawisz **Oblicz** w polu *Dodatkowe obliczenia*).

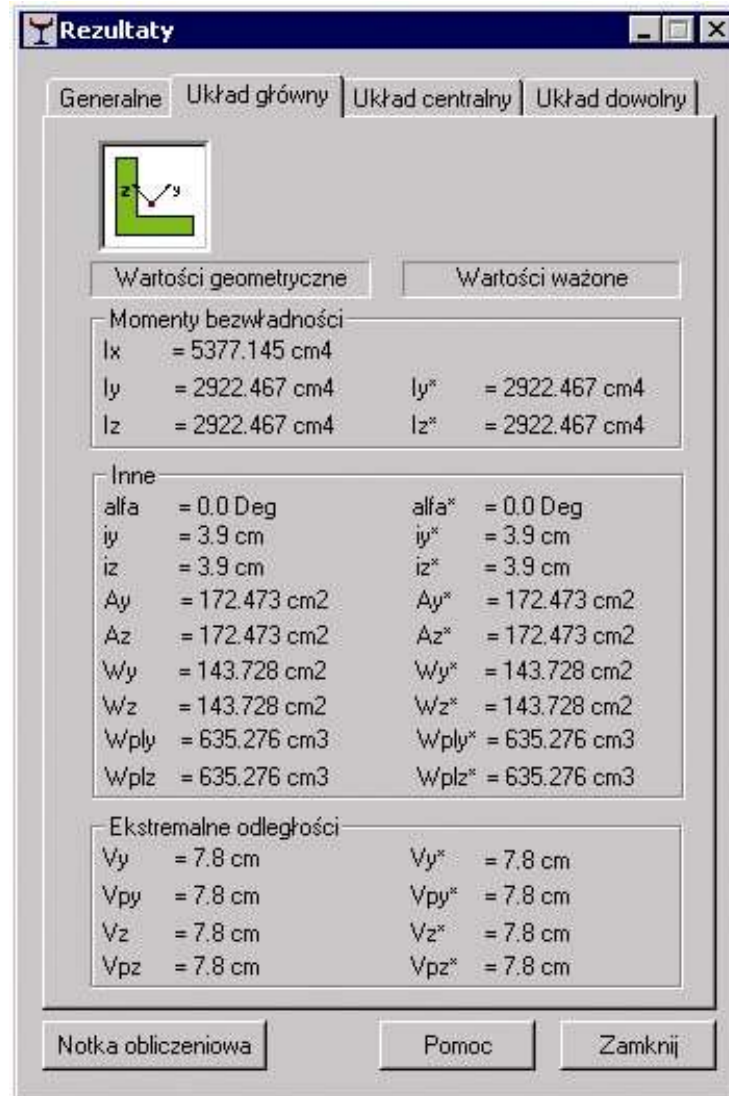
Wartości wymienionych wielkości będą dostępne na zakładce *Układ główny*.

Dla przekrojów pełnych wartości podawane są jako geometryczne. Dla przekrojów kompozytowych dodatkowo obliczane są charakterystyki ważone (oznaczone symbolem *) zdefiniowane następującym wzorem:

$$A^* = \frac{\sum_i A_i \alpha_i}{\alpha_b}$$

gdzie: i - i-ty materiał profilu
kompozytowego b - materiał bazowy profilu
kompozytowego.

Na zakładce *Układ główny* prezentowane są charakterystyki geometryczne pełnego przekroju poprzecznego oraz charakterystyki ważone względem głównego układu współrzędnych. Kąt obrotu pomiędzy osią y' układu głównego a osią Y jest podawany polu alfa.



Na tej zakładce prezentowane są następujące wielkości:

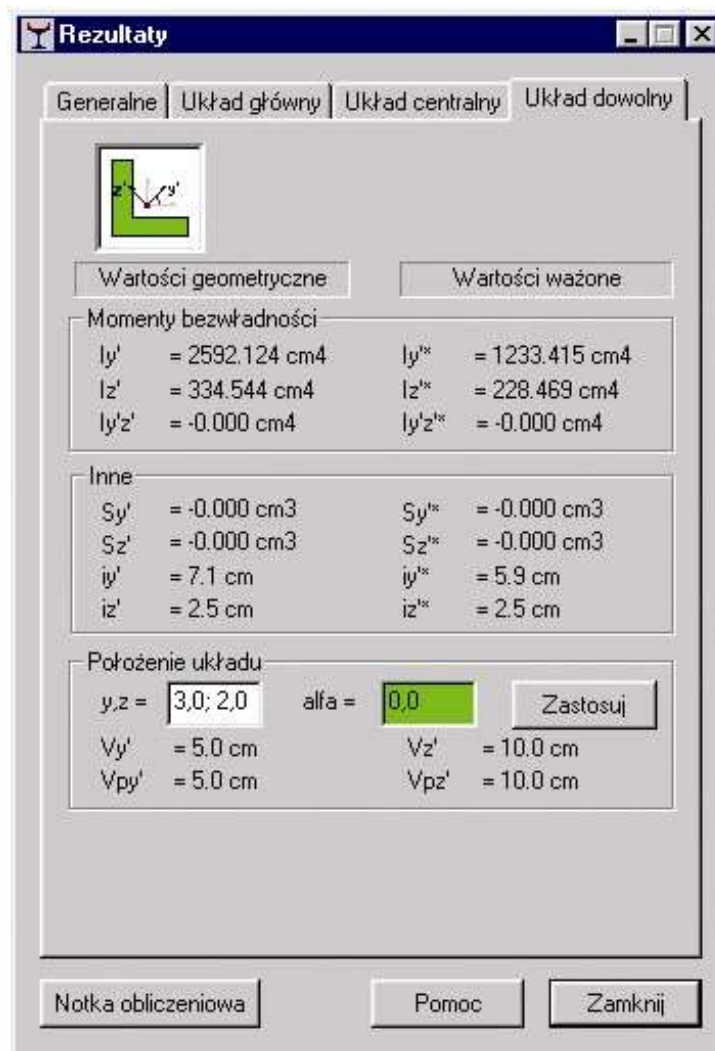
- momenty bezwładności: I_x, I_y, I_z
- kąt nachylenia pierwszej osi głównej względem dodatniego kierunku globalnej osi Y: alfa
- promienie bezwładności: i_y, i_z

- współczynniki sztywności ścinania (zredukowane pole powierzchni przekroju przy uwzględnianiu wpływu sił ścinających): A_y, A_z
- wskaźnik wytrzymałości na ścinanie: W_y, W_z
- plastyczny wskaźnik wytrzymałości W_{ply}, W_{plz}
- ekstremalne odległości skrajnych włókien przekroju od osi Z i Y: V_y, V_{py}, V_z, V_{pz} .

Na zakładce *Układ centralny* prezentowane są charakterystyki geometryczne pełnego przekroju poprzecznego oraz charakterystyki ważone względem centralnego układu współrzędnych. Prezentowane są na niej następujące charakterystyki:

- momenty bezwładności i dewiacji: I_{yc}, I_{zc}, I_{ycz}
- promienie bezwładności: i_{yc}, i_{zc}
- ekstremalne odległości skrajnych włókien przekroju od osi z i y: $V_{yc}, V_{pyc}, V_{zc}, V_{pzc}$.


Na zakładce *Układ dowolny* prezentowane są charakterystyki geometryczne pełnego przekroju poprzecznego oraz charakterystyki ważone względem dowolnego układu współrzędnych, którego położenie może zostać zdefiniowane w polu *Położenie układu*. Współrzędne początku układu współrzędnych należy określić w polu (y,z), natomiast kąt obrotu pomiędzy osią y' zdefiniowanego przez użytkownika układu, a osią Y jest podawany przez użytkownika w polu edycyjnym *Kąt*. Aby zatwierdzić położenie nowego układu współrzędnych, należy nacisnąć klawisz **Zastosuj**.



Na zakładce tej prezentowane są następujące wielkości względem nowego układu współrzędnych:

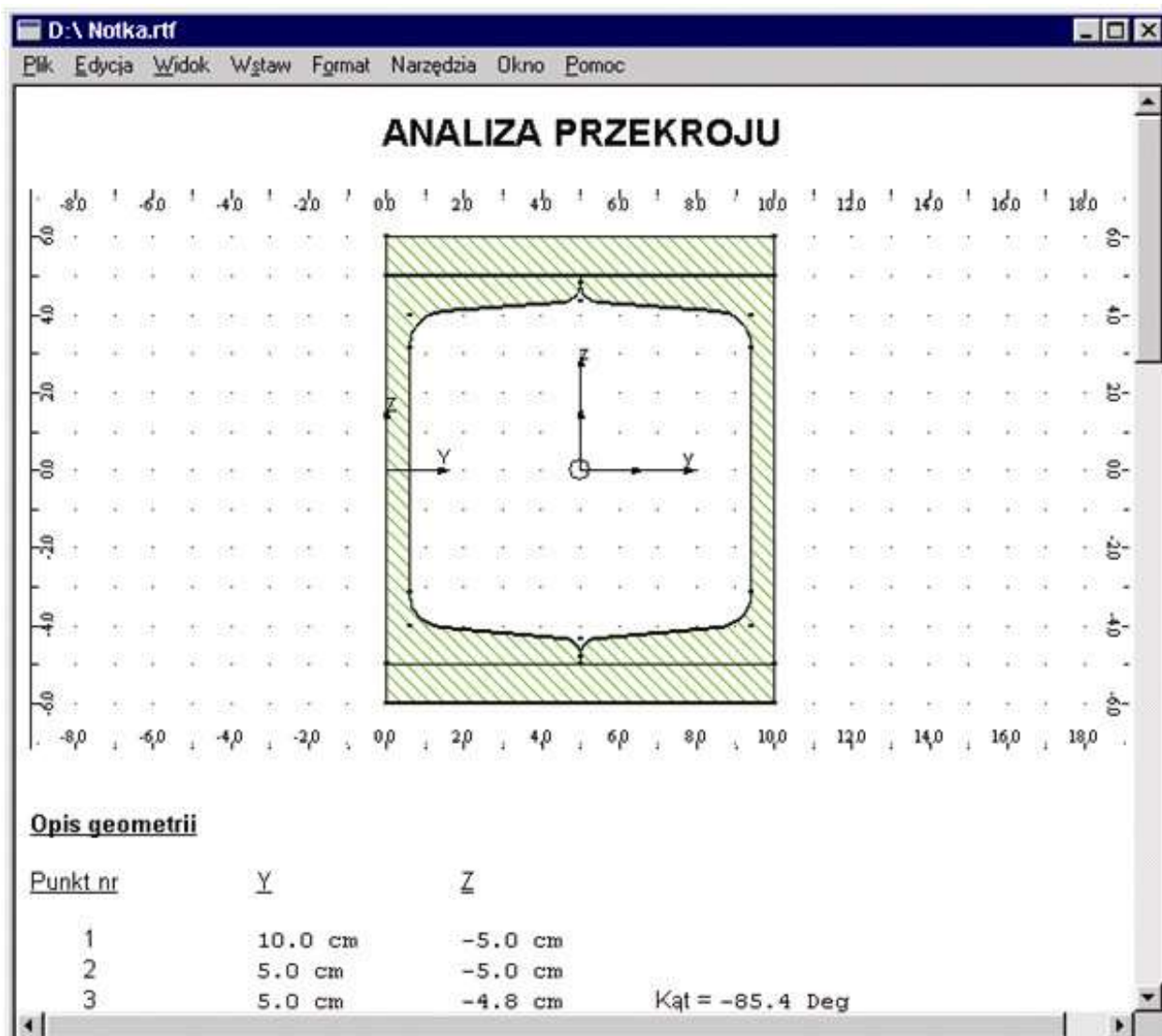
- momenty bezwładności i dewiacji: I_y' , I_z' , $I_{y'z'}$
- momenty statyczne: S_y' , S_z'
- promienie bezwładności: i_y' , i_z'
- ekstremalne odległości skrajnych włókien przekroju od osi z i y: V_y' , V_{py}' , V_z' , V_{pz}' .

Po wyliczeniu charakterystyk możemy wygenerować dokument w postaci notki w wewnętrznym edytorze tekstowym. Można to uczynić naciskając klawisz **Notka obliczeniowa** w oknie **Rezultaty**, albo wywołać z

menu *Rezultaty / Charakterystyki geometryczne / Notka Obliczeniowa* lub z paska narzędziowego  . Program otworzy wówczas okno edytora tekstowego z wynikami, a wśród nich:

- rysunek profilu
- opis geometrii (współrzędne punktów charakterystycznych)
- wszystkie rezultaty z zakładek: *Generalne*, *Układ główny*, *Układ centralny* i *Układ dowolny*.

Dokument taki możemy poddać edycji, wydrukować, zapisać w formacie RTF lub też zrobić zrzut ekranu (menu edytora *Plik / Zrzuć ekran*) w celu dołączenia notki do zrzutów w dokumentacji konstrukcji.




Zapis do bazy

Po wyliczeniu charakterystyk przekrojowych każdy nowo zaprojektowany profil można zapisać do bazy użytkownika. Dzięki zapisowi w bazie profili można korzystać z danego przekroju podczas modelowania konstrukcji w programie **Robot**.

Aby zapisać jakikolwiek profil musimy go zatem zamodelować i wyliczyć jego charakterystyki.

Następnie możemy uruchomić opcję **Zapis profilu do bazy** (menu *Plik / Zapisz do baz* lub z paska

narzędziowego , której wybranie powoduje otwarcie poniższego okna dialogowego.



W oknie tym po pierwsze decydujemy do jakiej bazy dany profil zapisać. Domyślnie program oferuje bazę użytkownika o nazwie **Utilisateur** (fr. *użytkownik*). Jeśli stworzyliśmy sobie wcześniej nową bazę (co można uczynić w oknie przeglądarki profili - menu *Narzędzia / Baza profili*) to po dodaniu jej do listy katalogów profili z których chcemy korzystać (menu *Narzędzia / Preferencje zadania / Katalog profili*) pojawi się jej nazwa tuż pod **Utilisateur**. Do takiej nowej bazy również można zapisywać nowe profile. Następnym krokiem przy zapisie przekroju jest podanie nazwy pod którą ma być zachowany. W polu *Nazwa* wpisujemy maksymalnie do czterech liter jako pierwszy człon nazwy profilu. Uwaga: niedozwolone jest w tym polu wpisywanie cyfr. W pozostałych polach: **Wymiar 1**, **Wymiar 2** i **Wymiar 3** można wpisać wymiary charakterystyczne nowego profilu. Muszą to być ty razem tylko liczby rzeczywiste. W przypadku definiowania tylko jednego wymiaru należy podać **Wymiar 1**. W przypadku definiowania dwóch wymiarów należy podać: **Wymiar 1** i **Wymiar 3**. Przy wpisywaniu trzech wymiarów oczywiście wypełniamy wszystkie trzy pola. Poniżej przedstawione są przykłady różnych nazw:

Nazwa: **Nowy**

Wymiar 1: **10**

Wymiar 2: **12**

Wymiar 3: **1**

W rezultacie otrzymamy nazwę: **Nowy 10x12x1**

Nazwa: **IPE** Wymiar 1: **100**

Wymiar 2: **0**

Wymiar 3: **0**

W rezultacie otrzymamy nazwę: **IPE 100**

Nazwa: **Ceow**

Wymiar 1: **2**

Wymiar 2: **0**

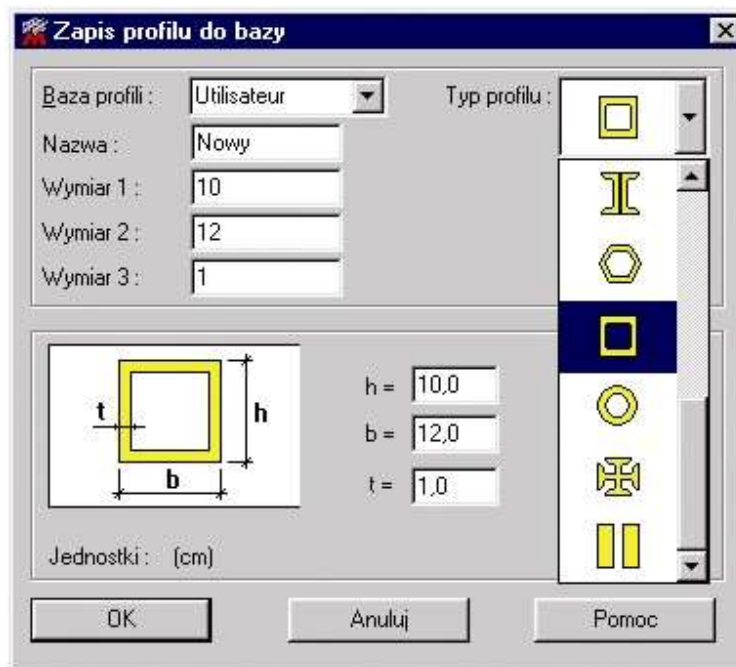
Wymiar 3: **120**

W rezultacie otrzymamy nazwę: **Ceow 2x120**

Po wybraniu bazy profili i podaniu nazwy przekroju można nacisnąć klawisz **OK**; nastąpi zapis profilu. Dodatkowo klikając jeszcze przed zapisem w pole *Typ profilu* można zdefiniować naturę/rodzaj profilu. Pojawi się wówczas lista kilku najczęściej spotykanych kształtów profili, z pośród których wybieramy ten najbardziej zbliżony do nowo zaprojektowanego profilu. Jeśli żadna z pozycji na liście nie jest odpowiednia,

należy wybrać ikonę ze znakiem zapytania (typ domyślny - ogólny). Typ profilu jest wykorzystywany podczas wymiarowania konstrukcji. Inaczej bowiem sprawdza się np. dwuteowniki a inaczej przekroje rurowe. Jako że podczas projektowania profilu mamy dowolność w kształtowaniu geometrii, możemy w ten sposób wskazać programowi do jakiej grupy przekrojów chcemy zaliczyć nowy profil.

Gdy dobierzemy jeden z typów profili w dolnej części okna dialogowego pojawi się rysunek wraz z dodatkowymi polami służące do wprowadzenia wymiarów. Wymiary te potrzebne są do opisanie profilu w bazie (takie wymiary będą m. in. wyświetlane na rysunkach przekrojów podczas przeglądania w bazie profili).



Poza zapisem profili do bazy można również zapisać geometrię przekroju do pliku z rozszerzeniem SEC (menu *Plik / Zapisz* lub *Zapisz jako*). Dzięki temu można w dowolnym momencie powrócić do geometrii projektowanego profilu, na przykład w celu dokonania pewnych modyfikacji i ponownego przeliczenia.

Stosowanie nowych profili w konstrukcji

Po wyliczeniu i zapisaniu w bazie nowych profili możemy oczywiście używać ich podczas modelowania konstrukcji. W tym celu postępujemy podobnie jak podczas wprowadzania standardowego profilu. W pierwszej kolejności otwieramy okno dialogowe **Nowy przekrój**.



W polu *Baza danych* wybieramy nazwę bazy do której zapisaliśmy profil (np. Utilisateur). Następnie z pola *Przekrój* wybieramy konkretny profil i poprzez klawisz **Dodaj** umieszczamy go w liście aktywnych profili. Teraz zostaje już tylko modelowanie prętów z nowo zaprojektowanymi przekrojami.

Modelowanie profili cienkościennych

Profile cienkościenne coraz częściej znajdują zastosowanie w konstrukcjach budowlanych, co jest oczywiście zasługą ich wielu zalet, z których najważniejszą jest ich stosunkowo mały ciężar.

Niestety pręty takie różnią się w dość znacznym stopniu od profili litych. Cofnijmy się do teorii. Pręt cienkościenny jest to taki pręt, którego jeden wymiar przekroju poprzecznego (grubość) jest nieporównywalnie mały w stosunku do drugiego. Przyjmuje się pręt nazywać cienkościennym, gdy grubość ścianki jest co najmniej ośmiokrotnie mniejsza niż długość linii środkowej przekroju, która z kolei jest co najmniej ośmiokrotnie mniejsza od długości pręta.

Oczywiście taka różnica w geometrii przekroju ma wpływ na jego opis teoretyczny. Nie można stosować tych samych hipotez upraszczających przy opisie teoretycznym prętów cienkościennych jak dla prętów litych. Chodzi tu głównie o zasadę płaskich przekrojów - J. Bernoulliego (przekrój płaski przed przyłożeniem obciążenia pozostaje płaski po jego przyłożeniu i zostaje prostopadły do ugiętej osi), oraz zasadę de Saint Venanta (obciążenie przyłożone na niewielkiej powierzchni zastąpić możemy innym statycznie równoważnym). Konsekwencje są między innymi takie, że w związku ze skomplikowaną teorią opisującą obliczenia dla takich prętów bardzo ciężko algorytmizować. Praktycznie nie ma możliwości stosowania prętów cienkościennych w klasycznej metodzie elementów skończonych, tak aby uwzględnić ich charakterystyczne zachowanie.


Wystarczy sobie przypomnieć, że w metodzie elementów skończonych (a więc również w programie **Robot**) wszystkie elementy prętowe obciążane są w ich osi ciężkości, co już wyklucza stosowanie prętów cienkościennych.

Oczywiście przyjmując pewne uproszczenia i świadomie rezygnując z traktowania danego pręta jako cienkościenny, można w konstrukcji stosować każdy rodzaj pręta, jednak należy wówczas mieć świadomość wszystkich różnic.

Modelowanie profili cienkościennych w programie **Robot** polega na wyliczeniu charakterystyk dla dowolnego przekroju cienkościennego, ze szczególnym uwzględnieniem charakterystyk wycinkowych. W dalszej części podane są kolejne etapy projektowania takiego profilu.

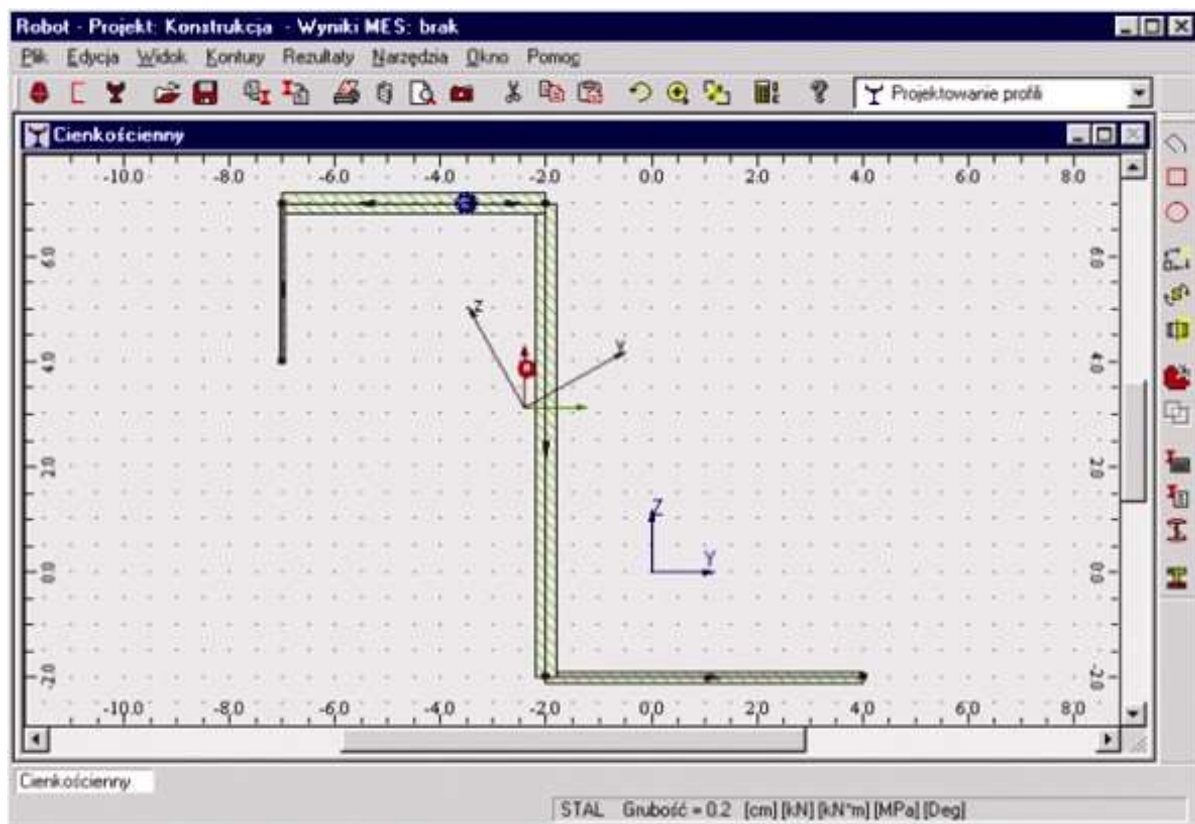
Definicja geometrii

W oknie głównym modułu **Projektowanie profili** możemy samodzielnie narysować dowolny przekrój cienkościenny. Kształt definiowanego profilu zazwyczaj tworzone są przy pomocy opcji: **Wielokąt**.

Wielokąt (menu *Kontury / Wielobok* lub ikona ) pozwala na narysowanie różnego typu wieloboków (linii, łuków). Linia lub łuk mogą być zdefiniowane graficznie (należy klikać lewym klawiszem myszki wskazując punkty charakterystyczne linii lub łuku) lub wpisując współrzędne charakterystycznych punktów linii lub łuku z klawiatury w odpowiednich polach edycyjnych okna dialogowego (patrz rysunek poniżej).



W oknie tym dostępne jest pole *Grubość*. Rysując odcinek określamy położenie linii środkowej danej ścianki, a jej grubość jest brana właśnie z pola *Grubość*. Pozwala to na definicję przekroju, którego poszczególne ścianki mają różne długości i grubości. Rysować możemy przekroje zarówno otwarte jak i zamknięte.



Jeżeli kontur definiowany będzie przy pomocy linii, to istnieje możliwość określania w narożach konturu zaokrągleń. Po zdefiniowaniu linii konturu w oknie dialogowym pojawia się opcja *Promień zaokrąglenia*. Jeżeli zostanie ona włączona, to w narożu konturu utworzone zostanie zaokrąglenie o podanym promieniu. Opcja *Relatywnie* powoduje, że współrzędne nowego punktu mogą być wpisywane jako relatywne do poprzedniego punktu.

Modyfikacje

Podobnie jak dla profili litych mamy możliwość przeprowadzania modyfikacji geometrii i materiału. Do zmiany położenia zdefiniowanych elementów wykorzystane mogą być te same opcje edycyjne jak dla profili litych: *Translacja*, *Rotacja*, *Symetria* i *Skalowanie*.

Również same gałęzie można zmodyfikować za pomocą opcji: **Modyfikacja punktów** oraz **Modyfikacja elementów**. Działają one również dokładnie tak samo jak dla profili litych.

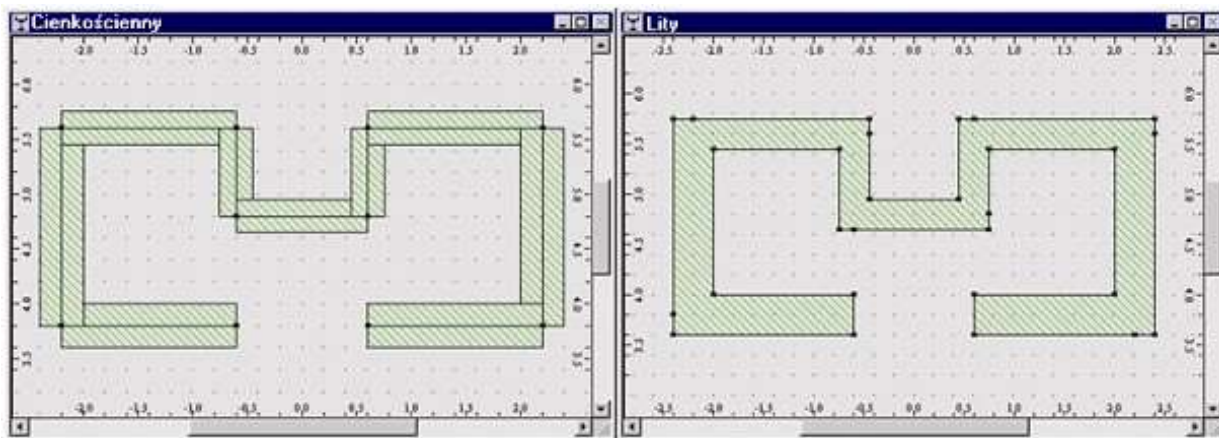
Aby zmienić grubości ścianek jak również materiał, korzystamy z opcji **Właściwości** (menu *Kontury / Właściwości*). Jeśli zaznaczymy sobie wcześniej jedną z gałęzi (ewentualnie kilka, lecz o tej samej grubości) otworzy się okno dialogowe, w którym można zmienić grubość oraz współrzędne poszczególnych punktów.



Aby zmienić materiał musimy zaznaczyć wcześniej cały przekrój. (Najłatwiej zrobić to naciskając lewy przycisk myszy i trzymając go wciśnięty zaznaczyć oknem wszystkie elementy). Jest to spowodowane tym, iż wszystkie gałęzie muszą być wykonane z tego samego materiału. Gdy wywołamy opcję **Właściwości** z zaznaczonym całym przekrojem, otworzy się to samo okno dialogowe, jednak tylko z możliwością zmiany materiału.

Podobnie jak dla profili litych istnieje możliwość zmiany wyświetlania charakterystycznych elementów. Służy do tego ta sama opcja **Atrybuty widoku** (menu *Widok / Atrybuty*). Po jej uruchomieniu pojawia się okno dialogowe, w którym możemy zdecydować, czy chcemy wyświetlić numery węzłów charakterystycznych, oznaczenie układu współrzędnych oraz punktów charakterystycznych, jak również wyłączyć wyświetlanie grubości gałęzi profili.

Po zamodelowaniu profilu cienkościennego zawsze istnieje możliwość skonwertowania jego geometrii do modułu projektowania profili litych. Służy do tego opcja **Konwersja do litego** (menu *Kontury / Konwersja do litego*). Po jej wywołaniu program automatycznie przechodzi z modułu projektowanie przekrojów cienkościennych do modułu projektowanie przekrojów litych, a poszczególne gałęzie inteligentnie zamieniane są w kontury (patrz rysunek).




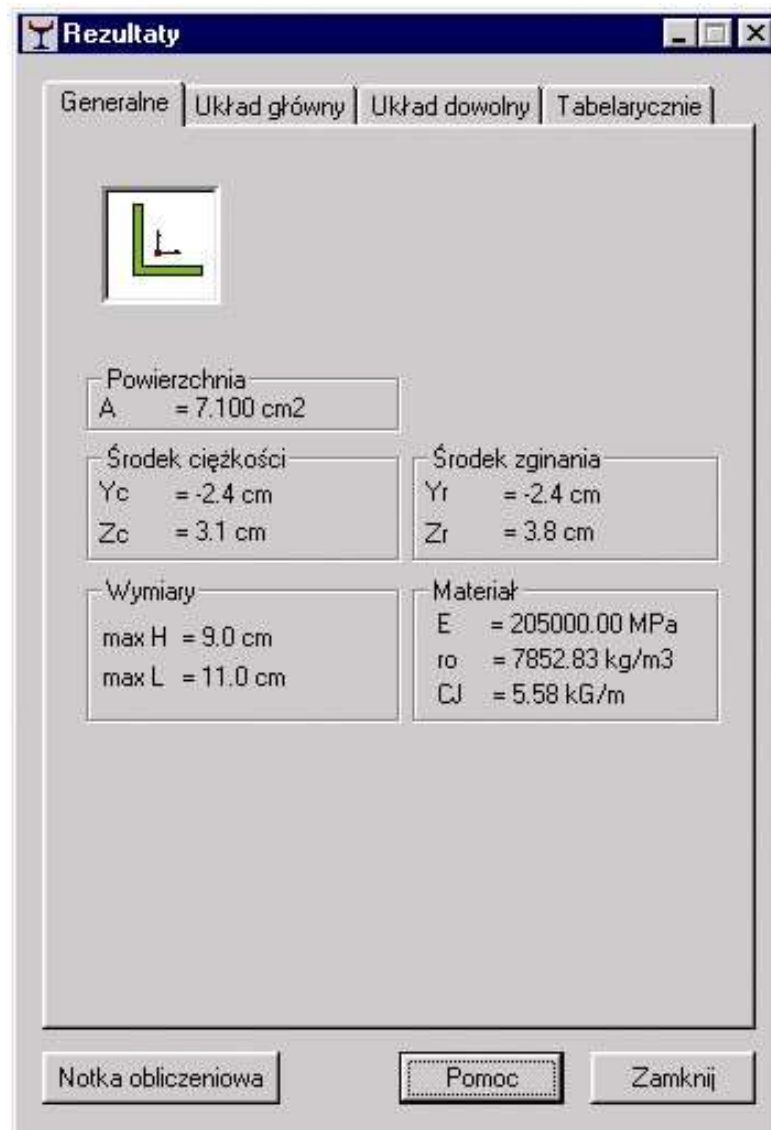
Rezultaty

Przy obliczaniu wielkości charakterystycznych geometrii przekrojów cienkościennych wykorzystywana jest metoda oparta na założeniu redukcji przekroju poprzecznego do linii środkowej przekroju, każdemu punktowi której przypisana jest masa: $m(s) = \rho(s) d(s) = 1 \cdot d(s)$, gdzie $d(s)$ jest grubością ścianki przekroju, natomiast s jest współrzędną wycinkową na linii środkowej. Cienkościenny przekrój poprzeczny jest traktowany jako jednowymiarowa figura i jest podzielony na dowolną, ale skończoną liczbę odcinków i/lub łuków.

Część wyników dla profili cienkościennych jest tego samego typu jak dla litych (charakterystyki geometryczne), a część jest wyliczana jest tylko dla tych profili (charakterystyki wycinkowe).

Wywołanie opcji **Rezultaty** (menu *Rezultaty / Charakterystyki geometryczne / Rezultaty* lub z paska

narzędziowego ) powoduje rozpoczęcie obliczeń zdefiniowanego profilu. W oknie graficznym prezentowane jest wówczas położenie centralnego i głównego układu współrzędnych, a na ekranie pojawia się okno dialogowe **Rezultaty**.



W oknie tym znajdują się cztery zakładki: *Generalne*, *Układ główny*, *Układ dowolny*, *Tabelarycznie*. Na zakładce *Generalne* wyniki obejmują następujące wielkości:

- pole powierzchni: A
- współrzędne środka ciężkości: Y_c , Z_c
- współrzędne środka zginania: Y_r , Z_r
- wymiary: max H, max L
- parametry materiału bazowego (moduł Younga - E, gęstość - ρ , ciężar na jednostkę - CJ).

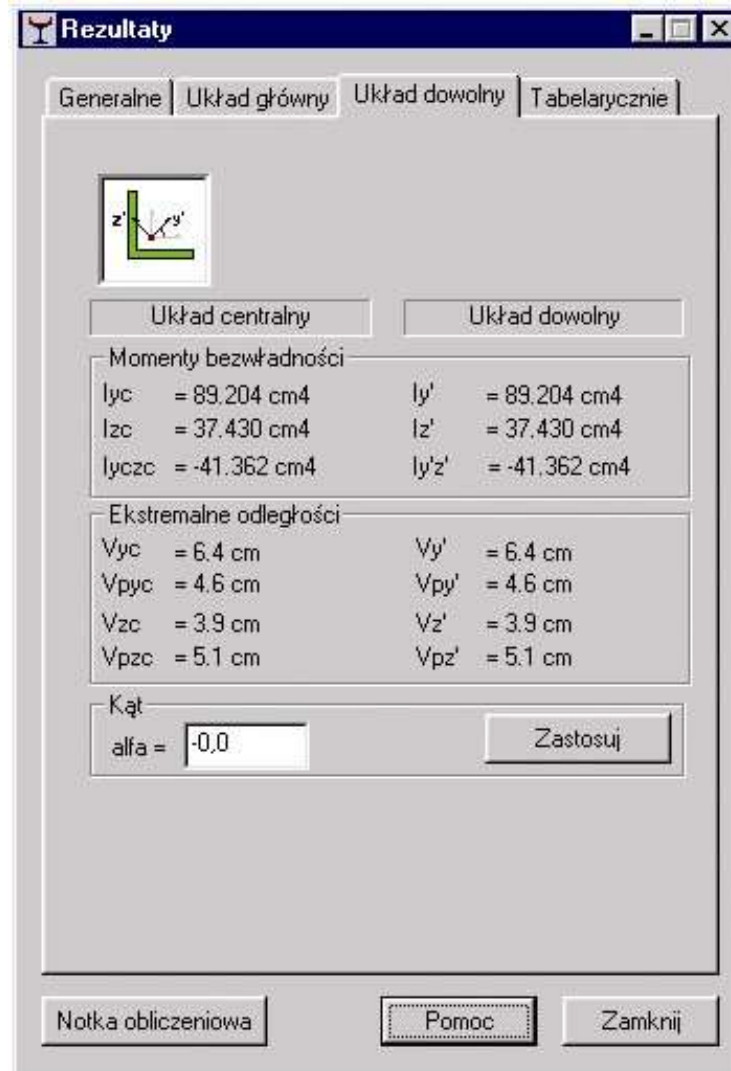
Na zakładce *Układ główny* prezentowane są charakterystyki geometryczne cienkościennego przekroju poprzecznego oraz charakterystyki wycinkowe względem głównego układu współrzędnych. Kąt obrotu pomiędzy osią y' układu głównego a osią Y jest podawany polu alfa.



Na tej zakładce prezentowane są następujące wielkości:

- momenty bezwładności w układzie głównym: I_x , I_y , I_z
- moment wycinkowy i odśrodkowe momenty wycinkowe: I_ω , $I_{\omega y}$, $I_{\omega z}$
- ekstremalne odległości skrajnych włókien przekroju od osi Z i Y: V_y , V_{py} , V_z , V_{pz}
- kąt nachylenia pierwszej osi głównej względem dodatniego kierunku globalnej osi Y: alfa.

Na zakładce *Układ dowolny* prezentowane są charakterystyki geometryczne cienkościennego przekroju poprzecznego w układzie centralnym i dowolnym. Kąt obrotu pomiędzy osią y' zdefiniowanego przez użytkownika układu, a osią Y jest podawany przez użytkownika w polu edycyjnym *Kąt*.



Na zakładce tej prezentowane są następujące wielkości:

- momenty bezwładności i dewiacji dla układu centralnego: I_{yc} , I_{zc} , I_{yczc}
- momenty bezwładności i dewiacji dla układu dowolnego: $I_{y'}$, $I_{z'}$, $I_{y'z'}$
- ekstremalne odległości skrajnych włókien przekroju od osi Z_c i Y_c : V_{yc} , V_{pyc} , V_{zc} , V_{pzc}
- ekstremalne odległości skrajnych włókien przekroju od osi z' i y' : $V_{y'}$, $V_{py'}$, $V_{z'}$, $V_{pz'}$
- kąt obrotu pomiędzy osią y' zdefiniowanego przez użytkownika układu, a osią Y : alfa.


Na zakładce *Tabelarycznie* okna dialogowego **Rezultaty** prezentowane są charakterystyki geometryczne cienkościennego przekroju poprzecznego w formie tabelarycznej.

	Y	Z	OMEGA	SY	SZ	SOMEGA	A
1	3.1	-7.6	-27.097	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-2.1	-4.7	7.999	7.371	-0.593	11.459	-1.20
3	2.2	3.2	4.787	10.079	-0.774	-11.557	-4.80
4	-2.1	5.6	-10.966	1.288	-0.861	-5.379	0.300
5	-3.6	3.0	-24.895	0.000	-0.000	0.000	0.000
6	0.9	3.9	0.000	7.920	-1.726	-13.012	1.690

Na zakładce prezentowana jest tabela, w której dla charakterystycznych punktów profilu cienkościennego prezentowane są następujące informacje:

- współrzędne linii środkowej profilu: y, z
- współrzędna wycinkowa: ω
- momenty statyczne: S_y , S_z • wycinkowy moment statyczny: S_ω
- pole powierzchni: A.

Podobnie jak dla profili litych po wyliczeniu charakterystyk możemy wygenerować dokument w postaci notki w wewnętrznym edytorze tekstowym. Można to uczynić naciskając w klawisz **Notka obliczeniowa** w oknie **Rezultaty**, albo wywołać z menu *Rezultaty / Charakterystyki geometryczne / Notka Obliczeniowa*


lub też z ikonki .

Program otworzy wówczas okno edytora tekstowego z wynikami, a wśród nich:

- rysunek profilu
- opis geometrii (współrzędne punktów charakterystycznych i opisy krawędzi)
- wszystkie rezultaty z zakładek: *Generalne*, *Układ główny*, *Układ dowolny* i *Tabelarycznie*.

Dokument taki możemy poddać edycji, wydrukować, zapisać w formacie RTF lub też zrobić zrzut ekranu (menu edytora *Plik / Zrzuc ekran*) w celu dołączenia notki do zrzutów w dokumentacji konstrukcji. Dodatkową opcją służącą analizie rezultatów jest możliwość graficznej prezentacji charakterystycznych dla profili cienkościennych.

W tym celu należy uruchomić opcję **Wykresy** (menu *Rezultaty / Charakterystyki geometryczne / Rezultaty*

graficzne lub ikona .

Okno dialogowe, które pojawia się na ekranie po wybraniu tej opcji, składa się z dwóch zakładek: *Charakterystyki* oraz *Parametry*.



Na zakładce *Charakterystyki* wybrane mogą zostać charakterystyki profilu cienkościennego dla których prezentowane będą wykresy:

Geometryczne:

- współrzędne linii środkowej profilu w funkcji współrzędnej łukowej: $y(s)$ i $z(s)$
- współrzędne wycinkowe w funkcji współrzędnej łukowej: $\omega(s)$. Wyznaczone charakterystyki:
- momenty statyczne w funkcji współrzędnej łukowej: $S_y(z)$, $S_z(z)$
- wycinkowy moment statyczny w funkcji współrzędnej łukowej: $S\omega(s)$
- pole powierzchni w funkcji współrzędnej łukowej: Powierzchnia $A(s)$.

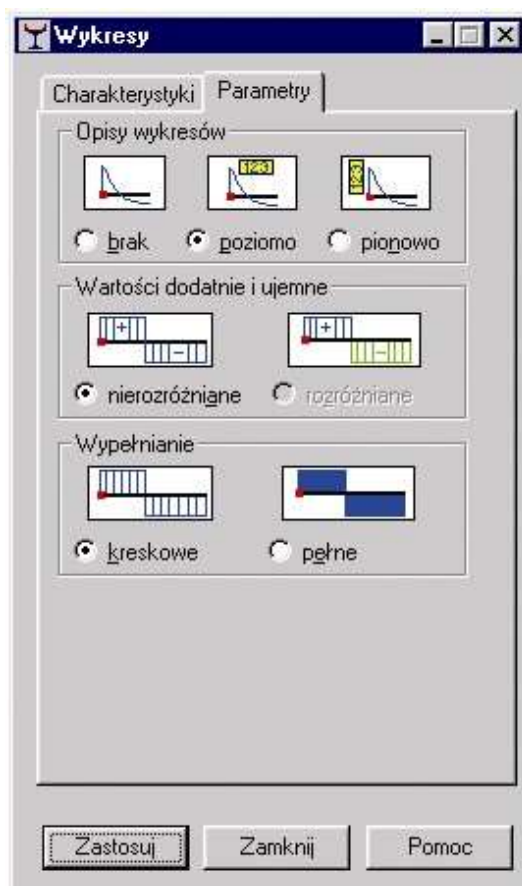
Natomiast poniżej znajdują się następujące opcje:

1. *Środek ciężkości* - włączenie tej opcji powoduje, że na ekranie graficznym prezentowane będzie położenie środka ciężkości profilu
2. *Środek zginania* - włączenie tej opcji powoduje, że na ekranie graficznym prezentowane będzie położenie środka zginania
3. *Główny zerowy punkt* - włączenie tej opcji powoduje, że na ekranie graficznym prezentowane będzie położenie punktu zerowego ($s=0$)
4. *Kierunek grafu* - włączenie tej opcji powoduje, że na ekranie graficznym prezentowany będzie dla profilu kierunek grafu.

W dolnej części okna znajdują się opcje:

- **Skala** - - naciśnięcie tego klawisza powoduje, że zwiększana jest liczba jednostek na 1 cm wykresu wybranej wielkości
- **Skala +** - naciśnięcie tego klawisza powoduje, że zmniejszana jest liczba jednostek na 1 cm wykresu wybranej wielkości
- **Stała skala** - naciśnięcie tego klawisza powoduje, że ta sama skala zostanie wybrana dla wszystkich prezentowanych wykresów
- **Wszystko** - naciśnięcie tego klawisza powoduje, że prezentowane będą wykresy wszystkich wielkości
- **Nic** - naciśnięcie tego klawisza powoduje, że nie będzie prezentowany wykres żadnej wielkości
- **Normalizuj** - naciśnięcie tego klawisza powoduje, że wykresy wybranej wielkości będą prezentowane w taki sposób, że skala dostosowywana będzie do maksymalnej i minimalnej wartości wybranej wielkości.

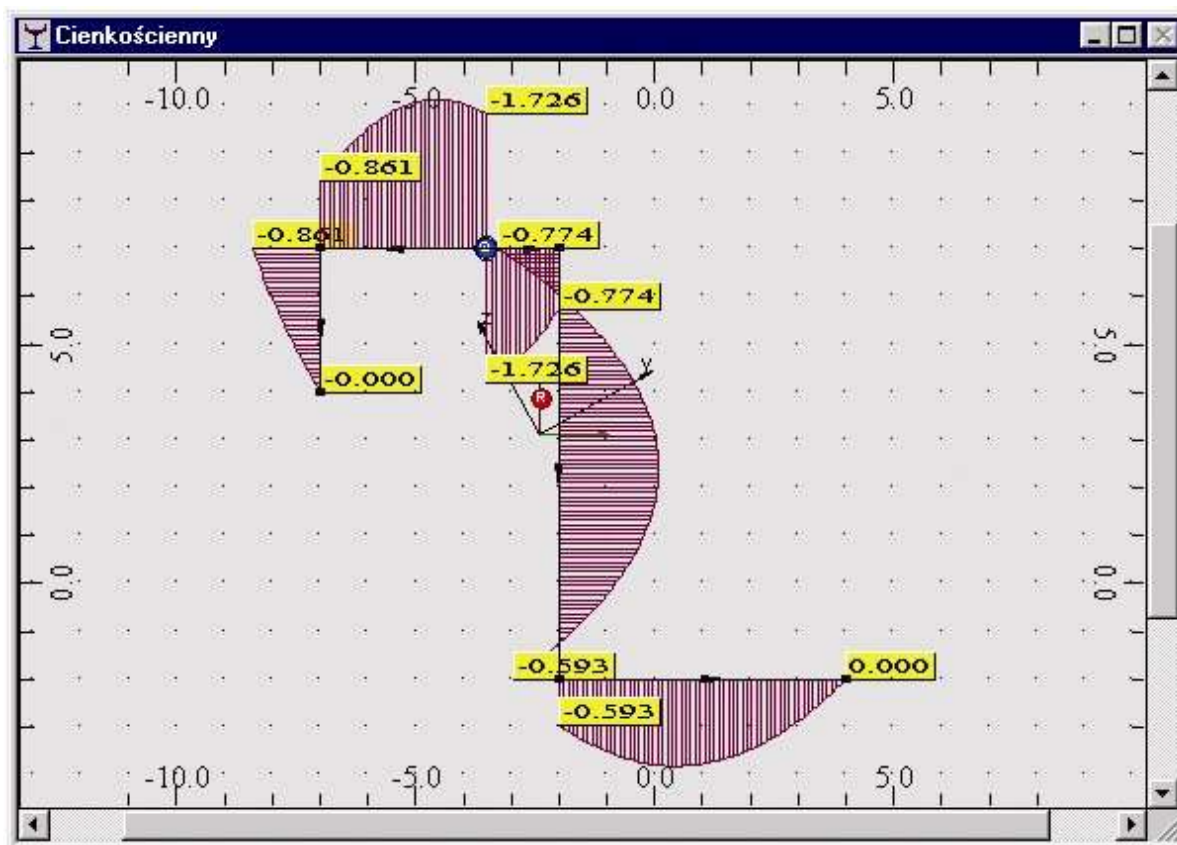
Na zakładce *Parametry* w może być wybrany sposób prezentacji wykresów na konstrukcji.




W polu *Opisy wykresów* można zdecydować, w jaki sposób prezentowane na wykresie będą opisy wartości.

W polu *Wartości dodatnie i ujemne* można zdecydować, czy kolorem rozróżniane będą dodatnie i ujemne wartości prezentowanej wielkości.

Natomiast w polu *Wypełnianie* można określić sposób wypełnienia wykresu.



Podobnie jak dla profili litych można na zakończenie procesu projektowania przekroju cienkościennego przeprowadzić analizę naprężeń (menu *Rezultaty / Analiza naprężeń* lub ikona ). Dany przekrój jest wówczas przetrzucony do modułu analizy naprężeń, gdzie można między innymi wyliczyć ekstremalne naprężenia uzyskane w wybranym przekroju poprzecznym pręta.

Profile cienkościenne możemy oczywiście zapisywać do baz profili użytkownika (patrz **Zapis do baz** dla profili litych). Należy jedynie mieć wówczas świadomość różnic pomiędzy prętami litymi i cienkościennymi podczas stosowania w modelu konstrukcji. Również nie wszystkie charakterystyki przekrojowe są wówczas zapisywane w bazie (np. pole powierzchni czynnej na ścinanie, które nie jest liczone dla profili cienkościennych). Oczywiście pręty cienkościenne traktowane będą podczas obliczeń konstrukcji jako pręty wykonane z profili litych.

Poza zapisem profili do bazy można, podobnie jak dla profili litych, zapisać geometrię przekroju do pliku z rozszerzeniem SEC (menu *Plik / Zapisz* lub *Zapisz jako*). Dzięki temu można w dowolnym momencie powrócić do geometrii projektowanego profilu, na przykład w celu dokonania pewnych modyfikacji i ponownego przeliczenia.