

R3D3-Rama 3D v 3.0

podręcznik użytkownika

Wydawca

INTERsoft Sp. z o.o
ul. Sienkiewicza 85/87
90-057 Łódź
www.intersoft.pl

Prawa Autorskie

Zwracamy Państwu uwagę na to, że stosowane w podręczniku określenia software-owe i hardware-owe oraz nazwy markowe danych firm są prawnie chronione.

Program komputerowy oraz podręcznik użytkownika zostały opracowane z najwyższą starannością i przy zachowaniu wszelkich możliwych środków kontrolnych.

Pomimo tego nie można całkowicie wykluczyć wystąpienia błędów.

Pragniemy w związku z tym zwrócić uwagę na to, że nie możemy udzielić gwarancji, jak również ponosić prawnej odpowiedzialności za wynikię stąd skutki. Za podanie nam ewentualnych błędów będziemy wdzięczni.

This product includes software developed by L2FProd.com
(<http://www.L2FProd.com/>).

Spis treści

1	<i>Wprowadzenie</i>	7
1.1	O programie	7
1.2	Cechy i możliwości programu	7
1.3	Główne zmiany i rozszerzenia dotychczasowych funkcji w wersji 3.0	9
2	<i>Instalowanie i uruchamianie programu</i>	15
2.1	Wymagania sprzętowe	15
2.2	Instalowanie	15
2.3	Uruchamianie	15
2.4	Ekran programu	16
2.5	Otwieranie projektu	19
2.6	Zapis projektu	19
2.7	Dołącz projekt	20
2.8	Import DXF	21
2.9	Wyszukiwanie węzłów swobodnych	22
3	<i>Podstawy</i>	23
3.1	Elementy projektu	23
3.1.1	Węzły i pręty	23
3.1.2	Układy lokalne prętów	23
3.1.3	Ustawianie kierunku układu lokalnego	24
3.1.4	Grupowanie prętów	24
3.1.5	Profile	26
3.1.6	Przeguby	27
3.1.7	Podpory	27
3.1.8	Obciążenia	28
3.1.9	Grupy obciążeń	29
3.1.10	Grupy obciążeń typu „multi”	29

Wprowadzenie

3.1.11	Zależności grup obciążeń.....	32
3.2	Wizualizacja.....	32
3.3	Szczegółowa wizualizacja 3d.....	33
3.4	Wprowadzanie danych o geometrii.....	33
3.5	Pomoce rysunkowe przy tworzeniu konstrukcji	34
3.5.1	Siatka	34
3.5.2	Dociąganie	35
3.5.3	Blokowanie kursora	35
3.5.4	Pierwszy węzeł.....	35
3.5.5	Tryb „Między węzłami	36
3.6	Generatory konstrukcji.....	36
3.7	Generator kratownic.....	36
3.7.1	Kratownice płaskie.....	37
3.7.2	Wieże kratowe	39
3.8	Selekcja węzłów, prętów i obciążeń.....	41
3.9	Menu kontekstowe	42
3.10	Kopiowanie	43
3.11	Obrót i lustro	44
3.12	Ukrywanie prętów	46
3.13	Obliczanie naprężeń normalnych	46
3.13.1	Naprężenia w przekroju	48
3.14	Raporty	50
3.15	Tworzenie animacji deformacji	52
3.16	Właściwości projektu	52
3.17	Ustawienia.....	53
4	<i>Przekroje elementów.....</i>	55
4.1	Manager przekrojów	55
4.2	Przekroje tablicowe.....	56

4.3	Biblioteka użytkownika	57
4.4	Przekroje o dowolnym kształcie	58
4.5	Edycja	58
5	<i>Tworzenie przykładowej konstrukcji</i>	63
5.1	Opis konstrukcji	64
5.2	Przygotowanie	64
5.3	Użycie generatora ram	64
5.4	Usuwanie zbędnych prętów	67
5.5	Generator łuków	67
5.6	Wprowadzanie przegubów	69
5.6.1	Połącz pręty	70
5.6.2	Odłącz pręty	71
5.6.3	Dołącz pręty do podpory	71
5.7	Rysowanie prętów połączonych przegubami	72
5.8	Dzielenie prętów węzłami	73
6	<i>Modyfikowanie wprowadzonego układu</i>	75
6.1	Informacje o geometrii i obciążeniach	75
6.2	Modyfikacje prętów	75
6.3	Modyfikacje podparcia	76
7	<i>Obciążenia układu</i>	78
7.1	Grupy obciążeń	78
7.2	Zależności grup obciążeń	79
7.3	Wprowadzenie obciążeń	80
7.4	Modyfikacje wprowadzonych obciążeń	84
7.5	Zmiany w obciążeniach wywołane zmianą geometrii układu	85
8	<i>Analiza wyników</i>	87

Wprowadzenie

9 Przykładowy raport wyników obliczeń..... 90

1 WPROWADZENIE

1.1 O PROGRAMIE

Program *R3D3-Rama 3D* służy do przeprowadzania obliczeń statycznych przestrzennych układów prętowych. Dzięki wygodnemu i przejrzystemu interfejsowi użytkownika program można wykorzystywać nie tylko w projektowaniu, ale i do celów edukacyjnych.

Wprowadzanie danych w programie jest intuicyjne - geometrię układu można zdefiniować używając wyłącznie myszki. Dostępne są generatory podstawowych konstrukcji. W programie zawarta jest biblioteka stalowych przekrojów walcowanych, elementów żelbetowych i drewnianych. Narysowanie dość skomplikowanego układu to kwestia minut, obliczenia i prezentacja danych odbywają się w czasie rzeczywistym (dla niedużych układów - do stu prętów). Wyniki prezentowane są na ekranie w postaci graficznej oraz numerycznej. Widok układu można płynnie powiększać i obracać - można obejrzeć go z dowolnej pozycji.

Istnieje możliwość eksportu danych do formatu RTF akceptowanego przez większość edytorów tekstu. Dodatkowo można zapisać animację deformacji układu.

1.2 CECHY I MOŻLIWOŚCI PROGRAMU

- Obliczenia statyczne przestrzennych układów prętowych o stałym przekroju pręta na długości.
- Możliwość w pełni graficznego zadawania i modyfikacji danych jedynie na płaszczyźnie 2D ekranu, z możliwością przełączania się między płaszczyznami prostopadłymi 3D.
- Możliwość wczytywania układu prętów z przestrzennego rysunku DXF.
- Pomoce rysunkowe: przyciąganie do siatki, przyciąganie do węzłów.
- Możliwość precyzyjnego określania współrzędnych z klawiatury.
- Możliwość przełączania między perspektywą, a rzutem równoległym.

Wprowadzenie

- Powiększanie układu i jego dowolne obracanie w czasie rzeczywistym.
- Możliwość rysowania układów prętowych polilinią o węzłach sztywnych i przegubowych.
- Grupowe możliwości modyfikacji węzłów, prętów i obciążeń.
- Narzędzia do edycji wprowadzonych danych takie jak: wielokrotne kopiowanie w kierunku zadanego wektora (z ciągnięciem lub bez), przesuwanie, odsuwanie, usuwanie prętów i węzłów, obracanie, odbicie lustrzane, cofanie i przywracanie wprowadzonych zmian.
- Możliwość zeszytniania dowolnych grup prętów w węzle oraz prętów i podpór.
- Możliwość grupowania prętów i łatwej selekcji grup.
- Manager profili prętów ze zdefiniowaną biblioteką profili stalowych, żelbetowych, drewnianych oraz możliwością rozszerzania biblioteki o własne profile w danym projekcie.
- Możliwość tworzenia przekrojów prętów o dowolnym kształcie.
- Możliwość wczytywania geometrii przekroju pręta z pliku DXF.
- Dowolne definiowanie materiału pręta. Dostępna biblioteka zawierająca: stal, drewno, aluminium, beton.
- Możliwość tworzenia układów hybrydowych ze względu na materiał.
- Obciążenia: siły skupione, momenty skupione, obciążenia ciągłe, momenty ciągłe, podgrzanie pręta, różnica temperatur, osiadanie podpór, obroty podpór.
- Obciążenia zadawane w grupach obciążeń stałych i zmiennych (pojedynczych lub multi) z możliwością określania współczynników obciążenia.
- Możliwość ustawiania poszczególnych grup obciążeń jako aktywne lub nieaktywne (nieuwzględniane podczas obliczeń), widoczne lub niewidoczne.
- Możliwość określania wzajemnych zależności między grupami obciążeń wykorzystywanych przy budowaniu obwiedni z automatycznym sprawdzaniem ich poprawności.
- Możliwość podziału pręta węzłami na części.
- Automatyczne uwzględnianie ciężaru własnego.
- Pełny zestaw podpór z możliwością określania ich sprężystości.
- Generatory przestrzennych ram prostokątnych, łuków (parabolicznych i kołowych), kratownic płaskich i wież przestrzennych.
- Wyniki dla poszczególnych grup obciążeń, dowolnej kombinacji grup obciążeń oraz obwiednia wyliczana automatycznie przez program.

- Wyznaczanie prawdziwej obwiedni naprężeń normalnych oraz obliczanie naprężeń normalnych dla poszczególnych grup i sumy grup obciążeń.
- Wyznaczanie wykresu naprężeń normalnych w dowolnym punkcie na przekroju pręta,
- Możliwość wizualizacji wyników sił wewnętrznych, reakcji, deformacji i naprężeń normalnych na ekranie monitora (dla całego układu i pojedynczego pręta).
- Możliwość ukrycia części prętów.
- Wizualizacja deformacji układu - animacja w czasie rzeczywistym.
- Tworzenie raportów zawierających wyniki tabelaryczne i graficzne w formacie RTF.
- Możliwość dowolnego ustawiania zakresu raportu i jego formy (czcionki, ramek itp.).
- Zwięzła forma raportów.
- Szerokie możliwości modyfikacji interfejsu, ustawień programu i projektu oraz sposobu prezentacji danych i wyników.

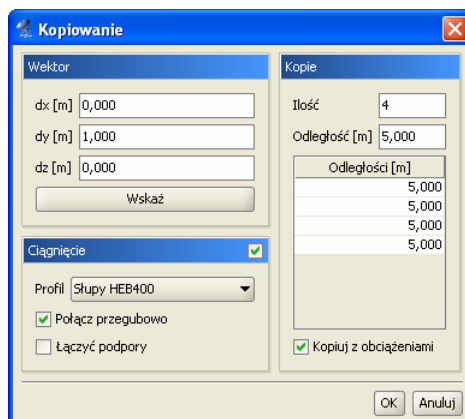
1.3 GŁÓWNE ZMIANY I ROZSZERZENIA DOTYCHCZASOWYCH FUNKCJI W WERSJI 3.0

- Zmieniono formatu zapisu projektów z binarnego na tekstowy XML, z zachowaniem możliwości odczytywania starych projektów. Strukturę pliku danych dowolnego projektu, można podejrzeć w dowolnym edytorze plików XML (np. Internet Explorer) po wcześniejszej zmianie jego rozszerzenia („nazwa.xml” zamiast „nazwa.f3d”).
- Zmieniono sposób liczenia prętów o przekrojach, dla których osie główne przekroju nie pokrywają się z osiami lokalnego układu współrzędnych. Dla tego typu prętów w czasie obliczeń tworzony jest wewnętrzny, zastępczy, lokalny układ współrzędnych o osiach pokrywających się z osiami głównymi przekroju, do którego transformowane są obciążenia a następnie dla tak zdefiniowanego układu liczone siły wyjściowe, wykonywane są obliczenia, a następnie wartości wynikowe sił wewnętrznych i przemieszczeń transformowane są ponownie z zastępczego, lokalnego układu współrzędnych do lokalnego układu współrzędnych zdefiniowanego przez użytkownika. Zmiana ta pozwala użytkownikowi na dowolne

Wprowadzenie

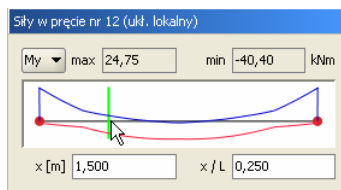
definiowanie lokalnego układu współrzędnych, niezależnie od osi głównych przekroju.

- Rozbudowano opcję ustawień programu o możliwość definiowania koloru tła w widoku 3D.
- Funkcja kopiuj może powielać zaznaczone pręty wraz z obciążeniami. Funkcje kopiowania, przesuwania i odsuwania, dostępne na prawym klawiszu myszki kopiują, przesuwają lub odsuwają zaznaczone elementy w następujący sposób: pręty jeśli zaznaczone są tylko pręty lub pręty wraz z przyłożonymi na nich obciążeniami jeśli zaznaczone są pręty i obciążenia na nich przyłożone. Nie mogą być tą metodą kopiowane same obciążenia. Funkcja kopiowania wielokrotnego niezależnie od tego czy zaznaczone są same pręty czy pręty wraz z obciążeniami, kopiuje albo same pręty, albo pręty wraz z obciążeniami w zależności od ustawienia znacznika „**Kopiuj z obciążeniami**” w oknie dialogowym kopiowania wielokrotnego.



Rys. 1.1 Kopiowanie prętów wraz z obciążeniami

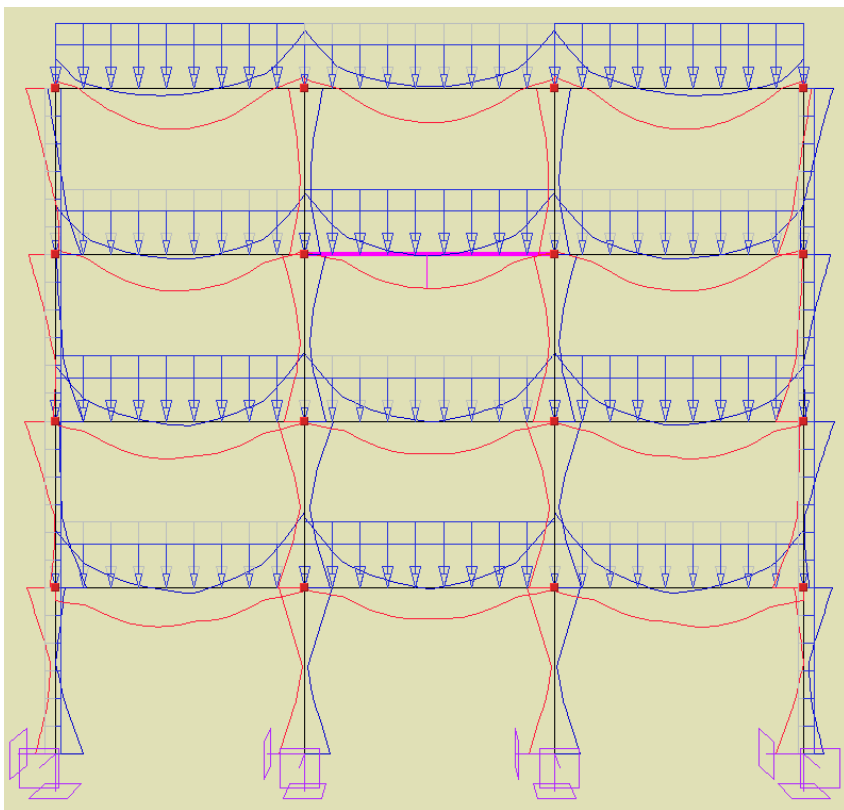
- Zmiana definicji współczynnika obciążenia dla grup obciążeń zmiennych z min na max (w programie i raportach).
- Zrezygnowano na zakładce **Wyniki** z suwaka pod rysunkiem wykresów sił w wybranym przecie, na rzecz suwaka umieszczonego bezpośrednio na rysunku (w postaci zielonej pionowej kreski), oraz dołożono wyświetlanie numeru pokazanego pręta w nagłówku .



Rys. 1.2 Nowy suwak bezpośrednio na wykresie

- Ze względu na dołożenie grup obciążeń typu „multi” (opisanych poniżej) użytkownik pozbawiony został, w przypadku ich użycia, oceny dokładnego przypadku obciążenia budującego dane ekstremum obwiedni (na zakładce wyniki wyświetlane są jedynie nazwy zdefiniowanych grup, bez uwzględnienia numerów wewnętrznych podgrup). Aby tą niedogodność zniwelować, wprowadzono dodatkowo w ustawieniach programu możliwość wizualizacji schematów obciążeń budujących dane ekstremum obwiedni. Aby wizualizacja ta była dostępna przy włączonej zakładce wyniki, w ustawieniach programu musi być zaznaczona łącznie wizualizacja obciążeń ciągłych i skupionych oraz schematów obciążeń. Zmiana wybranego pręta układu, rodzaju siły wewnętrznej oraz punktu na analizowanym pręcie, powoduje automatyczne dostosowanie wyświetlanego schematu obciążenia do aktualnego ekstremum obwiedni.

Wprowadzenie



Rys. 1.3 Schemat obciążenia budujący ekstremum gnącego momentu przęsłowego w zaznaczonym ryglu

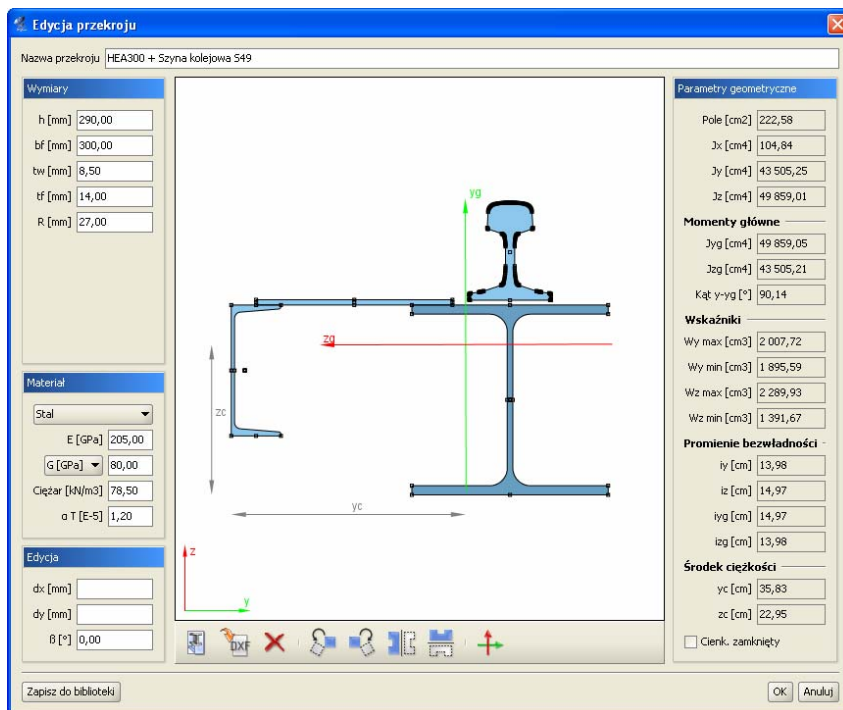
- Dołożenie w funkcji *Właściwości projektu* informacji o ilościach grup obciążeń stałych, zmiennych i typu „multi” występujących projekcie.

Projekt	
Autor	pw
Tytuł	
Statystyka	
Geometria	
Szerokość (x) [m]	16,000
Długość (y) [m]	32,000
Wysokość (z) [m]	7,000
Węzłów	132
Prętów	386
Profili	8
Suma obciążeń	
Kierunek x [kN]	336,62
Kierunek y [kN]	-0,00
Kierunek z [kN]	-3 604,84
Ciężar [kN]	537,65
Grup stałych:	3
Grup zmiennych:	1
Grup multi:	0

Rys. 1.4 Informacja o ilości grup obciążeń w projekcie

- Dodano możliwości ukrywania wybranej części układu, wraz z możliwością zmian fragmentu ukrytego, bezpośrednio na zakładce wyniki, bez potrzeby ponownych obliczeń układu (ukrywanie części układu – dostępne jest w tej opcji tylko za pomocą okna przycinającego lub obejmującego, bezpośredni wybór pręta jak wcześniej wybiera pręt do wizualizacji wyników). Opcja ta pozwala sterować ilością wydawanych w raportach wyników bez potrzeby ponownego przeliczania układu (wyniki wydawane są tylko dla widocznej w danej chwili części układu).
- Zmiany w oknie **Edycji przekroju** obejmują: dodanie możliwości usuwania zaznaczonych profili klawiszem Delete, dodanie wyświetlania promieni bezwładności przekroju i położenia środka ciężkości, oraz wprowadzenie blokady wyjścia z okna edycji przy nieprawidłowym określeniu któregoś z wymiarów profilu. Wprowadzono również zasadę, że przy wczytywaniu profilu z pliku „dxP”, jako nazwa profilu przyjmowana jest domyślnie nazwa pliku „dxP”.
- Rozbudowa i uzupełnienie biblioteki profili stalowych walcowanych i zimnogiętych na podstawie katalogów firm: ARCELOR GROUP i STALPRODUKT S.A.

Wprowadzenie



Rys. 1.5 Okno Edycji przekroju

- W przypadku analizy wyników prowadzonej na ekranie, dla poszczególnych grup i sumy grup obciążeń, uaktywniono górne przełączniki min/max na zakładce **Wyniki**. Mogą one w tym trybie przyjmować trzy stany: oba wyłączone lub włączony jeden z nich, co odpowiada wyświetlaniu wyników charakterystycznych lub obliczeniowych (ze współczynnikami obciążenia odpowiednio min lub max) dla wybranych grup lub sumy grup obciążeń. Wyniki dla grup i sumy grup w raportach podawane są zawsze jako charakterystyczne (bez współczynników obciążenia).
- Zablokowano możliwość wpisywania ujemnych wartości sprężystości podpór.
- Zmodyfikowano funkcję kopiowania i przesuwania pręta o zachowanie takich właściwości: jak ustawienie lokalnego układu współrzędnych oraz sposób połączenia z innymi prętami układu (przegubowy lub sztywny).

2 INSTALOWANIE I URUCHAMIANIE PROGRAMU

2.1 WYMAGANIA SPRZĘTOWE

- komputer z jednym z następujących systemów operacyjnych: Windows 98 lub nowszy, Solaris 8 lub nowszy, Linux,
- 150MB wolnej przestrzeni na dysku,
- 256MB pamięci operacyjnej (zalecane 512 MB lub 1024 MB przy obliczeniach układów z większą ilością elementów - kilkaset węzłów),
- zalecany procesor 1 GHz lub szybszy,
- minimalna rozdzielczość ekranu monitora 1024 x 768.

2.2 INSTALOWANIE

Standardowo instalacja programu uruchamia się automatycznie po włożeniu płyty CD do napędu. W przypadku gdy wyłączony jest *Autostart* należy samodzielnie uruchomić instalację. Należy otworzyć zawartość napędu CD (*Mój komputer/Stacja dysków CD*), a następnie uruchomić plik *Setup.exe*. Po rozpoczęciu instalacji należy postępować zgodnie z instrukcjami wyświetlanymi na ekranie.

2.3 URUCHAMIANIE

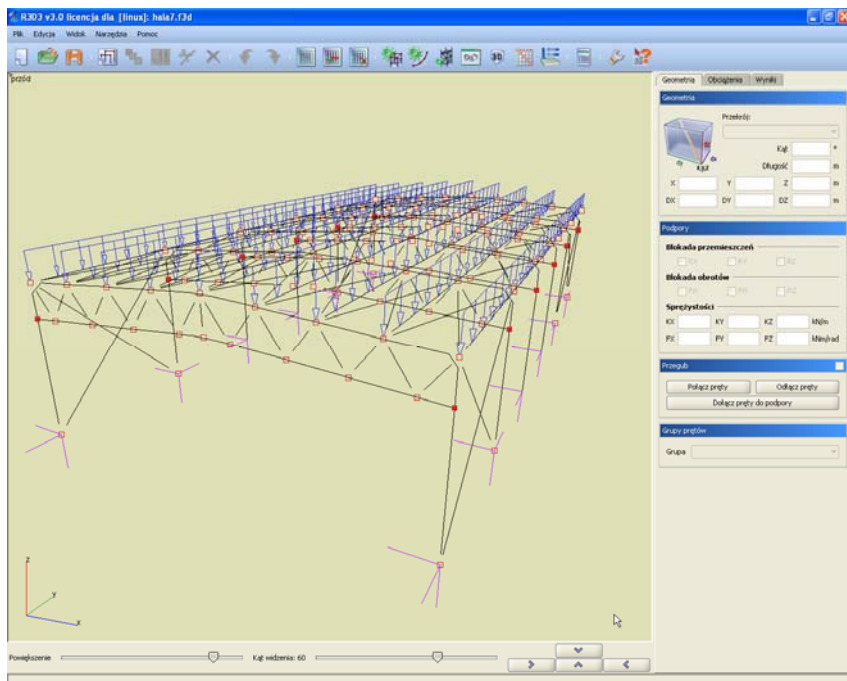


Program można uruchomić klikając dwukrotnie na ikonę programu znajdującą się na *Pulpicie*.

Instalowanie i uruchamianie programu

2.4 EKRAAN PROGRAMU

Wygląd okna programu przedstawiony jest na rysunku 2.1.



Rys. 2.1 Główne okno programu

W głównej części okna znajduje się pole używane do prezentacji oraz wprowadzania układu. Po prawej stronie znajdują się zakładki *Geometria*, *Obciążenia*, *Wyniki*, zawierające poszczególne funkcje programu. Poniżej suwaki do regulacji powiększenia, kąta patrzenia oraz przyciski do obracania widoku układu.


















Na górze ekranu znajduje się menu oraz pasek narzędzi zawierający przyciski najczęściej wykonywanych funkcji. Na dole ekranu znajduje się pasek stanu przekazujący informacje z programu.

Ikony znajdujące się na pasku narzędzi:



Usunięcie aktualnego projektu i stworzenie nowego, pustego projektu

Wczytywanie projektu z dysku

-  Zapis projektu na dysk
-  Uruchamianie trybu rysowania prętów o węzłach sztywnych
-  Uruchamianie trybu rysowania prętów o węzłach przegubowych
-  Kopiowanie układu
-  Dodawanie obciążeń
-  Dzielenie prętów węzłami
-  Usunięcie zaznaczonych elementów
-  Cofanie ostatniej operacji
-  Ponowne wykonanie cofniętej operacji
-  Zaznaczenie wszystkich prętów
-  Odwrócenie zaznaczenia prętów
-  Usunięcie zaznaczenia prętów
-  Uruchomienie generatora ram prostokątnych
-  Uruchomienie generatora łuków
-  Uruchamianie generatora kratownic płaskich i wież kratowych
-  Uruchomienie edytora przekrojów
-  Wyświetlenie zaawansowanego podglądu 3D

Instalowanie i uruchamianie programu



Okno zależności grup obciążeń



Grupy obciążeń



Uruchamianie obliczeń

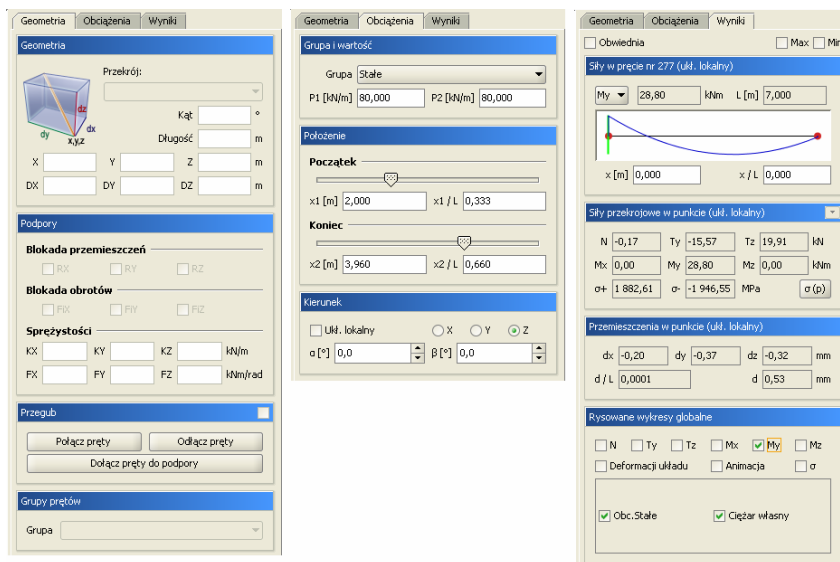


Ustawienia programu i projektu



Pomoc kontekstowa

Funkcje związane z operacjami na prętach, węzłach i podporach umieszczono na zakładce *Geometria*. Pozostałe zakładki to *Obciążenia* i *Wyniki*. Na zakładce *Obciążenia* wprowadzane i edytowane są wartości obciążeń prętowych i węzłowych. Zakładka *Wyniki* zawiera funkcje dotyczące prezentacji wyników obliczeń na ekranie. Zawartość poszczególnych zakładek programu przedstawiona jest na rysunku 2.2.



Rys. 2.2 Zakładki programu

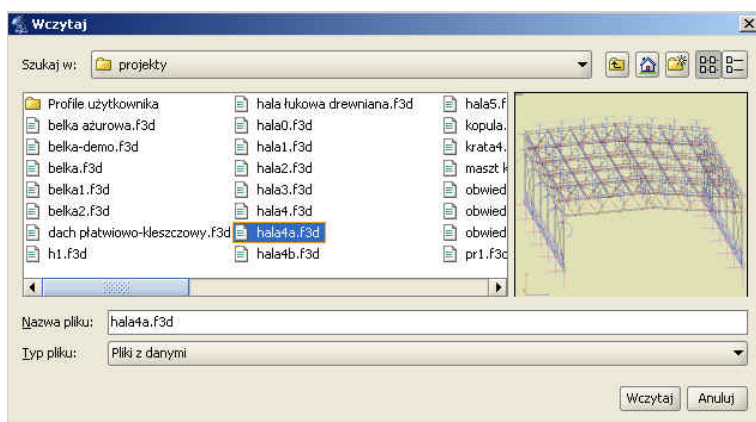


2.5 OTWIERANIE PROJEKTU

Aby wczytać uprzednio zapisany projekt należy wybrać odpowiednią ikonę z paska narzędzi lub wybrać opcje *Wczytaj* menu górnego *Plik*. Okno służące do wyboru pliku pokazane jest na rysunku 2.3.

Po lewej stronie znajduje się lista plików z aktualnego katalogu. Po zaznaczeniu nazwy dowolnego projektu po prawej stronie zostanie wyświetlony podgląd zawartości pliku. Pomaga to szybko odnaleźć szukany projekt.

W menu górnym *Plik* znajduje się lista pięciu ostatnio otwieranych projektów. Dzięki niej szybko można otworzyć projekt, nad którym pracowano wcześniej.



Rys. 2.3 Okno wyboru pliku projektu

2.6 ZAPIS PROJEKTU



W programie istnieją dwie funkcje służące do zapisywania projektu na dysk. Korzystając z funkcji *Zapisz jako* należy każdorazowo przy zapisie podawać nazwę pliku.



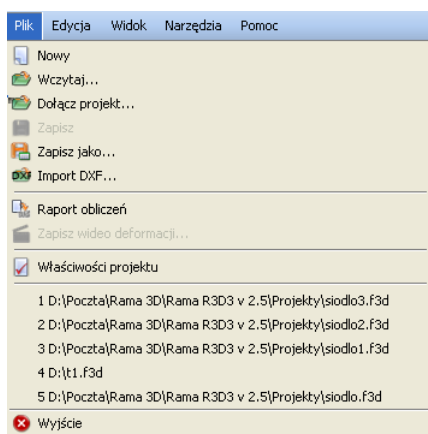
Inaczej działa funkcja *Zapisz*. Wymaga ona podania nazwy pliku tylko w przypadku, gdy nie była ona jeszcze określona. Jeśli projekt został wczytany z dysku lub był już zapisywany (w bieżącej sesji) to nazwa pliku jest znana i nie jest konieczne ponowne jej określenie. Jeśli od ostatniego zapisu w projekcie nie dokonano żadnych zmian to ikona *Zapisz* będzie zablokowana, ponieważ nie ma nic nowego do zapisania. W chwili wprowadzenia jakichkolwiek zmian do projektu ikona zostanie odblokowana pozwalając na zapis.

Instalowanie i uruchamianie programu

Przy próbie zamknięcia programu po wprowadzeniu zmian w projekcie, program wyświetla okno z zapytaniem czy zapisać zmiany na dysku.

2.7 DOŁĄCZ PROJEKT

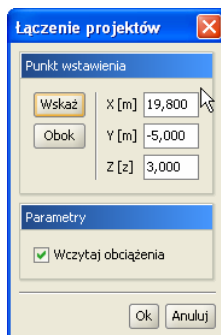
Funkcja **Dołącz projekt** – pozwala na dołączenie do aktualnego projektu, innego projektu wcześniej wykonanego i zapisanego na dysku. Pozwala to na budowanie finalnego projektu z kilku wcześniej wprowadzonych projektów oraz łatwe przechodzenie z projektów mniej do bardziej złożonych. Funkcja wywoływana jest z menu **Plik – Dołącz projekt**.



Rys. 2.4 Menu Plik

Po jej wywołaniu wyświetlone zostanie okno wczytania dowolnego projektu z dysku. Po wyborze projektu i jego zatwierdzeniu pokazane zostanie okno „**Łączenia projektów**” (aktualnego i wczytywanego) zawierające następujące opcje:

Punkt wstawienia – pozwalający na wskazanie (opcja **Wskaż**) lub wpisanie współrzędnych punktu wstawienia dołączanego projektu. Opcja „**Obok**” pozwala na wstawienie dołączanego projektu bez zastanawiania poza gabarytami projektu istniejącego. Należy pamiętać że we wskazanym (podanym) punkcie wstawienia, wstawiany jest początek globalnego układu współrzędnych dołączanego projektu.



Rys. 2.5 Łączenie projektów

Parametr w postaci znacznika **Wczytaj obciążenia** decyduje czy projekt ma być wczytany z obciążeniami czy bez. W przypadku pokrywania się węzłów układu aktualnego i wstawianego węzły są łączone z uzupełnieniem ewentualnych więzi o ile takie występują. W przypadku pokrywania się prętów następuje ich dublowanie (bez eliminacji) – w takiej sytuacji najlepiej oba pręty usunąć

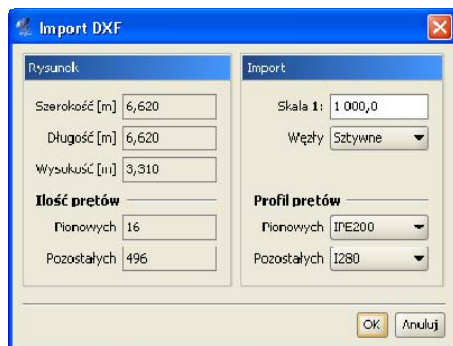
i wstawić ponownie prawidłowy. Odpowiednio grupy obciążeń i grupy prętów z projektu dołączanego dodawane są do aktualnego, a w przypadku pokrywania się ich nazw, automatycznie dla dodawanych grup, tworzone są nazwy unikalne przez dodanie jedynki na końcu nazwy

2.8 IMPORT DXF

Funkcja importu rysunków DXF umożliwia wczytanie do programu płaskich oraz przestrzennych rysunków przygotowanych w innych programach CAD (np. *IntelliCad*). W rysunkach rozpoznawane są elementy typu linia. Zostają one zamienione na pręty. Jeśli w rysunku występują inne elementy (polilinie, powierzchnie, itd.) to przed zapisem pliku DXF należy skorzystać kilkakrotnie z funkcji *Rozbij* aż wybrane elementy zostaną zamienione na linie. Układ współrzędnych nie jest zmieniany podczas importu i pokrywa się z układem w programach CAD (os Z pionowa, osie X i Y poziome).

Po wybraniu poprawnego pliku DXF wyświetlone zostaje okno, w którym można ustawić parametry importowanych danych.

Instalowanie i uruchamianie programu



Rys. 2.6 Okno importu rysunków DXF

Okno podzielone jest na dwie części. Po lewej stronie wyświetlone są informacje o importowanym układzie, natomiast po prawej można ustawić jego parametry. Można ustalić skalę oraz typ węzłów, które będą tworzone (węzły sztywne lub przeguby). Program rozróżnia położenie prętów w przestrzeni i umożliwia nadanie prętom pionowym innego przekroju niż prętom pozostałym. Przekroje wybiera się z rozwijanej listy. Dzięki temu można od razu ustawić właściwy przekrój dla słupów oraz pozostałych prętów.

2.9 WYSZUKIWANIE WĘZŁÓW SWOBODNYCH

W menu górnym *Edycja* znajduje się opcja *Zaznacz pręty swobodne*. Służy ona do selekcji prętów, które nie są bezpośrednio lub pośrednio (przez inne pręty) dołączone do podpory. Funkcja może służyć do selekcji np. prętów pokrywających się z innymi prętami, które powodują geometryczną zmienność układu

i które ciężko wyszukać w projekcie. Pręty takie mogą powstać po imporcie pliku DXF zawierającego zwiłokrotnione, pokrywające się linie.

3 PODSTAWY

3.1 ELEMENTY PROJEKTU

3.1.1 Węzły i pręty

Wprowadzane układy składają się z węzłów i prętów.

Pręt jest podstawowym elementem obliczeniowym w programie. Jego położenie w przestrzeni określają dwa węzły. Pręt ma stałe pole przekroju na długości.

Położenie węzła w przestrzeni określają trzy współrzędne x , y i z . Dla każdego węzła można określać występowanie przegubu oraz podparcia i jego sprężystości.

Do prętów i węzłów można przykładać odpowiednie obciążenia. Obciążenie może być przyłożone w dowolnym punkcie pręta i skierowane pod dowolnym kątem.

3.1.2 Układy lokalne prętów

Z każdym prętem związany jest lokalny układ współrzędnych. W układzie lokalnym wprowadzane są obciążenia ciągłe działające na pręt.

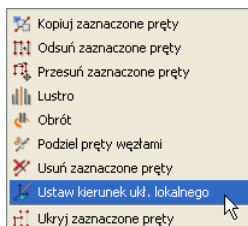
Możliwe jest włączenie rysowania układów lokalnych prętów. Są one rysowane w postaci trzech odcinków o kolorach: niebieskim (x), zielonym (y), czerwonym (z).

Oś x układu lokalnego pokrywa się z osią pręta. Oś z układu lokalnego jest prostopadła do osi x i zawiera się w płaszczyźnie wyznaczonej przez oś pręta oraz jej rzut na płaszczyznę XY zdefiniowaną w globalnym układzie współrzędnych. Jeśli określony jest kąt obrotu pręta, to po wyznaczeniu kierunku osi z , układ lokalny zostanie dodatkowo obrócony o dany kąt względem osi pręta. Trzecia oś - y jest prostopadła do osi x i z .

Lokalna oś y pręta jest domyślnie osią względem której moment bezwładności przekroju jest największy (np. dla przekrojów I, T, C).

3.1.3 Ustawianie kierunku układu lokalnego

Nowa funkcja ustawiania kierunku układu lokalnego pręta dostępna jest z menu kontekstowego, przy wcześniejszym zaznaczeniu jednego lub więcej prętów układu.

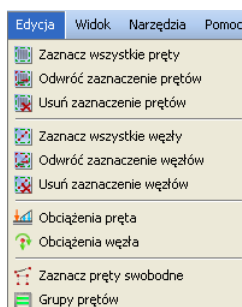


Rys. 3.1 Ustawianie kierunku układu lokalnego

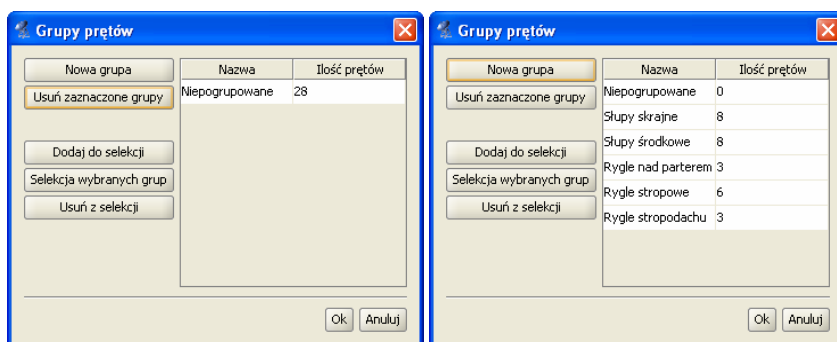
Po wywołaniu funkcji „*Ustaw kierunek ukl. lokalnego*”, ekran graficzny ustawiany jest w tryb płaskiego zadawania danych i program oczekuje wskazania (podania) dwóch punktów, definiujących wektor ustawienia układu lokalnego. Zaznaczony pręt i kierunek podanego wektora, tworzą płaszczyznę, w której ustawione będą dwie osie lokalnego układu współrzędnych, przy czym jedna z nich będzie pokrywała się z osią pręta. Trzecia oś układu lokalnego będzie prostopadła do wyznaczonej płaszczyzny i dwóch osi w niej zawartych.

3.1.4 Grupowanie prętów

Program umożliwia przypisanie prętów do zdefiniowanych w projekcie charakterystycznych grup. Opcja ta pozwala na łatwą selekcję określonych grup prętów w projekcie (np. w celu późniejszego przykładania właściwych obciążeń do określonych grup prętów). Do tego celu służy okno dialogowe „*Grupy prętów*” wywoływane z menu głównego *Edycja – Grupy prętów*:



Rys. 3.2 Menu Edycja



Rys. 3.3 Grupy prętów

Z lewej strony okna znajdują się następujące funkcje:

Nowa grupa – funkcja definiuje pokazaną po prawej stronie okna nową grupę prętów. Klikając dwukrotnie na nazwie domyślnej „Grupa1” użytkownik może nadać grupie dowolną nazwę jednoznacznie identyfikującą grupę prętów.

Po utworzeniu nowej grupy prętów nie są do niej przypisane żadne pręty. Przy pierwszym otwarciu okna dialogowego wszystkie pręty opisane są jako niepogrupowane.

Usuń zaznaczone grupy – Funkcja ta usuwa z projektu zaznaczone grupy a pręty do nich przypisane przekazywane są do trybu „niepogrupowane” (pręty nie są usuwane z projektu, usuwane jest jedynie przypisanie prętów do grupy).

Dodaj do selekcji – dodaje pręty wybranej (zaznaczonej) grupy (lub grup) do selekcji prętów zaznaczonych.

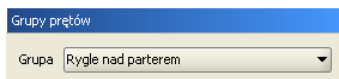
Selekcja wybranych grup – funkcja selekcjonuje z projektu wybrane grupy prętów.

Usuń z selekcji – funkcja usuwa z selekcji zaznaczone grupy prętów.

Podstawy

Po prawej stronie okna znajduje się lista zdefiniowanych w projekcie grup wraz z liczbą prętów objętych daną grupą. Nazwy grup są dostępne do edycji. Na samej górze listy wyświetlona jest liczba prętów projektu nieprzypisanych do żadnej grupy. Wybór przycisku OK, potwierdza ustawienia wykonane w oknie dialogowym „**Grupy prętów**”, wybór opcji Anuluj pozwala opuścić okno z pominięciem wprowadzonych zmian.

Po zdefiniowaniu grup w projekcie należy przypisać wybrane pręty do poszczególnych grup. Proces ten odbywa się na głównym ekranie graficznym i polega na selekcji wybranej grupy prętów i następnie przypisanie ich do określonej grupy przez wybór z listy znajdującej się w dolnej części zakładki **Geometria**:



Rys. 3.4 Przypisanie wybranych prętów do grupy

Przypisanie prętów do określonych grup jest procesem jednoznacznym, to znaczy że jeden pręt może być przypisany tylko do jednej grupy prętów. Każde ponowne przypisanie pręta, wcześniej przypisanego do jakiejś grupy, powoduje zmianę jego przypisania. Pręty te zostaną usunięte ze starej grupy i przepisane do nowej.

3.1.5 Profile

Parametry geometryczne oraz fizyczne pręta opisane są w tzw. profilu. Dopuszczalna ilość prętów może mieć przypisany ten sam profil. Profile są zapisywane

w pliku projektu, ale można zapisywać je również w zewnętrznej bibliotece użytkownika, w celu ich wykorzystania w innych projektach. Do zarządzania profilami służy *Manager Profili*.

Kształt przekroju pręta może być dowolny. Program automatycznie wylicza wartości wszystkich parametrów geometrycznych (pole przekroju, momenty bezwładności, itd.). Dostępna jest również biblioteka przekrojów stalowych, żelbetowych i drewnianych.

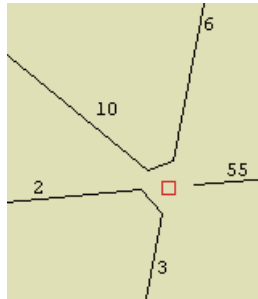


3.1.6 Przeguby

Węzły wprowadzanego układu mogą być węzłami sztywnymi lub przegubowymi. Węzeł sztywny symbolizowany jest wypełnionym kwadratem, natomiast przegub kwadratem niewypełnionym.

Przegub charakteryzuje się tym, że umożliwia wzajemne obroty połączonych prętów w trzech płaszczyznach.

W przegubie można zdefiniować grupy prętów połączonych sztywno ze sobą. Ilość prętów w grupie oraz ilość grup prętów w węźle są dowolne. Przykład prętów zeszywnionych w węźle przedstawiony jest na rysunku. Pręty 2 i 3 oraz 10 i 6 są sztywno połączone. Symbolizują to odcinki łączące pręty.



Rys. 3.5 Pręty zeszywnione w węźle

Niekiedy konieczne jest wprowadzenie pręta o obu węzłach przegubowych. Pręt taki w przestrzeni 3D jest geometrycznie zmienny, ponieważ istnieje możliwość jego obrotu wokół własnej osi. Program wykrywa taki przypadek i wstawia automatycznie lokalną podpórę blokującą obrót wokół własnej osi - jest ona niewidoczna dla użytkownika. Także pręty współliniowe połączone między sobą sztywno (i nieuszywnione w inny sposób), a dla skrajnych prętów na końcach przegubowo, są blokowane w ten sposób.

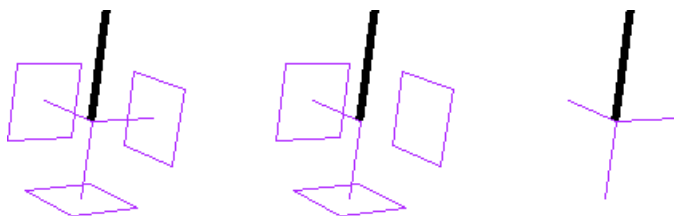
3.1.7 Podpory

Podpory umożliwiają wprowadzenie blokad przemieszczeń i obrotów węzłów w kierunkach X, Y i Z globalnego układu współrzędnych. Poszczególne blokady są niezależne od siebie.

Blokady przemieszczeń dla poszczególnych kierunków symbolizowane są odcinkami równoległymi do osi globalnego układu współrzędnych. Blokady obrotów są symbolizowane kwadratami prostopadłymi do osi układu.

Podstawy

Na rysunku przedstawione są trzy rysunki podpór. Na pierwszym wszystkie przemieszczenia i obroty są zablokowane (trzy odcinki i trzy kwadraty) - pełne zamocowanie. Na kolejnym zablokowane są wszystkie obroty (trzy kwadraty) i przemieszczenia na dwóch kierunkach. Na ostatnim natomiast zablokowane są tylko przemieszczenia węzła - jest to podpora przegubowa.



Rys. 3.6 Przykładowe podpory

Odpowiednio zwalniając poszczególne więzy można otrzymać wszystkie podstawowe typy podpór.

Dla każdej blokady przemieszczenia na podporze można określić jej sprężystość. Blokada przemieszczenia z określoną sprężystością przedstawiona jest na ekranie w postaci sprężynki. Jej jednostką jest kN/m. Blokada obrotu z określoną sprężystością to kwadrat narysowany linią przerywaną. Zadajemy ją w kNm/radian.

3.1.8 Obciążenia



W programie stosowane są dwa rodzaje obciążeń: obciążenia węzłów oraz prętów.

Obciążenia węzłowe to osiadanie i obrót podpory. Można wprowadzić je w węzle jedynie, gdy występują w nim odpowiednie blokady przemieszczeń i obrotów.

Obciążenia w węzłach w postaci sił i momentów skupionych zadawane są w programie w postaci odpowiednich obciążeń prętowych zlokalizowanych na początku lub końcu pręta.

Obciążenia prętów to: siła skupiona, moment skupiony, obciążenie ciągłe, moment ciągły, różnica temperatur, podgrzanie pręta. Pierwsze cztery obciążenia mają dowolną długość i można je wprowadzić w dowolnym miejscu pręta, pod dowolnym kątem. Obciążenia temperaturą działają na całej długości pręta.

3.1.9 Grupy obciążeń

Każde obciążenie wprowadzane w programie jest przypisane do pewnej grupy obciążeń. Rodzaj grupy obciążeń określa sposób traktowania obciążeń podczas obliczeń obwiedni.

W programie występują cztery typy grup obciążeń: grupy obciążeń stałych, zmiennych, grupy obc. zmiennych typu multi oraz grupa ciężaru własnego.

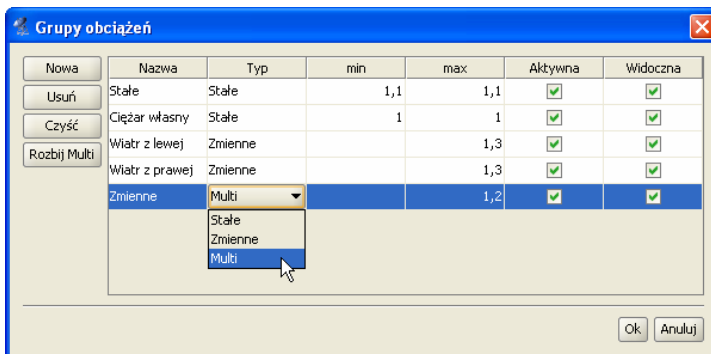
W odróżnieniu od obciążeń należących do grup zmiennych, obciążenia należące do grup stałych są zawsze brane do obliczeń. Podczas budowania obwiedni grupy zmienne są odpowiednio dobierane tak, aby otrzymać ekstremalne wartości sił przekrojowych, naprężeń i reakcji w danym punkcie.

Ostatnim typem grupy obciążeń jest grupa ciężaru własnego. Jest to specjalna grupa obciążeń stałych, do której nie można dodawać innych obciążeń. Grupa ta niewidoczna dla użytkownika, jest automatycznie budowana przez program. Na podstawie kształtów przekroju oraz ciężaru własnego użytych materiałów konstrukcyjnych, program przyjmuje automatycznie odpowiednie obciążenia, zakładając kierunek działania siły grawitacji przeciwnie do osi „z” globalnego układu współrzędnych. Jeśli grupa ta jest aktywna to ciężar własny konstrukcji jest uwzględniany w obliczeniach.



3.1.10 Grupy obciążeń typu „multi”

Dodano nowy typ grup obciążeń zmiennych „multi” w liście wyboru okna dialogowego „*Menager grup obciążeń*”. Grupa obciążeń typu „multi” – jest to grupa obciążeń zmiennych, która wewnętrznie (podczas obliczeń) rozpatrywana jest przez program jako zestaw niezależnych względem siebie grup obciążeń zmiennych, z których każda jest osobnym zestawem obciążeń przyłożonych do pojedynczego pręta. W ramach grupy typu „multi” występuje tyle niezależnych grup obciążeń zmiennych, na ilu prętach przyłożono obciążenia w ramach tej grupy. Opcja ta pozwala np. na szybkie wariantowanie obciążeń zmiennych po ryglach ramy (nie trzeba tworzyć osobnych grup obciążeń zmiennych dla każdego pręta).

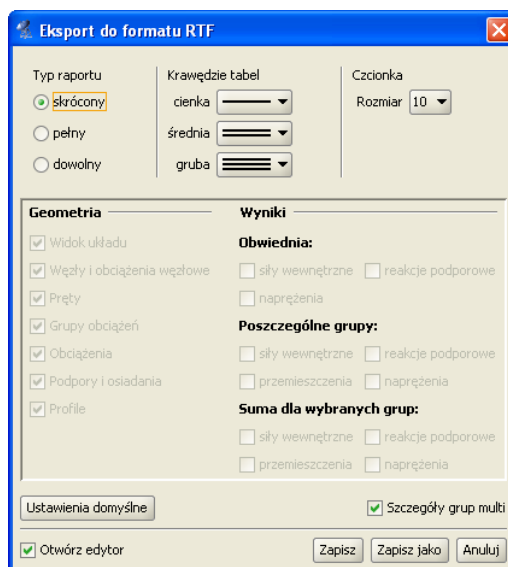


Rys. 3.7 Grupy obciążeń typu „multi”

Poszczególne grupy obciążeń wchodzące w skład grupy typu „multi” nie są widoczne w oknie „Zależności grup obciążeń” i nie można dla nich zdefiniować relacji (są one zawsze niezależne). Natomiast między grupą „multi” (jako całością) a innymi grupami obciążeń zmiennych można definiować dowolne relacje.

Warunkiem zastosowania grupy „multi” jest niezależność poszczególnych obciążeń na kolejnych prętach w ramach tej grupy. Grupa ta wizualizowana jest na ekranie jako całość, niezależnie od tego że w ramach grupy podczas obliczeń odbywa się wariantowanie obciążeń po poszczególnych prętach. W każdym projekcie może występować wiele różnych grup obciążeń typu „multi”, a ich ilość i wielkość w procesie obliczeń wpływa znacząco jedynie na czas budowy obwiedni sił wewnętrznych. Dla grupy obciążeń typu „multi”, tak jak dla pozostałych grup obciążeń zmiennych dostępny jest jeden maksymalny współczynnik obciążenia, przez który przemnażane są podczas budowy obwiedni, wszystkie rozpatrywane w jej ramach kombinacje.

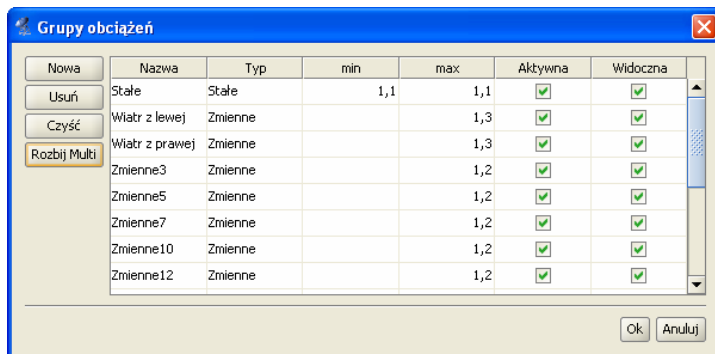
Wykaz grup budujących dane ekstremum obwiedni w raporcie, zawiera również numery grup multi oraz w przypadku zaznaczenia opcji „Szczegóły grup multi” w oknie „Eksport do formatu RTF”, w nawiasie obok numeru grupy multi podawane są numery prętów na których przyłożono obciążenia w ramach tej grupy.



Rys. 3.8 Eksport do formatu RTF

W przypadku przeglądania wyników obwiedni na ekranie i zaznaczeniu opcji „*Obciążenia...*” i „*Schematy obciążeń*” w oknie *Ustawień*, na ekranie wyświetlane są na bieżąco schematy obciążeń budujące dane ekstremum z uwzględnieniem wewnętrznych schematów grupy multi.

W przypadku gdy użytkownik chciałby jednak przeanalizować wyniki od poszczególnych wewnętrznych grup, zawartych w grupie „multi” istnieje możliwość rozbicia grup multi, przez zastosowanie funkcji „*Rozbij multi*” w oknie *Grup obciążeń*. Efektem działania tej funkcji jest rozbicie wszystkich grup multi w projekcie na pojedyncze niezależne grupy obciążeń zmiennych. Nazwa nowych grup tworzona jest automatycznie, przez sklejenie nazwy dotychczasowej grupy multi z numerem odpowiedniego pręta, którego dana grupa dotyczy. Maksymalne współczynniki obciążenia nowych grup, przyjmowane są jak dla grupy multi a typ nowych grup ustawiany jest jako zmienny. Po zastosowaniu funkcji rozbicia grupy multi, z opcji można się wycofać wciskając klawisz *Anuluj* w oknie *Grup obciążeń*. W przypadku zaakceptowania operacji, istnieje jeszcze możliwość jej cofnięcia (tylko w ramach jednej sesji działania programu) opcją cofania dowolnej operacji w programie. Po wyjściu z programu i zapisaniu zmian, nie ma możliwości cofnięcia skutków działania tej operacji. Efekt działania funkcji rozbijania grup multi widać na rysunku poniżej:



Rys. 3.9 Działanie funkcji „Rozbij multi”

3.1.11 Zależności grup obciążeń

Dla grup obciążeń zmiennych można określać ich wzajemne zależności. Zależności te są wykorzystywane podczas budowania obwiedni sił wewnętrznych i reakcji.

Można określić, że niektóre grupy mają występować zawsze razem lub mają się wzajemnie wykluczać. Zależności te określa się w tabeli zależności grup obciążeń.



3.2 WIZUALIZACJA

Wprowadzony przestrzenny układ prętowy jest wyświetlany na monitorze w rzutowaniu perspektywicznym. Jeśli tryb wprowadzania danych jest wyłączony to układ można dowolnie obracać za pomocą myszki. Wciskając i trzymając lewy przycisk myszki, a następnie przesuwając ją układ obraca się - można obejrzeć go z dowolnej strony.

Alternatywnym sposobem zmiany obrotu układu, który działa niezależnie od trybu pracy programu, jest wciskanie przycisków ze strzałkami, przedstawionymi na rysunku.



Rys. 3.10 Przyciski do obracania układu

Przyciski te obracają układ w następujący sposób: patrząc na układ np. z prawej strony (kierunek z którego obserwowany jest układ jest wyświetlany w lewym górnym rogu okna edycyjnego) i wciskając strzałkę skierowaną w prawo kamera przemieści się tak, aby obserwować układ z tyłu. Natomiast po wciśnięciu strzałki skierowanej w lewo układ byłby obserwowany z przodu. Używając przycisków ze strzałkami zmiana obrotu układu następuje względem aktualnego położenia. Aby ustawić układ od razu w określonym położeniu należy wybrać odpowiedni widok z menu górnego *Widok*.

Poza obrotem układu można także regulować jego położenie na ekranie. Dokonuje się tego wciskając i trzymając prawy przycisk myszki, a następnie przesuując ją.

Suwaki znajdujące się na dole okna głównego programu służą do regulacji powiększenia oraz kąta widzenia kamery.



Rys. 3.11 Parametry kamery

Po ustawieniu kąta widzenia kamery na zero stopni układ jest przedstawiany w rzutowaniu równoległym.

3.3 SZCZEGÓŁOWA WIZUALIZACJA 3D

W programie istnieje dodatkowy tryb wizualizacji układu. Jest to tryb szczegółowy, w którym nie są rysowane osie prętów, lecz rzeczywisty kształt ich przekrojów. Umożliwia to łatwą weryfikację poprawności zadanych przekrojów oraz orientacji lokalnych układów współrzędnych prętów w przestrzeni 3D. Dodatkowo pokazane są również wszystkie obciążenia oraz podpory.

Sterowanie widokiem układu prezentowanym w szczegółowej wizualizacji jest analogiczne do sterowania widokiem w głównym oknie programu (lewy przycisk myszy – obrót układu, prawy przycisk – przesuwanie układu, rolka myszki – powiększanie). Widok układu jest odświeżany po zamknięciu i ponownym otwarciu okna szczegółowej wizualizacji.



3.4 WPROWADZANIE DANYCH O GEOMETRII

Program rozwiązuje statykę prętowych układów przestrzennych, w których każdy węzeł posiada trzy współrzędne (x,y,z). Wprowadzanie wszystkich

Podstawy

danych i prezentacja wyników odbywają się na płaszczyźnie monitora komputera. W programie zostało użyte rzutowanie perspektywiczne, co daje wrażenie głębi obrazu.

Głównym założeniem programu jest możliwość wygodnego, graficznego wprowadzania danych. Całą konstrukcję można wymodelować korzystając tylko

z myszy. Nie jest konieczne wprowadzanie danych z klawiatury, ale ten sposób wprowadzania danych jest również dostępny.

Tryb wprowadzania danych uruchamia się przez kliknięcie na odpowiedniej ikonie. Aby zakończyć wprowadzanie danych należy ponownie kliknąć na tej ikonie lub wcisnąć klawisz *Esc*.

W trakcie wprowadzania geometrii możliwość dowolnego obracania układu jest zablokowana. Zamiast tego dostępnych jest sześć prostopadłych widoków, poprowadzonych wzdłuż osi globalnego układu współrzędnych, z których można obserwować układ. Są to: przód, tył, lewo, prawo, góra i dół. Można przełączać się między nimi za pomocą przycisków ze strzałkami znajdującymi się na dole okna graficznego programu lub wybierając odpowiedni widok z menu górnego *Widok*.

Tworzenie układu polega na klikaniu lewym przyciskiem myszki na ekranie - we wskazanych miejscach tworzone są węzły, które następnie łączone są przętami. Koniec jednego przęta staje się automatycznie początkiem następnego. Weiśnięcie klawisza *Esc* podczas rysowania przęta przerywa szereg i pozwala na wskazanie początku nowego przęta w dowolnym punkcie ekranu. Pracując w jednym widoku można podać tylko dwie współrzędne punktu. Aby określić jego położenie w przestrzeni należy zablokować chwilowo kursor we właściwym położeniu, przełączyć się na inny widok prostopadły do początkowego i wskazać głębokość jego położenia lub bezpośrednio wpisać głębokość punktu z klawiatury.

3.5 POMOCE RYSUNKOWE PRZY TWORZENIU KONSTRUKCJI

3.5.1 Siatka

W trakcie rysowania układu na ekranie widoczna jest płaska siatka punktów przyciągania. Za pomocą myszki można tworzyć nowe węzły układu tylko

w punktach tej siatki. Wielkość oczek siatki można ustawić w oknie *Ustawienia*. Obszar siatki dopasowuje się automatycznie do rozmiaru układu. Przy dużym pomniejszeniu widoku siatka mogłaby być rysowana zbyt gęsto - aby temu zapobiec rysowanie niektórych wierszy i kolumn siatki jest pomijane. Mimo, że niektóre z punktów siatki nie są wtedy rysowane, to kursor nadal jest do nich dociągany.

3.5.2 Dociąganie

Łatwe dołączanie nowych prętów do istniejących węzłów zapewnia funkcja dociągania. Gdy podczas rysowania wskaźnik myszki znajdzie się w pobliżu istniejącego węzła, zmieni on wygląd (dłoń). Sygmalizuje to, że odnaleziono pobliski węzeł do którego (po zatwierdzeniu lewym przyciskiem myszy) zostanie dołączony rysowany pręt. Najechnanie myszką na istniejący węzeł powoduje ustawienie „głębokości” rysowania aktualnego węzła takiej jak węzła wskazanego.

3.5.3 Blokowanie kursora

Wciskając prawy przycisk myszki można chwilowo zablokować położenie rysowanego węzła. Kursor myszki zmienia wtedy kształt na klepsydrę, co sygnalizuje włączenie blokady. Wyłączenie blokady następuje w chwili ponownego wciśnięcia prawego przycisku myszki.

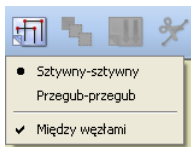
Funkcja ta jest potrzebna w chwili przełączania widoków. Należy ustawić pożądane współrzędne na jednej płaszczyźnie, zablokować chwilowo kursor, przełączyć się na inny widok i tam wprowadzić trzecią współrzędną punktu.

3.5.4 Pierwszy węzeł

Jeśli przed włączeniem trybu wprowadzania prętów, dokładnie jeden węzeł układu będzie zaznaczony, to zostanie on potraktowany jako pierwszy węzeł rysowanego pręta.

3.5.5 Tryb „Między węzłami”

Dodano w „*Trybie dodawania elementów*” (prawy klawisz myszki na ikonie dodawania elementów) przełącznik „*Między węzłami*”, umożliwiający wprowadzanie do układu nowych prętów (sztywnych lub przegubowych), tylko między istniejącymi węzłami układu, za to w dowolnym jego ustawieniu w przestrzeni.



Rys. 3.12 Tryb „Między węzłami”

Funkcja ta umożliwia wprowadzanie do układu prętów, tylko między węzłami istniejącymi, przy dowolnym położeniu układu w przestrzeni, a nie jedynie w jednym z trzech rzutów równoległych, co w wielu przypadkach znacznie ułatwia dodawanie prętów, gdy zakres widoku w perspektywie nie daje wystarczającego rozsunienia (głębokości) łączonych węzłów. Przy wyłączonym przełączniku „*Między węzłami*” wprowadzanie nowych prętów nadal realizowane jest

w jednej wybranej płaszczyźnie ekranu (równoległej odpowiednio do płaszczyzn: xy, xz lub yz) lub innej dowolnej z dociągnięciem do istniejącego węzła.

3.6 GENERATORY KONSTRUKCJI

W programie zawarte są generatory konstrukcji. Służą one do automatycznego tworzenia ram prostokątnych, łuków, kratownic płaskich i wież przestrzennych.

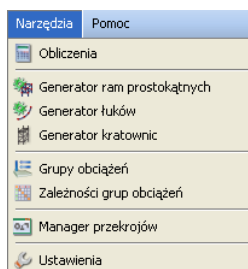
Należy określić punkt wstawienia tworzonego obiektu, określić jego parametry (np. ilość przęseł rami, ilość segmentów łuku itp.), a program automatycznie wygeneruje cały obiekt. Przykładowe generatory opisano poniżej.



3.7 GENERATOR KRATOWNIC

Generator kratownic, tak jak pozostałe generatory, można wywołać z paska głównego programu lub z menu *Narzędzia – Generator kratownic*.

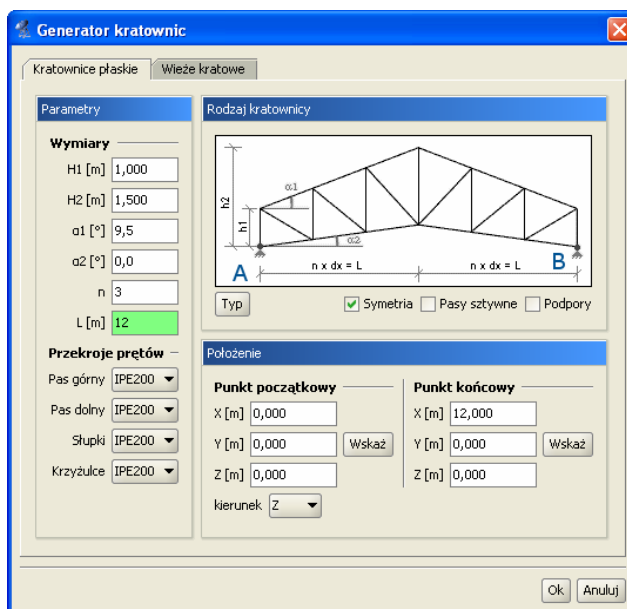




Rys. 3.13 Menu Narzędzia

Główne okno generatora składa się z dwóch podstawowych zakładek: **Kratownice płaskie** i **Wieże kratowe (3D)**:

3.7.1 Kratownice płaskie

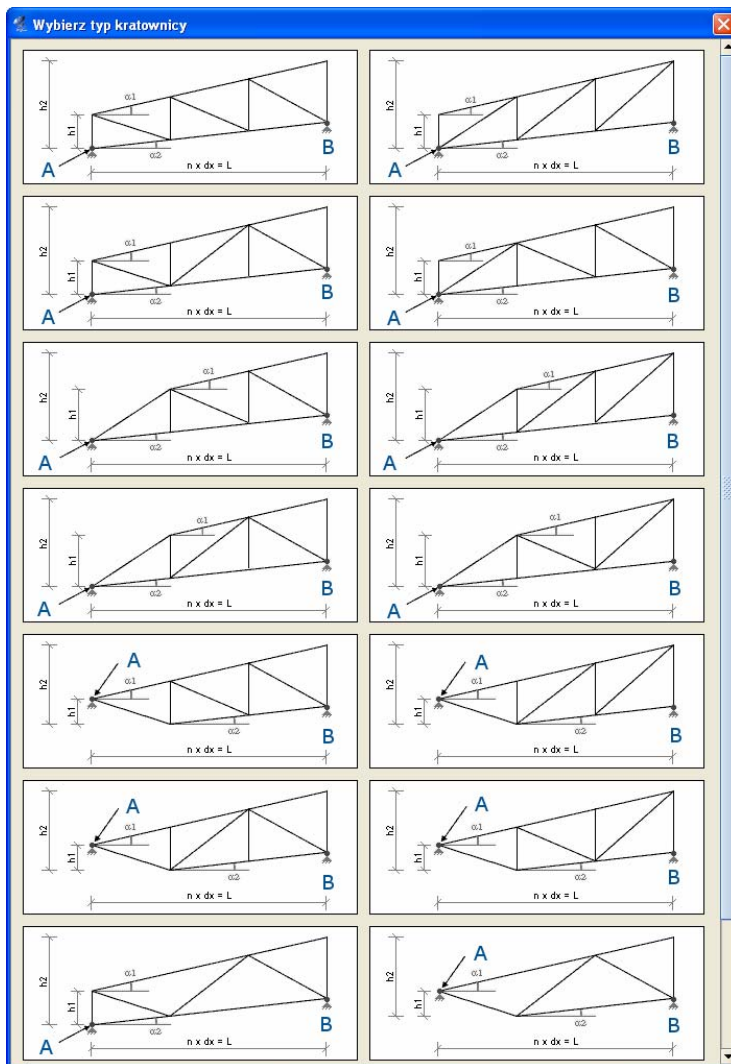


Rys.3.14 Generator kratownic płaskich

Zakładka **Kratownice płaskie** przeznaczona jest do wprowadzania do projektu, parametrycznie zdefiniowanych, płaskich układów kratowych. Podzielona jest ona na trzy grupy danych: **Rodzaj kratownicy**, **Parametry** i **Położenie**.

Podstawy

Pierwszym krokiem jest określenie typu wprowadzanej kratownicy, przez naciśnięcie przycisku **Typ** i wybranie odpowiedniego kształtu (16 dostępnych typów symetrycznych lub połówek) z okna jak niżej:



Rys. 3.15 Typy kratownic płaskich

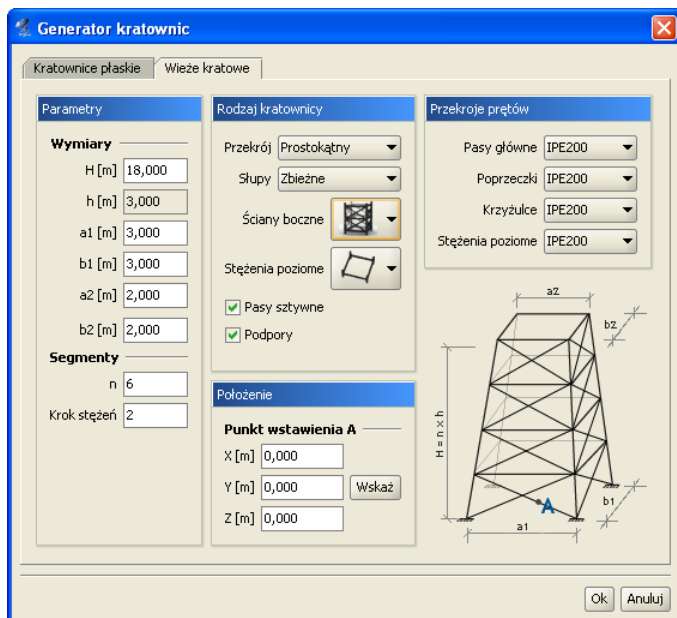
Kolejnym elementem przy określaniu rodzaju kratownicy jest zaznaczenie (lub nie) kolejnych elementów widocznych pod rysunkiem kratownicy takich jak: **Symetria**, **Pasy sztywne**, **Podpory** (przegubowe).

Po zdefiniowaniu typu kraty należy, posługując się odpowiednią rysunkową, określić wszystkie niezbędne parametry geometryczne wprowadzanego układu, zawarte z lewej strony okna dialogowego, wraz z przekrojami poszczególnych elementów kratownicy. Ilość i rodzaj tych danych zależy od wybranego typu kraty. Są to dane często wzajemnie zależne (wyliczają się automatycznie), a ich nadmiarowość wynika z potrzeby maksymalnego uproszczenia wprowadzanych danych.

Ostatnim elementem jest określenie położenia kratownicy w układzie. Można tego dokonać podając: długość kraty L , punkt początkowy oraz wskazując kierunek rysowania słupków kratownicy, wówczas kratownica o długości L zostanie narysowana w domyślnej płaszczyźnie XZ , lub wskazać (podać) dwa dowolne punkty (początkowy i końcowy) na podstawie których obliczana jest długość L kratownicy oraz wskazać kierunek rysowania słupków (X , Y lub Z) kratownicy. W przypadku rysowania kratownic symetrycznych punkt początkowy i końcowy powinny znajdować się na tym samym poziomie (mieć tę samą współrzędną w kierunku rysowania słupków). W innym przypadku kratownica symetryczna będzie narysowana w rzucie wskazanych punktów.

3.7.2 Wieże kratowe

Generator wież kratowych przeznaczony jest do automatycznego wstawiania do projektu, kratownic przestrzennych o przekroju prostokątnym lub trójkątnym (równobocznym), o pasach równoległych lub zbieżnych. Każdy typ wieży może występować w czterech odmianach skratowania bocznego, a przypadku kratownic prostokątnych posiadać dodatkowo stężenia poziome. Pasy kratownic mogą być ciągłe lub przegubowe, na dole podparte (lub nie) podporą przegubową. Stężenia poziome typu X , zakładane równomiernie co zadana ilość pól, mogą w miejscu skrzyżowania być połączone przegubowo lub krzyżować się bezстыkowo.



Rys. 3.16 Wieże kratowe

Dana zawarte na zakładce **Wieże kratowe** podzielone zostały na cztery odrębne grupy: **Rodzaj kratownicy**, **Przekroje prętów**, **Parametry**, **Położenie**.

W ramach **Rodzaju kratownicy** możemy określić typ przekroju wieży (prostokątny, trójkątny równoboczny), zbieżność pasów, rodzaj skratowania bocznego i występowanie stężeń poziomych. Dodatkowo możemy zdecydować czy ma być zachowana ciągłość pasów i czy mają być automatycznie założone podpory przegubowe. W grupie **Przekroje prętów** poszczególnym elementom kratownicy możemy przypisać wcześniej zdefiniowane przekroje prętów. W grupie **Parametry** podajemy wysokość całkowitą wieży i jej wymiary przy podstawie i na głowicy. Dodatkowo w tej grupie należy określić liczbę segmentów na które wieża zostanie podzielona, oraz miejsca występowania skratowań poziomych i sposób ich łączenia w miejscu skrzyżowania. Ostatnim elementem zakładki jest wskazanie lub podanie współrzędnej punktu wstawienia wieży w grupie **Położenie**. Punkt wstawienia określony jest zawsze w środku ciężkości podstawy wieży. Po naciśnięciu przycisku OK, zdefiniowany element zostanie wstawiony do projektu.

3.8 SELEKCJA WĘZŁÓW, PRĘTÓW I OBCIĄŻEŃ

Przed uruchomieniem funkcji modyfikujących układ należy uprzednio zaznaczyć elementy do modyfikacji. Zaznaczone elementy (węzły, pręty, obciążenia) otoczone są grubą linią – obwódką w kolorze danego elementu.

Elementy można zaznaczać na kilka sposobów. Klikając lewym przyciskiem myszy na elemencie zaznaczamy pojedyncze elementy. Zaznaczenie jednego elementu powoduje usunięcie zaznaczenia pozostałych elementów tego samego typu - w ten sposób tylko jeden element (osobno wśród prętów, węzłów i obciążeń) układu może być zaznaczony. Aby zaznaczyć kilka elementów należy podczas klikania myszką trzymać wciśnięty klawisz *Shift*.

Szybszym sposobem na zaznaczenie większej ilości elementów jest przytrzymanie klawisza *Ctrl* i wskazanie elementów oknem. Trzymając wciśnięty klawisz *Ctrl* należy wcisnąć (i trzymać!) lewy przycisk myszy, a następnie przesunąć myszkę. Po zwolnieniu klawisza myszki obiekty, które znajdowały się

w narysowanym oknie zostaną zaznaczone.

Jeśli okno było rysowane od strony lewej do prawej to zaznaczone zostaną tylko te obiekty, które w całości zmieściły się w rysowanym oknie. Pręty które częściowo zawierały się w oknie nie zostaną zaznaczone. W przypadku rysowania od strony prawej do lewej wszystkie obiekty przecięte oknem zostaną zaznaczone - nawet te, które tylko częściowo zawierały się w oknie.

Jeśli do jednego pręta lub węzła przyłożonych jest kilka obciążeń, to ich graficzna selekcja może być utrudniona. Można wtedy skorzystać z narzędzia *Obciążenia pręta* oraz *Obciążenia węzła*. Uruchamiamy je z menu górnego *Edycja*. Przed uruchomieniem należy zaznaczyć jeden pręt lub jeden węzeł. W oknie które zostanie wyświetlone przedstawione jest zestawienie wszystkich obciążeń wybranego pręta lub węzła. Klikając na pola wyboru w pierwszej kolumnie tabeli możemy modyfikować selekcję poszczególnych obciążeń.



Rys. 3.17 Obciążenia pręta

Podstawy

W menu górnym *Edycja* znajdują się także funkcje umożliwiające zaznaczenie, usunięcie zaznaczenia i odwrócenie zaznaczenie wszystkich prętów oraz węzłów.

Aby szybko usunąć wszystkie zaznaczenie wszystkich elementów projektu należy wcisnąć klawisz *Esc*.

3.9 MENU KONTEKSTOWE

Część operacji edycyjnych dostępna jest z poziomu menu kontekstowego. Menu kontekstowe wywołuje się klikając prawym przyciskiem myszy na oknie roboczym programu. Menu pojawi się tylko wtedy, gdy w projekcie zaznaczone są jakieś elementy (węzły, pręty, obciążenia).



Rys. 3.18 Menu kontekstowe

Wygląd menu zmienia się w zależności od tego jakie elementy są wybrane. Operacje dostępne w menu dla zaznaczonych prętów:

- *Kopij* – kopiuje pręty o podany wektor.
- *Odsuń* – odsuwa pręty o podany wektor. Pręty niezaznaczone, które są połączone z przesuwanymi węzłami pozostają niezmienione.
- *Przesuń* – przesuwa pręty o podany wektor. Pręty nie zaznaczone, które są połączone z przesuwanymi węzłami zostaną zmodyfikowane.
- *Obrót* – obraca zaznaczone pręty o dowolny kąt względem osi równoległej do jednej z osi układu głównego.
- *Lustro* – odbija w lustrze zaznaczone pręty względem płaszczyzny równoległej do jednej z płaszczyzn głównych lub wskazanej osi równoległej do osi układu głównego.
- *Podziel* – dzielenie prętów węzłami.

- *Ustaw kierunek układu lokalnego* – funkcja ustawia kierunek układu lokalnego pręta, przez wskazanie kierunku wektora jednej z jego osi (prostopadłej do osi pręta)
- *Usuń* – usuwanie zaznaczonych prętów.
- *Ukryj zaznaczone pręty* – ukrywa pręty.

Operacje dla zaznaczonych węzłów:

- *Przesuń* – przesuwa węzły o podany wektor.
- *Usuń* – usuwa węzły wraz z prętami dołączonymi do węzła.

Operacje dla zaznaczonych obciążeń:

- *Usuń zaznaczone obciążenia* – usuwa obciążenia.

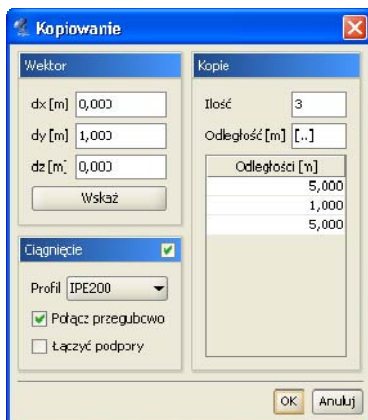
Jeśli przy wywoływaniu menu kontekstowego w projekcie, część prętów jest ukryta, bo pojawią się dwie dodatkowe opcje do pokazywania ukrytych prętów: *pokaż wszystkie pręty* oraz *pokaż najbliższe ukryte pręty*. Ich znaczenie wyjaśnione jest w punkcie *Ukrywanie prętów*.

Przy kopiowaniu oraz przesuwaniu należy wskazać wektor przesunięcia. Wektor można wskazać graficznie lub podać jego współrzędne z klawiatury. Operacje te wyglądają identycznie jak tryb rysowania prętów. Współrzędne wektora można podać z klawiatury w grupie *Wskaż wektor* znajdującej się na zakładce *Geometria*.

3.10 KOPIOWANIE

Funkcja *Kopiowanie* umożliwia kopiowanie fragmentów lub całości układu. Możliwe jest jednoczesne wykonanie wielu kopii zaznaczonych elementów, oddalonych o określone odległości. Funkcja *Ciągnięcie* służy do automatycznego łączenia prętami odpowiadających sobie węzłów kolejnych kopii. Umożliwia to np. automatyczne wygenerowanie rygli łączących kolejne dźwigary hali.





Rys. 3.19 Kopiowanie

Okno dialogowe kopiowania jest podzielone na trzy grupy.

• **Wektor**

W tej grupie określa się kierunek kopiowania. Należy podać wartości dx, dy, dz w polach tekstowych lub wcisnąć przycisk *Wskaż*, aby graficznie określić kierunek wektora (opis sposobu wskazywania wektora opisany jest w punkcie Menu kontekstowe).

• **Kopie**

Samo określenie wektora nie jest wystarczające do jednoznacznego określenia kopiowania. Dodatkowo należy także określić ilość kopii, które mają zostać wykonane oraz odległości między nimi. Tabela która znajduje się w tej grupie służy do określenia różnych odległości między kolejnymi kopiami. Gdy wprowadzone zostaną różne odległości między kopiami to w polu Odległość pojawia się symbol [..].

• **Ciągnięcie**

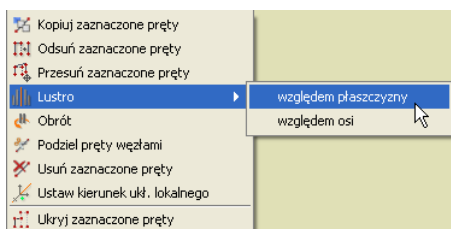
Uaktywnienie tej opcji powoduje wstawianie prętów łączących odpowiadające węzły w kolejnych kopiach. Dodatkowo należy określić:

- Profil – rozwijana lista z której należy wybrać profil dla nowych prętów,
- Połącz przegubowo – po uaktywnieniu tej opcji będą wstawiane przeguby na końcach prętów (przydatne np. Przy wprowadzaniu stężeń),
- Łączyć podpory – domyślnie węzły w których wstawione są podpory nie są łączone prętami. Aby to zmienić należy aktywować tę funkcję.

3.11 OBRÓT I LUSTRO

Funkcje **Obrót i Lustro** – pozwalają na obrócenie lub odbicie lustrzane zaznaczonych elementów konstrukcji o dowolny kąt, względem dowolnej osi obrotu

lub odbicia względem osi lub płaszczyzny, równoległej do jednej z osi (płaszczyzny) globalnego układu współrzędnych. Obie funkcje dostępne są po zaznaczeniu elementów układu z menu podręcznego, uruchamianego prawym klawiszem myszki.



Rys. 3.20 Menu kontekstowe prawego klawisza myszki

Funkcja lustrzanego odbicia posiada dwa tryby: odbicie lustrzane względem wskazanej osi i odbicie lustrzane względem wskazanej płaszczyzny.

W obu przypadkach (obróć i lustro), po wywołaniu funkcji program oczekuje na wskazanie na ekranie roboczym dwóch punktów definiujących wektor osi obrotu lub odbicia. W przypadku odbicia lustrzanego względem płaszczyzny, punkty te definiują płaszczyznę prostopadłą do ekranu roboczego monitora i równoległą do jednej z płaszczyzn głównych. Należy pamiętać że oś utworzona przez dwa wskazane punkty, musi być równoległa do jednej z osi globalnego układu współrzędnych. Po wskazaniu punktów definiujących wektor osi, wywołane zostanie dodatkowe okienko parametrów funkcji: dla odbrotu pozwalające na podanie kąta obrotu, a dla obrotu i lustra znacznik pozwalający

zachować (lub nie) obracane (odbijane) elementy układu.



Rys. 3.21 Okienka parametrów dla funkcji lustro i obrót

Wraz z elementami układu obracane lub odbijane są zaznaczone obciążenia przynależne do zaznaczonych prętów, przy czym obciążenia zadane w układzie lokalnym nadal pozostaną obciążeniami w układzie lokalnym nowych prętów (zachowane będzie dla nich pełne odbicie), natomiast obciążenia zadane

w układzie globalnym również pozostają takimi samymi obciążeniami w układzie globalnym (dla nich funkcja lustra wywoła przesunięcie translacyjne bez zmiany kierunku).

3.12 UKRYWANIE PRĘTÓW

W programie istnieje możliwość ukrycia części prętów. Pręty ukryte są niewidoczne i nie mogą podlegać selekcji ani edycji. Są jednak nadal uwzględniane w obliczeniach. Umożliwia to prace nad wybraną częścią projektu i poprawia czytelność prezentowanych wyników, zwłaszcza dla dużych układów prętowych.

Pręty niewidoczne które łączą się z prętami widocznymi rysowane są częściowo linią przerywaną. Umożliwia to określenie kierunku najbliższych prętów niewidocznych.

Aby ukryć pręty należy najpierw wskazać je za pomocą selekcji, a następnie skorzystać z funkcji *Ukryj* zaznaczone pręty znajdującej się w menu górnym *Widok*. Aby ukryć wszystkie pręty poza zaznaczonymi, należy po prostu odwrócić zaznaczenie klikając na odpowiedni przycisk w pasku narzędzi lub wybierając opcje w menu górnym *Edycja* przed wywołaniem ukrywania.

Ukrycie części prętów symbolizowane jest znakiem wyświetlanym w prawym górnym rogu okna roboczego. Po kliknięciu na ten znak wyświetlane jest menu kontekstowe. Pierwsza opcja menu powoduje włączenie wyświetlania najbliższych ukrytych prętów – tych, które rysowane są liniami przerywanymi. Druga opcja włącza rysowanie wszystkich prętów. Rysowanie wszystkich prętów można włączyć także za pomocą opcji *Pokaz ukryte* w menu górnym *Widok*.

3.13 OBLICZANIE NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH

W programie dołożono obliczanie prostych naprężeń normalnych wg ogólnego wzoru:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M_z J_y + M_y J_{zy}}{J_y J_z - J_{zy}^2} \times y \pm \frac{M_y J_z + M_z J_{zy}}{J_y J_z - J_{zy}^2} \times z \quad [\text{MPa}]$$

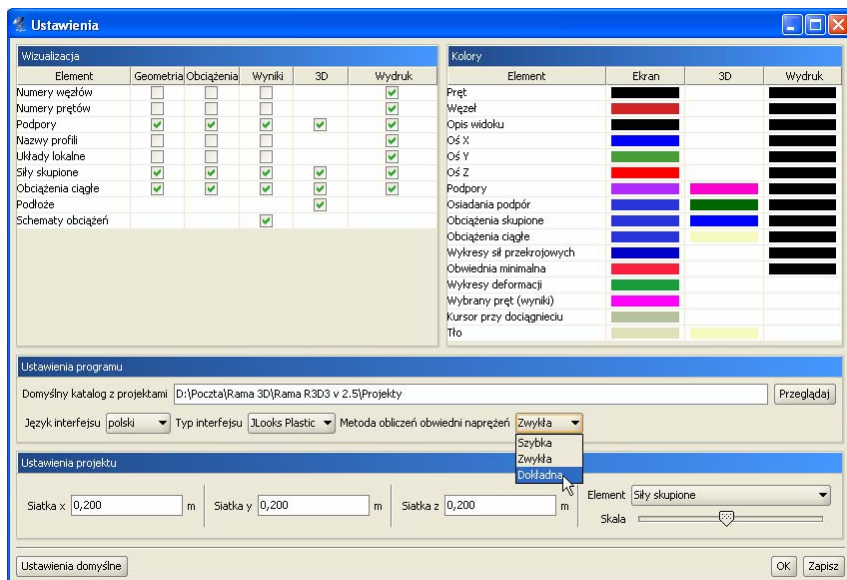
Jako ujemne opisane są naprężenia ściskające, a jako dodatnie rozciągające. Program oblicza dla każdego punktu pręta minimalne i maksymalne naprężenia, dla poszczególnych grup i sum grup obciążeń. Dodatkowo wykonywana jest pełna obwiednia naprężeń normalnych, niezależna od innych obwiedni (dla każdego punktu pręta poszukiwane są ekstremalne wartości naprężeń). Ponieważ w programie można zadać dowolnie złożony przekrój pręta, oraz z uwagi na zachowanie rozsądnego czasu obliczeń, sprawdzanie ekstremalnych naprężeń w przekroju pręta ograniczono do ustalonych punktów charakterystycznych konturu zewnętrznego przekroju.

Ustalenie punktów przekroju do liczenia naprężeń wykonywane jest wg następującego algorytmu:

- Przez środek ciężkości przekroju przeprowadzana jest linia prosta, obracana wokół tego środka o zadany kąt, decydujący o dokładności metody.
- Dla każdego położenia prostej, ustalane są dwa punkty na konturze przekroju, leżące po obu jej stronach i najbardziej od niej oddalone.
- Eliminowane są kolejne punkty na konturze o powtarzających się współrzędnych.

W tak ustalonych punktach przekroju sprawdzane są naprężenia normalne. Dla większości typowych profili (prostokąt, teownik, dwuteownik, ceownik, kątownik, zetownik itp.) i ich typowych złożeń, tą metodą ustalane są do liczenia cztery skrajne punkty przekroju, co w efekcie daje 100% dokładność wyników naprężeń. Natomiast dla innych przekrojów (kołowe, rurowe, owalne itp.) dokładność obliczeń naprężeń wynosi ok. 95-100 % (przekrój kołowy),

w zależności od kąta obrotu prostej i kształtu przekroju. Naprężenia rzeczywiste mogą być większe od wyliczonych o 0-5% w zależności od ustawionej dokładności obliczeń. I tak np. dla przekroju kołowego przy podziale konturu koła na 12, 20 i 24 punkty (co odpowiada kątowi obrotu prostej odpowiednio 30, 18 i 15 stopni) maksymalne niedoszacowanie naprężeń jakie może wystąpić wynosi odpowiednio: 4.9%, 2.2% i 1.5% (łącznie z uwzględnieniem dokładności definiowania przekroju kołowego w programie). Błąd ten oczywiście dotyczy jedynie części naprężenia uzyskanego od momentów, natomiast naprężenia uzyskane od siły normalnej liczone są zawsze dokładnie. Dokładność obliczania naprężeń użytkownik może ustawić samodzielnie w *Ustawieniach programu* w polu: **Metoda obliczania naprężeń**:



Rys. 3.22 Wybór metody obliczania naprężeń

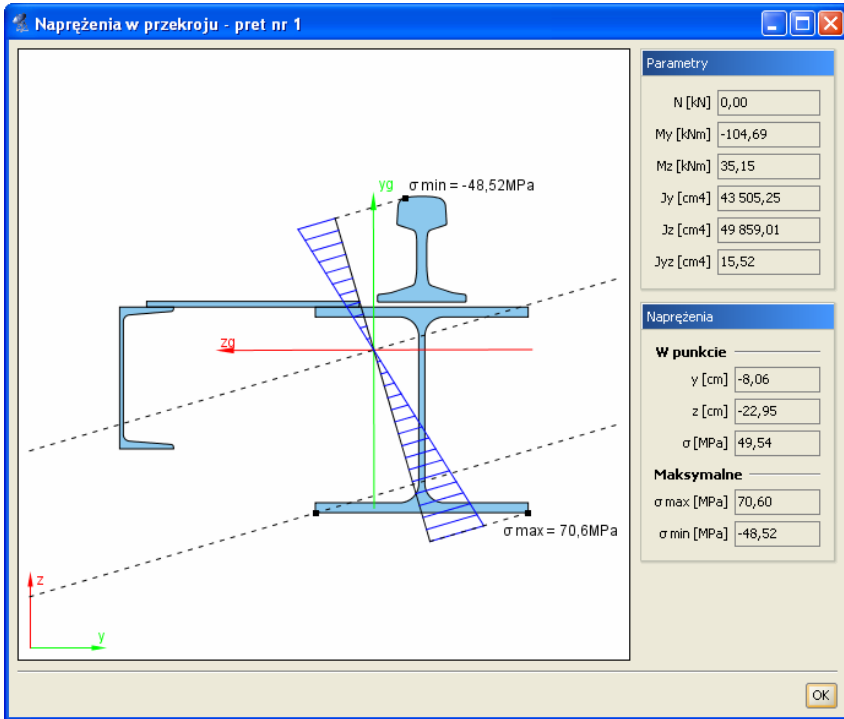
Mamy tu do dyspozycji trzy możliwości: metoda *szybka* (odpowiada podziałowi konturu przekroju na 12 punktów), *zwykła* (20 punktów) i *dokładna* (24 punkty).

Aby otrzymać raport obliczeń, zawierający wyniki obliczania naprężeń należy w oknie definicji raportu (*Eksport do formatu RTF*) wybrać opcję raportu pełnego lub dowolnego i zaznaczyć odpowiednią opcję. Raport skrócony nie zawiera wartości obliczanych naprężeń. W raportach z obliczanych naprężeń, dla każdego pręta podane są min i max wartości naprężenia oraz zestawy sił wewnętrznych i grup im odpowiadających, osobno dla obwiedni naprężeń, poszczególnych grup obciążeń jak i wybranej sumy grup.

3.13.1 Naprężenia w przekroju

Program umożliwia wyświetlanie wykresu naprężeń normalnych w przekroju profilu: dla obwiedni sił lub naprężeń (max lub min), poszczególnych grup obciążeń lub sumy grup. Funkcje można wywołać przyciskiem $\sigma(p)$ znajdującym się na zakładce *Wyniki* w grupie *Siły przekrojowe w punkcie*. Naprężenia te wyświetlane są dla wybranego trybu (obwiednia/siły od grup), wybranego pręta oraz wskazanego punktu na pręcie (ustalonego suwakiem na wykresie

Sil w pręciu). Po wywołaniu funkcji *Naprężenia w przekroju* na ekranie otwarte zostanie dodatkowe okno jak niżej:



Rys. 3.23 Naprężenia w przekroju

Okno składa się dwóch części: ekranu graficznego (lewa strona okna) i nieedytowalnego panelu z danymi (prawa strona okna). Na ekranie graficznym pokazane są następujące elementy: aktualny widok przekroju wraz z osiami lokalnego układu współrzędnych i osiami głównymi, oś obojętna (o ile występuje) oraz prostopadła do niej oś wykresu sił normalnych (przechodząca przez środek ciężkości przekroju). Dodatkowo na konturze przekroju opisane są dwa punkty pokazujące miejsca wystąpienia ekstremalnych naprężeń w przekroju. Użytkownik klikając dowolny punkt wewnątrz konturu przekroju (lub poza nim wskazując położenie prostej równoległej do osi obojętnej i jej punkt przecięcia z konturem), może wskazać dodatkowy punkt, w którym z prawej strony okna, wyświetlone zostaną jego współrzędne i wielkość naprężenia w tym punkcie. Na panelu z prawej strony w grupie *Parametry* wyświetlane są wartości sił (N , M_y , M_z) i momenty bezwładności jakie posłużyły do wyznaczenia bryły naprężeń w przekroju. Niżej w grupie *Naprężenia* wyświetlane są kolejno współrzędne wskazanego punktu, naprężenia w tym punkcie, oraz stałe

Podstawy

wartości naprężenia maksymalnego i minimalnego w przekroju. Wszystkie wartości sił i naprężeń pokazane w oknie „*Naprężenia w przekroju*”, dokładnie odpowiadają wartościom podanym w grupie *Sily przekrojowe w punkcie* na zakładce *Wyniki*. Może się tak zdarzyć, że wartości skrajne wskazane przez użytkownika na wykresie naprężeń, są większe od opisanych wartości σ_{\max} i σ_{\min} w granicach od 0 do max 5%. Wynika to stąd, że wartości na wykresie liczone są z dużą dokładnością, natomiast wartości σ_{\max} i σ_{\min} określane są z dokładnością opisaną w poprzednim rozdziale (mogą być liczone minimalnie w innych punktach), dotyczy to zwłaszcza metody szybkiej obliczania naprężeń i przekrojów kołowych lub zbliżonych. Po wywołaniu okna „*Naprężenia w przekroju*” użytkownik ma dostęp do zmiany parametrów na głównym ekranie graficznym (bez potrzeby zamykania okna z wykresem naprężeń). Opcja ta pozwala na bieżącą zmianę aktualnie wyświetlanego zestawu sił, pręta i miejsca na przecię, oraz pozwala na obserwowanie zmienności wykresu naprężeń, przy zmianie lokalizacji przekroju na długości pręta.

3.14 RAPORTY

Dane wprowadzone w programie oraz wyniki obliczeń układu można umieścić w raporcie i zapisać na dysku w celu późniejszej obróbki lub wydrukowania. Raporty zapisywane są w uniwersalnym formacie RTF (Rich Text Format). Można otworzyć je np. w programie *MS Word* lub darmowym *Word Viewerze*.



Rys. 3.24 Eksport do formatu RTF

Parametry raportu określa się w oknie *Eksport do formatu RTF* wywoływanym z menu *Plik – Raport obliczeń*.

Typ raportu określa jakie dane zostaną w nim zawarte. Wybierać można między raportem skróconym (tylko wyniki obwiedni, bez przemieszczeń), pełnym, a dostosowanym przez użytkownika. W ostatnim trybie można samodzielnie określić, które elementy mają znaleźć się w raporcie. Należy pamiętać, że umieszczanie w raporcie wyników sił przekrojowych, przemieszczeń, naprężeń oraz reakcji podporowych będzie możliwe dopiero po wykonaniu obliczeń projektu. Przed obliczeniami do raportu można przenosić jedynie geometrię układu.

W raportach umieszczane są wyniki wyłącznie dla widocznych prętów oraz węzłów podporowych. Dzięki temu można ograniczyć rozmiar raportów i przedstawiać w nich tylko najbardziej istotne informacje. Z funkcji ukrywania prętów należy skorzystać przed wywołaniem okna generacji raportu.

Poza modyfikowaniem zawartości raportu możliwa jest zmiana jego wyglądu. W tabelach umieszczanych w raporcie stosowane są różne grubości krawędzi: cienkie, średnie i grube. Możliwe jest określenie typów linii przypisanych do poszczególnych krawędzi. Można także wyłączyć rysowanie krawędzi wybierając ostatnią pozycję z listy. Ustawienia grubości krawędzi są zapamiętywane po wyjściu z programu - wystarczy ustawić je jeden raz. Aby przywrócić domyślne ustawienia raportu należy wcisnąć przycisk *Ustawienia domyślne*. Aby dodatkowo zmniejszyć objętość raportu można użyć mniejszej czcionki. Do wyboru są trzy wielkości dostępne z rozwijanej listy.

Po dostosowaniu zawartości i wyglądu raportu należy wcisnąć przycisk *Zapisz*. Spowoduje to zapisanie raportu w domyślnym katalogu projektów pod nazwą taką, jak nazwa projektu. Jeśli projekt nie ma jeszcze nadanej nazwy, wówczas program poprosi o podanie nazwy pliku. *Zapisz jako* działa podobnie, z tym, że zawsze prosi o podanie nazwy zapisywanego pliku.

Zaznaczenie opcji *Otwórz edytor* spowoduje, że po zapisaniu raportu zostanie on automatycznie otwarty w domyślnym edytorze skojarzonym z plikami RTF. Jeśli w systemie zainstalowany jest *MS Word*, to właśnie w nim zostanie otwarty raport. Aby temu zapobiec należy odznaczyć tę opcję.

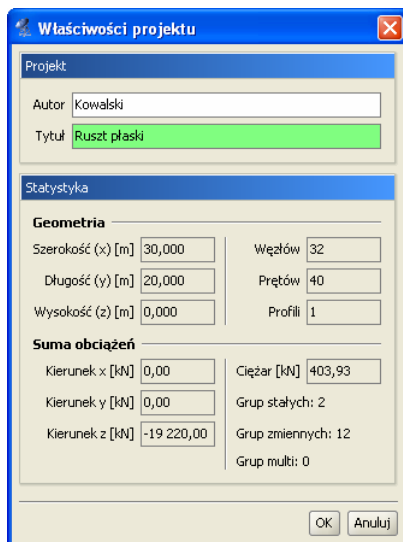
3.15 TWORZENIE ANIMACJI DEFORMACJI

Ta opcja służy do zapisu na dysk animacji deformacji układu. Można ją uruchomić po przełączeniu się na zakładkę *Wyniki*. Animacja deformacji wykonywana jest dla wybranej grupy obciążeń lub sumy grup obciążeń. W przypadku wybrania opcji obwiedni animacja deformacji nie jest dostępna.

Po wywołaniu należy wybrać nazwę pliku animacji. Animacja zapisywana jest w formacie AVI. Można otworzyć ją np. za pomocą *Windows Media Playera*.

3.16 WŁAŚCIWOŚCI PROJEKTU

W oknie *Właściwości projektu* można wpisać nazwę projektu oraz jego autora. Informacje te zostaną umieszczone w nagłówku raportu.



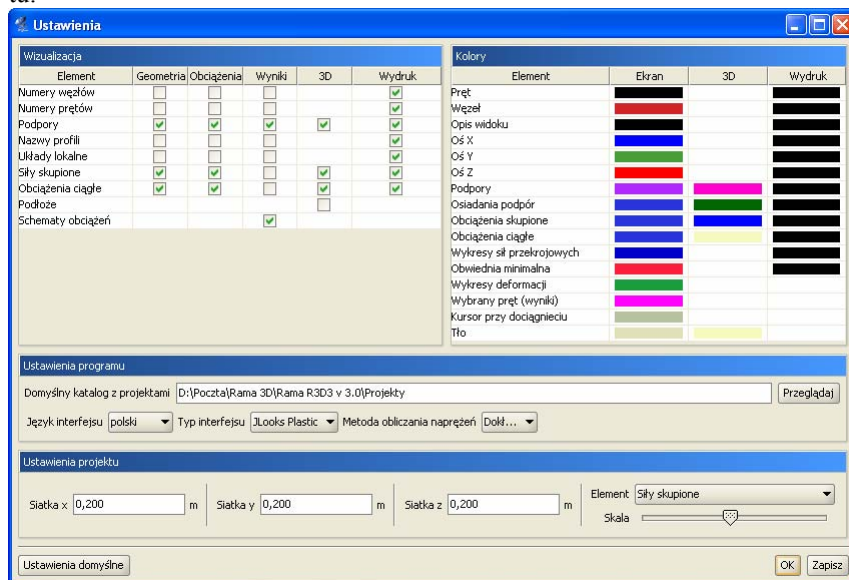
Rys. 3.25 Właściwości projektu

Dodatkowo przedstawiane są tu statystyki projektu: jego wymiary, ilości elementów, sumy obciążeń na poszczególnych kierunkach oraz całkowity ciężar układu i ilości poszczególnych typów grup obciążeń.

3.17 USTAWIENIA



Okno Ustawienia służy do zmiany ustawień programu oraz aktualnego projektu.



Rys. 3.26 Ustawienia

Grupa *Wizualizacja* służy do określania, które elementy mają być rysowane na ekranie przy włączonych poszczególnych zakładkach (*Geometria*, *Obciążenia*, *Wyniki*), podglądzie 3D oraz na wydruku. Można wyłączyć rysowanie niektórych elementów, które są w danej chwili zbędne i zaciemniają widok układu.

Użytkownik ma możliwość dostosowania palety kolorów używanych w programie do swoich potrzeb. Możliwa jest niezależna zmiana kolorów układu na ekranie, w widoku 3D i na wydruku. Klikając lewym przyciskiem myszy w grupie *Kolory* na kolorowe kwadraty otwiera się okno wyboru koloru. W tym oknie można wybrać kolor z palety lub określić go samemu podając wartości poszczególnych składowych (Czerwona, Zielona, Niebieska).

W grupie *Ustawienia programu* określa się również ścieżkę do katalogu z projektami, język interfejsu, metodę obliczania naprężeń oraz „skórkę”, czyli rodzaj interfejsu.

Katalog z projektami określany jest podczas instalacji programu. Domyślnie przyjmowany jest katalog \projekt\ w katalogu z programem. W tym katalogu zapisywane są tworzone projekty, pliki raportów oraz pliki animacji.

Podstawy

Język programu (interfejsu, raportów) zmieniamy wybierając go z listy dostępnych języków. Zmiana widoczna jest natychmiast - nie jest konieczne ponowne uruchamianie programu. Dostępne języki to polski, niemiecki i angielski.

Skórki to kompozycje graficzne umożliwiające zmianę wyglądu programu. W programie zawarty jest kilka takich kompozycji, które można wybierać z listy. Zmiana będzie widoczna dopiero po ponownym uruchomieniu programu.

Powyższe (*Wizualizacja, Kolory, Ustawienia programu*) ustawienia są ustawieniami programu i są zapisywane w pliku konfiguracyjnym settings.ini w głównym katalogu programu.

Ustawienia związane z poszczególnymi projektami zapisywane są w pliku projektu. Są to ustawienia kroku siatki oraz skala rysowania poszczególnych elementów. Możliwa jest zmiana skali rysowanych obciążeń, wielkości podpór oraz wykresów przy wyświetlaniu wyników. Więcej na temat siatki w punkcie ***Pomoce rysunkowe/Siatka***.

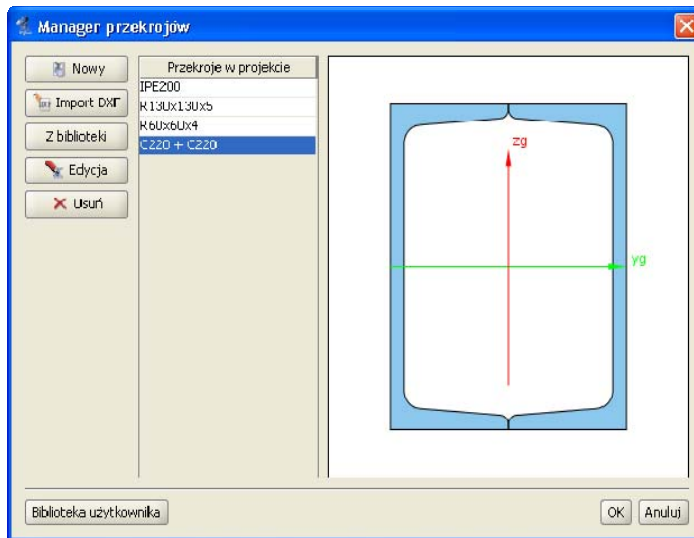
Klikając na przycisk *Ustawienia domyślne* przywracane są domyślne ustawienia widoczności elementów oraz ich kolorów.

4 PRZEKROJE ELEMENTÓW

Dla każdego pręta w projekcie musi być określony kształt jego przekroju poprzecznego. Program *Rama3D* umożliwia tworzenie przekrojów złożonych o dowolnym kształcie. Parametry geometryczne przekroju są automatycznie obliczane przez program.

4.1 MANAGER PRZEKROJÓW

Podstawowym oknem służącym do pracy z przekrojami jest okno *Managera Przekrojów*. Służy ono do zarządzania przekrojami zdefiniowanymi w projekcie oraz w bibliotece użytkownika.



Rys. 4.1 Manager przekrojów

W centralnej części okna znajduje się lista przekrojów zdefiniowanych w projekcie. Po prawej stronie wyświetlany jest zaznaczony przekrój. Po lewej stronie znajdują się przyciski z dostępnymi opcjami. W dolnej części okna znajduje się przycisk służący do wywoływania biblioteki użytkownika.

Przekroje elementów

Podczas otwierania okna managera program odczytuje profil zaznaczonych prętów w projekcie i automatycznie wybiera go w managerze. Jeśli żaden pręt nie był zaznaczony lub zaznaczone pręty miały różne przekroje, to wtedy żaden przekrój nie zostaje wybrany w managerze. Po wciśnięciu przycisku OK profil wybrany w managerze zostaje przypisany do uprzednio zaznaczonych prętów.

Przyciski funkcyjne:

Tworzenie nowego przekroju. Po wciśnięciu tego przycisku otwierane jest okno z przekrojami tablicowymi z których należy wybrać zadany przekrój.

Z biblioteki. Otwiera okno biblioteki użytkownika z której należy wybrać przekrój. Przekrój jest kopiowany do projektu, więc jego edycja nie wpływa na zawartość biblioteki.

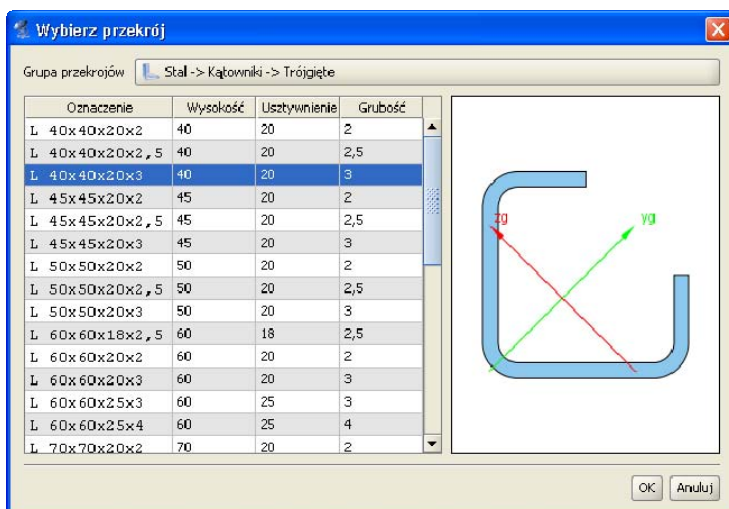
Edycja. Rozpoczyna edycje zaznaczonego przekroju z projektu. Edycje przekroju rozpoczyna również dwukrotne kliknięcie myszka na przekroju w liście.

Usuń. Usuwa zaznaczony przekrój z projektu. Aby cofnąć usunięcie (oraz wszystkie inne dokonane zmiany) należy wcisnąć przycisk *Anuluj*.

4.2 PRZEKROJE TABLICOWE

W programie zawarta jest biblioteka przekrojów stalowych, żelbetowych oraz drewnianych. Przekrój wybiera się z okna biblioteki przekrojów.

Rodzaj prezentowanej w oknie tablicy określamy przez wciśnięcie przycisku opisanego jako *Grupa przekrojów*. Z drzewa które zostanie pokazane należy wybrać właściwą tablicę.

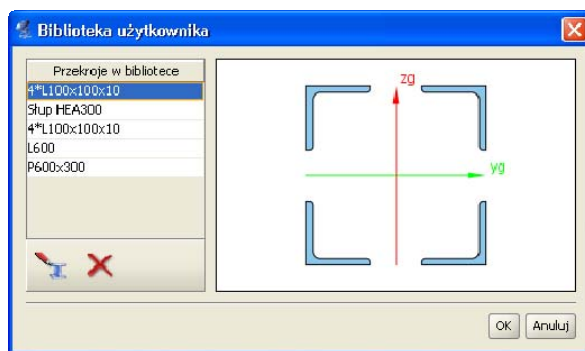


Rys. 4.2 Wybierz przekrój

Zaznaczony przekrój jest wyświetlany po prawej stronie okna. Aby zatwierdzić wybór należy wcisnąć przycisk *OK*.

4.3 BIBLIOTEKA UŻYTKOWNIKA

Przekroje stworzone podczas pracy z projektem są zapisywane w pliku projektu. Aby wykorzystać je w różnych projektach należy stworzone przekroje zapisać do *Biblioteki użytkownika*. Biblioteka jest niezależna od projektu i jest dostępna od razu po uruchomieniu programu.



Rys. 4.3 Biblioteka użytkownika

Okno biblioteki wywołuje się z okna managera przekrojów przez wcisnięcie przycisków *Z* biblioteki lub *Biblioteka użytkownika*. Pierwszy przycisk służy do skopiowania przekroju z biblioteki do aktualnego projektu. Aby skopiować przekrój z biblioteki należy wskazać go na liście i wcisnąć przycisk *OK*. Drugi tylko otwiera okno biblioteki, np. w celu sprawdzenia jej zawartości.

Poniżej listy przekrojów znajdują się ikony działań na aktywnym przekroju:

- Edycja zaznaczonego przekroju z biblioteki,
- Usunięcie zaznaczonego przekroju z biblioteki.

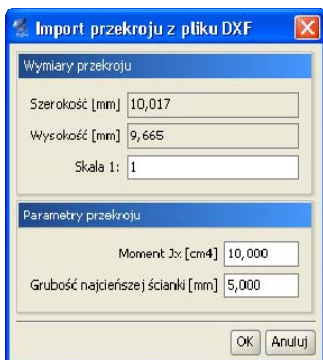
Aby cofnąć wszystkie wykonane zmiany (usuwanie i edycje przekrojów) należy wcisnąć przycisk *Anuluj*.

4.4 PRZEKROJE O DOWOLNYM KSZTAŁCIE

W programie istnieje możliwość importu kształtu przekroju z pliku w formacie DXF. Daje to możliwość tworzenia przekrojów o dowolnym kształcie.

Dane muszą być specjalnie przygotowane, aby mogły zostać zaimportowane. W programie CAD kształt przekroju musi zostać narysowany polilinią, która znajduje się na warstwie o nazwie „0”. Polilinia nie musi być zamknięta – program zamknie ją automatycznie podczas importu. W celu stworzenia wycięcia w przekroju, należy narysować je polilinią na warstwie o nazwie „1”.

Plik DXF musi zostać zapisany w formacie DXF ASCII. W zdefiniowanym przekroju istnieje możliwość wykonania jednego wycięcia w przekroju. W przypadku potrzeby wykonania kilku osobnych wycięć, przekrój należy „rozciąć” tak by w jednym przekroju znajdowało się jedno wycięcie. Następnie „rozcięte” części należy wczytać jako osobne pliki DXF do *Menagera przekrojów* i złożyć je w jeden przekrój w *Edytorze*.



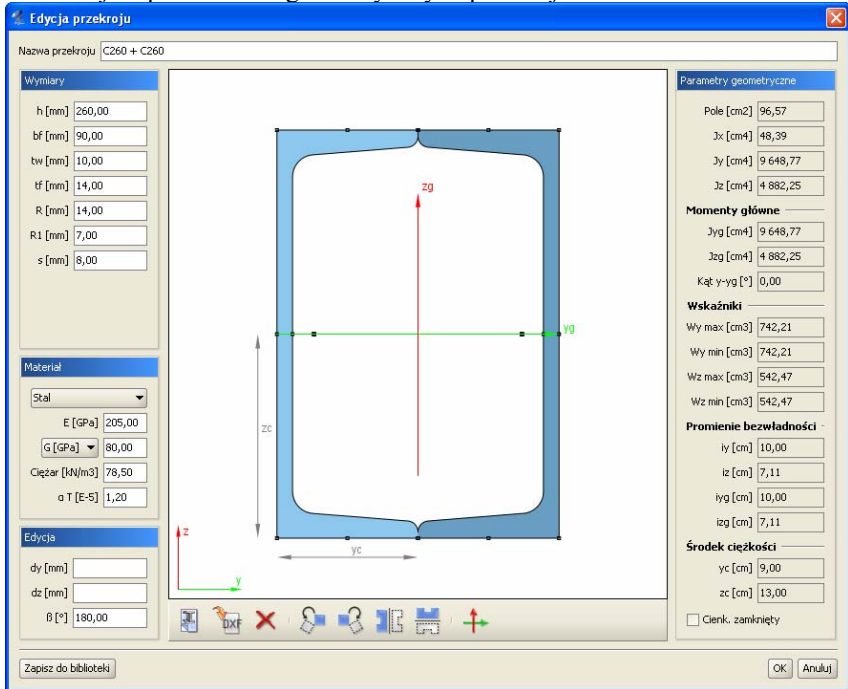
Rys. 4.4 Import przekroju z pliku DXF

Podczas importu program wyświetli okno informacyjne, w którym można określić skalę importowanego kształtu. Dodatkowo należy podać także moment bezwładności na skręcanie przekroju oraz grubość jego najcieńszej ścianki

4.5 EDYCJA

Modyfikacje oraz tworzenie przekrojów złożonych wykonuje się w oknie *Edycji*. Również w tym oknie określa się materiał przekroju.

Po lewej stronie znajdują się pola tekstowe do modyfikacji przekroju. Środkową część zajmuje widok przekroju, natomiast po prawej stronie znajdują się informacje o parametrach geometrycznych przekroju.



Rys. 4.5 Edycja przekroju

Widok przekroju. Podczas pracy w edytorze na przekrojach aktywne są punkty uchwytu. Rysowane są one jako niewielkie, czarne kwadraty. Po najechnaniu myszka na punkt uchwytu i wciśnięciu lewego przycisku myszy można przesuwać dany przekrój. Punkty uchwytu poszczególnych przekrojów przyciągają się – jeśli dwa punkty znajdują się dostatecznie blisko siebie to przesuwany przekrój zostanie przyciągnięty. Umożliwia to wyrównywanie położenia przekrojów względem siebie. W środku ciężkości przekroju zaczepione są główne centralne osie bezwładności. Zielona os y_g jest osią względem której moment bezwładności jest największy.

Edycja przekroju polega na dodawaniu, usuwaniu, modyfikacji położenia oraz wymiarów przekrojów tworzących przekrój złożony. Aktualnie modyfikowany przekrój jest wyróżniony ciemniejszą barwą. Przekrój do modyfikacji należy wskazać przez kliknięcie lewym przyciskiem myszy na jego dowolnym punkcie uchwytu. Po wskazaniu przekroju, w lewej części okna pojawiają się pola tekstowe służące do modyfikacji wymiarów. Podczas wpisywania wartości wymiarów na widoku rysowane są odpowiednie linie wymiarowe, które

Przekroje elementów

ułatwiają rozpoznanie który wymiar jest modyfikowany. Przekroje można przesuwac nie tylko myszka, ale również przez podanie z klawiatury współrzędnych wektora przesunięcia. Pola tekstowe do określenia wektora znajdują się

w grupie *Edycja*. Wartości dx oraz dy oznaczają odpowiednio przesuw w poziomie i w pionie. Wartości należy podawać w milimetrach.

Pozostałe funkcje edycyjne są dostępne z paska przycisków znajdującego się pod widokiem przekroju:

- Dodanie nowego przekroju tablicowego.
- Dodanie przekroju o kształcie zdefiniowanym w pliku DXF.
- Usunięcie zaznaczonego przekroju.
- Obrót zaznaczonego przekroju w lewo o 45 stopni. W polu tekstowym znajdującym się w grupie Edycja można podać dokładną wartość kąta obrotu dla zaznaczonego przekroju.
- Obrót zaznaczonego przekroju w prawo o 45 stopni.
- Lustrzane odbicie zaznaczonego przekroju względem osi pionowej.
- Lustrzane odbicie zaznaczonego przekroju względem osi poziomej.
- Obrót całego przekroju tak, aby jego osie główne pokrywały się z osiami lokalnymi pręta.

Jeśli żaden przekrój nie jest zaznaczony to funkcje obrotu i lustrzanego odbicia działają na całym przekroju. Dodatkowo można wtedy też obracać cały przekrój o podany kąt – należy wpisać go w polu β .

Material. W edytorze zdefiniowane są parametry podstawowych materiałów. Materiał przekroju można wybrać z rozwijanej listy znajdującej się w grupie Materiał lub samodzielnie zdefiniować jego parametry w polach tekstowych. Rodzaj materiału określa kolor przekroju. Przekroje metalowe są rysowane kolorem błękitnym, betonowe zielonym, a drewniane żółtym.

Parametry geometryczne. Wartości parametrów geometrycznych przekroju złożonego są aktualizowane po każdej operacji. W przekrojach złożonych parametry są obliczane dla części wspólnej przekrojów jednokrotnie. Oznacza to, że np. pola przekrojów, które pokrywają się nie zostaną podwójnie zliczone. Oczywiście dotyczy to również wszystkich pozostałych parametrów.

W przypadku momentu skręcającego J_x dostępne są dwie metody wyznaczenia jego wartości. Pierwsza to suma momentów skręcających poszczególnych przekrojów składowych przekroju złożonego. Momenty składowe obliczane są jak dla przekrojów cienkościennych otwartych wg wzoru:

$$J_x = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n h * t^3$$

gdzie:

h – wysokość ścianki

t – grubość ścianki

Drugą możliwością jest potraktowanie przekroju jako przekroju cienkościennego zamkniętego. Przykładem takiego przekroju są dwa ceowniki zespane w rurę. Zaznaczając opcje *Cienk. Zamknięty* znajdującą się w grupie *Parametry* geometryczne uaktywniamy ten tryb obliczeń. Moment J_x jest wówczas obliczany ze wzoru:

$$J_x = \frac{4 * A_0^2 * \Delta_{\min}}{s}$$

gdzie:

A_0 - pole powierzchni wielokąta wypukłego opisanego na grupie przekrojów, ograniczone linia środkową najcieńszej ścianki,

Δ_{\min} - grubość najcieńszej ścianki,

s - długość obwodu obliczona dla wielokąta j.w. pocienionego o pół grubości najcieńszej ścianki.

J_y oraz J_z to momenty bezwładności liczone odpowiednio względem osi poziomej oraz pionowej, zaczepionej w środku ciężkości przekroju.

J_{yg} oraz J_{zg} to główne centralne momenty bezwładności przekroju. Kat $y-yg$ to kat między poziomą osią y , a osią główną yg .

Wskaźniki wytrzymałości policzone są względem osi poziomej y oraz pionowej z . Podane są maksymalna i minimalna wartość obu wskaźników. Dalej podane są promienie bezwładności liczone w układzie lokalnym oraz w osiach głównych, a na samym końcu współrzędne położenia środka ciężkości.

Biblioteka. Podczas pracy w edytorze w każdej chwili można zapisać aktualny stan przekroju do biblioteki użytkownika. Każdorazowe wciśnięcie przycisku *Zapisz do biblioteki* spowoduje stworzenie nowego przekroju w bibliotece. Aby cofnąć wszystkie wykonane zmiany (usuwanie i edycje przekrojów) należy wcisnąć przycisk *Anuluj*.

Sposób obliczeń przyjęty w programie powoduje, że jeśli osie główne przekroju nie pokrywają się z osiami lokalnego układu współrzędnych pręta, to wyniki obliczeń deformacji układu mogą być niewłaściwe. Wyniki sił przekrojowych są poprawne niezależnie od ułożenia osi.

Oś y lokalnego układu współrzędnych pręta jest równoległa do poziomej krawędzi okna edycji przekroju, natomiast oś z do krawędzi pionowej.

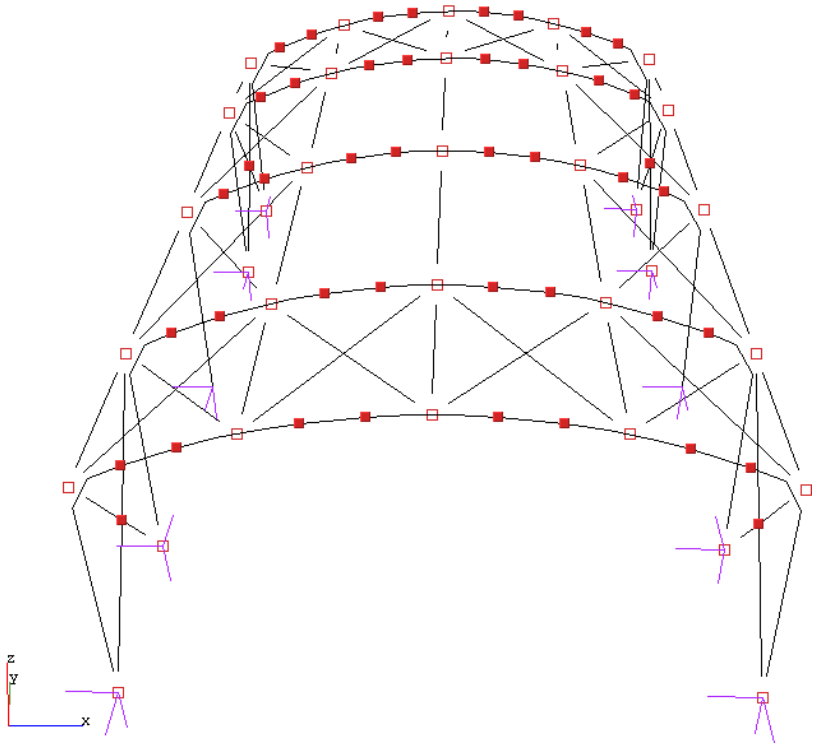
Po zakończeniu edycji przekroju złożonego program sprawdza, czy przekrój jest ustawiony odpowiednio. Jeśli nie to wyświetlane jest okno informacyjne. Można wtedy zignorować ostrzeżenie, wrócić do edycji przekroju lub nakazać programowi automatyczne ustawienie przekroju tak, aby osie główne były położone właściwie. Automatyczne ustawienie można oczywiście poprawić (np. obracając przekrój o 90 stopni) w edytorze, korzystając z przycisków obrotu przekroju lub wpisując kąt obrotu z klawiatury w polu β .

Przekroje elementów

5 TWORZENIE PRZYKŁADOWEJ KONSTRUKCJI

Wprowadzanie konstrukcji w programie można przeprowadzać na kilka sposobów. Dane można wprowadzać z klawiatury lub myszką. Można także użyć generatorów konstrukcji.

W tym rozdziale zostanie zaprezentowane utworzenie konstrukcji takiej, jak na rysunku 5.1.



Rys. 5.1 Przykładowa konstrukcja

Tworzenie przykładowej konstrukcji

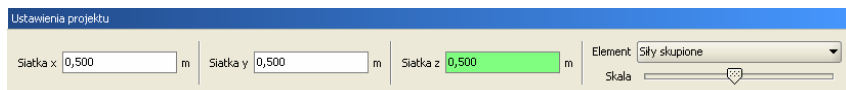
5.1 OPIS KONSTRUKCJI

Jest to hala stalowa o wymiarach 12m x 20m x 6,5m. Strzałka łuku wynosi 1,5m. Odległości pomiędzy kolejnymi dźwigarami wynoszą: 4m, 6m, 6m, 4m. Układ składa się ze sztywnych ram połączonych przegubowo płatwiami oraz stężeniami ścian i dachu. Podparcie układu stanowią podpory przegubowe.

5.2 PRZYGOTOWANIE

Przed rozpoczęciem rysowania wygodnie jest ustawić odpowiedni krok siatki w oknie *Ustawienia* oraz zdefiniować potrzebne profile elementów.

W przypadku tej konstrukcji ustawiono siatkę o oczkach 0,5m (rys. 5.2).



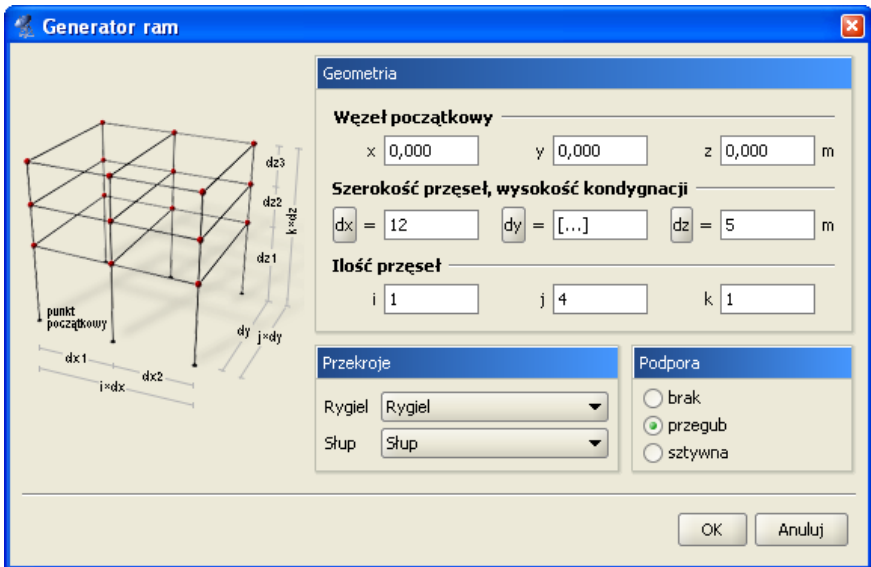
Rys. 5.2 Ustawienie siatki

W przykładzie wprowadzono pięć profili: słup, rygiel, płatew, stężenia dachu, stężenia ścian.



5.3 UŻYCIE GENERATORA RAM

W programie zawarty jest generator ram prostokątnych (rys. 5.3). Z jego pomocą będzie można szybko stworzyć część konstrukcji. Następnie trzeba będzie wprowadzić kilka modyfikacji: usunąć poziome rygle i wstawić łuki.



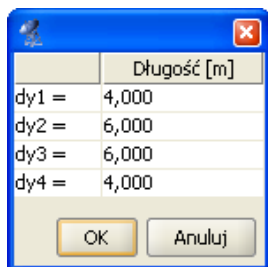
Rys. 5.3 Generator ram prostokątnych

Generator umożliwia generowanie ram prostokątnych w dowolnym miejscu przestrzeni. Punkt początkowy tworzonej ramy można określić przez wpisanie jego współrzędnych do odpowiednich pól tekstowych. Jeśli przed uruchomieniem generatora jeden węzeł układu będzie zaznaczony, to współrzędne tego węzła zostają potraktowane jako punkt początkowy.

Parametry i, j, k odpowiadają za ilość przęseł układu na kierunkach odpowiednio: szerokość, długość, wysokość. Niektóre ustawienia parametrów umożliwiają nie tylko generowanie ram prostokątnych. Ustawiając wartość parametru k równą zero można generować płaskie ruszty. Jeśli dwa z parametrów są równe zero wynikiem działania generatora będzie belka wieloprzęsłowa.

Szerokości wszystkich przęseł oraz wysokości wszystkich kondygnacji określa się w polach tekstowych opisanych jako dx, dy, dz . Istnieje również możliwość określenia różnych szerokości i wysokości dla poszczególnych przęseł i kondygnacji. W tym celu należy skorzystać z przycisków umieszczonych obok pól tekstowych. Klikając na przyciski otwiera się okno z tabelą w której można zdefiniować wymiary kolejnych przęseł (rys. 5.4).

Tworzenie przykładowej konstrukcji



	Długość [m]
dy1 =	4,000
dy2 =	6,000
dy3 =	6,000
dy4 =	4,000

OK Anuluj

Rys. 5.4 Wymiary kolejnych przęseł

Wpisane w tym oknie wartości zatwierdzane są po wciśnięciu klawisza **Enter** lub po przejściu do innej komórki tablicy.

Podczas dodawania nowych węzłów i prętów do układu generator sprawdza, czy nie pokrywają się one z istniejącymi elementami. Mogłoby to prowadzić do geometrycznej zmienności układu. Dla odnalezionych prętów modyfikowany jest ich profil, natomiast w węzłach wstawiana jest ewentualna podpora.

W naszym przykładzie nie ma jeszcze żadnych obiektów, więc nie trzeba określać punktu początkowego generowanej rami. Można pozostawić wpisane wartości domyślne (0, 0, 0).

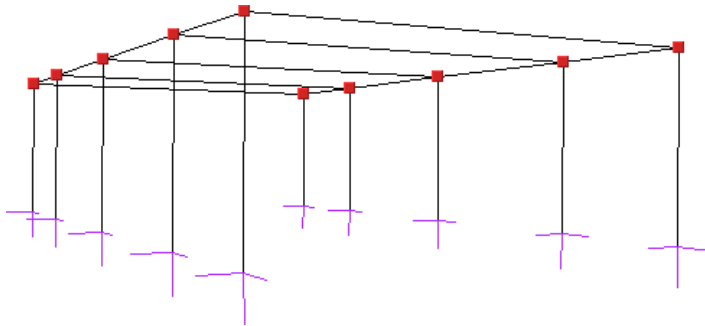
Następnie określamy ilość przęseł. Na kierunkach i (szerokość) oraz k (wysokość) występuje po jednym przęśle. Na długości (j) są cztery przęśla.

Szerokość rami wynosi 12m, więc w polu oznaczonym dx należy wpisać 12. Wysokość rami (nie licząc łuku) to 5m - tą wartość wpisujemy w polu dz . Gdyby odległość pomiędzy kolejnymi dźwigarami była stała należało by ją podać w polu dy . W tym przypadku jednak tak nie jest. Odległości między dźwigarami określamy w oknie które otworzy się po wciśnięciu przycisku dy (rys. 5.4). Wpisane wartości były różne (4m, 6m, 6m, 4m), co jest sygnalizowane przez pole tekstowe dy , w następujący sposób: [. . .].

Teraz pozostało tylko określić profile elementów oraz typy podpór. Profile rygli i słupów wybieramy z listy uprzednio zdefiniowanych profili. Podpory mogą być przegubowe lub sztywne. Można również wyłączyć generowanie podpór. Określamy to wybierając jedną z opcji w oknie generatora ram.

Wprowadzana rama będzie miała podpory przegubowe.

Po wciśnięciu przycisku **OK** rama zostaje wygenerowana (rys. 5.5).



Rys. 5.5 Rama z generatora ram prostokątnych

5.4 USUWANIE ZBĘDNYCH PRĘTÓW

Rama stworzona generatorem posiada poziome rygle. Należy je usunąć i zastąpić łukami.

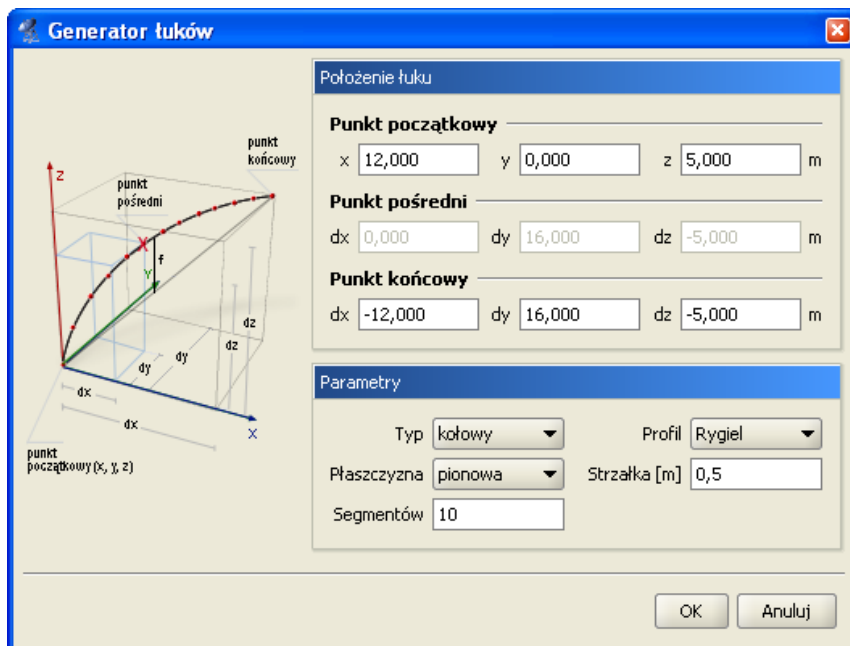
Aby usunąć pręty należy je najpierw zaznaczyć. Sposoby selekcji prętów są opisane w punkcie *Selekcja*. Po wciśnięciu ikony usuwania wszystkie zaznaczone pręty zostaną usunięte.



5.5 GENERATOR ŁUKÓW

Okno generatora łuków przestawione jest na rys. 5.6.





Rys. 5.6 Generator łuków

Umożliwia on tworzenie łuków kołowych oraz parabolicznych, składających się z zadanej ilości segmentów.

Do jednoznacznego określenia położenia łuku w przestrzeni potrzebne są współrzędne trzech jego punktów. Generator pozwala tworzyć łuki po określeniu trzech oraz także po podaniu tylko dwóch punktów. W tym przypadku należy dostarczyć jednak dodatkowych informacji o strzałce łuku oraz jego położeniu. Dwa podane punkty określają punkt początkowy i końcowy łuku. Położenie określamy wybierając płaszczyznę łuku: pionową lub poziomą.

Współrzędne punktów można wpisać w polach tekstowych. Znacznie wygodniejsze jest jednak wskazanie węzłów przez które ma być poprowadzony łuk. Przed uruchomieniem generatora należy zaznaczyć dwa lub trzy węzły. Na podstawie ich wzajemnego położenia zostaną one potraktowane jako węzeł początkowy, pośredni i końcowy łuku. Jako węzły początkowy i końcowy wybierane są dwa najodleglejsze spośród trzech zaznaczonych węzłów. Należy zaznaczyć, że punkt pośredni nie zawsze staje się jednym z węzłów łuku. Jest on używany do wyznaczenia matematycznego równania łuku. Łuk przybliżany jest linią łamaną o zadanej ilości segmentów.

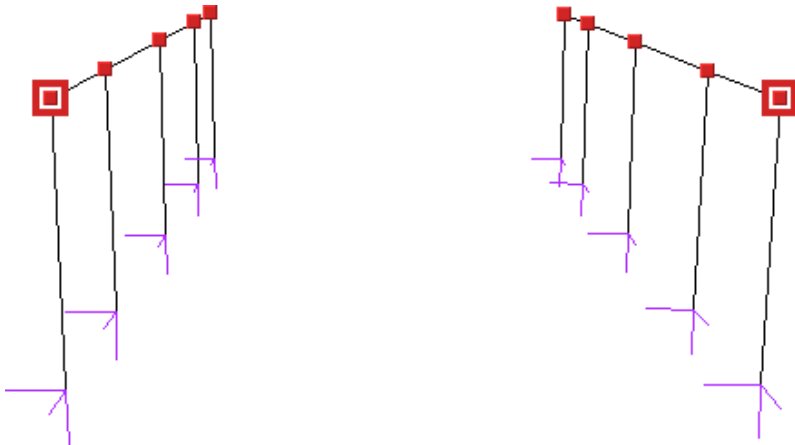
Możliwe jest, że żaden z węzłów wyliczonych z równania łuku nie pokryje się z węzłem pośrednim. W przypadku łuku kołowego kolejne jego węzły umiesz-

czane są w równych odległościach. Jeśli odległość punktu pośredniego (mierzona po łuku) od punktu początkowego łuku nie jest wielokrotnością zadanej długości kroku to żaden z tworzonych węzłów łuku nie pokryje się z punktem pośrednim.

Podobnie jest w przypadku łuku parabolicznego. Tam stałe są jednak odległości między rzutami węzłów łuku na odcinek łączący punkt początkowy i końcowy łuku.

Aby poprowadzić łuk przez węzeł pośredni najprościej wybrać na niego węzeł położony w równych odległościach od punktu początkowego i końcowego łuku oraz ustawić parzystą ilość segmentów. Taki węzeł będzie znajdował się w punkcie przez który przechodzi oś symetrii łuku.

W przykładzie strzałka łuku ma 1,5m. Łuk składa się z dwunastu segmentów. Przed uruchomieniem generatora wskazujemy punkty przez które zostanie poprowadzony łuk (rys. 5.7).



Rys. 5.7 Przed uruchomieniem generatora łuków

W oknie generatora ustawiamy odpowiednie parametry: łuk kołowy, płaszczyzna pionowa, ilość segmentów (12), profil i strzałka łuku (1,5m). Po wciśnięciu przycisku *OK* łuk zostanie wygenerowany. Czynność tą powtarzamy dla pozostałych dźwigarów.

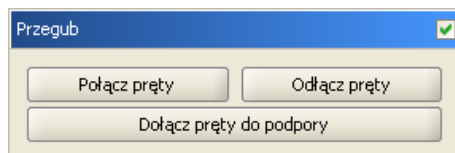
5.6 WPROWADZANIE PRZEGUBÓW

Płatwie oraz pręty stężające konstrukcję mają być zamocowane przegubowo. Wynikiem pracy generatora jest jednak konstrukcja, której wszystkie węzły są

Tworzenie przykładowej konstrukcji

sztynne. Zmodyfikujemy teraz konstrukcję tak, aby płatwie łączące kolejne dźwigary były zamocowane przegubowo.

Modyfikacja będzie polegała na utworzeniu przegubów w węzłach płatwi skrajnych. Słup oraz rygiel łączące się w tych węzłach powinny być połączone sztywno. Narzędzia służące do wykonania tych operacji znajdują się w zakładce *Węzły* (rys. 5.8).



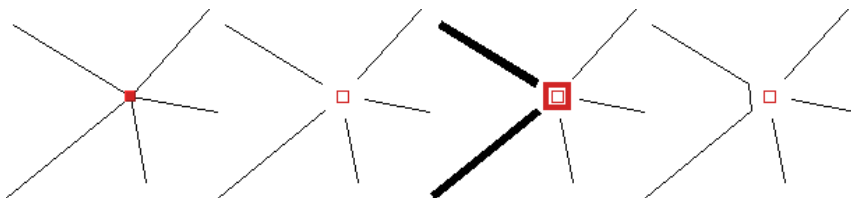
Rys. 5.8 Narzędzia do operacji w przegubach

Narzędzia te operują na uprzednio zaznaczonych węzłach i prętach. W polu wyboru znajdującym się na pasku grupy *Przegub* można określić czy zaznaczone węzły mają być przegubami.

5.6.1 Połącz pręty

Ta opcja służy do zesztynniania grup prętów w węźle. Jej działanie polega na tym, że dla wszystkich zaznaczonych przegubów i prętów zesztynnia **zaznaczone** pręty łączące się w nich.

Rysunek 5.9 przedstawia typowe użycie tej funkcji.



Rys. 5.9 Zesztynnianie grup prętów w przegubie

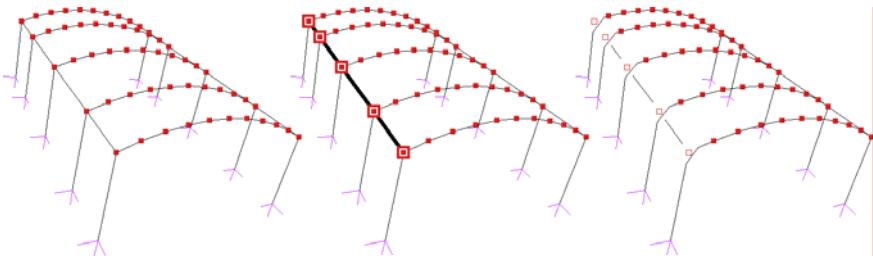
Na początku pręty w węźle są sztywno połączone. W kolejnym kroku na rysunku wstawiany jest przegub. Następnie należy wskazać modyfikowany przegub oraz pręty do połączenia. Po uruchomieniu funkcji wybrane pręty zostaną połączone.

5.6.2 Odlącz pręty

Działanie tej funkcji jest przeciwieństwem działania funkcji *Połącz pręty*. Służy ona do rozłączania zeszywnionych prętów. Przed jej uruchomieniem należy również wskazać węzły oraz pręty do modyfikacji.

Jeśli wskazany węzeł nie jest przegubem to zostanie on automatycznie zamieniony na przegub. Pręty które nie były zaznaczone zostaną w tym przegubie sztywno połączone.

Ta funkcja została użyta do wprowadzenia przegubów w płatwiach. Rysunek 5.10 ilustruje kolejne kroki postępowania.



Rys. 5.10 Wprowadzanie przegubów w płatwiach

Po zaznaczeniu odpowiednich elementów: węzłów i prętów (krok nr 2 na rysunku) płatwie zostały połączone przegubowo ze sztywnymi ramami. Jak widać na rysunku jedno uruchomienie funkcji wystarczyło do wprowadzenia kilku przegubów jednocześnie. Należy jeszcze podobną czynność wykonać dla płatwi znajdujących się po prawej stronie. Oczywiście można było zaznaczyć od razu wszystkie elementy do modyfikacji i wprowadzić przeguby za jednym uruchomieniem funkcji *Odlącz pręty*.

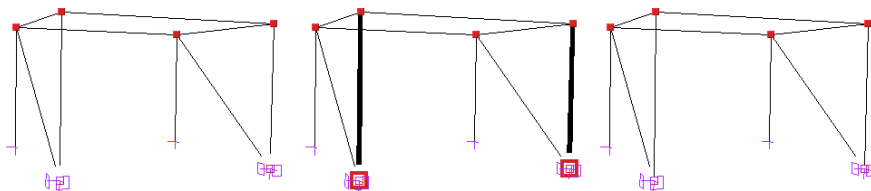
5.6.3 Dołącz pręty do podpory

Przy podporach sztywnych, tzn. nie przegubowych istnieje możliwość określenia które z prętów mają być połączone z podporami sztywno, a które przegubowo.

Użycie tej funkcji jest analogiczne do powyższych - przed jej uruchomieniem należy wskazać węzły podporowe oraz pręty które mają zostać sztywno do nich dołączone. Pręty sztywno połączone z podporą można odłączać od niej za pomocą funkcji *Odlącz pręty*.

Tworzenie przykładowej konstrukcji

Na rysunku 5.11 pokazane są kolejne etapy sztywnego łączenia słupów z podporami. Pręty ukośne nie zostają połączone sztywno z podporą - pozostają połączone przegubowo.



Rys. 5.11 Sztywne łączenie prętów z podporą

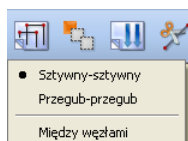
Użycie tej funkcji nie jest potrzebne w przedstawionym przykładzie.



5.7 RYSOWANIE PRĘTÓW POŁĄCZONYCH PRZEGUBAMI

Funkcja rysowania układu pracuje w dwóch trybach, umożliwiając rysowanie prętów połączonych sztywno lub przegubami. W praktyce działa jak połączenie funkcji rysowania układu z funkcją *Odlącz pręty*.

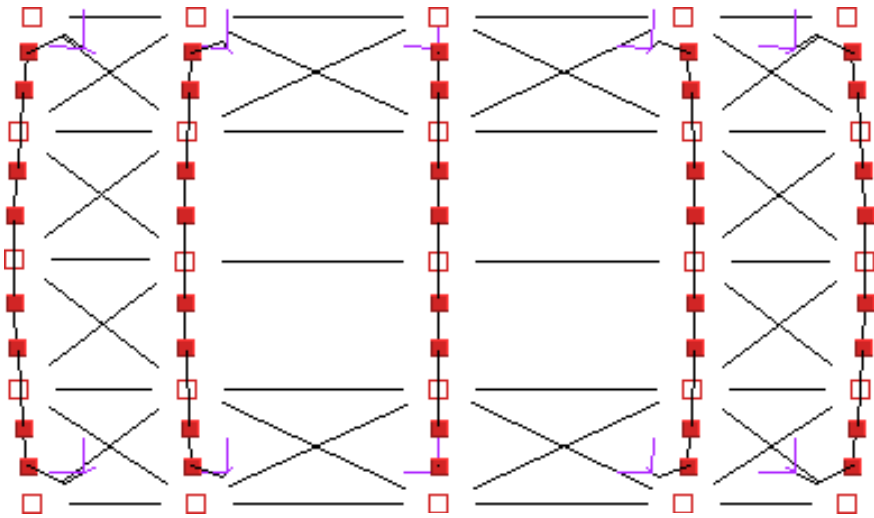
Tryb rysowania zmienia się klikając prawym przyciskiem myszy na ikonie *Rysuj*, następnie wybierając z menu tryb (rys. 5.12).



Rys. 5.12 Zmiana trybu rysowania

Tryb rysowania można zmieniać także podczas rysowania układu.

W przykładowej konstrukcji ten tryb rysowania zostanie użyty podczas rysowania płatwi dachowych oraz stężeń. Konstrukcja z wprowadzonymi płatwiami i stężeniami dachu przedstawiona jest na rysunku 5.13.



Rys. 5.13 Płatwie dachowe i stężenia - widok z góry

5.8 DZIELENIE PRĘTÓW WĘZŁAMI



Okno funkcji dzielenia prętów węzłami przedstawione jest na rysunku 5.14.



Rys. 5.14 Podział prętów węzłami

Przed uruchomieniem tej funkcji należy zaznaczyć pręty na których zostaną wprowadzone dodatkowe węzły.

Położenie nowych węzłów należy podać w tabeli. Jeśli długości zaznaczonych prętów nie są równe, wówczas można podawać jedynie odległości procentowe nowych węzłów od początkowego lub końcowego węzła pręta. Jeśli wszystkie zaznaczone pręty mają jednakową długość (lub gdy wybrany jest tylko jeden pręt) można określać odległości węzłów w metrach.

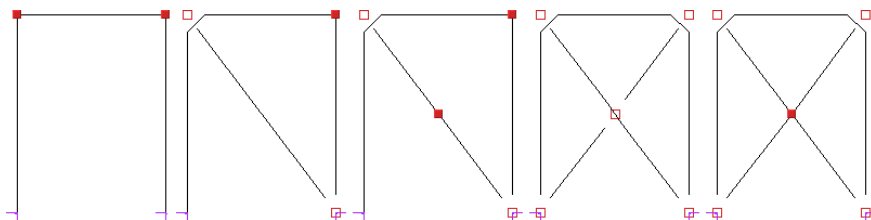
Tworzenie przykładowej konstrukcji

Przy prostym dzieleniu na dwie, trzy, cztery czy pięć części nie trzeba samodzielnie określać położenia węzłów - wystarczy wybrać z listy typ podziału, a program sam ustali położenie węzłów.

Funkcję dzielenia prętów można użyć do wprowadzania obciążeń ciągłych na części pręta. Obciążony pręt można podzielić węzłami, a następnie usunąć obciążenia z wybranych części. Można także najpierw wprowadzić w żądanych punktach pręta dodatkowe węzły (czyli podzielić go na większą ilość prętów)

i potem obciążyć odpowiednie części.

Funkcja dzielenia prętów zostanie użyta podczas wprowadzania stężeń ścian. Stężenia mają postać dwóch krzyżujących się prętów połączonych sztywno ze sobą. Kolejne kroki wykonywane podczas tworzenia stężeń ścian pokazane są na rysunku 5.15.



Rys. 5.15 Wprowadzanie stężeń ścian

Najpierw należy wprowadzić pierwszy ukośny pręt. Następnie zaznaczyć go i uruchomić funkcję *Dzielenie prętów węzłami*. Z listy należy wybrać podział na dwie części i wcisnąć przycisk *Podziel*. Następnym krokiem jest narysowanie dwóch ukośnych prętów. Na koniec trzeba tylko zaznaczyć węzeł w którym łączą się stężenia i usunąć przegub.

Należy pamiętać że funkcja dzielenia pręta zachowuje jego własności takie jak np. przekrój, ustawienie lokalnego układu współrzędnych itp.

6 MODYFIKOWANIE WPROWADZONEGO UKŁADU

Po skończeniu wprowadzania układu możliwa jest modyfikacja wszystkich jego elementów: geometrii, obciążeń oraz podparcia. Funkcje modyfikujące powyższe elementy mają podobną zasadę działania: najpierw należy wybrać elementy (węzły, pręty, obciążenia), które mają być modyfikowane, a następnie uruchomić odpowiednią funkcję.

6.1 INFORMACJE O GEOMETRII I OBCIĄŻENIACH

Modyfikacje geometrii oraz obciążeń układu dokonuje się za pomocą pól tekstowych opisanych w kolejnych punktach tego oraz następnego rozdziału. Pola te są wykorzystywane także do prezentacji informacji o geometrii oraz obciążeniach prętów i węzłów. Zaznaczenie pręta powoduje wyświetlenie informacji o nim.

Inną możliwością uzyskania informacji o elementach projektu są tzw. „chmurki pomocy”. Są to niewielkie pola tekstowe wyświetlane po zatrzymaniu wskaźnika myszy nad obiektem przez kilka sekund.

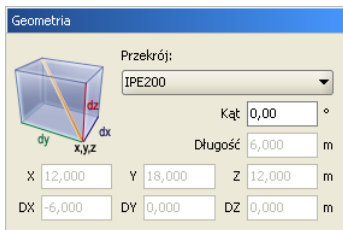
Węzeł: 2 (Podpora)	Pręt: 19	Obciążenie ciągłe
(12,000 ; 0,000 ; 0,000)	Profil: Rygiel	Qz = -5,00 kN/m
Osiadanie z: 1,00 mm	Jy = 23 130,00 cm ⁴	
	Jz = 1 320,00 cm ⁴	
	Js = 51,40 cm ⁴	
	A = 84,50 cm ²	

Rys. 6.1 Chmurki pomocy

6.2 MODYFIKACJE PRĘTÓW

Po zakończeniu rysowania układu możliwości modyfikacji geometrii układu w programie są następujące: zmiana profili prętów, ich kąta obrotu, zmiana położenia węzłów układu, usuwanie prętów, dzielenie prętów węzłami oraz wprowadzanie przegubów.

Modyfikowanie wprowadzonego układu



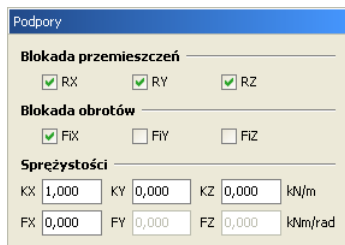
Rys. 6.2 Modyfikacje geometrii

Wybór profilu oraz kąta obrotu dla zaznaczonych prętów dokonuje się w grupie *Geometria* na pierwszej zakładce. Pozostałe operacje edycyjne zostały omówione we wcześniejszych rozdziałach podręcznika (m.in. w punkcie *Menu Kontekstowe*).

6.3 MODYFIKACJE PODPARCIA

Dla zaznaczonych węzłów można definiować podpory - określać które przemieszczenia i obroty mają być zablokowane. Modyfikacje te wykonuje się korzystając z pól znajdujących się w grupie Podpory w zakładce *Geometria*. Zaznaczając odpowiednie pola (RX, RY, RZ, FiX, FiY, FiZ) włącza się blokady przemieszczeń i obrotów na poszczególnych kierunkach globalnego układu współrzędnych.

Dla każdej blokady można dodatkowo określić wartość jej sprężystości (pola KX, KY, KZ, FX, FY, FZ).



Rys. 6.3 Podpory

W programie nie jest możliwe wykonanie obliczeń dla układu, w którym występuje obciążenie osiadaniem lub obrotem na podporze sprężystej. Można wprowadzić takie dane w edytorze, jednak przy próbie uruchomienia obliczeń zostanie wyświetlony komunikat. Do wyboru mamy wtedy automatyczna poprawę danych (przez usunięcie obciążeń lub sprężystości podpory) lub

Modyfikowanie wprowadzonego układu

przerwanie obliczeń. Funkcja automatycznej poprawy danych działa tylko dla podpór, w których występują błędy. Wybranie usunięcia osiadań spowoduje usunięcie ich tylko dla podpór sprężystych. Pozostałe osiadania nie zostaną zmodyfikowane. Analogicznie jest dla sprężystości.

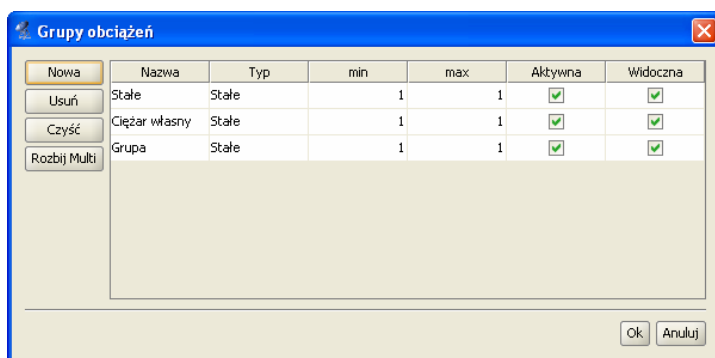
7 OBCIĄŻENIA UKŁADU

7.1 GRUPY OBCIĄŻEŃ

Każde obciążenie zdefiniowane w projekcie musi być przypisane do odpowiedniej grupy obciążeń stałych lub zmiennych. Wyjątek stanowi grupa obciążeń stałych *Ciążar własny*, która jest definiowana przez program automatycznie. Nie jest ona wizualizowana na ekranie, natomiast może być uwzględniona w procesie obliczeń.



Obciążenia zdefiniowane w projektach wykonanych w poprzednich wersjach programu są odczytywane w wersji drugiej programu. Podczas otwierania starego projektu obciążenia zostaną przypisane do jednej stałej grupy obciążeń. Następnie użytkownik może zdefiniować nowe grupy obciążeń i zmienić przypisanie poszczególnych (wybranych) obciążeń do odpowiednich grup. Zmiana przypisania obciążeń do poszczególnych grup odbywa się przez zaznaczenie (wskazanie dla wielu z klawiszem *Shift*) obciążeń i wyborze właściwej grupy na zakładce *Obciążenia*.



Rys. 7.1 Okno definicji grup obciążeń

Nową grupę obciążeń definiuje się w projekcie przez naciśnięcie przycisku Nowa. Pojawia się ona w oknie grup obciążeń jako kolejny wiersz tabeli.

W pierwszej kolumnie tabeli użytkownik może zdefiniować nazwę wprowadzanej grupy. W drugiej kolumnie definiowany jest (przez wybór z listy) charakter obciążeń działających w danej grupie (stały lub zmienny). Następnie

dwie kolumny definiują współczynniki obciążenia: minimalny dla obciążeń stałych i zmiennych oraz maksymalny tylko dla obciążeń stałych. Domyślne wartości współczynników są ustawione na 1,0. Zakresy wartości poszczególnych współczynników wynoszą 0..100, przy czym współczynnik min musi być mniejszy od max. Przy próbie wpisania złej wartości program automatycznie skoryguje wartości współczynników.

Współczynniki obciążenia są uwzględniane przy budowaniu obwiedni sił wewnętrznych i reakcji. Ostatnie dwie kolumny ustalają chwilowe parametry grupy w projekcie. Grupa, dla której wyłączona jest opcja aktywności istnieje w projekcie, ale nie jest uwzględniana w obliczeniach i przy tworzeniu raportów. Parametr widoczności grupy steruje wyświetlaniem obciążeń z danej grupy na ekranie. Nie ma on żadnego wpływu na obliczenia. Grupa niewidoczna ale aktywna jest uwzględniana w obliczeniach.

Aby usunąć grupę obciążeń, należy zaznaczyć odpowiedni wiersz i nacisnąć przycisk *Usuń*. Jeśli usuwana grupa zawiera obciążenia, to wyświetlone zostanie okno z prośbą o potwierdzenie.

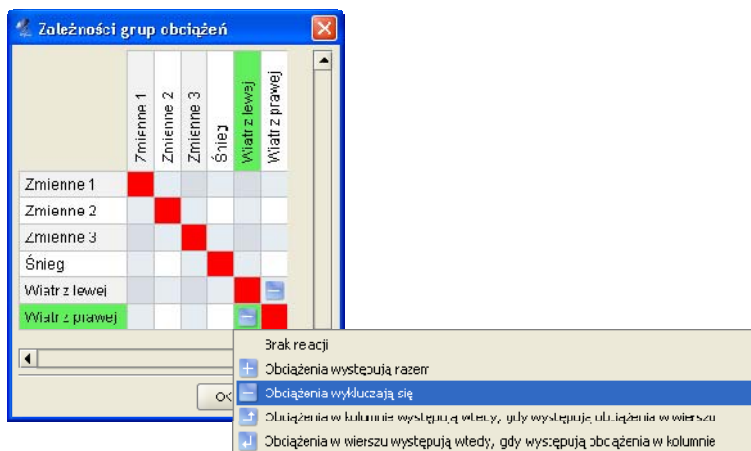
W programie dostępna jest także funkcja usunięcia wszystkich pustych grup obciążeń. Po naciśnięciu przycisku *Czyść* zostaną usunięte wszystkie grupy nie zawierające obciążeń.

7.2 ZALEŻNOŚCI GRUP OBCIĄŻEŃ



W programie istnieje możliwość określania wzajemnych zależności grup obciążeń zmiennych. Zależności te są uwzględniane przy budowaniu obwiedni sił wewnętrznych i reakcji. Zależności określa się w oknie Zależności grup obciążeń.

Obciążenia układu



Rys. 7.2 Okno zależności grup obciążeń

Stanowi ono kwadratową tabelę, w której wierszach i kolumnach wypisane są kolejno wszystkie grupy obciążeń zmiennych zdefiniowane w projekcie. Domyślnie wszystkie grupy obciążeń zmiennych są obciążeniami niezależnymi (Brak relacji). Kliknięcie myszką na polu przecięcia odpowiedniej kolumny i wiersza pozwala ustalić relację między dwiema różnymi grupami obciążeń zmiennych. Do wyboru mamy wówczas następujące opcje:

- Brak relacji (opcja domyślna).
- Obciążenia występują razem (oba obciążenia mogą wystąpić tylko łącznie).
- Obciążenia wykluczają się (jak jedno, to nie drugie).
- Obciążenia w kolumnie występują tylko wtedy, gdy występują obciążenia w wierszu.
- Obciążenia w wierszu występują tylko wtedy, gdy występują obciążenia w kolumnie.

Przy wprowadzaniu relacji, istnieje potencjalnie możliwość takiego ich zadania, że tworzą układ relacji wzajemnie sprzecznych. Aby do tego nie dopuścić program sprawdza logikę wprowadzonych relacji i uniemożliwia zadanie relacji sprzecznej z pozostałymi.

7.3 WPROWADZENIE OBCIĄŻEŃ



Aby zdefiniować obciążenia w projekcie, należy zaznaczyć jeden lub wiele elementów, na których ma być wprowadzone jednakowe obciążenie. Elementów, czyli prętów lub węzłów. Obciążenia węzłów to osiadanie i obrót podpo-

ry. Obciążenia te można wprowadzać tylko w węzłach, w których istnieją podpory. Pozostałe typy obciążeń są dostępne tylko dla prętów.

Przez naciśnięcie przycisku obciążeń na górnym pasku narzędziowym należy wybrać rodzaj zadawanego obciążenia. Przycisk ten dostępny jest tylko wówczas, gdy wcześniej zaznaczony został przynajmniej jeden pręt układu lub węzeł podporowy.

Po wybraniu właściwego obciążenia, następuje automatyczne przełączenie na zakładkę definicji obciążeń. Należy tam podać wszystkie niezbędne parametry wprowadzanego obciążenia. Jednocześnie na głównym ekranie roboczym, na zaznaczonych prętach lub węzłach dynamicznie wyświetlana jest reprezentacja graficzna wprowadzanego obciążenia.

Obciążenia skupione prętów



Rys. 7.3 Siły skupione

Geometria Obciążenia Wyniki

Grupa i wartość

Grupa Stała

P [kN] 1,000

Pozłożenie

Początek

x1 [m] 3,000 x1 / L 0,500

Koniec

x2 [m] x2 / L

Kierunek

Ukł. lokalny X Y Z

α [°] 0,0 β [°] 0,0



Rys. 7.4 Momenty skupione

Geometria Obciążenia Wyniki

Grupa i wartość

Grupa Stała

M [kNm] 1,000

Pozłożenie

Początek

x1 [m] 3,000 x1 / L 0,500

Koniec

x2 [m] x2 / L

Kierunek

Ukł. lokalny X Y Z

α [°] 0,0 β [°] 0,0

Przy wprowadzaniu sił skupionych lub momentów skupionych, należy na zakładce Obciążenia zdefiniować następujące parametry:

- Wybrać z listy *Grupa*, właściwą dla wprowadzanego obciążenia skupionego grupę obciążeń.
- Odpowiednio w polu *P* [kN] lub *M* [kNm] podać wartość obciążenia w odpowiednich jednostkach.
- Za pomocą wartości bezwzględnej *x1* [m], względnej *x1/L* lub suwaka, należy ustawić miejsce przyłożenia obciążenia na pręcie (prętach).

Obciążenia układu

- Przelączając przyciski X, Y, Z oraz wybierając układ lokalny pręta lub globalny całego układu można ustawić kierunek obciążenia zgodny z zaznaczoną osią.
- Wybierając układ lokalny pręta lub globalny całego układu oraz ustawiając odpowiednio kąty α oraz β [°], można ustawić dowolny kierunek obciążenia względem pręta lub całości układu. Dla układu lokalnego kąt α jest kątem obrotu obciążenia wokół pręta, a kąt β kątem obrotu obciążenia w płaszczyźnie pręta. Strzałkami przy polach tekstowych α oraz β można zmieniać skokowo wartości kątów, co 45°.

Obciążenia ciągłe prętów



Rys. 7.5 Obciążenia ciągłe

Geometria Obciążenia Wyniki

Grupa i wartość

Grupa Stałe

P1 [kN/m] 1,000 P2 [kN/m] 1,000

Pokożenie

Początek

x1 [m] 1,200 x1 / L 0,200

Koniec

x2 [m] 4,800 x2 / L 0,800

Kierunek

Ukł. lokalny X Y Z

α [°] 0,0 β [°] 0,0



Rys. 7.6 Momenty ciągłe

Geometria Obciążenia Wyniki

Grupa i wartość

Grupa Stałe

M1 [kNm/m] 1,000 M2 [kNm/m] 1,000

Pokożenie

Początek

x1 [m] 1,200 x1 / L 0,200

Koniec

x2 [m] 4,800 x2 / L 0,800

Przy wprowadzaniu obciążeń ciągłych lub momentów ciągłych, należy na zakładce Obciążenia zdefiniować następujące parametry:

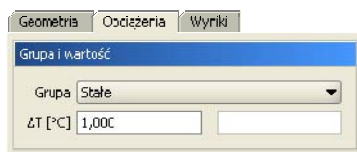
- Wybrać z listy *Grupa*, właściwą dla wprowadzanego obciążenia ciągłego grupę obciążeń.
- Odpowiednio w polu *P1* [kN] i *P2* [kN] lub *M1* [kNm] i *M2* [kNm] podać wartość początkową i końcową obciążenia ciągłego w odpowiednich jednostkach.
- Za pomocą wartości bezwzględnych *x1* [m] i *x2* [m], względnych *x1/L* i *x2/L* lub suwaków, należy ustawić miejsca początku i końca obciążenia ciągłego na pręcie (prętach).

- Przelączając przyciski X, Y, Z oraz wybierając układ lokalny pręta lub globalny całego układu można ustawić kierunek obciążenia ciągłego zgodny z zaznaczoną osią.
- Wybierając układ lokalny pręta lub globalny całego układu oraz ustawiając odpowiednio kąty α oraz β [°], można ustawić dowolny kierunek obciążenia ciągłego względem pręta lub całości układu. Dla układu lokalnego kąt α jest kątem obrotu obciążenia wokół pręta, a kąt β kątem obrotu obciążenia w płaszczyźnie pręta. Strzałkami przy polach tekstowych α oraz β można zmieniać skokowo wartości kątów - co 45°.

Obciążenie momentem ciągłym jest zdefiniowane w układzie lokalnym pręta – jest to moment skręcający. Dlatego nie ma możliwości zmiany kątów nachylenia tego obciążenia.

Obciążenia termiczne prętów

Podgrzanie pręta. Obowiązuje dla całości pręta, nie może być podgrzana jedynie część pręta.

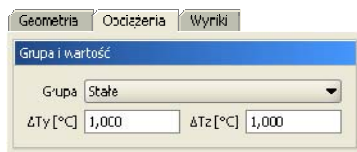


Rys. 7.7 Podgrzanie

Przy wprowadzaniu obciążeń termicznych polegających na podgrzaniu całości pręta, należy na zakładce Obciążenia zdefiniować następujące parametry:

- Wybrać z listy *Grupa*, właściwą dla wprowadzanego obciążenia termicznego grupę obciążeń.
- W polu ΔT [°C] należy podać w stopniach Celsjusza różnicę temperatur, o jaką podgrzano wybrane pręty.

Różnica temperatur dla pręta. Obowiązuje dla całości pręta.



Rys. 7.8 Różnica temperatur

Przy wprowadzaniu obciążeń różnicą temperatur, należy na zakładce Obciążenia zdefiniować następujące parametry:

Obciążenia układu

- Wybrać z listy *Grupa*, właściwą dla wprowadzanego obciążenia termicznego grupę obciążeń.
- W polu ΔT_y i ΔT_z [°C] należy podać w stopniach Celsjusza różnicę temperatur, między cieplejszą a chłodniejszą stroną pręta. Kierunki y oraz z pokrywają się z kierunkami lokalnych układów współrzędnych prętów.

Obciążenia węzłów

Przy wprowadzaniu obciążeń: osiadania i obrotu podpory, należy na zakładce Obciążenia zdefiniować następujące parametry:

- Wybrać z listy *Grupa* właściwą grupę obciążeń.
- Podać wartość osiadania podpory w mm lub kąt jej obrotu w stopniach.
- Zdefiniować kierunek obciążenia. W polach tekstowych można wpisywać dowolne wartości kątów nachylenia obciążenia, jednak w pamięci zostaną zapisane tylko te, które pokrywają się z kierunkami podpory.

7.4 MODYFIKACJE WPROWADZONYCH OBCIĄŻEŃ

Przed modyfikacją obciążeń należy je najpierw zaznaczyć. Selekcja obciążeń jest możliwa na kilka sposobów:

- Można wybrać pojedyncze obciążenie przez jego wskazanie na ekranie monitora.
- Gdy na jednym pręcie występuje wiele obciążeń, co powoduje problem z graficznym zaznaczeniem obciążeń, można zaznaczyć ten pręt, a następnie z menu *Edycja* wybrać opcję *Obciążenia pręta*. Wyświetli się wtedy okno dialogowe z listą widocznych obciążeń pręta. Można w nim określić selekcję poszczególnych obciążeń. Funkcja ta działa jedynie dla jednego wybranego pręta. Analogiczna funkcja istnieje również dla obciążeń węzłowych.
- W oknie dialogowym *Grupy obciążeń*, można chwilowo ograniczyć widoczność poszczególnych grup na ekranie, co w skrajnym przypadku pozwala na selekcję obciążeń tylko w ramach jednej grupy obciążeń.
- Analogicznie przy dużym stopniu skomplikowania układu zaleca się chwilowe ukrycie części prętów i edycję obciążeń tylko dla widocznych prętów.
- Można wybrać kilka obciążeń przez wskazanie kolejnych obciążeń przy wciśniętym klawiszu *Shift*.

- Można wybrać kilka obciążeń (wraz z prętami i węzłami) oknem obejmującym lub przecinającym (jak w programach CAD) z wciśniętym klawiszem *Ctrl*.

W przypadku selekcji jedynie obciążeń, program automatycznie przełącza się na zakładkę *Obciążenia*. W przypadku, gdy oprócz obciążeń wybrane są jeszcze inne elementy takie jak pręty lub węzły, użytkownik w celu edycji obciążeń sam musi przełączyć się na zakładkę *Obciążenia*.

Po zaznaczeniu kilku obciążeń, na zakładce *Obciążenia* wyświetlane są wartości sił, odległości i przypisanie do grupy obciążeń wspólne dla wybranych obciążeń. W przypadku, gdy dla zaznaczonych obciążeń wartości te są różne, sygnalizowane jest to następującym symbolem [...].

Przy grupowej zmianie parametrów obciążenia, należy pamiętać, że zmieniany parametr zostanie zmieniony na taki sam dla wszystkich zaznaczonych obciążeń. I tak np.: przy jednoczesnym zaznaczeniu siły skupionej i momentu skupionego oraz zmianie wartości obciążenia na 100 oba obciążenia otrzymają taką samą wartość równą 100. Ta sama filozofia dotyczy zmiany położenia oraz przypisania do odpowiedniej grupy obciążeń.

Usuwanie wprowadzonych obciążeń

Po selekcji (zaznaczeniu) odpowiedniego zestawu obciążeń przeznaczonego do usunięcia, prawym klawiszem myszki wywołujemy menu podręczne i wybieramy opcję: *Usuń zaznaczone obciążenia*.

7.5 ZMIANY W OBCIĄŻENIACH WYWOŁANE ZMIANĄ GEOMETRII UKŁADU

- Usunięcie pręta lub węzła powoduje usunięcie obciążeń przypisanych do nich.
- Kopiowanie pręta powoduje powstanie jego kopii wraz z przypisanymi do niego obciążeniami.
- Przesunięcie i odsunięcie pręta nie zmienia przypisanych do niego obciążeń.
- Wydłużenie pręta powstałe przy przesunięciu węzła początkowego lub końcowego powoduje zmianę lokalizacji obciążenia. Zostają zachowane względne położenia początku i końca obciążenia ($x1/L$ oraz $x2/L$), natomiast zmieniają się odległości bezwzględne $x1$ oraz $x2$. Pozostałe parametry obciążenia pozostają bez zmian.
- Podział pręta obciążonego obciążeniem ciągłym na kilka prętów powoduje odpowiedni podział tego obciążenia na poszczególne pręty. Zostaje zachowany charakter i działanie obciążenia pierwotnego (wy-

Obciążenia układu

podkowe obciążeń dla pręta przed podziałem są takie same jak dla sumy prętów po podziale).

8 ANALIZA WYNIKÓW

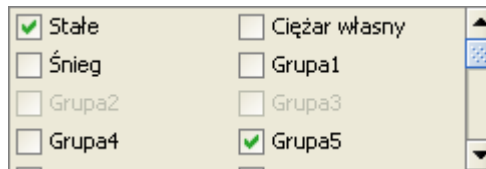


Obliczenia w programie rozpoczynają się po kliknięciu ikony *Uruchomienia obliczeń* lub po uaktywnieniu zakładki *Wyniki*. Po przeliczeniu projektu, przełączanie się między zakładkami nie będzie powodowało kolejnego uruchomienia obliczeń. Będzie tak do chwili dokonania zmian w projekcie – po wykonaniu zmian i uaktywnieniu zakładki *Wyniki* obliczenia zostaną uruchomione ponownie.

Czas rozwiązywania układu zależy od stopnia jego skomplikowania. Do zwiększenia czasu obliczeń wydatnie przyczynia się większa ilość grup obciążeń zmiennych w projekcie. Dla każdej grupy zmiennej program musi ponownie rozwiązywać układ równań. Dodatkowo większa ilość grup zmiennych powoduje zwiększenie rozpatrywanej ilości kombinacji grup przez program podczas szukania obwiedni sił przekrojowych.

Zakładka *Wyniki* umożliwia graficzną i numeryczną analizę wyników obliczeń. Na zakładce przedstawione są wyniki tylko dla jednego wybranego pręta lub węzła podporowego. Wybór elementu dokonujemy klikając na nim myszką w oknie widoku układu. Wybrany element jest wyróżniony kolorem na ekranie.

Na dole zakładki *Wyniki* znajduje się lista grup obciążeń zdefiniowanych w projekcie. Na liście możemy określić które grupy obciążeń mają być wykorzystywane do obliczania wyników – wartości przeliczają się automatycznie w czasie rzeczywistym.

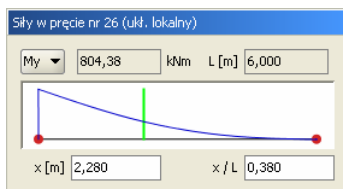


Rys. 8.1 Wybór grup obciążeń

Niektóre pozycje na liście grup mogą być nieaktywne. Oznacza to, że dana grupa jest grupą nieaktywną (wyłączona w oknie *Grup Obciążeń*) i nie ma dla niej wyników w pamięci.

Analiza wyników

Po zaznaczeniu pręta wyświetlane są wartości sił przekrojowych oraz przemieszczeń w punkcie. Wartości określone są względem lokalnego układu współrzędnych pręta. Dla pręta wyświetlany jest dodatkowy podgląd wykresu jednej wybranej siły przekrojowej lub przemieszczenia. Typ prezentowanego wykresu określa się w rozwijanym polu.

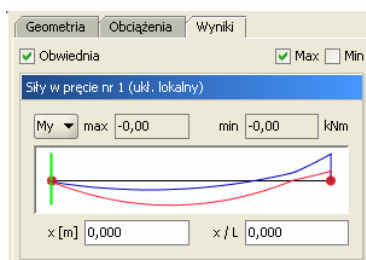


Rys. 8.2 Wykresy sił dla pojedynczego pręta

Punkt z którego odczytywane są wartości można określić za pomocą zielonego suwaka oraz podając jego współrzędne z klawiatury. Na podglądzie pręta oraz na widoku układu rysowane są znaczniki pokazujące z którego punktu pręta odczytywane są wyniki.

Po przełączeniu wyświetlania wyników w tryb *Obwiedni*, lista grup obciążeń staje się nieaktywna. W tym trybie pracy programu automatycznie ustalany jest zestaw grup dających wyniki ekstremalne. Lista grup pokazuje wtedy na bieżąco, które grupy są brane do obliczeń.

W trybie *Obwiedni* należy określić typ wyświetlanych danych numerycznych. Można wyświetlać wartości minimalne lub maksymalne w danym punkcie pręta (lub dla reakcji podporowej). Wyboru dokonujemy przez zaznaczenie jednego z dwóch pól: min lub max, znajdujących się na górze zakładki *Wyniki*. Na ekranie wyświetlane są jednocześnie wykresy maksymalne i minimalne.



Rys. 8.3 Wykresy obwiedni dla pojedynczego pręta

Rodzaj siły wewnętrznej, dla której szukane są wartości maksymalne i minimalne określa się w rozwijanej liście znajdującej się w grupie *Siły w pręcie*. Nazwa wybranej siły jest dodatkowo wytłuszczona w grupie *Siły*

przekrojowe w punkcie. Pozostałe wartości sił przekrojowych są wartościami odpowiadającymi. Nie są one wartościami obwiedni dla tych sił.

Po zaznaczeniu podpory wyświetlane są wartości obwiedni reakcji. Wybór reakcji, dla której obliczana jest obwiednia dokonuje się z rozwijanego menu. Menu jest wyświetlane po wciśnięciu przycisku znajdującego się w nagłówku okna *Obwiednia reakcji*. Nazwa wybranej reakcji wyświetlana jest pogrubioną czcionką, podobnie jak ma to miejsce przy siłach przekrojowych w przecie. Pozostałe wartości reakcji są wartościami odpowiadającymi.

Obwiednia reakcji RZ (ukł. globalny)					
RX	1,14	RY	-0,49	RZ	168,76 kN
MX	0,67	MY	1,57	MZ	0,00 kNm

Rys. 8.4 Obwiednia reakcji

Okno *Przemieszczenia* w punkcie pokazuje wartości przemieszczeń dla sumy wybranych grup obciążeń niezależnie od trybu pracy programu.

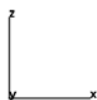
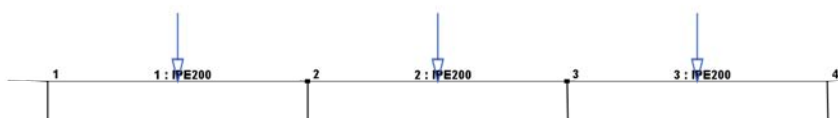
Przemieszczenia w punkcie (ukł. lokalny)					
dx	0,00	dy	0,00	dz	-0,56 mm
d / L	0,0001	d	0,56		mm

Rys. 8.5 Wartości przemieszczeń

Na kolejnych stronach znajduje się raport wygenerowany z przedstawionego wcześniej przykładu. Jest on zamieszczony wyłącznie w celu przedstawienia wyglądu raportów generowanych przez program. Z tego powodu część wyników została usunięta (siły przekrojowe oraz przemieszczenia części prętów). Plik projektu znajduje się w katalogu \projekty\ programu, więc w razie potrzeby użytkownik może samodzielnie wygenerować kompletny raport z tego projektu.

9 PRZYKŁADOWY RAPORT WYNIKÓW OBLICZEŃ

Geometria



Węzły w globalnym układzie współrzędnych:

Nr	x [m]	y [m]	z [m]	Przegub
1	-3,000	0,000	0,000	
2	-1,000	0,000	0,000	
3	1,000	0,000	0,000	
4	3,000	0,000	0,000	

Przykładowy raport wyników obliczeń

Pręty:

Nr	Węzły		Pręty Zeszytniane w		Przekrój pręta	Długość [m]
	w ₁	w ₂	w ₁	w ₂		
1	1 (S)	2 (S)	wszystkie	wszystkie	IPE200	2,000
2	2 (S)	3 (S)	wszystkie	wszystkie	IPE200	2,000
3	3 (S)	4 (S)	wszystkie	wszystkie	IPE200	2,000

Podpory i osiadania podpór w globalnym układzie współrzędnych:

Nr	r _x	r _y	r _z	φ _x	φ _y	φ _z	Osiad. _x [mm]	Osiad. _y [mm]	Osiad. _z [mm]
1	+	+	+						
2		+	+						
3		+	+						
4		+	+						

Grupy obciążeń:

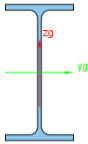
Nazwa grupy	Nr	Rodzaj obciążeń	γ _{f1}	γ _{f2}	Grupa aktywna
Cieężar własny	1	Stałe	0,50	1,50	
Grupa1	2	Zmienne	1,00	1,00	+
Grupa2	3	Zmienne	1,00	1,00	+
Grupa3	4	Zmienne	1,00	1,00	+

Obciążenia układu:

Pręt	Grupa	Typ	Wartość 1	Wartość 2	x ₁ [m]	x ₂ [m]	α [°]	β [°]	Lok.
1	Grupa1	Siła skupiona	10,00kN		1,00		0,0	0,0	
2	Grupa2	Siła skupiona	10,00kN		1,00		0,0	0,0	
3	Grupa3	Siła skupiona	10,00kN		1,00		0,0	0,0	

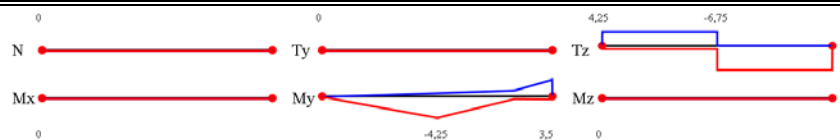
Przykładowy raport wyników obliczeń

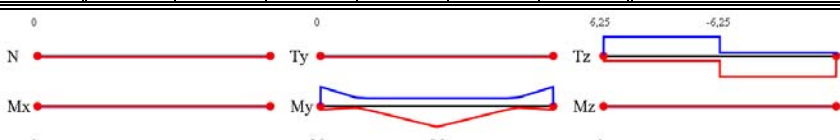
Parametry geometryczne i fizyczne elementów:

Nazwa	IPE200			
Parametry przekroju	$A = 28,49\text{cm}^2$			
	$J_x = 6,98\text{cm}^4$	$J_y = 1\,943,46\text{cm}^4$	$J_z = 142,37\text{cm}^4$	
	$\alpha_{y-vg} = 0^\circ$	$J_{yg} = 1\,943,46\text{cm}^4$	$J_{zg} = 142,37\text{cm}^4$	
	$W_{y\max} = 194,35\text{cm}^3$		$W_{y\min} = 194,35\text{cm}^3$	
	$W_{z\max} = 28,47\text{cm}^3$		$W_{z\min} = 28,47\text{cm}^3$	
Materiał	Stal	$E = 205\text{GPa}$ $G = 80\text{GPa}$	Cieź. = 78,5kN	

Wyniki

Obwiednia sił wewnętrznych:

Nr	x [m]	N [kN]	T _y [kN]	T _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	Grupy
1	0,00	0,00	-0,00	4,25	0,00	-0,00	0,00	2, 4
	1,00	0,00	-0,00	-6,75	0,00	-3,25	0,00	2, 3
	2,00	0,00	-0,00	-6,75	0,00	3,50	0,00	2, 3
	1,00	0,00	-0,00	-5,75	0,00	-4,25	0,00	2, 4
								

Nr	x [m]	N [kN]	T _y [kN]	T _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	Grupy
2	0,00	0,00	-0,00	6,25	0,00	3,50	0,00	2, 3
	1,00	0,00	-0,00	-6,25	0,00	-2,75	0,00	3, 4
	0,00	0,00	-0,00	6,25	0,00	3,50	0,00	2, 3
	1,00	0,00	-0,00	-5,00	0,00	-3,50	0,00	3
								

Przykładowy raport wyników obliczeń

Nr	x [m]	N [kN]	T _y [kN]	T _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	Grupy
3	0,00	0,00	-0,00	6,75	0,00	3,50	0,00	3, 4
	1,00	0,00	-0,00	-4,25	0,00	-4,25	0,00	2, 4
	0,00	0,00	-0,00	6,75	0,00	3,50	0,00	3, 4
	1,00	0,00	-0,00	-4,25	0,00	-4,25	0,00	2, 4

Obwiednia reakcji:

Nr	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	Grupy
1	0,00	0,00	4,25	0,00	0,00	0,00	2, 4
	0,00	0,00	-0,75	0,00	0,00	0,00	3
2	0,00	0,00	13,00	0,00	-0,00	0,00	2, 3
	0,00	0,00	-1,50	0,00	-0,00	0,00	4
3	0,00	0,00	13,00	0,00	-0,00	0,00	3, 4
	0,00	0,00	-1,50	0,00	0,00	0,00	2
4	0,00	0,00	4,25	0,00	-0,00	0,00	2, 4
	0,00	0,00	-0,75	0,00	0,00	0,00	3