

R2D2-Rama 2D v 10.0  

---

podręcznik użytkownika

## Wprowadzenie

## Wydawca

ArCADiasoft Chudzik sp. j.  
ul. Sienkiewicza 85/87  
90-057 Łódź  
[www.arcadiasoft.pl](http://www.arcadiasoft.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 wynikłe stąd skutki.

Za podanie nam ewentualnych błędów będziemy wdzięczni.

## Wprowadzenie

# Spis treści

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Wprowadzenie.....</b>                          | <b>7</b>  |
| 1.1      | O programie .....                                 | 7         |
| 1.2      | Cechy i możliwości programu .....                 | 7         |
| <b>2</b> | <b>Instalowanie i uruchamianie programu.....</b>  | <b>10</b> |
| 2.1      | Wymagania sprzętowe i programowe .....            | 10        |
| 2.2      | Instalowanie .....                                | 10        |
| 2.3      | Uruchamianie.....                                 | 10        |
| 2.4      | Ekran programu .....                              | 10        |
| 2.5      | Otwieranie projektu .....                         | 16        |
| 2.6      | Zapis projektu .....                              | 16        |
| 2.7      | Autozapis i kopia bezpieczeństwa .....            | 17        |
| 2.8      | Dołącz projekt.....                               | 17        |
| 2.9      | Zapis i odczyt struktury układu w pliku DXF.....  | 18        |
| 2.9.1    | Import DXF.....                                   | 18        |
| 2.9.2    | Export DXF.....                                   | 19        |
| 2.10     | Funkcja podrysu .....                             | 20        |
| 2.10.1   | Funkcja wczytywania podrysu z pliku DXF .....     | 20        |
| 2.10.2   | Funkcja zamiany prętów na podrys.....             | 22        |
| 2.11     | Funkcje oczyszczania i weryfikacji projektu ..... | 23        |
| 2.11.1   | Funkcja oczyszczania projektu .....               | 23        |
| 2.11.2   | Funkcja weryfikacji projektu .....                | 24        |
| 2.12     | Funkcja sprawdzania nowych wersji programu .....  | 25        |
| <b>3</b> | <b>Podstawy.....</b>                              | <b>27</b> |
| 3.1      | Elementy projektu.....                            | 27        |
| 3.1.1    | Węzły i pręty .....                               | 27        |
| 3.1.2    | Układy lokalne prętów .....                       | 27        |
| 3.1.3    | Grupowanie prętów .....                           | 27        |
| 3.1.4    | Profile.....                                      | 29        |
| 3.1.5    | Przeguby.....                                     | 29        |
| 3.1.6    | Podpory .....                                     | 30        |
| 3.1.7    | Obciążenia.....                                   | 30        |
| 3.1.8    | Grupy obciążeń .....                              | 30        |
| 3.1.9    | Grupy obciążeń typu „multi”.....                  | 31        |
| 3.1.10   | Zależności grup obciążeń.....                     | 33        |
| 3.1.11   | Kombinacje użytkownika .....                      | 34        |
| 3.2      | Wizualizacja.....                                 | 35        |
| 3.3      | Szczegółowa wizualizacja 3D.....                  | 36        |

**Wprowadzenie**

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.4      | Wprowadzanie danych o geometrii .....             | 38        |
| 3.5      | Pomoce rysunkowe przy tworzeniu konstrukcji ..... | 38        |
| 3.5.1    | Siatka.....                                       | 38        |
| 3.5.2    | Dociąganie do węzłów .....                        | 38        |
| 3.5.3    | Śledzenie .....                                   | 39        |
| 3.5.4    | Funkcja zmierz odległość .....                    | 39        |
| 3.5.5    | Funkcja pomiaru kąta między prętami .....         | 40        |
| 3.5.6    | Punkty przyciągania .....                         | 40        |
| 3.5.7    | Wprowadzanie elementów w trybie „orto” .....      | 44        |
| 3.5.8    | Podgląd 2D przekroju elementu .....               | 44        |
| 3.5.9    | Blokowanie kursora (chwilowe).....                | 45        |
| 3.5.10   | Pierwszy węzeł .....                              | 45        |
| 3.5.11   | Dodatkowe możliwości trybu graficznego.....       | 45        |
| 3.6      | Generatory konstrukcji .....                      | 47        |
| 3.7      | Generator kratownic .....                         | 47        |
| 3.7.1    | Kratownice płaskie .....                          | 48        |
| 3.7.2    | Wiązary dachowe .....                             | 50        |
| 3.8      | Selekcja węzłów, prętów i obciążeń .....          | 51        |
| 3.9      | Funkcje menu kontekstowego.....                   | 52        |
| 3.10     | Kopiowanie wielokrotne elementów układu.....      | 55        |
| 3.11     | Funkcja kopiowania przez schowek .....            | 57        |
| 3.12     | Lustro i Obrót.....                               | 58        |
| 3.13     | Funkcja wydłużania elementów .....                | 59        |
| 3.14     | Ukrywanie prętów .....                            | 60        |
| 3.15     | Obliczanie naprężeń normalnych .....              | 61        |
| 3.16     | Naprężenia w przekroju .....                      | 62        |
| 3.16.1   | Naprężenia normalne w przekroju .....             | 63        |
| 3.16.2   | Naprężenia styczne w przekroju .....              | 64        |
| 3.16.3   | Naprężenia zredukowane w przekroju .....          | 66        |
| 3.17     | Raport z obliczeń statycznych.....                | 68        |
| 3.18     | Tworzenie animacji deformacji .....               | 70        |
| 3.19     | Właściwości projektu .....                        | 70        |
| 3.20     | Ustawienia programu i projektu.....               | 71        |
| 3.21     | Typowe błędy modelowania układu statycznego.....  | 73        |
| <b>4</b> | <b>Przekroje elementów.....</b>                   | <b>76</b> |
| 4.1      | Manager przekrojów .....                          | 76        |
| 4.2      | Przekroje tablicowe.....                          | 77        |
| 4.3      | Biblioteka użytkownika .....                      | 79        |
| 4.4      | Przekroje o dowolnym kształcie .....              | 79        |

**Wprowadzenie**

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.5      | Edycja przekrojów .....  | 80         |
| 4.6      | Przekroje o zmiennej geometrii .....                               | 85         |
| 4.6.1    | Definiowanie profili zmiennych, ich możliwości i ograniczenia..... | 85         |
| 4.6.2    | Edycja przekrojów o zmiennej geometrii .....                       | 86         |
| 4.6.3    | Obliczenia prętów o przekroju zmiennym.....                        | 88         |
| 4.7      | Biblioteka materiałów .....  | 88         |
| <b>5</b> | <b><i>Tworzenie przykładowej konstrukcji.....</i></b>              | <b>90</b>  |
| 5.1      | Opis konstrukcji.....  | 90         |
| 5.2      | Przygotowanie .....  | 90         |
| 5.3      | Generators ram prostokątnych.....                                  | 90         |
| 5.4      | Usuwanie zbędnych prętów .....                                     | 92         |
| 5.5      | Generator łuków .....  | 92         |
| 5.6      | Wprowadzanie przegubów.....  | 94         |
| 5.6.1    | Połącz pręty .....   | 95         |
| 5.6.2    | Odłącz pręty .....   | 95         |
| 5.6.3    | Dołącz pręty do podpory .....                                      | 95         |
| 5.7      | Rysowanie prętów połączonych przegubami.....                       | 96         |
| 5.8      | Dzielenie prętów węzłami.....                                      | 97         |
| 5.9      | Scalanie prętów.....   | 99         |
| <b>6</b> | <b><i>Modyfikowanie wprowadzonego układu.....</i></b>              | <b>100</b> |
| 6.1      | Informacje o geometrii i obciążeniach.....                         | 100        |
| 6.2      | Modyfikacje prętów .....   | 100        |
| 6.3      | Modyfikacje podparcia .....  | 101        |
| 6.4      | Funkcja cofnij i przywróć .....                                    | 101        |
| 6.5      | Edycja elementów z poziomu „drzewa projektu”.....                  | 101        |
| <b>7</b> | <b><i>Obciążenia układu.....</i></b>                               | <b>106</b> |
| 7.1      | Grupy obciążeń .....   | 106        |
| 7.2      | Zależności grup obciążeń.....                                      | 107        |
| 7.3      | Wprowadzenie obciążeń .....  | 108        |
| 7.4      | Modyfikacje wprowadzonych obciążeń .....                           | 111        |
| 7.5      | Zmiany w obciążeniach wywołane zmianą geometrii układu .....       | 111        |
| 7.6      | Obciążenia ruchome .....   | 112        |
| 7.6.1    | Opis ogólny .....  | 112        |
| 7.6.2    | Definiowanie grupy obciążenia ruchomego .....                      | 113        |
| 7.6.3    | Edycja obciążenia ruchomego .....                                  | 116        |
| 7.6.4    | Wpływ modyfikacji układu na obciążenia ruchome.....                | 117        |
| 7.6.5    | Synchronizacja grup obciążenia ruchomego .....                     | 118        |

**Wprowadzenie**

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 7.6.6     | Obliczenia oraz prezentacja wyników dla grupy obciążenia ruchomego ..... | 119        |
| <b>8</b>  | <b><i>Cięgna</i></b> .....   | <b>121</b> |
| 8.1       | Definiowanie prętów typu ciągnio .....                                   | 121        |
| 8.2       | Modyfikacje cięgien .....  | 122        |
| 8.3       | Obliczanie układów z ciągniami .....                                     | 122        |
| 8.4       | Statyka i wymiarowanie cięgien .....                                     | 123        |
| <b>9</b>  | <b><i>Pręty na mimośrodku</i></b> .....                                  | <b>125</b> |
| 9.1       | Definiowanie prętów na mimośrodku .....                                  | 125        |
| 9.2       | Edycja i modyfikacje prętów na mimośrodku .....                          | 128        |
| 9.3       | Obliczenia prętów na mimośrodku .....                                    | 128        |
| <b>10</b> | <b><i>Optymalizacja obliczeń statycznych</i></b> .....                   | <b>129</b> |
| <b>11</b> | <b><i>Analiza wyników</i></b> .....                                      | <b>130</b> |
| 11.1      | Zapamiętywanie wyników obliczeń .....                                    | 130        |
| 11.2      | Analiza wyników na ekranie .....   | 131        |
| 11.3      | Funkcja wizualizacji reakcji .....                                       | 133        |
| 11.4      | Funkcja wizualizacji wartości na wykresach globalnych .....              | 134        |
| 11.5      | Funkcja raportu z ekranu graficznego .....                               | 136        |
| 11.6      | Podstawowe typy raportów .....   | 138        |
| 11.7      | Przygotowanie do wymiarowania .....                                      | 139        |
| 11.8      | Obwiednia ugięć względnych .....   | 141        |
| <b>12</b> | <b><i>Przykładowy raport wyników obliczeń</i></b> .....                  | <b>143</b> |
| <b>13</b> | <b><i>Przykładowe schematy układów statycznych</i></b> .....             | <b>154</b> |
| <b>14</b> | <b><i>Wymiarowanie zbiorcze</i></b> .....                                | <b>157</b> |
| 14.1      | Opis ogólny funkcji wymiarowania .....                                   | 157        |
| 14.2      | Elementy wymiarowe .....   | 157        |
| 14.2.1    | Tworzenie elementów wymiarowych .....                                    | 158        |
| 14.2.2    | Edycja elementów wymiarowych .....                                       | 159        |
| 14.3      | Edycja grup prętów i elementów w grupach .....                           | 161        |
| 14.4      | Definicje typu wymiarowania .....  | 162        |
| 14.5      | Wymiarowanie zbiorcze .....  | 163        |
| 14.6      | Raport z wymiarowania zbiorczego .....                                   | 170        |
| 14.7      | Raport z wymiarowania – przykład .....                                   | 171        |

## Wprowadzenie

# 1 WPROWADZENIE

## 1.1 O PROGRAMIE

Program **R2D2-Rama 2D** służy do przeprowadzania obliczeń statycznych płaskich 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 i zimmogiętych, 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). Program umożliwia łatwe wprowadzanie płaskich układów prętowych, niewielkich, złożonych z kilku prętów układów, jak i dużych struktur 2D zawierających setki prętów i węzłów. Dzięki temu możliwe jest liczenie takich układów konstrukcyjnych jak np.: ramy wielokondygnacyjne i wielonawowe, kratownice płaskie itp.

Wyniki prezentowane są na ekranie w postaci graficznej oraz numerycznej. Widok roboczy ekranu graficznego, oraz podglądu 3D układu można płynnie przesuwać, powiększać i obracać.

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

## 1.2 CECHY I MOŻLIWOŚCI PROGRAMU

- Obliczenia statyczne płaskich układów prętowych o stałym i zmiennym przekroju pręta na długości.
- Możliwość w pełni graficznego zadawania i modyfikacji danych na płaszczyźnie 2D ekranu.
- Możliwość pełnego zapisywania i odczytywania geometrii płaskich układów statycznych do plików DXF.
- Funkcja wczytywania podrysu z pliku **DXF** i praca na podrysie.
- Funkcja zamiany prętów układu na podrys.
- Narzędzia wzorowane na aplikacjach CAD wykorzystujące przyciąganie do istniejących węzłów, punktów środkowych prętów, prostopadłych, punktów bliskich na prętach, punktów przecięcia prętów, punktów przyłożenia obciążenia i punktów zdefiniowanej siatki wraz z elementami śledzenia.
- Możliwość precyzyjnego określania współrzędnych względnych z klawiatury w układzie kartezjańskim i biegunowym.
- Możliwość włączenia podpowiedzi kontekstowych wyświetlanych przy kursorze dla operacji graficznych.
- Powiększanie i przesuwanie układu oraz jego dowolne obracanie w czasie rzeczywistym.
- Możliwość rysowania układów prętowych polinią o węzłach sztywnych lub przegubowych.
- Zaawansowany tryb śledzenia przy wprowadzaniu nowych elementów do układu.
- Możliwość blokowania ekranu graficznego przy dowolnym ustawieniu edytowanego układu.
- Grupowe możliwości modyfikacji węzłów, podpór, prętów i obciążeń.
- Narzędzia wzorowane na aplikacjach CAD do edycji wprowadzonych danych takie jak: kopiowanie, wielokrotne kopiowanie w kierunku danego wektora (z ciągnięciem lub bez oraz ze skalowaniem lub bez), odsuwanie, przesuwanie, wydłużanie, usuwanie prętów i węzłów, obracanie, odbicia lustrzane, wyrównywanie węzłów, cofanie i przywracanie wprowadzonych zmian.
- Możliwość zeszywniania dowolnych grup prętów w węzle oraz prętów i podpór.
- Możliwość grupowania prętów i łatwej selekcji grup prętów.
- Możliwość podziału pręta węzłami na części z zachowaniem obciążeń.
- Możliwość scalania prętów współliniowych z zachowaniem obciążeń.
- Możliwość kopiowania części lub całości układu przez schowek między różnymi projektami i w ramach jednego projektu.
- Funkcja pomiaru odległości w projekcie oraz kąta między dwoma dowolnymi prętami układu.
- Możliwość obracania i zmiany kierunku układu lokalnego pręta.

## Wprowadzenie

- Manager profili prętów ze zdefiniowaną biblioteką profili stalowych, żelbetowych, drewnianych oraz możliwością rozszerzania biblioteki o własne profile i złożenia profili w danym projekcie.
- Możliwość tworzenia przekrojów prętów o dowolnym kształcie, docinanie przekrojów pojedynczych, kopiowanie, obracanie, przesuwanie części składowych przekroju złożonego.
- Automatyczne obliczanie wszystkich możliwych charakterystyk przekroju w układzie osi lokalnych i głównych, łącznie z wyznaczaniem rdzenia przekroju.
- Wyznaczanie momentów statycznych dowolnych części odciętych przekroju w układzie osi głównych.
- Możliwość definiowania i obliczania prętów o zmiennej geometrii.
- Biblioteki predefiniowanych parametrów materiałowych w pliku XML zawierająca: stal, drewno lite i klejone, aluminium, betony oraz możliwość zapisu i edycji materiałów użytkownika.
- Możliwość tworzenia układów hybrydowych ze względu na materiał.
- Obciążenia: siły skupione, momenty skupione, obciążenia ciągłe, podgrzanie pręta, różnica temperatur, osiadanie podpór, obrót podpory.
- 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 zadawania, obliczania i wizualizacji wyników dla zdefiniowanych grup obciążeń ruchomych.
- Możliwość określania wzajemnych zależności między grupami obciążeń wykorzystywanych przy budowaniu obwiedni z automatycznym sprawdzaniem ich poprawności.
- Możliwość dodatkowego zadawania własnych kombinacji użytkownika.
- Możliwość selekcji grup prętów, elementów wymiarowych i grup obciążeń, bezpośrednio z poziomu drzewa projektu.
- Możliwości edycji elementów układu z poziomu drzewa projektu.
- Możliwości dodawania elementów w nowym trybie „orto” na płaszczyźnie „xz”.
- Możliwość włączenia podglądu 2D, przekroju wprowadzanego pręta.
- Automatyczne uwzględnianie ciężaru własnego.
- Pełny zestaw typów podpór z możliwością określania ich sprężystości.
- Generatory parametryczne przestrzennych ram prostokątnych, łuków (parabolicznych i kołowych), kratownic płaskich i drewnianych więzadłów dachowych.
- Możliwość definiowania prętów typu ciągnio i wykonywania obliczeń statycznych dla układów zawierających ciągnia dla poszczególnych grup obciążeń i zdefiniowanych kombinacji.
- Możliwość definiowania w układzie prętów na mimośródzie (jednostronnym lub dwustronnym) z równoległe przesuniętą osią pręta.
- Funkcja zapamiętywania ostatnio wykonanych obliczeń statycznych układu i wymiarowania zbiorczego układu.
- Wyniki dla poszczególnych grup obciążeń, dowolnej kombinacji grup obciążeń i zdefiniowanej kombinacji oraz obwiednia wyliczana automatycznie przez program.
- Wyznaczanie prawdziwej obwiedni naprężeń normalnych oraz obliczanie naprężeń normalnych dla poszczególnych grup i sumy grup obciążeń, kombinacji i obwiedni.
- Możliwość wizualizacji schematu statycznego budującego wskazane ekstremum obwiedni.
- Funkcja wizualizacji kierunków i wartości reakcji dla pojedynczego węzła podporowego (dla grup, sumy grup, kombinacji i obwiedni) oraz dla całego układu (dla grup, sumy grup i kombinacji).
- Wyznaczanie wykresu naprężeń normalnych, stycznych i zredukowanych w dowolnym punkcie na przekroju pręta.
- Znajdowanie na przekroju miejsca występowania maksymalnego naprężenia zredukowanego.
- Szybki podgląd struktury w widoku 3D, pozwalający na selekcję prętów o przekroczonych dopuszczalnych naprężeniach normalnych.
- Możliwość wizualizacji wyników sił wewnętrznych, reakcji, deformacji i naprężeń normalnych na ekranie monitora (dla całego układu i pojedynczego pręta).
- Możliwość ukrywania części struktury projektu na etapie edycji danych i przeglądania wyników.
- Funkcja wyświetlania i wygaszania wartości sił wewnętrznych, naprężeń i przemieszczeń na wykresach globalnych, na ekranie graficznym, dla wartości ekstremalnych oraz dla wybranych punktów użytkownika na zakładce **Wyniki**.



## Wprowadzenie

- Funkcja tworzenia raportu **RTF** z widoku ekranu graficznego układu z wykresami sił wewnętrznych, naprężeń i przemieszczeń lub wynikami wymiarowania zbiorczego dla zakładki **Wyniki i Wymiarowanie**.
- Wizualizacja deformacji układu - animacja w czasie rzeczywistym.
- Tworzenie wielu różnych 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.
- Możliwość przełączania wersji językowej programu (polska, angielska, niemiecka) w trakcie pracy programu.
- Dostosowanie obliczeń statycznych do potrzeb wymiarowania konstrukcji stalowych i drewnianych.
- Dwustronna współpraca z modułami wymiarującymi **InterStal**, **InterDrewno**, **EuroStal** i **EuroŻelbet**.
- Wyznaczanie obwiedni ugięć względnych przy wymiarowaniu indywidualnym i zbiorczym.
- Możliwość automatycznego wymiarowania zbiorczego całości wprowadzonego układu, na podstawie typów wymiarowania przypisanych do grup prętów i zdefiniowanych elementów wymiarowych.
- Funkcja sprawdzania dostępności nowych wersji programu.

---

## Instalowanie i uruchamianie programu

# 2 INSTALOWANIE I URUCHAMIANIE PROGRAMU

## 2.1 WYMAGANIA SPRZĘTOWE I PROGRAMOWE

- komputer z jednym z następujących systemów operacyjnych: Windows XP SP2, Vista, Windows 7
- 400 MB wolnej przestrzeni na dysku,
- 512 MB pamięci operacyjnej (zalecane 2GB przy obliczeniach układów z większą ilością elementów - kilkaset węzłów),
- zalecany procesor 2 GHz lub szybszy,
- minimalna rozdzielczość ekranu monitora 1024 x 768 (zalecana jak najwyższa rozdzielczość ze względu na pracę na ekranie graficznym).
- MS *Word* (od wersji 2003) lub bezpłatna przeglądarka *Word Viewer*.

## 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* w katalogu właściwym dla danego programu. Po rozpoczęciu instalacji należy postępować zgodnie z instrukcjami wyświetlanymi na ekranie. W przypadku płyty zaopatrzonej w menu startowe, należy posłużyć się opcjami dostępnymi w tym programie, a następnie postępować zgodnie z poleceniami wyświetlanymi przez program instalacyjny.

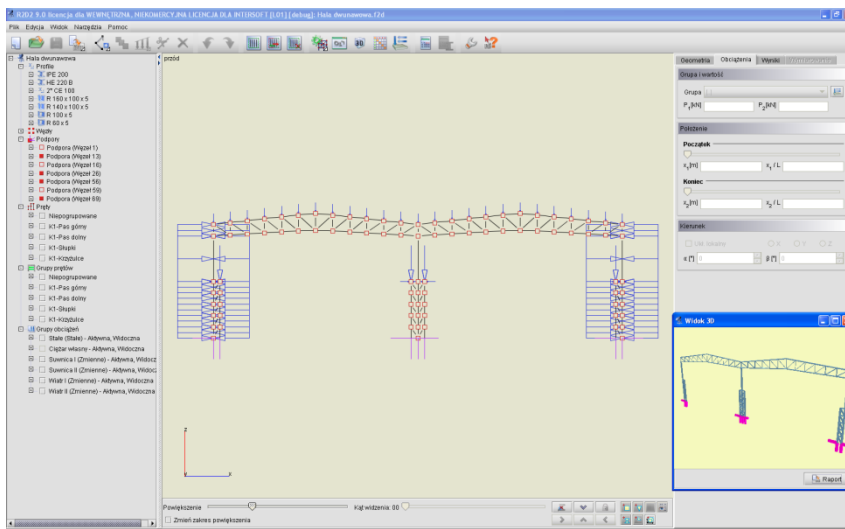
## 2.3 URUCHAMIANIE

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

## 2.4 EKРАН PROGRAMU

Wygląd okna programu przedstawiony jest na rysunku 2.1.

## Instalowanie i uruchamianie programu



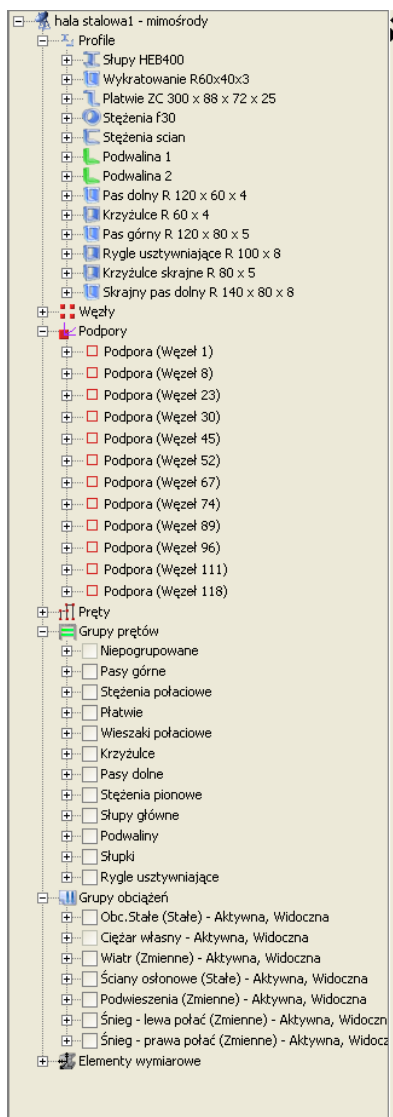
Rys. 2.1 Główne okno programu

mu

W głównej części okna znajduje się pole używane do prezentacji oraz wprowadzania układu. Po prawej stronie znajdują się trzy zakładki **Geometria**, **Obciążenia**, **Wyniki**, zawierające elementy pomocnicze dla poszczególnych funkcji programu. Poniżej suwaki do regulacji powiększenia oraz przycisk powrotu do początkowego ustawienia i blokowania widoku układu.

Z lewej strony na krawędzi okna programu dostępny jest rozwijalny panel zawierający aktualną strukturę tworzonych lub edytowanego projektu w postaci „**drzewo projektu**”. Kliknięcie na dowolnym: pręcie, węzle lub podporze w drzewie podświetla ten element w graficznej strukturze projektu i odwrotnie, wskazanie pręta, węzła lub podpory na ekranie graficznym, przy jednocześnie naciśniętym przycisku **Ctrl**, powoduje przełączenie na odpowiedni element w drzewie projektu. Pręty wyświetlane są kolejno w drzewie projektu, wg numeracji w poszczególnych grupach prętów. Łapiąc za prawą krawędź okna w którym wyświetlane jest „**drzewo projektu**” możemy je dowolnie poszerzać lub zawężać. Małutkie strzałki skierowane w prawo i lewo na tej krawędzi pozwalają na jego całkowite schowanie lub rozwinięcie. Ostatnie ustawienie drzewa zapamiętywane jest w programie.

## Instalowanie i uruchamianie programu



Rys. 2.2 Drzewo projektu

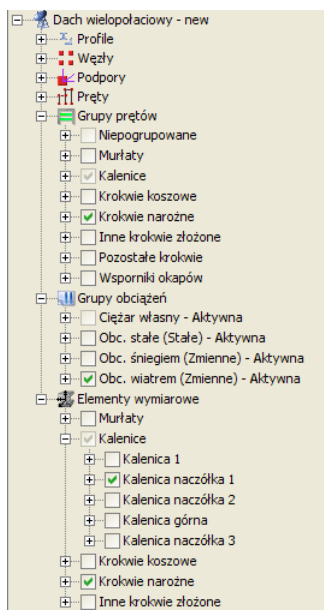
Struktura „*drzewa projektu*” może składać się z następujących głównych grup danych: profile, węzły, podpory (wraz z obciążeniami), pręty (wraz z obciążeniami), grupy prętów, grupy obciążeń, tablica zależności, kombinacje użytkownika i elementy wymiarowe. Gdy któraś grupa danych (np. zależności obciążeń lub kombinacje) nie występuje w projekcie, cała grupa może być pominięta w przedstawionej strukturze projektu. Elementy w „*drzewie projektu*” układane są kolejno tak jak zostały wprowadzone do projektu, a w przypadku elementów numerowanych takich jak pręty lub węzły ułożone są zgodnie z kolejnością nadanych numerów. W przypadku występowania grup prętów, wszystkie pręty projektu w pierwszej kolejności podzielone są na grupy a następnie w każdej grupie ułożone zgodnie z ich numeracją. Każda grupa danych jest rozwijalna i zawiera zagnieżdżoną strukturę wewnętrzną, w której użytkownik może znaleźć wszystkie dane wprowadzone do projektu.

Klikając w „drzewie” projektu odpowiednie pole znacznika przed nazwą grupy lub elementu, możemy bezpośrednio wyselekcjonować następujące elementy:

- Wszystkie obciążenia wchodzące w skład danej grupy obciążeń.
- Wszystkie pręty wchodzące w skład danej grupy prętów.
- Wszystkie pręty elementów wymiarowych w poszczególnych grupach prętów.
- Pręty wybranych (jednego lub więcej) elementów wymiarowych.

Poszczególne selekcje można ze sobą łączyć, pamiętając że selekcja elementu nadrzędnego w drzewie powoduje wybór wszystkich obiektów podrzędnych, a zaznaczenie obiektu podrzędnego powoduje szare (niepełne) zaznaczenie obiektu nadrzędnego.

## Instalowanie i uruchamianie programu



Rys. 2.3 Selekcja grup z poziomu drzewa projektu

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

Ikony znajdujące się na głównym pasku narzędzi:



Usunięcie aktualnego projektu i stworzenie nowego, pustego projektu



Wczytywanie projektu z dysku



Zapis projektu na dysk



Generuje główny raport projektu ze statyki



Generuje główny raport projektu z wymiarowania zbiorczego



Generuje raport z aktualnego widoku graficznego



Wprowadza do układu pręty o węzłach sztywnych



Wprowadza do układu pręty o węzłach przegubowych






Kopiowanie wielokrotne elementów



Dodawanie obciążeń ciągłych na pręcie

## Instalowanie i uruchamianie programu

-  Dodawanie sił skupionych na pręcie
-  Dodawanie momentów skupionych na pręcie
-  Dodanie obciążenia w postaci podgrzania pręta
-  Dodanie obciążenia w postaci różnicy temperatur na pręcie
-  Dodanie obciążenia w postaci osiadania podpory
-  Dodanie obciążenia w postaci obrotu podpory
-  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
-  Uruchamianie generatora wiązarów drewnianych
-  Uruchomienie menagera i edytora przekrojów
-  Wyświetlenie zaawansowanego podglądu 3D
-  Okno zależności grup obciążeń i kombinacji
-  Okno definicji grup obciążeń

## Instalowanie i uruchamianie programu



Uruchamianie obliczeń statycznych



Wymiarowanie zbiorcze



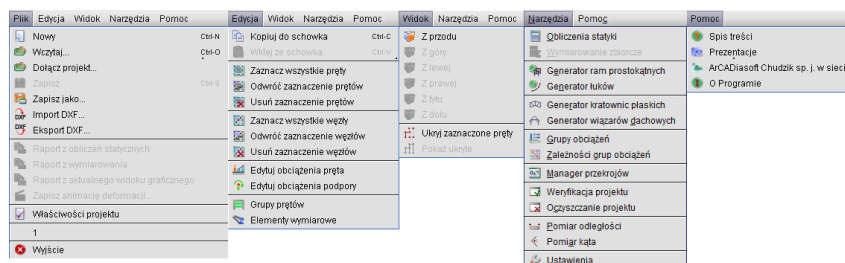
Ustawienia programu i projektu



Pomoc kontekstowa

Wszystkie ikonki górnego paska narzędziowego zawierające w prawym dolnym narożniku białą trójkątną strzałkę są ikonami zwielokrotnionego wyboru, umożliwiającą wybór jednej z kilku dostępnych opcji z dodatkowego menu dostępnego po najechnaniu i przytrzymaniu lewego klawisza myszki na danej ikonie. Ikony tego typu to: opcje raportu, trybu pracy, typu pręta, wyboru obciążenia i wyboru generatora.

Menu górne zawiera po rozwinięciu następujące funkcje programu:



Rys. 2.4 Menu górne programu

W programie działają następujące skróty klawiszowe:

- Ctrl-N** *Nowy...*
- Ctrl-O** *Wczytaj...*
- Ctrl-S** *Zapisz*
- Ctrl-A** *Zaznacz wszystko*
- Ctrl-Z** *Cofnij*
- Ctrl-Y** *Ponów*
- Ctrl-C** *Kopiuj do schowka*
- Ctrl-V** *Wklej ze schowka*
- Alt-D** *Włącza tryb dodawania elementów*

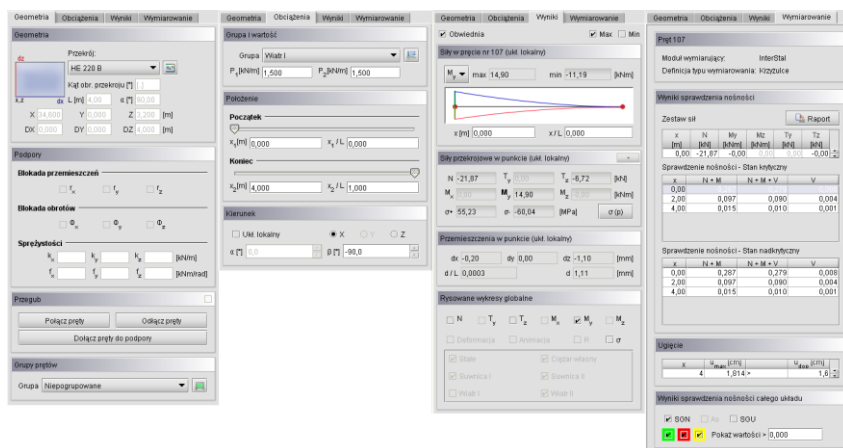
Oprócz powyższych skrótów w programie występuje kilka bardzo ważnych funkcji dostępnych za pomocą kombinacji działań przycisków klawiatury i klawiszy myszki:

- **LKM** (lewy klawisz myszki) – zaznacza pojedynczy wskazany obiekt.
- **Shift** –przytrzymany w trybie wprowadzania elementu chwilowo włącza lub wyłącza tryb „orto”.
- **Shift + LKM** – zaznacza kolejno wskazywane obiekty.
- **Ctrl + LKM** (kliknięcie) – pokazuje wskazany obiekt w drzewie projektu.
- **Ctrl + LKM** (ciągnięcie) – zaznaczanie obiektów oknem przecinającym lub obejmującym a także grupowe zaznaczanie grup w oknie zależności grup obciążeń.
- **Ctrl + kursory** – w trybie śledzenia przełącza dokładność podanego domiaru z „cm” na „mm” i odwrotnie.
- **PKM** (prawy klawisz myszki) – w trybie wprowadzania elementu, powoduje chwilową blokadę kursora, kolejne kliknięcie powoduje zwolnienie blokady.
- **PKM** (ciągnięcie) – przesuwanie układu.
- **ESC** – w trybie działania funkcji – szybkie wyjście z funkcji.
- **ESC** - szybkie odznaczenie zaznaczonych elementów.
- **Klawisze kursorów** – w trybie wprowadzanie elementu z wykorzystaniem przyciągania (zwłaszcza dla punktu „bliski”) pozwalają na precyzyjne ustawienie położenia na pręcie z dokładnością do 1mm lub 1cm.
- **Rolla myszki** - zoomowanie na centralny punkt układu.

## Instalowanie i uruchamianie programu

O ile nie jest zaznaczone inaczej skróty **LKM** i **PKM** oznaczają pojedyncze kliknięcie lewego lub prawego klawisza myszki. Ciągnięcie polega na wciśnięciu lewego lub prawego klawisza myszki i jej przesuwaniu.

Szczegółowe dane 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 poniżej:

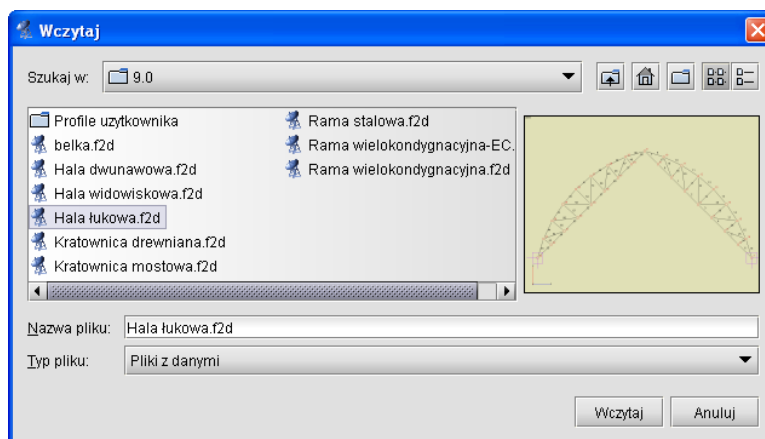


Rys. 2.5 Zakładki programu



## 2.5 OTWIERANIE PROJEKTU

Aby wczytać uprzednio zapisany projekt należy wybrać odpowiednią ikonę z paska narzędzi lub wybrać opcję **Wczytaj** menu górnego **Plik**. Okno służące do wyboru pliku pokazane jest na rysunku 2.5. 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. 2.6 Okno wyboru pliku projektu

W wersji instalacyjnej programu zamieszczono kilka różnych projektów przykładowych pozwalających na wstępną orientację w możliwościach programu.



## 2.6 ZAPIS PROJEKTU

W programie istnieją dwie funkcje służące do zapisywania projektu na dysk.





## Instalowanie i uruchamianie programu

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

Przed przystąpieniem do wykonania jakichkolwiek obliczeń aktualnego projektu musi zostać nadana mu nazwa i projekt musi być zapisany na dysku.

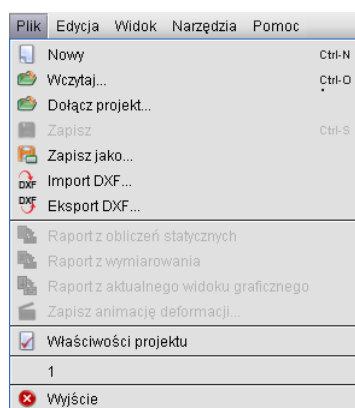
## 2.7 AUTOZAPIS I KOPIA BEZPIECZEŃSTWA

Przy zapisie zmodyfikowanego projektu pod tą samą nazwą program z oryginalnej kopii pliku projektu robi kopię bezpieczeństwa o nazwie projektu z rozszerzeniem **”bak”** i zapisuje ją w katalogu projektów, a wszystkie zmiany wykonywane są na otwartym projekcie aż do ponownego jego zapisu (wówczas plik **„bak”** jest nadpisywany).

W ustawieniach programu użytkownik może ustawić interwał czasowy do autozapisu. Wówczas co określony odstęp czasu w czasie edycji, projekt jest zapisywany do pliku, o nazwie projektu z rozszerzeniem **„f2\$”** w katalogu projektów.

## 2.8 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**.

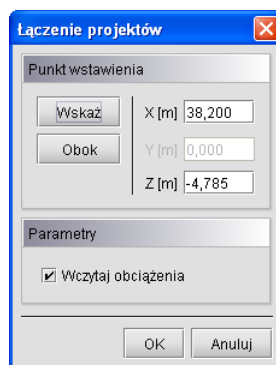


Rys. 2.7 Menu Plik – Dołącz projekt

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.

## Instalowanie i uruchamianie programu



Rys. 2.8 Łączenie projektów

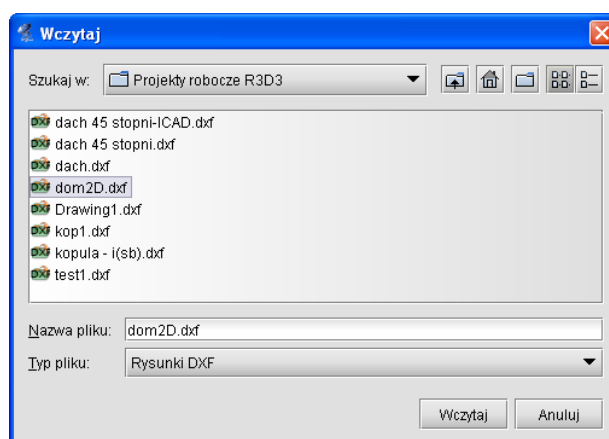
Parametr w postaci znacznika **Wczytaj obciążenia** decyduje czy projekt ma być wczytany z obciążeniami czy bez. W przypadku pokrywania się węzłów układu aktualnego i wstawianego węzły są łączone z uzupełnieniem ewentualnych więzi o ile takie występują. W przypadku pokrywania się prętów następuje ich 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 jedyinki na końcu nazwy

## 2.9 ZAPIS I ODCZYT STRUKTURY UKŁADU W PLIKU DXF

Program wyposażono w funkcję eksportu płaskiej struktury prętów do pliku **DXF** (w postaci linii), oraz importu układu linii 2D z pliku **DXF** (CAD) jako układu płaskiego prętów. Funkcja ta umożliwi prostą wymianę danych między różnymi programami obliczeniowymi, które potrafią wczytać strukturę układu z podstawowych formatów CAD. Obie funkcje dostępne są w programie w menu **Plik** jako **Import DXF** i **Eksport DXF**.

### 2.9.1 Import DXF

Po wywołaniu funkcji **Import DXF** program otworzy okno w którym użytkownik powinien wskazać lokalizację pliku **DXF**:

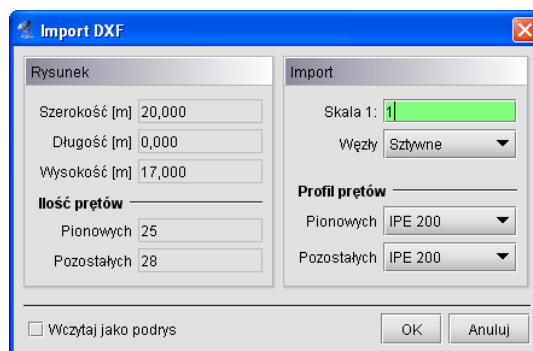


Rys. 2.9 Wczytywanie plików DXF

Wykonany wcześniej rysunek w programie CAD powinien składać się wyłącznie ze zwykłych linii z których każda zostanie zamieniona na pręt układu. Przy wczytywaniu linii pominięte zostaną tylko takie elementy, które po przeskalowaniu są nadal niewspółmiernie małe w stosunku do pozostałych. Taka koncepcja pozwala eliminować z projektu już na etapie wczytania, przypadkowe elementy, które i tak później ciężko byłoby znaleźć w projekcie. Przy zapisywaniu rysunku należy pamiętać aby został wybrany wyłącznie tekstowy format **DXF**

## Instalowanie i uruchamianie programu

(ASCII) a nie binarny. Program umożliwia wczytywanie płaskich plików **DXF**. Po wskazaniu pliku i wciśnięciu przycisku **Wczytaj**, otwarte zostanie dodatkowe okno **Import DXF** jak niżej:

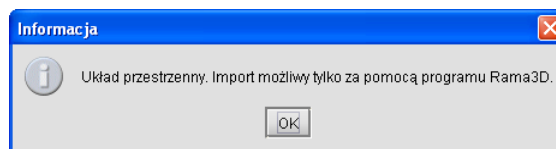


Rys. 2.10 Okno Importu DXF

W kolumnie **Rysunek** z lewej strony okna znajdują się pola informacyjne: **Szerokość**, **Długość** i **Wysokość**, które podają wielkość maksymalną układu (po przeskalowaniu), tak jak będzie on wprowadzony do projektu. Informacje te jeszcze przed wstawieniem do projektu, łatwo pozwalają ustalić czy prawidłowo została wybrana skala dla danego rysunku. Niżej w kolumnie podana jest informacja o ilości linii dokładnie pionowych i pozostałych, które zostaną zamienione na pręty układu. Prawa kolumna okna **Import** jest dostępna do edycji dla użytkownika i pozwala ustawić współczynnik skali, wybrać typ węzłów łączących wszystkie pręty oraz przypisać wstępnie profile, osobno dla prętów pionowych i pozostałych. Przy wczytywaniu rysunków **DXF** należy pamiętać że wszelkie układy muszą być zawsze wprowadzone do projektu w metrach (stąd możliwość ich przeskalowania przy wczytywaniu). Po wciśnięciu przycisku **OK** rysunek zostanie zamieniony na układ prętów i węzłów oraz wstawiony do projektu.

Wszystkie rysunki układów płaskich wykonane w programie CAD w jednej z płaszczyzn globalnego układu współrzędnych lub do niej równoległej, będą do programu wczytane zawsze w płaszczyźnie „xz”. Natomiast rysunki płaskich układów, wykonane w programach CAD w dowolnej płaszczyźnie nie równoległej do płaszczyzn układu globalnego, będą traktowane jako układy przestrzenne i nie mogą być wczytane w programie.

W przypadku próby wczytania do R2D2 takiego rysunku płaskiego lub innego rysunku przestrzennego funkcja zostanie przerwana i pojawi się poniższy komunikat:

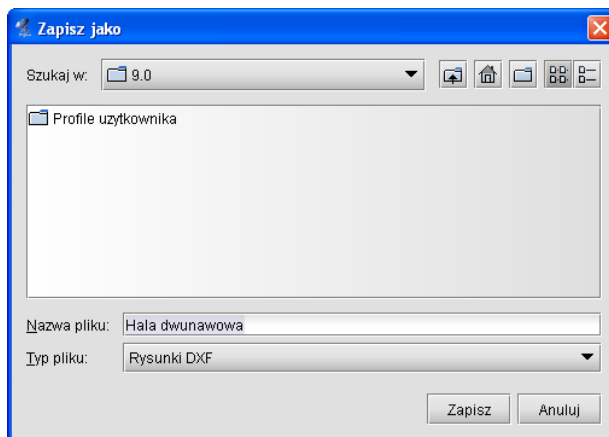


Rys. 2.11 Komunikat przy próbie wczytania struktury przestrzennej do R2D2

### 2.9.2 Export DXF

Poza importem plików **DXF**, w programie możliwy jest również proces odwrotny - eksportu utworzonej struktury prętów do rysunku CAD w formacie tekstowym **DXF** (ASCII). Analogicznie jak przy imporcie, podczas eksportu do pliku **DXF** zapisywana jest w postaci linii jedynie płaska struktura prętów. Wszystkie pozostałe informacje zawarte w projekcie, takie jak: obciążenia, podpory, typy węzłów, rodzaje użytych profili, grupy prętów, grupy obciążeń itp. są przy zapisie pomijane (ta informacja jest tracona). Tak więc przy ponownym imporcie tak zapisanego pliku, otrzymamy taką samą strukturę tylko w odniesieniu do ułożenia prętów, wszelkie pozostałe informacje musimy ponownie uzupełnić. Wywołanie funkcji realizowane jest w programie z menu **Plik – Eksport DXF**. Po wywołaniu funkcji zostanie otwarte okno jak niżej w którym użytkownik wybiera lokalizację w której zostanie zapisany plik **DXF** i nadaje mu nazwę (domyślnie jest to nazwa aktualnego projektu):

## Instalowanie i uruchamianie programu



Rys. 2.12 Zapis projektu do pliku DXF

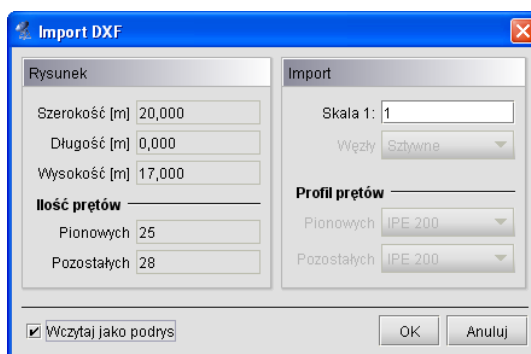
Przy zapisie wszystkie wymiary utworzonych na rysunku linii odpowiadają długościom poszczególnych prętów projektu wyrażoną w metrach, co po ponownym imporcie takiego pliku do programu skutkuje koniecznością ustawienia współczynnika skali na 1. W przypadku eksportu do pliku **DXF** projektów zawierających pręty na mimośrodku, do rysunku zapisane będą wszystkie pręty widoczne w projekcie jak również niewidoczne pręty wirtualne, będące odpowiednikiem założonych mimośrodków. Taka metodologia zapewnia spójność zapisywanego projektu z układem prętów zdefiniowanych w programie.

Głównym przeznaczeniem funkcji eksportu do pliku **DXF** jest możliwość łatwego przenoszenia struktury układu między różnymi programami do obliczeń statycznych, mających możliwość wczytywania układu z otwartego tekstowego pliku **DXF**. W przypadku eksportu płaskich struktur prętowych zdefiniowanych w płaszczyźnie XZ programu **R2D2 Rama 2D**, odwzorowane zostaną one w rysunku CAD w domyślnej płaszczyźnie rysunku XY.

## 2.10 FUNKCJA PODRYSU

### 2.10.1 Funkcja wczytywania podrysu z pliku DXF

Poza wczytywaniem plików **DXF** do projektu jako gotowych układów prętowych, można wczytać do projektu taki plik jako aktywny podrys. Aby wczytać do projektu plik **DXF** jako podrys należy w oknie dialogowym **Import DXF** zaznaczyć opcję: **Wczytaj jako podrys**.



Rys. 2.13 Wczytywanie pliku DXF jako podrysu

Przy imporcie podrysu z pliku **DXF**, jako punkt wstawienia przyjmowany jest punkt (koniec linii) o najniższych współrzędnych x; y, oznaczony celownikiem. Wprowadzony do projektu podrys 2D widoczny jest w programie jako zbiór cienkich szarych i przerywanych linii po śladzie których można wprowadzać pręty układu. Podrys widziany jest w programie zawsze jako całość (a nie jako pojedyncze linie), nie można więc usunąć lub zmodyfikować części podrysu. Wszystkie linie podrysu przy wprowadzaniu prętów układu, akceptują wszelkie dostępne w programie punkty przyciągania takie jak: koniec, środek, prostopadły, przecięcia i punkty bliskie na linii podrysu. Rozpoznawany jest również punkt przecięcia linii podrysu z prętem. Gdy w projekcie aktywny jest

## Instalowanie i uruchamianie programu

podrys i na nim naniesione są pręty, priorytet rozpoznawania punktów przyciągania jest następujący (licząc od najwyższego):

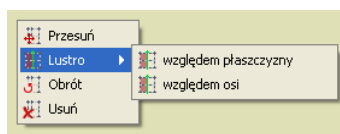
- Pojedyncze punkty charakterystyczne pręta takie jak: koniec, środek, prostopadły, przecięcia, punkt przyłożenia obciążenia, dla których priorytety ustawione są w kolejności jak dla prętów.
- Punkt przecięcia linii podrysu i pręta rozpoznawany jako punkt pręta.
- Pojedyncze punkty charakterystyczne linii podrysu takie jak: koniec, środek, prostopadły, przecięcia, dla których priorytety ustawione są w kolejności jak dla prętów.
- Punkty bliskie na pręcie.
- Punkty bliskie na linii podrysu.

Zawsze pojedynczy punkt charakterystyczny linii podrysu będący jednocześnie pojedynczym punktem charakterystycznym pręta, rozpoznawany jest jednocześnie jako punkt pręta i przy wprowadzaniu elementu użytkownik musi zdecydować czy w tym miejscu ma być utworzony węzeł na pręcie. W takim przypadku zawsze wyższy priorytet będzie miał punkt charakterystyczny pręta w stosunku do punktu podrysu.

Wprowadzony do projektu podrys w każdej chwili można włączyć lub wyłączyć, można również sterować rozpoznawaniem poszczególnych punktów charakterystycznych. Przy czym rozpoznawanie to zawsze jednocześnie dotyczy punktów charakterystycznych pręta i linii podrysu według opisanych powyżej priorytetów.

Wprowadzony do projektu podrys zapisywany i pamiętany jest w pliku projektu (plik *f2d*). Do projektu aktualnie można wczytać tylko jeden podrys. Zaimportowanie podrysu do projektu, który już podrys posiada, powoduje skasowanie aktualnego i ustawienie zaimportowanego podrysu.

Każdy wprowadzony do projektu podrys posiada swój punkt wstawienia oznaczony symbolem celownika. Zaznaczenie podrysu odbywa się przez wskazanie punktu jego wstawienia (zaznaczany jest sam celownik bez przypisanych mu linii podrysu). Wybranie samego podrysu (bez jakichkolwiek prętów lub węzłów) daje dostęp do menu kontekstowego prawego klawisza myszki zawierającego operacje dostępne dla podrysu takie jak: *Usuń*, *Przesuń*, *Lustro względem płaszczyzny*, *Lustro względem osi* i *Obrót*.

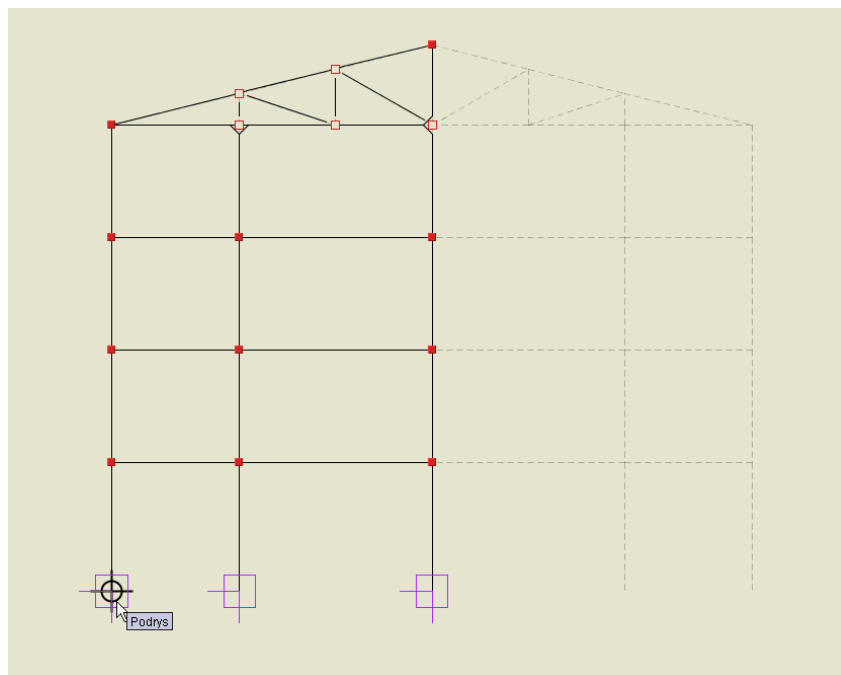


**Rys 2.14 Menu prawego klawisza myszki dla podrysu**

Należy pamiętać że każda z tych operacji możliwa jest zawsze tylko dla całego podrysu. Zaznaczenie dowolnych innych elementów układu statycznego wraz z punktem wstawienia podrysu daje dostęp do menu kontekstowego operacji na tych elementach (bez możliwości dostępu do menu kontekstowego operacji na podrysie).

Do każdego projektu można wczytać kilka podrysów, wyjątek stanowi tu próba wczytania dwóch podrysów o pokrywającej się lokalizacji ich punktów wstawienia. Wówczas aby wstawić nowy podrys, poprzedni należy usunąć. Wszystkie kolejno wprowadzane do projektu podrysy z pliku *DXF*, oraz podrysy dachu z plików *ArCADiü „xproject”*, są w kolejności ich wprowadzenia numerowane jako: *Podrys 1*; *Podrys 2* ... itd. Natomiast wszystkie linie podrysu, które powstały na skutek zamiany prętów układu na podrys, zapisywane są zawsze w jednym, wydzielonym podrysie o numerze „0” (*Podrys 0*).

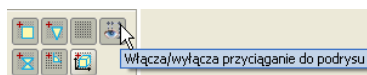
## Instalowanie i uruchamianie programu



Rys. 2.15 Widok podrysu z częściowo wprowadzonym układem

Podrysy widoczne są w projekcie jedynie wówczas gdy włączona jest zakładka *Geometria* lub *Obciążenia*, natomiast na zakładce *Wyniki* i *Wymiarowanie* nie są one widoczne.

Wprowadzone do projektu podrysy w każdej chwili można włączyć lub wyłączyć wybierając odpowiednią ikonę obok ustawień punktów przyciągania.

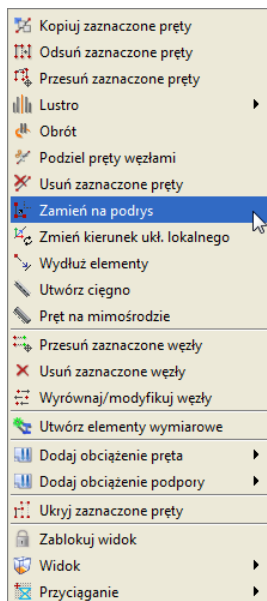


Rys. 2.16 Włączanie i wyłączanie podrysu w projekcie

### 2.10.2 Funkcja zamiany prętów na podrys

Dla zaznaczonej grupy prętów układu istnieje również możliwość zamiany tych elementów na linie podrysu. W tym celu zaznaczamy odpowiednią grupę prętów układu i z menu podręcznego prawego klawisza myszki wybieramy opcję: *Zmień na podrys*.

## Instalowanie i uruchamianie programu

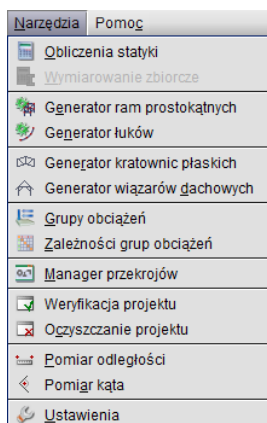


Rys. 2.17 Wybór opcji „Zamień na podrys” z menu kontekstowego

Pręty zamieniane na podrys, niezależnie od ilości wykonanych tego typu operacji, zawsze dokładane są do jednego tego samego podrysu, który w projekcie widoczny jest jako **Podrys 0**. Operacja zamiany prętów na podrys polega na usunięciu zaznaczonych prętów z projektu oraz na wprowadzeniu w ich lokalizacji przerywanych i aktywnych linii podrysu.

## 2.11 FUNKCJE OCZYSZCZANIA I WERYFIKACJI PROJEKTU

Wywołanie funkcji oczyszczania lub weryfikacji projektu można wykonać jedynie z menu górnego *Narzędzia*:



Rys. 2.18 Wywołanie funkcji oczyszczania lub weryfikacji projektu

### 2.11.1 Funkcja oczyszczania projektu

W menu górnym *Narzędzia* znajduje się opcja **Oczyszczanie projektu**. Służy ona do automatycznego eliminowania z projektu nadmiarowych elementów, które nie mają związku z liczoną strukturą i mogą być z niego usunięte. Po wywołaniu funkcji, program analizuje aktualną strukturę projektu i wyszukuje następujące obiekty:

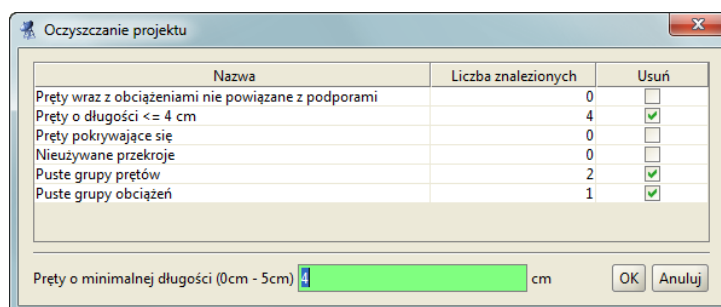
- Pręty wraz z obciążeniami nie powiązane z podporami (bezpośrednio lub pośrednio).
- Pręty o długości (mniejszej niż wartość zdefiniowana przez użytkownika w dole okna) – domyślnie 2 cm



## Instalowanie i uruchamianie programu

- Pręty pokrywające się.
- Nieużywane w projekcie przekroje prętów.
- Puste grupy prętów.
- Puste grupy obciążeń.

Następnie wyświetlane jest poniższe okno w którym użytkownik może zobaczyć ile zostało znalezionych poszczególnych elementów oraz zaznaczyć je (lub nie) do usunięcia ze struktury projektu.



Rys. 2.19 Funkcja: Oczyszczanie projektu

W czasie działania funkcji czyszczenia projektu, w przypadku braku jakiegokolwiek deklaracji przypisania do grupy prętów, przywracane są również ewentualne deklaracje przypisania prętów do domyślnej grupy prętów *Niepogrupowane*. Usuwanie ze struktury prętów o zdefiniowanej przez użytkownika długości wykonywane jest przez usunięcie takiego pręta, oraz założenie w środku jego rozpiętości nowego węzła do którego sprowadzane są wszystkie pręty schodzące się w węzle początkowym i końcowym usuniętego pręta. Mogą być w ten sposób usunięte z układu pręty do długości nie większej niż 5 cm. Zastosowanie tej funkcji z jednej strony wprowadza do układu niewielkie niedokładności geometryczne lecz z drugiej eliminuje elementy, które są bardzo trudne do selekcji (np. 1mm lub kilka mm) i często powodują znaczne wydłużenie obliczeń statycznych. Na dole okna umieszczono pole edycyjne w którym użytkownik może określić w cm minimalną długość prętów, które zostaną w modelu, po usunięciu prętów o mniejszej długości wg powyżej opisanej procedury. Zmiana wartości minimalnej w dolnym polu edycyjnym, za każdym razem, na bieżąco uaktualniana jest w tabelce powyżej, łącznie z ilością znalezionych w modelu prętów do usunięcia.

Funkcja oczyszczania projektu dodatkowo „niejawnie” wykonuje następujące czynności:

- Usuwa węzły swobodne (od których nie odchodzą żadne pręty),
- Usuwa pręty istniejące na listach w węzłach, ale nie istniejące na głównej liście prętów,
- Usuwa pręty istniejące w zmiennych pomocniczych dla częściowych przegubów a nie będące na głównej liście prętów układu,
- Usuwa pręty zerowe (obydwa końce takiego pręta dochodzą do tego samego węzła).

Funkcję oczyszczania projektu najczęściej użytkownik powinien uruchamiać: przed obliczeniami projektu o skomplikowanej strukturze, po wczytaniu projektu wykonanego w starszej wersji programu oraz w każdym innym przypadku gdy działanie programu dla danego projektu, wydaje się niezgodne z oczekiwaniami.

Funkcja oczyszczania projektu działa zawsze dla wszystkich elementów zdefiniowanego modelu, niezależnie od selekcji poszczególnych jego elementów.

### 2.11.2 Funkcja weryfikacji projektu

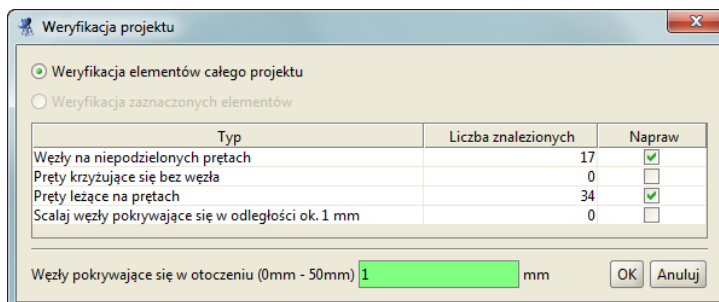
Obok opisanej powyżej funkcji *Oczyszczania projektu* w menu *Narzędzia* znajduje się opcja *Weryfikacji projektu*. Jej działanie jest podobne do funkcji oczyszczania, lecz nie usuwa ona elementów modelu ale je modyfikuje według opisanych poniżej reguł. Druga podstawowa różnica między obiema funkcjami polega na tym że funkcja weryfikacji może dotyczyć wszystkich prętów modelu lub wyselekcjonowanej ich grupy. Przy braku selekcji jakichkolwiek elementów modelu lub przy selekcji wszystkich obiektów modelu, funkcja weryfikacji uruchomi się z zaznaczoną opcją: *Weryfikacja elementów całego projektu*. W każdym innym przypadku funkcja weryfikacji uruchomi się tylko dla wyselekcjonowanej grupy prętów i węzłów. Na funkcję *Weryfikacji projektu* składają się następujące operacje:

- Wyszukiwanie węzłów leżących na niepodzielonych prętach - wówczas węzły te w modelu nie stykają się z tymi prętami. Opcja napraw spowoduje podzielenie wszystkich zaznaczonych prętów w miejscach położenia węzłów na tych prętach.



## Instalowanie i uruchamianie programu

- Wyszukiwanie prętów krzyżujących się na długości (bez utworzenia węzła w miejscu skrzyżowania) i leżących w tej samej płaszczyźnie. Opcja napraw dzieli wszystkie pręty w miejscach ich rzeczywistego skrzyżowania, a utworzone w ten sposób węzły scala w jeden wspólny węzeł.
- Wyszukiwanie prętów leżących w całości lub w części wzdłuż innych prętów. Opcja napraw dla prętów krótszych leżących w długości innych prętów, w miejscach ich końców, dzieli długość tych prętów węzłami i scala wszystkie węzły pokrywające się.
- Ostatnią operacją funkcji weryfikacji modelu jest opcja scalania w zadanym przez użytkownika otoczeniu wszystkich węzłów modelu. Operacja ta pozwala uchronić projekt przed niewielkimi niedokładnościami geometrycznymi wprowadzonymi do modelu i powodującymi brak połączenia prętów w węzłach, leżących prawie w tej samej lokalizacji.



Rys. 2.20 Funkcja: Weryfikacji projektu

Na dole okna umieszczono dodatkowe pole edycyjne: *Węzły pokrywające się w otoczeniu (0mm-50mm)* – podana przez użytkownika wartość tego otoczenia w zakresie od 0 do 50 mm pozwoli na zlokalizowanie takich węzłów i ich ewentualne scalenia za pomocą ostatniej operacji umieszczonej w tabeli. Domyślnie wielkość otoczenia do scalania węzłów ustawiono na 1 mm. Każda zmiana wartości otoczenia węzłów do scalenia, na bieżąco aktualizuje odpowiednią wartość otoczenia w tabeli, oraz na bieżąco wyznacza liczbę znalezionych węzłów modelu przewidzianych do scalenia.

## 2.12 FUNKCJA SPRAWDZANIA NOWYCH WERSJI PROGRAMU

W programie zaimplementowano funkcję sprawdzania dostępności nowych wersji programu. Działa ona w dwóch trybach które są zapamiętywane w ustawieniach programu:

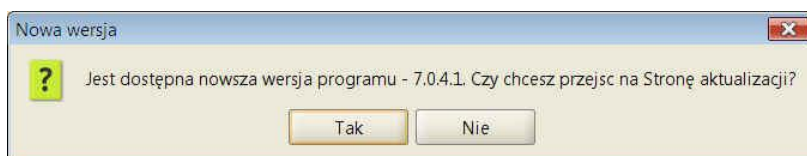
- Automatyczne sprawdzanie nowych wersji programu. Opcja domyślna przy starcie programu. Funkcję tą można włączyć/wyłączyć wywołując w menu górnym *Pomoc* okno dialogowe „*O programie*” i zaznaczając odpowiedni znacznik – *Sprawdzaj aktualizacje przy starcie programu*.
- Sprawdzanie nowych wersji programu na żądanie, przez wciśnięcie przycisku *Sprawdź aktualizacje* w oknie „*O programie*”.



Rys. 2.21 Okno „O programie”

## Instalowanie i uruchamianie programu

Po sprawdzeniu aktualizacji, w przypadku pojawienia się nowej wersji, użytkownik jest o tym powiadamiany odpowiednim komunikatem i po potwierdzeniu przełączany na odpowiednią stronę internetową z której może ją pobrać.



**Rys. 2.22 Komunikat o dostępności nowej wersji programu**

Program nigdy nie pobiera automatycznie aktualizacji i decyzję w tej sprawie zawsze pozostawia użytkownikowi.

# 3 PODSTAWY

## 3.1 ELEMENTY PROJEKTU

### 3.1.1 Węzły i pręty

Wprowadzane układy składają się z węzłów i prętów.

W programie węzły nierozdzielnie związane są z prętami i jako takie nie istnieją samodzielnie (bez prętów do których należą). W związku z tym usunięcie węzła z projektu usuwa automatycznie wszystkie pręty które schodzą się w tym węźle. Natomiast usunięcie pręta z projektu, usuwa również jego węzły tylko w tym przypadku gdy nie są one wspólne dla innych prętów.

Pręt jest podstawowym elementem obliczeniowym w programie. Jego położenie w projekcie określają dwa węzły początkowy i końcowy. Pręt ma stałe pole przekroju na długości.

Położenie węzła w układzie określają dwie współrzędne  $x$  i  $z$ . Dla każdego węzła można określać występowanie pełnego przegubu momentowego oraz typ podparcia i jego sprężystości.

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

### 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 dwóch odcinków o kolorach: niebieskim ( $x$ ), czerwonym ( $z$ ) (analogicznie do kolorów globalnego układu współrzędnych).

Oś „ $x$ ” układu lokalnego pokrywa się z osią pręta. Oś „ $z$ ” układu lokalnego jest prostopadła do osi „ $x$ ” i leży w płaszczyźnie układu.

Niewidoczna oś lokalna „ $y$ ” pręta jest domyślnie osią względem której moment bezwładności przekroju jest największy (np. dla przekrojów I, T, C).

Aby zmienić kierunek lokalnego układu współrzędnych zaznaczonych prętów, wybieramy z menu kontekstowego prawego klawisza myszki, funkcję **Zmień kierunek ukl. lokalnego**. Działanie tej funkcji polega na takim przestawieniu układu lokalnego, że jego oś  $x$  ułożona wzdłuż pręta skierowana jest przeciwnie w stosunku do jej lokalizacji wyjściowej. Opcja ta powoduje również zamianę numeru węzła początkowego i końcowego pręta, oraz zachowuje układ wszystkich osi układu lokalnego w tych samych płaszczyznach.

#### **Uwaga:**


**Poniżej opisano sposób liczenia prętów o przekrojach, dla których osie główne przekroju nie pokrywają się z osiami lokalnego układu współrzędnych.**

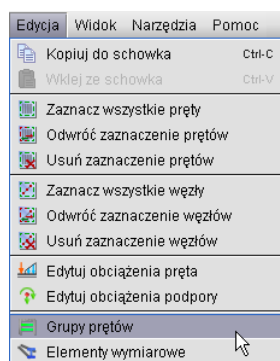
Dla tego typu prętów w czasie obliczeń tworzony jest wewnętrzny, zastępczy, lokalny układ współrzędnych o osiach pokrywających się z osiami głównymi przekroju, do którego transformowane są obciążenia a następnie, dla tak zdefiniowanego układu liczone siły wyjściowe, wykonywane są obliczenia, a następnie wartości wynikowe sił wewnętrznych i przemieszczeń transformowane są ponownie z zastępczego, lokalnego układu współrzędnych do lokalnego układu współrzędnych zdefiniowanego przez użytkownika. Metoda ta pozwala użytkownikowi na dowolne definiowanie lokalnego układu współrzędnych, niezależnie od osi głównych przekroju.

### 3.1.3 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 właści-

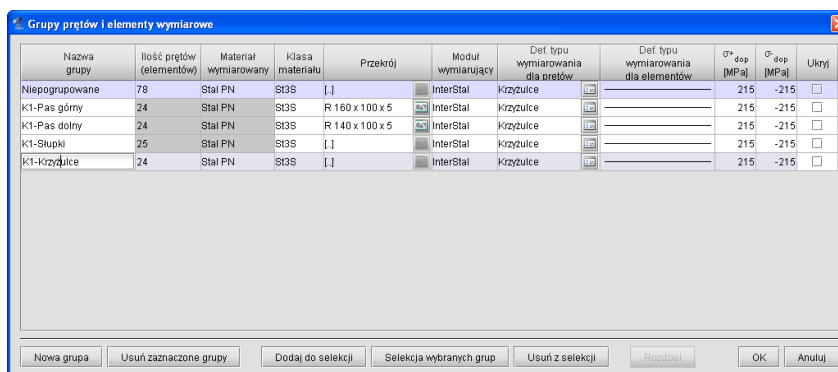
## Podstawy

wych obciążeń do określonych grup prętów). Do tego celu służy okno dialogowe „*Grupy prętów*” wywoływane z menu górnego *Edycja – Grupy prętów* lub bezpośrednio ikonką  przy liście *Grupa* na zakładce *Geometria*:



Rys. 3.1 Menu Edycja

Ponieważ w oknie *Grupy prętów i elementy wymiarowe* większość danych dotyczy wymiarowania zbiorczego, aktualnie omówiony zostanie jedynie proces edycji grup, bez uwzględniania danych do wymiarowania, które opisano szczegółowo w rozdziale **Wymiarowanie zbiorcze**.



Rys. 3.2 Grupy prętów

Na dole okna znajdują się następujące funkcje:

**Nowa grupa** – funkcja definiuje pokazaną w tabeli 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 nieogrupowane.

**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.

**Rozdziel** – funkcja automatycznie rozdziela grupy prętów hybrydowe ze względu na materiał na odrębne grupy z których każda zawiera pręty wykonane z jednego typu materiału.

W tabeli okna znajduje się lista zdefiniowanych w projekcie grup wraz z liczbą prętów objętych daną grupą. Nazwy grup są dostępne do edycji (z wyjątkiem grupy domyślnej *Niepogrupowane*).

Dalej w dwóch kolejnych kolumnach użytkownik może przypisać wartości dopuszczalnych wytrzymałości materiału na ściskanie -  $\sigma_{dop}^-$  (wartość ujemna) i rozciąganie -  $\sigma_{dop}^+$ , przypisane do danej grupy prętów. Wstępne określenie tych wartości pozwoli (po obliczeniach statycznych) na automatyczną wstępną selekcję prętów o przekroczonej, sprężystych naprężeniach normalnych (w stosunku do wartości dopuszczalnych). Selekcja tych prętów dostępna jest w **Widoku 3D** po przeprowadzeniu obliczeń statycznych (przycisk  $\sigma$  - pręty o przekroczonej naprężeniach zaznaczone są na czerwono). Wartości dopuszczalnych wytrzymałości wykorzystywane są również w programie do ustalenia stosunku tych naprężeń, dla materiałów o ortotropowych właściwościach mechanicznych, przy liczeniu naprężeń zredukowanych w przekroju, wg hipotezy Coulomba-Mohra. Do każdej

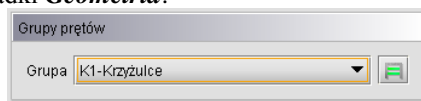
## Podstawy

grupy prętów możemy przypisać inne wartości dopuszczalnych wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie (w ramach grupy są one stałe).

Ostatnia kolumna zawiera znacznik ukrywania danej grupy prętów w projekcie.

Na samej górze listy wyświetlona jest liczba prętów projektu nieprzypisanych do żadnej grupy (*Niepogrupowane*). 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. 3.3 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.

Można również postąpić odwrotnie i najpierw zdefiniować w projekcie grupy prętów, a następnie przed wprowadzeniem prętów do układu ustawiać na zakładce *Geometria* odpowiednią grupę prętów i wszystkie nowo wprowadzone pręty będą przypisane do tej właśnie grupy, aż do momentu kiedy ponownie zmienimy grupę w której mają być wprowadzane nowe pręty.



### 3.1.4 Profile

Parametry geometryczne oraz fizyczne pręta opisane są w tzw. profilu. Dowolna 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*.

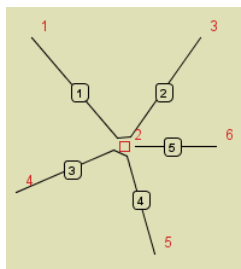
Kształt przekroju pręta może być dowolny. Program automatycznie wylicza wartości wszystkich parametrów geometrycznych (pole przekroju, momenty bezwładności, wskaźniki itd.). Dostępna jest również biblioteka typowych przekrojów stalowych, żelbetowych i drewnianych.

### 3.1.5 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 płaszczyźnie układu.

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 1 i 2 oraz 3 i 4 są sztywno połączone. Symbolizują to odcinki łączące te pręty.



Rys. 3.4 Pręty zeszywnione w węźle

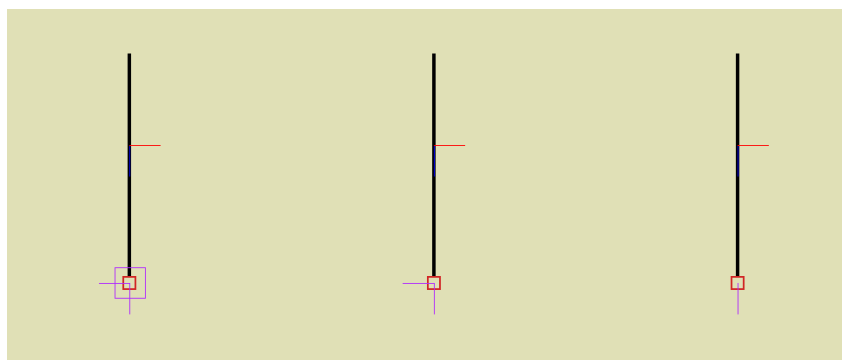
## Podstawy

### 3.1.6 Podpory

Podpory umożliwiają wprowadzenie blokady przemieszczeń w kierunkach X, Z i blokady obrotu węzła. Poszczególne blokady są niezależne od siebie.

Blokady przemieszczeń dla poszczególnych kierunków symbolizowane są odcinkami równoległymi do osi globalnego układu współrzędnych. Blokada obrotu symbolizowana jest niebieskim kwadratem obejmującym węzeł podporowy.

Na rysunku poniżej przedstawione są trzy rysunki podpór. Na pierwszym wszystkie przemieszczenia i obroty są zablokowane (dwa odcinki i kwadrat) - pełne zamocowanie. Na kolejnym zablokowane są wszystkie przemieszczenia (dwie prostopadłe linie). Na ostatnim natomiast zablokowane jest tylko przemieszczenia węzła w kierunku „Z”.



Rys. 3.5 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. Dla węzłów podporowych mogą być wprowadzone do projektu dodatkowe obciążenia w postaci osiadań i ewentualnie wstępnego kąta obrotu podpory. Obciążenia te mogą być założone tylko wówczas gdy podpora w danym kierunku nie jest zdefiniowana jako sprężysta i odwrotnie. Nie można w programie jednocześnie dla tej samej więzi podporowej założyć osiadania i sprężystości.



### 3.1.7 Obciążenia

W programie stosowane są dwa główne 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 obrotu oraz nie są to podpory sprężyste.

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 w płaszczyźnie układu. Obciążenia temperaturą działają zawsze na całej długości pręta.



### 3.1.8 Grupy obciążeń

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

## Podstawy

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

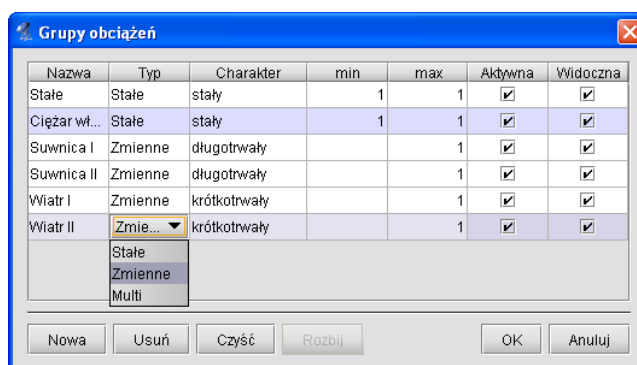
W odróżnieniu od obciążeń należących do grup zmiennych, obciążenia należące do grup stałych są zawsze brane do obliczeń przy określaniu obwiedni. Podczas budowania obwiedni grupy zmienne są odpowiednio dobierane tak, aby otrzymać ekstremalne wartości sił przekrojowych, naprężeń i reakcji w danym punkcie.

Ostatnim typem grup obciążeń jest grupa ciężaru własnego. Jest to specjalna grupa obciążeń stałych, do której nie można dodawać innych obciążeń i dla której nie można zmienić nazwy grupy. 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.

Oprócz typu danej grupy obciążeń, w kolejnej kolumnie okna określamy jej charakter (jest to parametr potrzebny jedynie na etapie wymiarowania np. w drewnie). Wszystkie grupy stałe mają również z założenia stały charakter. Inaczej jest z typem grup zmiennych (i multi), dla nich charakter obciążenia określa użytkownik wybierając z listy następujących możliwości: stały, długotrwały, średniotrwały, krótkotrwały i chwilowy. Parametr ten ma znaczenie np. przy ustalaniu wartości współczynników:  $k_{mod}$  i  $k_{def}$ , przy wymiarowaniu drewna.

### 3.1.9 Grupy obciążeń typu „multi”

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. 3.6 Grupy obciążeń typu „multi”

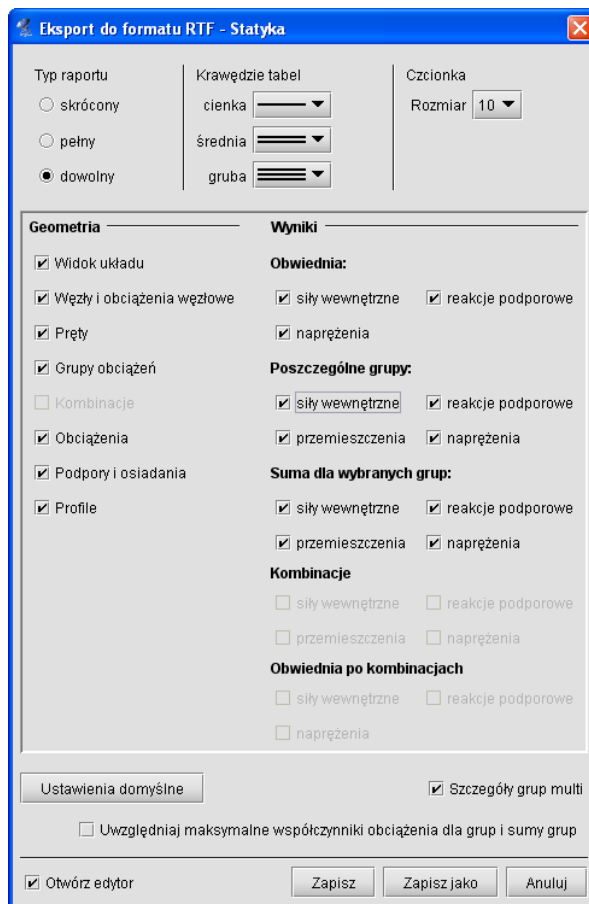
Poszczególne grupy obciążeń wchodzące w skład grupy typu „multi” nie są widoczne w oknie „Zależności grup obciążeń” i nie można dla nich zdefiniować relacji (są one zawsze niezależne). Natomiast między grupą „multi” (jako całością) a innymi grupami obciążeń zmiennych można definiować dowolne relacje.

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.



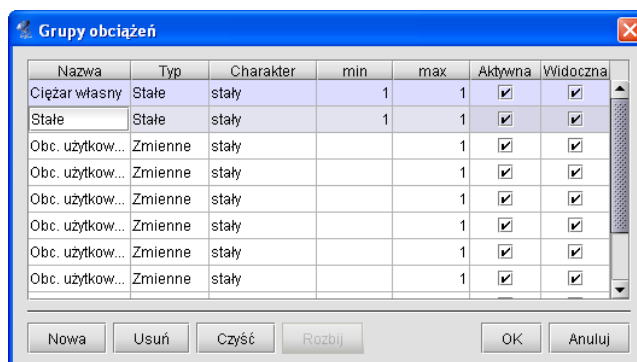
## Podstawy



Rys. 3.7 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*” 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 sklejanie 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:

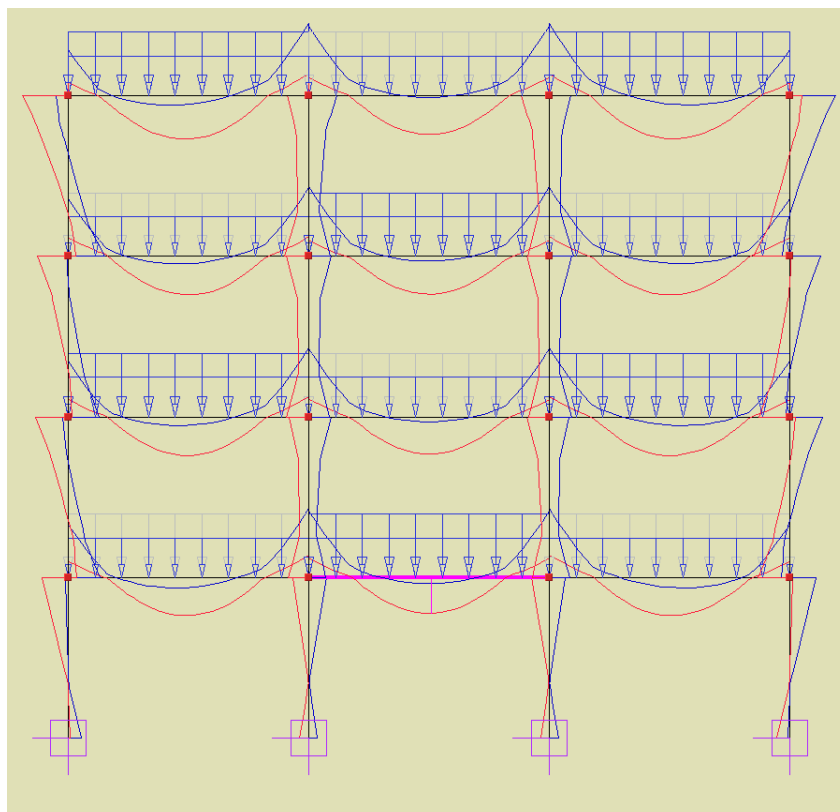


Rys. 3.8 Działanie funkcji „Rozbij”



## Podstawy

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.



Rys. 3.9 Schemat obciążenia budujący ekstremum gnącego momentu przęsłowego w zaznaczonym ryglu

W przypadku podziału pręta na którym występuje obciążenie ciągłe, przyłożone w grupie „*multi*” odpowiednio dzielone jest obciążenie (zgodnie z podziałem pręta) i każde z nich przydzielane jest do osobnej podgrupy grupy „*multi*”.

W przypadku scalania prętów na których występują obciążenia ciągłe, przyłożone w tej samej grupie „*multi*” odpowiednio przenoszone jest obciążenie na jeden scalony pręt i przydzielone jest do jednej podgrupy grupy „*multi*”. Charakter zachowania obciążeń w grupie „*multi*” przy scalaniu i podziale pręta, wyraźnie widać po rozbiciu grupy „*multi*”.

Grupy „*multi*” analogicznie jak grupy obciążenia ruchomego, ze względu na swój charakter i przeznaczenie (służą do wyznaczania obwiedni), nie są uwzględniane przy budowie kombinacji użytkownika, nie można ich wybrać przy obliczeniach ciągłych, oraz nie mogą wchodzić w skład grup lub sumy grup do wymiarowania.



### 3.1.10 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. Może również wystąpić relacja „pociągania” tzn. występowanie jednej grupy obciążeń, pociąga za sobą konieczność wystąpienia innej grupy obciążeń (przypadek suwnicy, gdy

## Podstawy

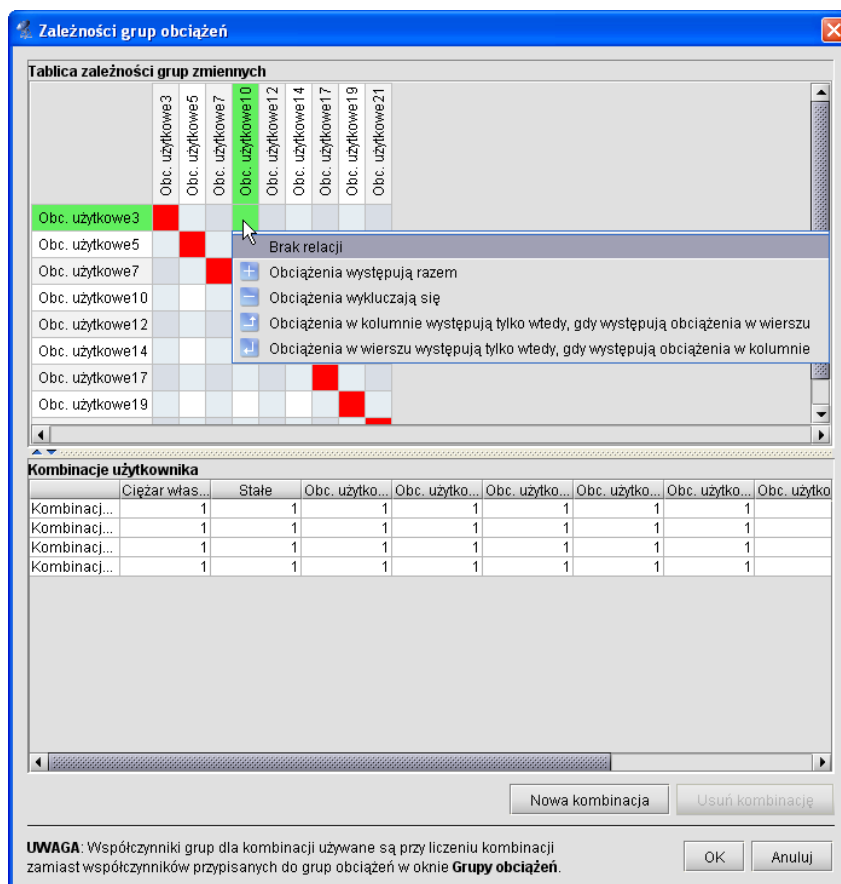
siła hamowania może wystąpić tylko wówczas, gdy jednocześnie działa odpowiednia siła nacisku). Zależności występują jedynie między grupami obciążeń zmiennych i domyślnie wszystkie te grupy ustawione są jako oddziaływania niezależne. W przypadku grup „multi”, takie same zależności (jak ustawione dla grupy „multi”), dotyczą wszystkich wewnętrznych podgrup grupy „multi”. Zależności te określa się w tabeli zależności grup obciążeń. W przypadku konieczności grupowego zadania zależności w oknie grup obciążeń, możemy posłużyć się oknem (przy wciśniętym przycisku Ctrl), które zaznacza wiele pól w relacji grup na raz (kolor zielony) i nadać im tę samą zależność (np. brak relacji lub wykluczenie).



### 3.1.11 Kombinacje użytkownika

W oknie **Zależności grup obciążeń** wprowadzono również możliwość definiowania dodatkowych kombinacji użytkownika (dolna część okna dialogowego). Kombinacja rozumiana jest przez program jako zdefiniowana przez użytkownika suma wybranych grup z uwzględnieniem odpowiednich współczynników obciążenia (w domyśle innych niż w przypadku grup obciążeń branych do obwiedni). Eliminacja danej grupy w ramach kombinacji, odbywa się przez podanie dla niej współczynnika obciążenia równego „zero”. Użytkownik ma możliwość zdefiniowania dowolnej liczby kombinacji w ramach projektu. Definiowanie nowej kombinacji użytkownika w projekcie odbywa się w oknie

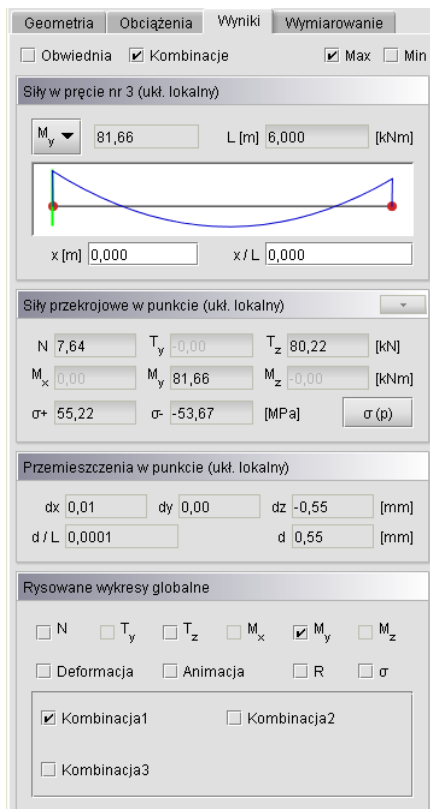
**Zależności grup obciążeń – Kombinacje użytkownika** przez naciśnięcie przycisku **Nowa**. Wówczas pojawia się w tabeli nowy wiersz zawierający współczynniki dla kombinacji, przy każdej grupie zdefiniowanej w projekcie. Domyślnie wszystkie współczynniki ustawione są na „1”. Po ustawieniu przez użytkownika właściwych współczynników, przy każdej z grup kombinacja jest już zdefiniowana. Każdy wiersz w tabeli jest osobną kombinacją. W celu usunięcia zdefiniowanej w projekcie kombinacji należy zaznaczyć odpowiedni wiersz tej kombinacji, a następnie wybrać przycisk **Usuń**. Usunięcie wszystkich kombinacji w projekcie spowoduje, że na zakładce **Wyniki** nie będą wyświetlały się przełączniki dotyczące kombinacji.



Rys. 3.10 Okno zależności grup obciążeń i kombinacji

## Podstawy

Po zdefiniowaniu kombinacji i wykonaniu obliczeń statycznych, na zakładce **Wyniki** pojawi się nowy przełącznik **Kombinacje**, włączenie którego spowoduje wyświetlenie wyników dla danej kombinacji. W przypadku kilku kombinacji, przełączanie między wynikami dla poszczególnych kombinacji następuje na dole zakładki **Wyniki** w polu – **Rysowane wykresy globalne**. W przypadku włączenia na zakładce **Wyniki** obu przełączników: **Obwiednia** i **Kombinacje**, program jako wynik pokazuje wartości ekstremalne sił wewnętrznych tylko w ramach zdefiniowanych kombinacji z pominięciem zwykłej obwiedni po grupach obciążeń.



Rys. 3.11 Okno zakładki wyniki przy zdefiniowanych kombinacjach

Analogicznie format pełnego raportu z obliczeń statycznych w oknie **Eksport do formatu RTF**, zawiera możliwość publikowania raportów dla poszczególnych kombinacji i obwiedni po kombinacjach.

Przy definiowaniu kombinacji użytkownika należy pamiętać że grupy „multi” i grupy obciążenia ruchomego jako grupy złożone, mimo że są one grupami obciążenia zmiennego nie będą one dostępne do budowania kombinacji. Aby grupy te były dostępne w oknie kombinacji należy przed przystąpieniem do budowania kombinacji grupy te rozbić w oknie **Grup obciążeń**.

## 3.2 WIZUALIZACJA

Wprowadzony przestrzenny układ prętowy jest wyświetlany na monitorze w rzutowaniu równoległym na płaszczyźnie „xz”. Jeśli tryb wprowadzania danych jest wyłączony lub jesteśmy w trybie wprowadzania danych **Miedzy węzłami**, to układ można dowolnie obracać w płaszczyźnie „xz” za pomocą myszki. Wciskając i trzymając lewy przycisk myszki, a następnie przesuwając ją, układ obraca się. Aby powrócić do ustawienia wyjściowego w płaszczyźnie „xz” naciskamy przycisk jak niżej:



Rys. 3.12 Przyciski do przywracania i blokowania układu

## Podstawy

Obok strzałki przywracania umieszczono dodatkowy przycisk włączania/wyłączania blokady ustawienia położenia aktualnego widoku. Opcja ta może być bardzo istotna w przypadku wprowadzania prętów w opcji tylko między istniejącymi węzłami (blokuje przypadkowe poruszenie ekranu podczas rysowania pręta). Działanie blokady widoczne jest w postaci symbolu kłódki w prawym górnym rogu ekranu roboczego.

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

Suwak znajdujący się na dole okna głównego programu tak samo jak rolka myszki służy do regulacji powiększenia widoku. Ponieważ zakres powiększania układu jest ograniczony i podczas edycji dużych projektów może być niewystarczający, w programie pod suwakiem powiększenia dołożono znacznik **Zmiany zakresu powiększenia**. Jego zaznaczenie spowoduje płynne zwiększenie dostępnego powiększenia układu. Funkcją tą można wykorzystać przy edycji złożonych struktur prętowych. Może ona dla szczególnie złożonych układów, prowadzić do pewnego „zagubienia” użytkownika, dlatego też w każdej chwili można ją wyłączyć i ponownie przywrócić typowy zakres powiększeń.



Rys. 3.13 Suwak powiększenia



### 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. 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 3D.

Zakres i formę wyświetlanych elementów w szczegółowym widoku 3D można ustawić w oknie **Ustawień** – dotyczy to takich elementów jak: pręty, podpory obciążenia ciągłe i skupione, tło i podłoże. W przypadku wyświetlania obciążeń ciągłych i skupionych w **Widoku 3D** ich reprezentacja graficzna przesunięta jest na krawędź zewnętrzną profili tak aby były one widoczne dla użytkownika, natomiast należy pamiętać że w rzeczywistym modelu obliczeniowym obciążenia te przyłożone są do osi elementu.

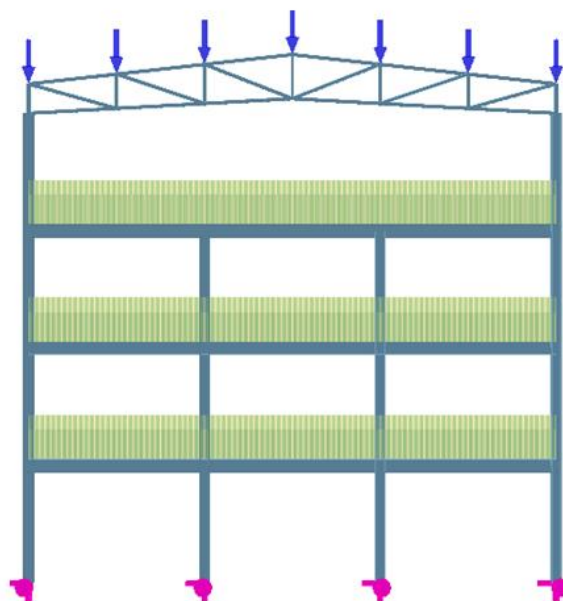
Po wykonaniu obliczeń statycznych na dole okna **Widok 3D**, obok przycisku **Raporty**, pojawi się dodatkowy przycisk -  $\sigma$ , którego wciśnięcie spowoduje podświetlenie na czerwono (na **Widoku 3D**) elementów dla których przekroczone zostały graniczne wartości sprężystych naprężeń normalnych na ściskanie i rozciąganie (przypisane w grupach prętów). Po wciśnięciu tego przycisku, program porównuje ekstremalne wartości naprężeń normalnych otrzymanych w trakcie obliczeń z obwodni naprężeń, z granicznymi wartościami wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie, określonymi przez użytkownika dla danej grupy prętów w oknie **Grup prętów**. Ponowne naciśnięcie przycisku -  $\sigma$  eliminuje podświetlenie tych prętów.

Na dole okna **Widoku 3D** umieszczony jest również przycisk **Raport**. Jego naciśnięcie spowoduje wygenerowanie dodatkowego jednostronicowego raportu w formacie RTF, zawierającego aktualny widok 3D układu, oraz podstawowe dane ogólne projektu, które wyświetlane są w oknie **Właściwości projektu**. Przykładowy widok takiego raportu przedstawiono poniżej:

## Podstawy

Projekt:  
Autor: pwData: 24-2-2009  
Numer strony: 1

## R2D2-Rama2D - Widok 3D



| Parametry projektu   |  |
|--|--|
| <b>Geometria:</b><br>Szerokość(x): 18,000 m<br>Wysokość(z): 18,000 m     | Wezłów: 30<br>Podpór: 4<br>Prętów: 48<br>Grup prętów: 7<br>Profil: 3       |
| <b>Suma obciążeń:</b><br>Kierunek x: 0,00 kN<br>Kierunek z: -1 406,00 kN | Ciężar: 124,98 kN<br>Grup stałych: 2<br>Grup zmiennych: 0<br>Grup multi: 1 |

R2D2-Rama2D v7.0 INTERsoft, Licencja dla: licencja wewnętrzna - test rama 3d 6.0 [L01]

Rys. 3.14 Raport z Widoku 3D

## Podstawy

### 3.4 WPROWADZANIE DANYCH O GEOMETRII

Program rozwiązuje statykę prętowych układów płaskich, w których każdy węzeł posiada dwóch współrzędne ( $x, z$ ).

Wprowadzanie wszystkich danych i prezentacja wyników odbywają się na płaszczyźnie monitora komputera.


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 ikoncie. Aby zakończyć wprowadzanie danych należy ponownie kliknąć na tej ikoncie lub wcisnąć klawisz *Esc*. Generalnie klawisz *Esc* przewidziany jest w programie do szybkiego przerywania działania wybranej funkcji programu.

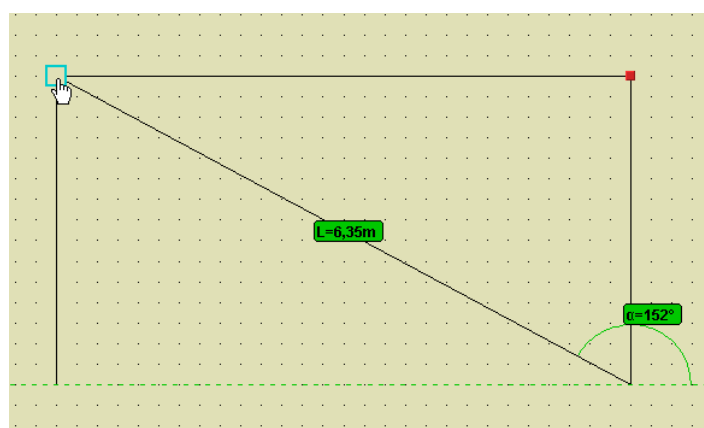
W trakcie wprowadzania geometrii możliwość dowolnego obracania układu w płaszczyźnie „xz” jest zablokowana. Tworzenie układu polega na klikaniu lewym przyciskiem myszki na ekranie - we wskazanych miejscach tworzone są węzły, które następnie łączone są prętami. Koniec jednego pręta staje się automatycznie początkiem następnego. Wejście klawisza *Esc* podczas rysowania pręta przerywa szereg i pozwala na wskazanie początku nowego pręta w dowolnym punkcie ekranu. Można również zablokować chwilowo kursor w dowolnym położeniu prawym klawiszem myszki, oraz wpisać współrzędne względne  $dx, dz$  na zakładce *Geometria*.

### 3.5 POMOCE RYSUNKOWE PRZY TWORZENIU KONSTRUKCJI


#### 3.5.1 Siatka

W trakcie rysowania układu w jednej z płaszczyzn głównych, na ekranie widoczna jest płaska siatka punktów przyciągania . Za pomocą myszki można wstawiać nowe węzły układu między punktami 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. Opcja siatki nie jest dostępna w dowolnym ustawieniu ekranu.

#### 3.5.2 Dociąganie do węzłów



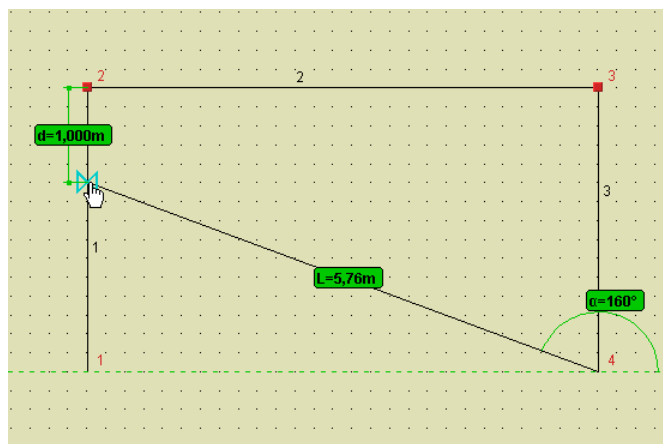
Rys. 3.15 Dociąganie do węzła

Łatwe dołączanie nowych prętów do istniejących węzłów zapewnia funkcja dociągania. Gdy podczas rysowania wskaźnik myszki znajdzie się w pobliżu istniejącego węzła, zostanie on obramowany grubą, obwódką w kształcie kwadratu . Sygnalizuje to, że odnaleziono pobliski węzeł do którego (po zatwierdzeniu lewym przyciskiem myszki) zostanie dołączony rysowany pręt. Przy rysowaniu pręta w płaszczyźnie ekranu, przy jego cią-

## Podstawy

gnięciu pokazywana jest aktualna długość pręta i kąt jego nachylenia do poziomu. Aktualny kąt nachylenia, długość pręta oraz jego składowe  $dx$  i  $dz$  dostępne są również do edycji na zakładce **Geometria**.

### 3.5.3 Śledzenie



Rys. 3.16 Widok w trybie śledzenia

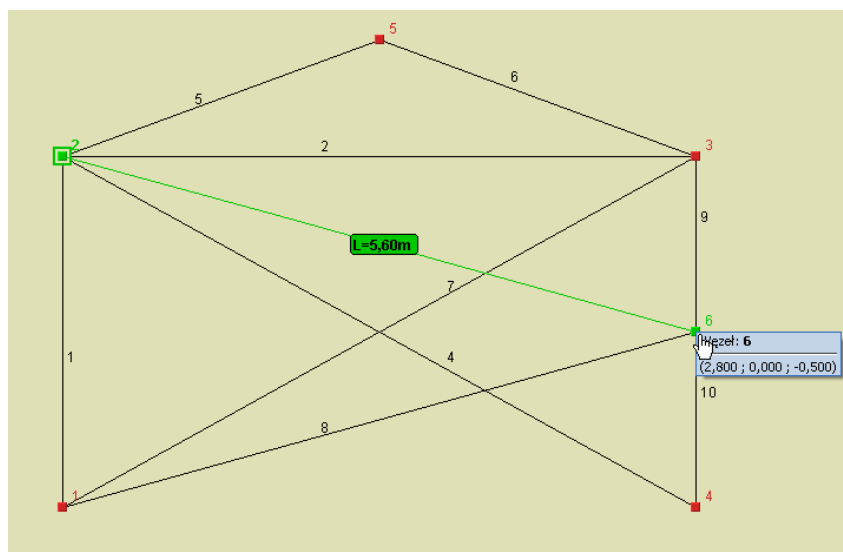
W trakcie wprowadzania nowego pręta do układu, pomocą dla użytkownika jest bieżące podawanie na ekranie długości wprowadzanego elementu i kąta jego nachylenia do poziomu. Wprowadzając pręt w układzie biegunowym (długość i kąt), w każdej chwili użytkownik może przejść do precyzyjnego podawania wymiarów (długości i kąta lub składowych względnych) znajdujących się na zakładce **Geometria**. W tym celu można bezpośrednio przejść kursorem na zakładkę, wpisać odpowiednie wartości i nacisnąć klawisz *Enter*. Należy tu pamiętać, że współrzędne biegunowe i składowe względne są od siebie zależne i przy zmianie jednych, drugie przeliczają się automatycznie. Kąt nachylenia do poziomu liczony jest od zera do 180 stopni (zawsze dodatni). Przy czym jeśli kursor myszki znajduje się nad poziomą linią odniesienia, kąt liczony jest przeciwnie do wskazówek zegara, a jeśli pod linią odniesienia zgodnie ze wskazówkami zegara. Sposób liczenia kąta na bieżąco pokazywany jest w trybie śledzenia. W związku z tym, lepszym rozwiązaniem, eliminującym przypadkowe położenie kursora, jest ustawienie kursora nad lub pod linią odniesienia (zależnie od potrzeby), chwilowe zablokowanie go prawym przyciskiem myszki, przejście na zakładkę **Geometria**, precyzyjne podanie odpowiednich wymiarów i wciśnięcie klawisza *Enter*.

### 3.5.4 Funkcja zmierz odległość

Funkcja zmierz odległość przeznaczona jest do pomiaru dowolnej odległości między węzłami i innymi punktami charakterystycznymi układu. Funkcja ta wywoływana jest z menu górnego **Narzędzia - Pomiar odległości**. Po jej uruchomieniu wskazujemy w układzie węzeł, który będzie bazą pomiarów, a następnie przesuważąc kursor myszki w pobliżu innego węzła lub punktu charakterystycznego na pręcie, program oblicza odległość między punktem wskazanym i węzłem bazowym i wyświetla ją na tle zielonej linii pomocniczej łączącej oba punkty. Punktem bazowym pomiaru odległości może być jedynie dowolny węzeł początkowy lub końcowy pręta a punktem docelowym dowolny punkt charakterystyczny na pręcie. W ramach wywołanej funkcji można wykonać wiele pomiarów od węzła bazowego. Chcąc zmienić węzeł bazowy na inny, klikamy na nim lewym klawiszem myszki i teraz on staje się nowym węzłem bazowym pomiaru. W trakcie działania funkcji pomiaru odległości użytkownik ma dostęp do ustawień aktywnych punktów zaczepienia wraz z ich śledzeniem, z wyjątkiem węzłów końcowych, które są z założenia aktywne i nie mogą być w tym trybie wyłączone. Z funkcji **Pomiaru odległości** wychodzimy wciskając klawisz *Esc*.



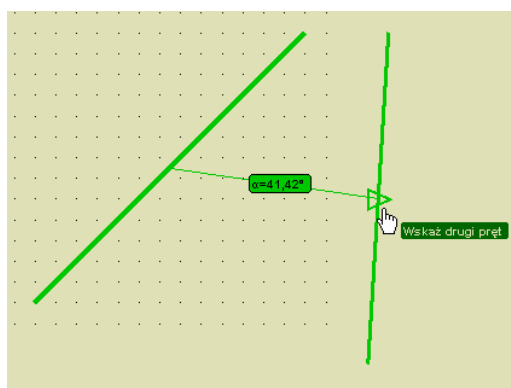
## Podstawy



Rys. 3.17 Działanie funkcji Pomiaru odległości

### 3.5.5 Funkcja pomiaru kąta między prętami

Funkcja pomiaru kąta między dwoma prętami działa analogicznie jak funkcja pomiaru odległości. Po jej wywołaniu w menu Narzędzia wskazujemy pręt bazowy pomiaru (zaznacza się on na zielono), a następnie po najechnięciu kursorem myszki na dowolny inny pręt układu (bez klikania), zaznacza się on również na zielono a środki tak zaznaczonych prętów połączone są linią pomocniczą na której wyświetla się etykieta z wartością pomierzonego kąta. Kliknięcie na dowolnym innym pręcie układu, zmienia wybór pręta bazowego pomiaru. Z funkcji pomiaru kąta wychodzimy wciskając dwukrotnie klawisz **ESC**. Pomiar kąta realizowany jest przez program przez równoległe przesunięcie pręta wskazanego do pręta bazowego, tak aby uzyskały wspólny wierzchołek, a następnie pomiar zwykłego kąta płaskiego między dwoma prętami w płaszczyźnie, którą oba pręty tworzą po zsunięciu. Przykładowy pomiar kąta między dwoma prętami pokazano poniżej:



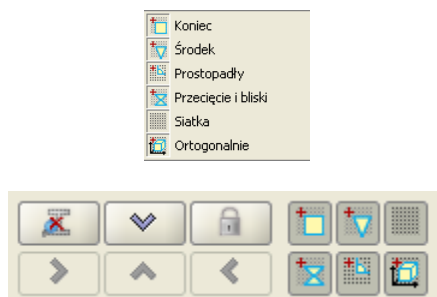
Rys. 3.18 Działanie funkcji pomiaru kąta między prętami

### 3.5.6 Punkty przyciągania

W programie można korzystać z czterech podstawowych trybów przyciągania do punktów charakterystycznych są to: punkty siatki, węzły, punkty środkowe prętów i punkty bliskie prętów. Włączanie i wyłączanie punktów przyciągania odbywa się za pomocą czterech odpowiednich przycisków, umieszczonych po prawej stronie strzałki przywracania ekranu, poniżej obszaru roboczego lub z menu kontekstowego prawego klawisza myszki.



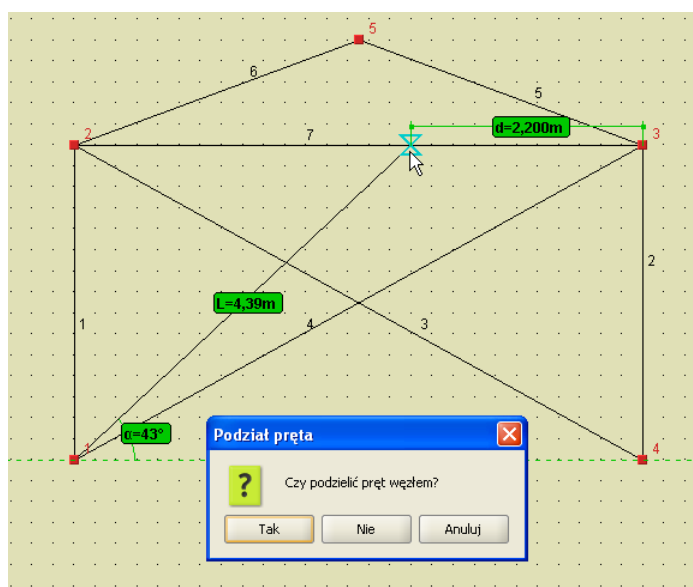
## Podstawy



Rys. 3.19 Włączanie i wyłączanie punktów przyciągania

### **Bliski punkt przyciągania:**

Przy najechaniu kursorem myszki na dowolny pręt wprowadzony do układu, rozpoznawany jest punkt na tym pręcie, leżący najbliżej położenia kursora. Rozpoznanie takie odbywa się tylko w otoczeniu danego pręta i sygnalizowane jest zmianą oznaczenia symbolu przyciągania myszki na „szarą klepsydrę” (zwężenie klepsydry pokrywa się z miejscem wskazanym na pręcie). Dodatkowo wówczas pojawia się chwilowa linia wymiarowa w kolorze zielonym lokalizująca położenie wskazanego punktu na pręcie, zawsze w stosunku do jego najbliższego węzła. Przesuwając kursorem myszki wzdłuż pręta, automatycznie aktualizuje się wymiar lokalizujący dany punkt na pręcie. W celu precyzyjnego ustawienia położenia wskazanego punktu na pręcie, ustawiamy kursor myszki jak najbliżej potrzebnej lokalizacji a następnie precyzyjnie ustawiamy jego lokalizację za pomocą strzałek na klawiaturze. Przy precyzyjnym wskazywaniu położenia punktu na pręcie za pomocą kursorów, odległość zawsze domierzana jest od tego samego węzła, niezależnie od tego czy jest ona mniejsza czy większa od połowy długości pręta. Precyzja takiej lokalizacji punktu na pręcie wynosi domyślnie 1cm, gdyż kliknięcie na dowolnym kursorze klawiatury zmienia położenie wskazanego punktu właśnie o  $0.01\text{m} = 1\text{ cm}$ . W programie przy wskazywaniu dokładnego położenia na pręcie za pomocą kursorów, występuje możliwość szybkiego, chwilowego przełączenia dokładności domiaru na przeciwny (np. z „cm” na „mm” i odwrotnie zależnie od ustawienia podstawowego) realizowana przez jednoczesne użycie strzałek kursorów z wciśniętym klawiszem *Ctrl*. Ustawienie precyzji śledzenia dla punktów przyciągania można zmienić w *Ustawienia programu – Dokładność śledzenia pkt. przyciągania* z 1 cm na 1mm i odwrotnie. Akceptacja wybranej lokalizacji może odbywać się w dwojaki sposób: w przypadku precyzyjnego wskazania kursorem myszki - przez naciśnięcie lewego klawisza myszki (ryzykujemy tu utratę lokalizacji przez przypadkowe poruszenie myszką) lub bardziej zalecane w dowolnym przypadku – potwierdzenie lokalizacji przez wciśnięcie klawisza *Enter*.

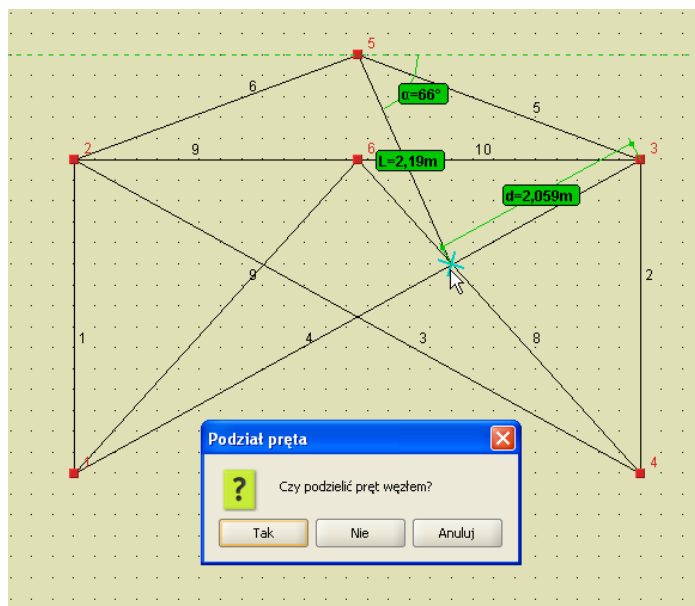


Rys. 3.20 Bliski punkt przyciągania na pręcie

Odmianą punktu - bliski o wyższym priorytecie, jest punkt przyciągania – przecięcie. Tryb ten włączany jest łącznie z trybem bliski i dotyczy punktu przyciągania, będącego punktem przecięcia dwóch prętów leżących w płaszczyźnie „xz”. Jego wybór sygnalizowany jest zmianą symbolu przyciągania na krzyżyk przecinający się w punkcie przecięcia dwóch prętów (nie dotyczy to pozornego punktu przecięcia). Przy wyborze lokalizacji w

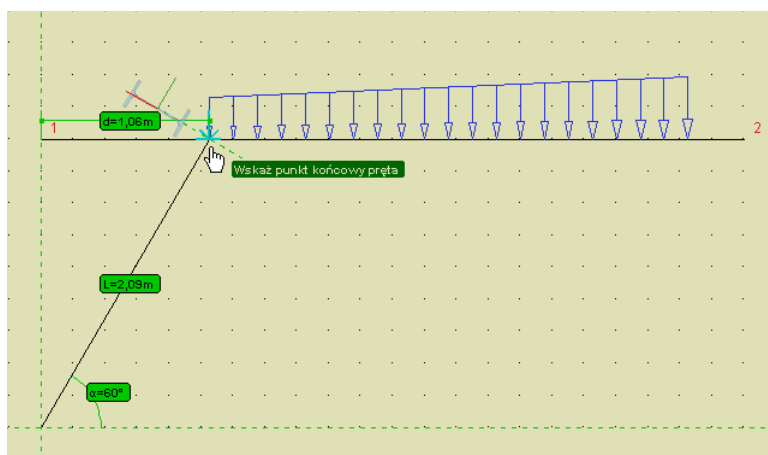
## Podstawy

tego typu punkcie, należy pamiętać że ewentualne rozcięcie węzłem pręta istniejącego będzie dotyczyło tylko jednego pręta z krzyżujących się – tego dla którego podana jest lokalizacja położenia wskazanego punktu, względem węzła początkowego.



Rys. 3.21 Punkt przecięcia jako punkt przyciągania

Jeszcze inną odmianą punktu - bliski jest przyciąganie do wszystkich punktów charakterystycznych (punktów początkowych i końcowych) zadanych obciążeń skupionych, ciągłych i ruchomych (uruchamiane są w programie przyciskiem, łącznie z bliskim punktem charakterystycznym). Punkt przyciągania do początku lub końca obciążenia ciągłego lub punktu przyłożenia obciążenia skupionego oznaczony jest odrębnym symbolem pokazanym na rysunku poniżej:



Rys. 3.22 Punkt przyłożenia obciążenia jako punkt przyciągania

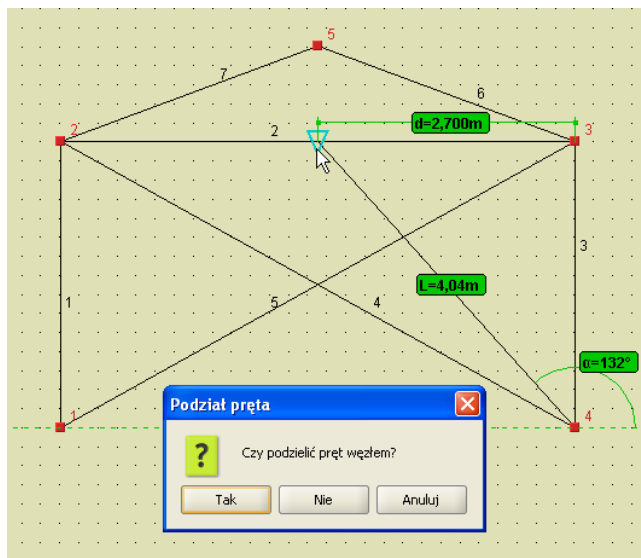
Priorytet przyciągania do punktu charakterystycznego obciążenia jest wyższy od bliskiego punktu charakterystycznego i niższy od wszystkich pozostałych. Funkcja przyciągania do punktów charakterystycznych obciążenia jest aktywna tylko wówczas gdy dane obciążenie jest widoczne na ekranie monitora. Opcja ta działa w trybie wprowadzania elementów oraz w trybie pomiaru odległości.

### Środkowy punkt przyciągania:

Przy najechaniu kursorem myszki w pobliżu środka pręta, program rozpoznaje to położenie, sygnalizowane zmianą symbolu przyciągania na trójkąt (środek trójkąta pokrywa się z środkiem pręta). Akceptacja wskazanej lokalizacji odbywa się przez wciśnięcie lewego przycisku myszki lub naciśnięcie przycisku *Enter* na klawiaturze.

## Podstawy


Po wybraniu przez użytkownika właściwego punktu przyciągania na pręcie (poza jego węzłami końcowymi), pojawia się dodatkowe pytanie: czy we wskazanej lokalizacji ma nastąpić podział istniejącego pręta węzłem czy nie. W przypadku wyboru braku akceptacji dla podziału pręta, nowy element będzie wprowadzany od lub do wskazanej lokalizacji bez połączenia z prętem na którym wybrano punkt przyciągania.



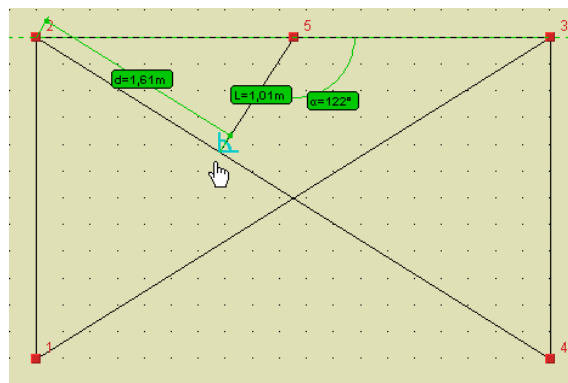
Rys. 3.23 Środkowy punkt przyciągania

Punkty przyciągania: bliski i środkowy mogą być wykorzystane do wprowadzania punktu początkowego nowo wprowadzonego elementu, jego punktu końcowego lub obu na raz. Umożliwia to np. wprowadzanie elementu między środkami dwóch prętów, z automatycznym ich podziałem (lub nie) i połączeniem z nowym elementem. Wycofanie się z operacji klawiszem *Esc*, w trakcie wprowadzania takiego elementu, spowoduje powrót do sytuacji wyjściowej z przed podziału pręta istniejącego. Należy również pamiętać, że w przypadku wskazania punktu przyciągania na pręcie, może nastąpić podział tego pręta na dwa i obowiązują tu reguły takie jak przy zwykłym podziale pręta (zachowanie podzielonych obciążeń, przekroju układu lokalnego itp.). O tym czy nastąpi podział pręta czy nie, decyduje użytkownik wciskając odpowiedni przycisk w oknie komunikatu (na rys. jak wyżej). Należy pamiętać również o tym, że komunikat taki pojawi się tylko wówczas gdy wskażemy punkt leżący na pręcie i nie będzie to żaden z węzłów końcowych tego pręta (wówczas niezależnie od oznaczenia pkt. przyciągania, wykonywane jest przyciąganie do węzła).

### Prostopadły punkt przyciągania:

W płaskim trybie wprowadzania elementów na płaszczyźnie „xz”, dodano możliwość wykorzystania kolejnego, „prostopadłego” punktu przyciągania. Na ekranie graficznym, znalezienie punktu prostopadłego sygnalizowane jest wyświetleniem odpowiedniej ikony, złożonej z dwóch prostopadłych linii i kąta oraz wyświetleniem domiaru do wskazanego punktu. Włączenie lub wyłączenie tego trybu odbywa się tak jak dla pozostałych punktów charakterystycznych, za pomocą odpowiedniej ikonki usytuowanej obok strzałek przełączania widoków  lub z podręcznego menu kontekstowego prawego klawisza myszki (**Przyciąganie**). Prostopadły punkt przyciągania działa analogicznie jak przyciąganie do punktu środkowego, lecz ma niższy od niego priorytet (tzn. w przypadku gdy punkt prostopadły i środkowy pokrywają się – program w pierwszej kolejności odnajdzie punkt środkowy).

## Podstawy




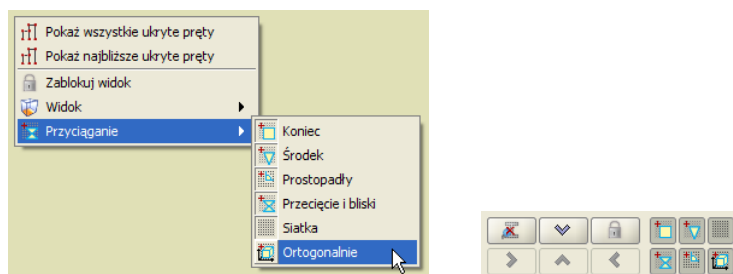
Rys. 3.24 Prostopadły punkt przyciągania

Wszystkie wykorzystywane w programie punkty przyciągania mają ustawiony odpowiedni priorytet, decydujący o kolejności znajdowania właściwego punktu, w przypadku gdy w otoczeniu kursora myszki znajduje się kilka różnych punktów charakterystycznych. I tak w kolejności od największego do najmniejszego priorytetu są to: koniec, środek, prostopadły, przecięcie, bliski, siatka.

Punkty charakterystyczne przyciągania są również rozpoznawane przy wskazywaniu punktu (np. w generatorach) oraz dla innych funkcji przy wskazywaniu wektora (np. przy przesuwaniu węzłów/prętów).

### 3.5.7 Wprowadzanie elementów w trybie „orto”

Obok ikonki prostopadłego punktu przyciągania, oraz w podręcznym menu kontekstowym prawego klawisza myszki (w sekcji **Przyciąganie**), wprowadzono ikonkę włączania i wyłączania wprowadzania elementów w trybie ortogonalnym .



Rys. 3.25 Wywołanie trybu ortogonalnego

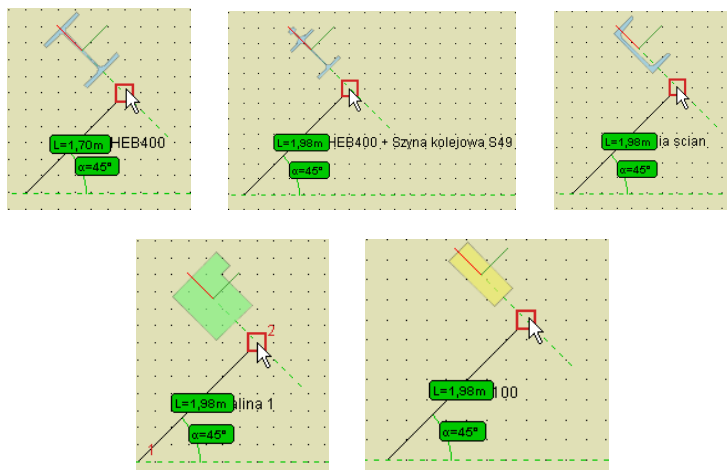
Chwilowy tryb „orto” można również uzyskać bez włączania właściwej ikonki, przez naciśnięcie i przytrzymanie klawisza **Shift** przy wprowadzaniu elementu. Analogicznie przy włączonej ikonce trybu „orto”, wciśnięcie i przytrzymanie klawisza **Shift**, spowoduje chwilowe wyjście z tego trybu (na czas przytrzymania klawisza).

Tryb „orto” pozwala z danego punktu wprowadzić element (również o określonej długości) tylko w kierunku dwóch wzajemnie prostopadłych osi równoległych do osi globalnego układu współrzędnych. Podczas wprowadzania prętów w trybie „orto” dostępne jest również precyzyjne (z dokładnością do cm lub mm) wprowadzanie elementu za pomocą kursorów klawiatury, przy wciśniętym (lub nie) klawiszu **Ctrl** powodującym zmianę jednostki precyzji.

### 3.5.8 Podgląd 2D przekroju elementu


W celu bezpośredniej kontroli ułożenia przekroju wprowadzanego do układu pręta, dodano w programie możliwość bieżącego podglądu przekroju w trakcie wprowadzania elementu. Przykłady działania funkcji podano poniżej:

## Podstawy



Rys. 3.26 Przykłady podglądu 2D przy wprowadzaniu elementu

Włączenie tej funkcji powoduje odrysowanie na aktywnym końcu wprowadzanego pręta, w miejscu kursora, przerywanej linii prostopadłej do osi pręta, która symbolizuje kład prostopadły do osi pręta, wprowadzanego przekroju elementu. Na linii tej pokazane jest położenie lokalnego układu współrzędnych rysowanego pręta (osie  $y$  i  $z$ ), oraz na tym tle odrysowany symbol rzeczywistego przekroju pręta, odpowiednio usytuowany względem osi układu lokalnego. Funkcja ta pozwala bieżąco kontrolować układ przekroju wprowadzanego elementu. Całościową kontrolę poprawności ułożenia przekrojów poszczególnych elementów w zdefiniowanym układzie można wykonać w oknie **Widoku 3D**.

Włączenie lub wyłączenie funkcji podglądu 2D, przekroju wprowadzanego elementu, odbywa się odpowiednią ikonką usytuowaną w dolnej części ekranu, na lewo od strzałki przywracania ustawienia układu . Podczas wprowadzania elementu, włączony tryb podglądu 2D sygnalizowany jest wyświetlaniem odpowiedniej ikonki w prawym, górnym rogu ekranu roboczego. Ustawienie funkcji podglądu 2D przekroju, zapamiętywane jest w ustawieniach programu i w kolejnej sesji, program uruchomi się z ostatnio włączonym lub wyłączonym ustawieniem.

Zmiana przekroju na zakładce **Geometria**, w trakcie wprowadzania elementu, powoduje odpowiednie zaktualizowanie, kładu podglądu 2D, widocznego przy wprowadzaniu elementu.

### 3.5.9 Blokowanie kursora (chwilowe)

Wciskając prawy przycisk myszki można chwilowo zablokować położenie rysowanego węzła. Przy kursorze pojawia się wówczas dodatkowy znak zakazu, co sygnalizuje włączenie blokady. Wyłączenie blokady następuje w chwili ponownego wciśnięcia prawego przycisku myszki.

Funkcja ta jest potrzebna w chwili przełączania się z trybu graficznego wprowadzania danych, na numeryczny realizowany na zakładce **Geometria**. Należy pamiętać że wartości współrzędnych podawane na zakładce **Geometria** są odliczane od ostatnio wprowadzonego węzła a nie od węzła chwilowo zablokowanego. Akceptacja tak wprowadzonych zmian następuje przez naciśnięcie przycisku **Enter**.

### 3.5.10 Pierwszy węzeł

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

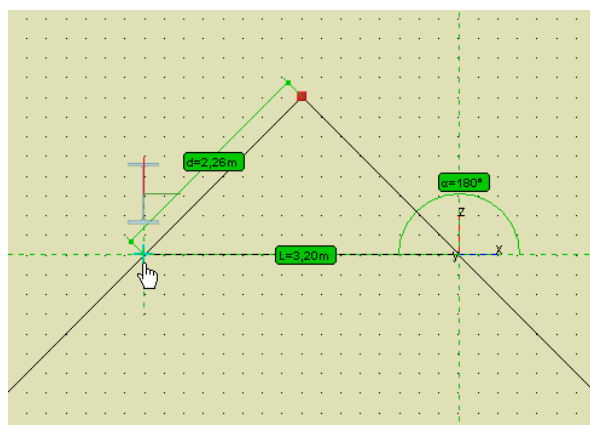
### 3.5.11 Dodatkowe możliwości trybu graficznego

Tryb graficzny zadawania i modyfikacji układu posiada dodatkowo następujące możliwości:

## Podstawy

- Możliwość lokalizacji punktu przecięcia wprowadzanego pręta, równoległego do jednej z osi głównych, z innym, istniejącym prętem układu leżącym w tej samej płaszczyźnie.
- Opcja bezpośredniego zadawania elementu o podanej długości w kierunku wskazanego wektora.
- Opcja przyciągania do pomocniczej linii pionowej i poziomej bez konieczności włączania trybu „orto”.

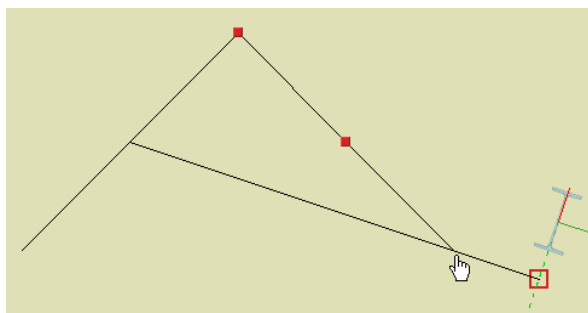
Opcja pierwsza umożliwi np. wprowadzenie pręta poziomego między dwa dowolne pręty ukośne. Zaczynamy wprowadzanie elementu poziomego od dowolnego wskazanego punktu leżącego na prawym pręcie ukośnym. Z tego punktu program wystawia pionową i poziomą przerywaną linię pomocniczą. Następnie przesuważąc kursor poziomo w lewo w otoczeniu spodziewanego punktu, program znajduje punkt przecięcia poziomej linii pomocniczej z lewym prętem ukośnym oznaczony niebieskim pionowym krzyżykiem. Kliknięcie w ten punkt spowoduje wrysowanie pręta poziomego dokładnie między dwa pręty ukośne. Punkt przyciągania oznaczony pionowym krzyżykiem ma wyższy priorytet niż punkt bliski i niższy priorytet niż punkt środkowy.



Rys. 3.27 Punkt przecięcia elementu z poziomą linią pomocniczą

Opcja zadawania elementu o podanej długości w kierunku wskazanego wektora, jest to funkcja dobrze znana z programów typu CAD, polegająca na graficznym wskazaniu kierunku wektora a następnie wpisaniu z klawiatury długości pręta w tym kierunku i zatwierdzenia jej klawiszem **Enter**. Kierunek wektora definiujemy zaznaczając punkt początkowy pręta i wskazując (bez potwierdzenia) inny punkt charakterystyczny układu. Po wpisaniu z klawiatury właściwej długości i potwierdzeniu klawiszem **Enter** w podanym kierunku zostanie wprowadzony pręt o zadanej długości. Funkcja zaczyna działać automatycznie bez jakiegokolwiek wywołania, gdy po wskazaniu kierunku zaczniemy wpisywać wartość numeryczną z klawiatury. W czasie wykorzystywania funkcji wprowadzania elementu w kierunku danego wektora chwilowo wyłączone zostają wszystkie funkcje przyciągania do pozostałych punktów charakterystycznych. Chwilowe wyłączenie przyciągania działa tak długo jak długo wpisujemy długość wprowadzanego elementu i po zaakceptowaniu wartości klawiszem **Enter** zostaje ono ponownie przywrócone. Dowolny ruch myszką w czasie wprowadzania długości pręta, przerywa działanie funkcji i również przywraca przyciąganie do punktów charakterystycznych. Ponieważ konsekwencją wprowadzania pręta w kierunku wskazanego wektora z wyłączonym trybem przyciągania jest to, że w przypadku gdy koniec pręta trafi dokładnie na dowolny punkt na istniejącym elemencie, nie nastąpi połączenie obu prętów, trzeba dokładnie rozważyć jaki efekt chcemy osiągnąć. Wyjątek stanowi sytuacja gdy dokładnie w tej samej lokalizacji znajdzie się istniejący węzeł układu – wówczas nastąpi ich automatyczne scalenie. Gdy chcemy aby nowy pręt był połączony na końcu z dowolnym punktem charakterystycznym istniejącego pręta – wykorzystujemy punkty przyciągania z pominięciem trybu wprowadzania pręta w kierunku wskazanego wektora. Tryb wprowadzania prętów w kierunku wskazanego wektora jest zawsze priorytetowy i szybszy w stosunku do pozostałych możliwości (np. od chwilowej blokady kursora i wprowadzania danych na zakładce **Geometria**). Przykład działania funkcji przedstawiono na rysunku poniżej.

## Podstawy



Rys. 3.28 Opcja zadawania elementu w kierunku wskazanego wektora

Opcja przyciągania do pionowej i poziomej linii pomocniczej działa na płaszczyźnie „xz” i pozwala stale wykorzystywać tryb ortogonalny bez konieczności jego ustawiania. Gdy włączona jest siatka punktów pomocniczych, poruszanie się po liniach pomocniczych możliwe jest jedynie o skok siatki w danym kierunku. Przy włączonej siatce, po liniach pomocniczych możemy poruszać się płynnie. Opcja ta umożliwia szybkie używanie trybu ortogonalnego, przy jednoczesnym dostępie do możliwości rysowania w innym dowolnym kierunku. Przy ustawionym trybie „orto”, możliwość jednoczesnego rysowania w dowolnym kierunku jest niedostępna.

Funkcja zadawania elementu w kierunku wskazanego wektora może być wykorzystywana również przy definiowaniu wektora przesunięcia, odsunięcia, kopiowania oraz przy innych funkcjach edycyjnych wymagających wskazania wektora lub osi.

Dodatkowym ułatwieniem w trybie graficznym może również być włączenie podpowiedzi kontekstowych pojawiających się przy kursorze myszki, które przy każdej funkcji graficznej na bieżąco podają informację czego program w danej chwili oczekuje od użytkownika. Włączenia podpowiedzi kontekstowych można dokonać w oknie *Ustawień*, zaznaczając znacznik: *Pokazuj podpowiedzi obok kursora*. Przykłady działania podpowiedzi kontekstowej pokazano przy omawianiu zadawania obciążeń ruchomych.



### 3.6 GENERATORY KONSTRUKCJI

W programie zawarte są parametryczne generatory konstrukcji. Służą one do automatycznego tworzenia gotowych układów: ram prostokątnych, łuków, kratownic płaskich i wiązarów dachowych.

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 kratownic płaskich i wiązarów dachowych opisano poniżej. Pozostałe generatory ram prostokątnych i łuków zostały omówione szczegółowo w rozdziale 5 – Tworzenie przykładowej konstrukcji.

Należy pamiętać że przy wprowadzaniu do projektu elementów przy pomocy generatorów, pręty utworzone z generatora automatycznie dzielone są i przypisywane do odpowiednich grup prętów. Następnie użytkownik może dowolnie zmieniać te przypisania lub nazwy grup w oknie *Grupy prętów*.

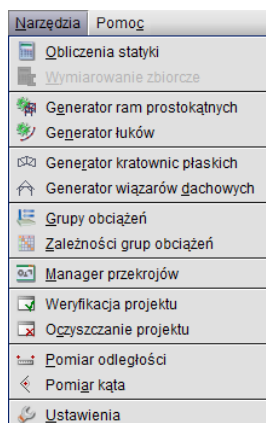


### 3.7 GENERATOR KRATOWNIC

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

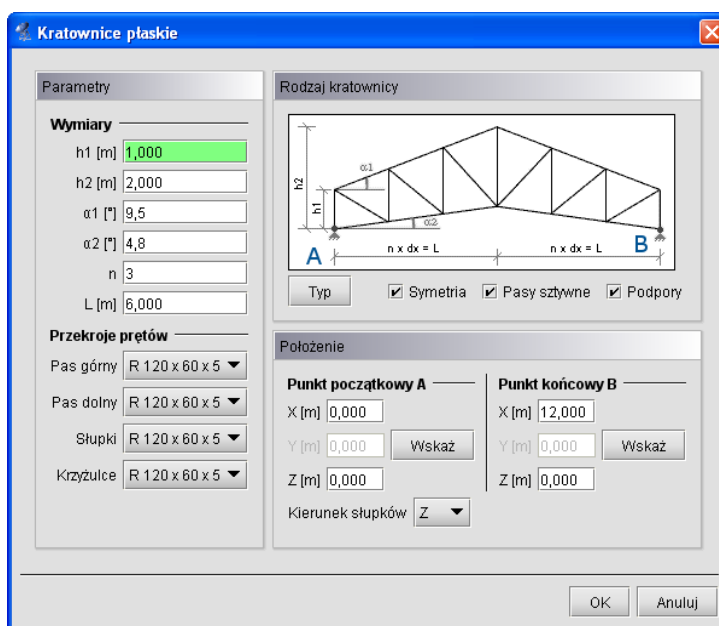


## Podstawy



Rys. 3.29 Menu Narzędzia

Główne okno generatora składa się z dwóch podstawowych, aktywnych zakładek: *Kratownice płaskie* i *Wiązary dachowe*:

3.7.1 *Kratownice płaskie*

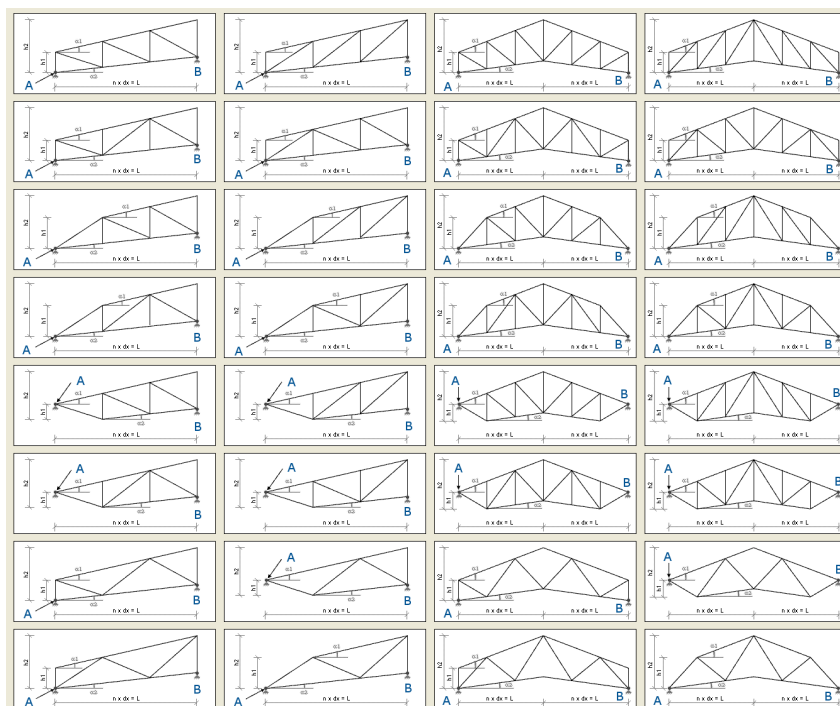
Rys. 3.30 Generator kratownic płaskich

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*.

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:



## Podstawy



Rys. 3.31 Typy kratownic płaskich

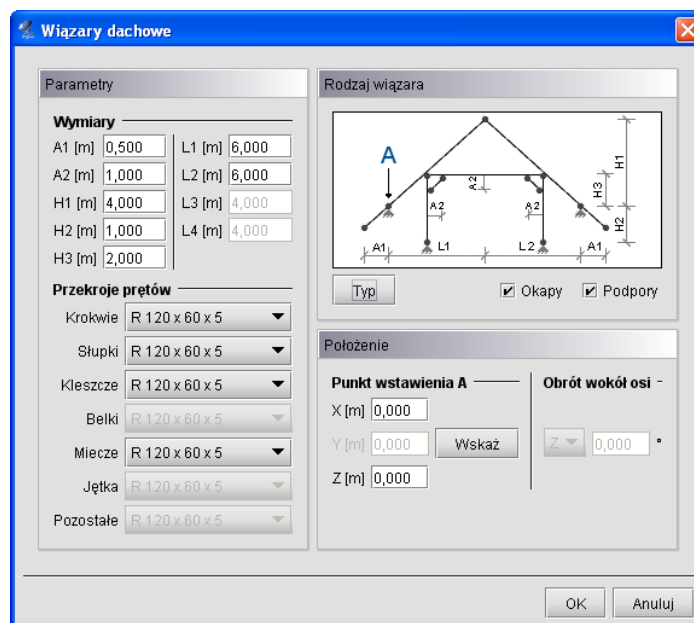
Kolejnym elementem przy określaniu rodzaju kratownicy jest zaznaczenie (lub nie) kolejnych elementów widocznych pod rysunkiem kratownicy takich jak: *Symetria*, *Pasy sztywne*, *Podpory* (przegubowe).

Po zdefiniowaniu typu kraty należy, posługując się podpowiedzią 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 płaszczyźnie  $XZ$  we wskazanym kierunku, lub wskazać (podać) dwa dowolne punkty (początkowy i końcowy) na podstawie których obliczana jest długość  $L$  kratownicy oraz wskazać kierunek rysowania słupków ( $X$  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.

## Podstawy

## 3.7.2 Wiązary dachowe

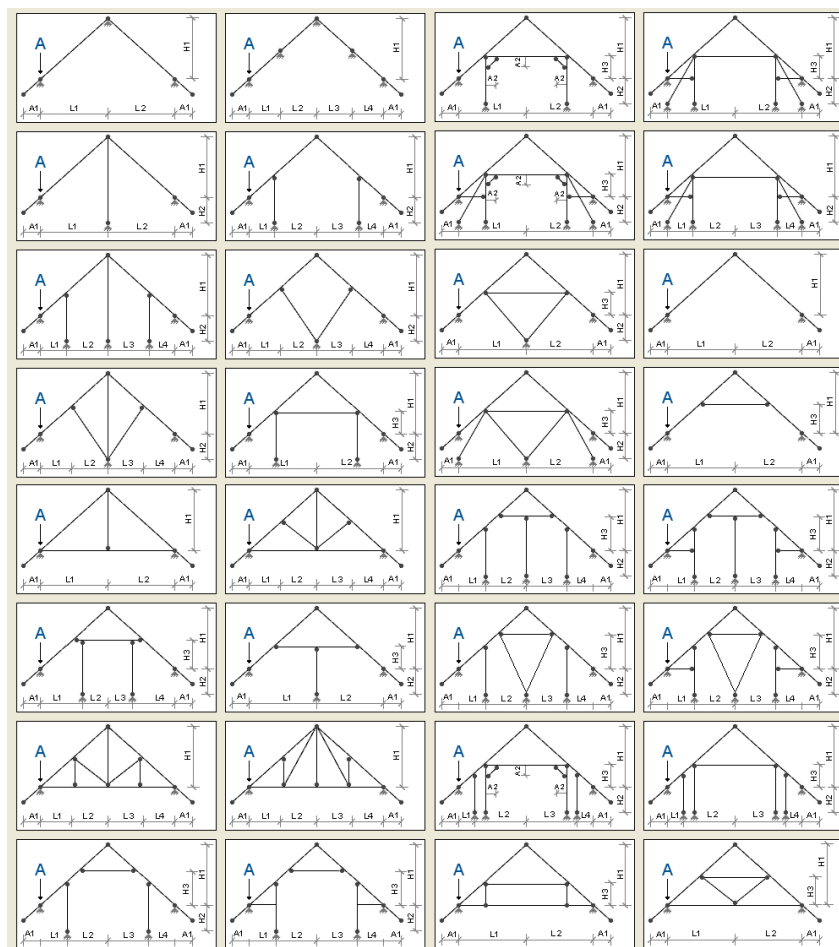


Rys. 3.32 Generator Wiązarów dachowych

Generator płaskich drewnianych wiązarów dachowych stanowi drugą zakładkę okna *Generator kratownic i wiązarów*. Działanie generatora jest analogiczne do poprzedniego generatora kratownic płaskich. Z prawej strony zakładki w grupie *Rodzaj wiazara*, wybieramy z dostępnej listy typ geometryczny wiazara, decydujemy czy po wstawieniu ma on zawierać podpory i wystawione okapy. Poniżej w grupie *Położenie* wskazujemy lub definiujemy przez podanie współrzędnych punkt wstawienia wiazara na płaszczyźnie „xz” (węzeł lewej skrajnej podpory). Z lewej strony zakładki podajemy kolejno oznaczone na rysunku parametry geometryczne wiazara oraz przypisujemy z listy przekroje poszczególnym typom elementów. Po zdefiniowaniu wszystkich danych i naciśnięciu przycisku OK, dźwigar zostanie automatycznie wstawiony do projektu. W przypadku próby wprowadzenia wymiarów wzajemnie sprzecznych lub takich które zmieniają typ geometryczny wiazara, operacja wstawiania wiazara zostanie przerwana z wyprowadzeniem odpowiedniego komunikatu. Po wstawieniu wiazara do układu, wszystkie pręty wiazara zostaną wstępnie pogrupowane w odpowiednie dla danego typu grupy prętów. Tak jak dla innych generatorów w przypadku natrafienia przy wstawianiu nowym węzłem na węzeł istniejący, oba węzły zostaną scalone w jeden. Analogicznie gdy oba węzły nowo wstawianego pręta natrafiają w tej samej lokalizacji na istniejące węzły połączone prętem, oba pręty zostaną scalone.

Poniżej przedstawiono dostępne w programie typy geometryczne dachowych wiązarów drewnianych (32 schematy):

## Podstawy



Rys. 3.33 Typy więzarów dachowych

### 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*.

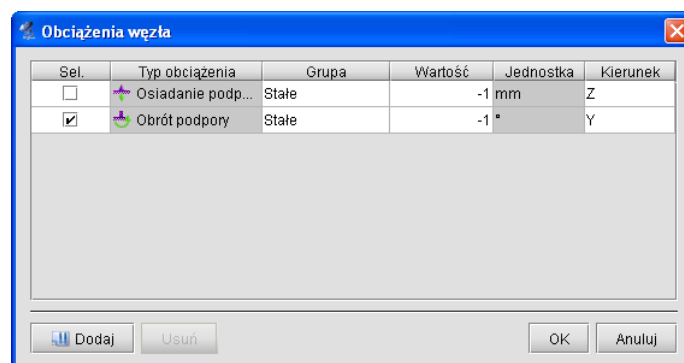
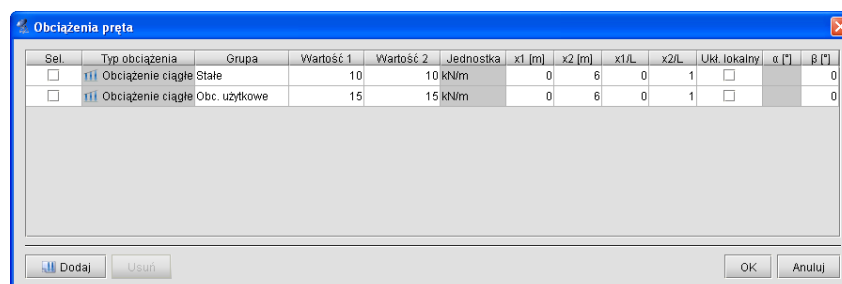
Szybszym sposobem na zaznaczenie większej ilości elementów jest przytrzymanie klawisza *Ctrl* i wskazanie elementów oknem. Trzymając wciśnięty klawisz *Ctrl* należy wcisnąć (i trzymać!) lewy przycisk myszy, a następnie przesunąć myszkę. Po zwolnieniu klawisza myszki obiekty, które znajdowały się w narysowanym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

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.

## Podstawy

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. 3.34 Obciążenia pręta i podpory

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*.

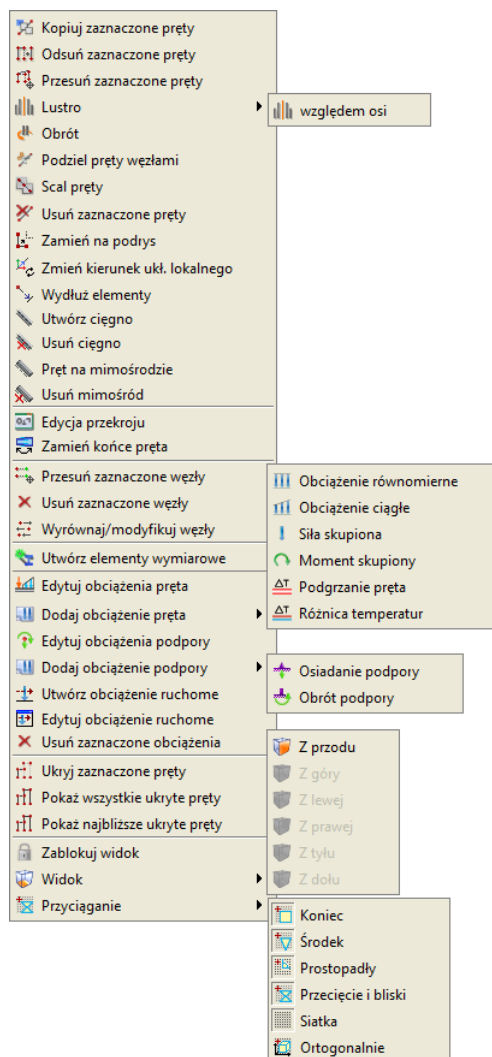
Szybką selekcję całych grup prętów lub elementów wymiarowych można przeprowadzić zaznaczając odpowiedni znacznik w „drzewie projektu” lub wybierając odpowiednią funkcję w oknie **Grup prętów i elementów wymiarowych**. Analogicznie selekcję całych grup obciążeń można wykonać zaznaczając odpowiednie znaczniki w „drzewie projektu”.

Przy selekcji elementów w projekcie należy pamiętać że na zakładce **Geometria** obowiązuje priorytet zaznaczenia prętów i węzłów a na zakładce **Obciążenia**, zaznaczenia obciążeń.

### 3.9 FUNKCJE MENU KONTEKSTOWEGO

Część operacji edycyjnych dostępna jest z poziomu menu kontekstowego. Menu kontekstowe wywołuje się klikając prawym przyciskiem myszy na oknie roboczym programu. Menu jak niżej pojawi się tylko wtedy, gdy w projekcie zaznaczone są jakieś elementy (np. węzły, podpory, pręty, obciążenia). W innych przypadkach menu kontekstowe będzie ograniczone do możliwych dla danego wyboru operacji.

## Podstawy



Rys. 3.35 Menu kontekstowe dla zakładki Geometria i Obciążenia

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

- **Kopiuj zaznaczone pręty** – kopiuje pręty o podany wektor.
- **Odsuń zaznaczone pręty** – odsuwa pręty o podany wektor. Pręty niezaznaczone, które są połączone z przesuwanymi węzłami pozostają niezmienione.
- **Przesuń zaznaczone pręty** – przesuwa pręty o podany wektor. Pręty nie zaznaczone, które są połączone z przesuwanymi węzłami zostaną zmodyfikowane.
- **Lustro** – odbija w lustrze zaznaczone pręty względem wskazanej osi.
- **Obrót** – funkcja obracająca zaznaczone elementy układu względem wskazanego punktu.
- **Podziel pręty węzłami** – dzielenie prętów węzłami.
- **Scalaj** – funkcja scalania kilku kolejnych prętów współosiowych (dostępna jedynie dla prętów spełniających określone warunki).
- **Usuń zaznaczone pręty** – usuwanie zaznaczonych prętów.
- **Zamień na podrys** – zamienia zaznaczone pręty na linie podrysu.
- **Zmień kierunek układu lokalnego** – funkcja zamienia kierunek układu lokalnego prętów tak że oś „x” ułożona wzdłuż pręta, skierowana jest w przeciwnym kierunku. Obciążenia zadane w układzie lokalnym, pozostają w układzie lokalnym i mogą ulec zmianie co do kierunku.
- **Wydłuż elementy** – funkcja wydłużania wskazanych elementów o zadaną wartość lub do zaznaczonych wcześniej granic.
- **Ustaw/Usuń ciągnio** – ustawia lub usuwa dla pręta dwuprzegubowego typ pręta –ciągnio.
- **Usuń mimośrodek/Pręt na mimośrodku** – ustawia lub usuwa dla pręta mimośrodek w węzłach końcowych.

Operacje na przekrojach zaznaczonych prętów:

## Podstawy

- **Edycja przekroju** – funkcja wywołująca okno **Edycji przekroju** (dostępna jedynie przy zaznaczeniu pojedynczego pręta lub grupy prętów o takim samym przekroju).
- **Zamień końce pręta** – funkcja dla prętów o zmiennej geometrii zamienia miejscami przekrój początkowy i końcowy.

Operacje dla zaznaczonych węzłów:

- **Przesuń zaznaczone węzły** – przesuwa węzły o podany wektor.
- **Usuń zaznaczone węzły** – usuwa węzły wraz z prętami dołączonymi do węzła.
- **Wyrównaj/Modyfikuj węzły** – opcja pozwala na grupową korektę współrzędnych węzłów lub jednej składowej współrzędnych.

Operacja tworzenia elementów wymiarowych:

- **Utwórz elementy wymiarowe** – funkcja tworząca elementy wymiarowe z grupy prętów współliniowych o takim samym przekroju.

Operacje dla zaznaczonych obciążeń:

- **Edytuj obciążenie pręta** – pozwala na edycję obciążeń prętowych.
- **Dodaj obciążenie pręta** – pozwala na szybki dostęp do definicji poszczególnych obciążeń prętowych.
- **Edytuj obciążenie podpory** - pozwala na edycję obciążeń węzłów podporowych.
- **Dodaj obciążenie podpory** - pozwala na szybki dostęp do definicji poszczególnych obciążeń węzłów podporowych.
- **Utwórz obciążenie ruchome** – wywołuje funkcję budowania grupy obciążeń ruchomych.
- **Edytuj obciążenie ruchome** – wywołuje okno edycji wartości obciążeń wchodzących w skład wybranego obciążenia ruchomego.
- **Usuń zaznaczone obciążenia** – usuwa obciążenia.

Pozostałe:

- **Ukryj zaznaczone pręty** – ukrywa zaznaczone elementy układu.
- **Pokaż wszystkie ukryte pręty** – pokazuje wszystkie ukryte pręty.
- **Pokaż najbliższe ukryte pręty** – pokazuje najbliższe ukryte pręty.
- **Zablokuj/Odblokuj widok** – opcja blokująca widok ekranu w aktualnym położeniu.
- **Widok** – opcja przywracająca wyjściowe położenie ekranu.
- **Przyciąganie** – opcja pozwalająca na włączanie i wyłączanie punktów przyciągania: koniec, środkowy, prostopadły, przecięcia i bliski, siatka, ortogonalny.

Dla zaznaczonego pojedynczego pręta, lub kilku prętów o tym samym przekroju, w menu kontekstowym prawego klawisza myszki dodatkowo pojawia się opcja bezpośredniego dostępu do **Edytora przekrojów**.

Jeśli przy wywoływaniu menu kontekstowego w projekcie, część prętów jest ukryta, to 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**.

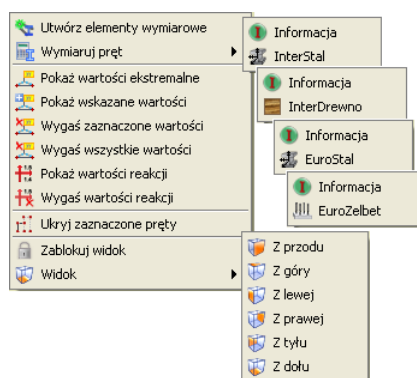
Funkcje kopiowania, przesuwania i odsuwania, dostępne na prawym klawiszu myszki kopują, przesuwać lub odsuwają zaznaczone elementy w następujący sposób: pręty jeśli zaznaczone są tylko pręty lub pręty wraz z przyłożonymi na nich obciążeniami jeśli zaznaczone są pręty i obciążenia na nich przyłożone. Nie mogą być tą metodą kopiowane same obciążenia.

Przy kopiowaniu, przesuwanie i odsuwaniu należy wskazać wektor przesunięcia. Wektor można wskazać graficznie (długość wektora podawana jest na ekranie) lub podać jego współrzędne z klawiatury na zakładce **Geometria**. Operacje te wyglądają identycznie jak tryb rysowania prętów. Współrzędne wektora można podać z klawiatury w grupie **Wskaż wektor** znajdującej się na zakładce **Geometria**. Przy graficznym wskazywaniu wektora mogą być wykorzystane punkty przyciągania wraz z elementami śledzenia.

Funkcję kopiowania, przesuwania i odsuwania pręta o zachowują takie właściwości jak: przekrój, ustawienie lokalnego układu współrzędnych oraz sposób połączenia z innymi prętami układu (przegubowy lub sztywny).

Menu kontekstowe prawego klawisza myszki występuje również dla zakładki **Wyniki**. Menu to zapewnia dostęp do funkcji niezbędnych po wykonaniu obliczeń statycznych:

## Podstawy



Rys. 3.36 Menu kontekstowe dla zakładki Wyniki

- **Utwórz elementy wymiarowe** – pozwala na utworzenie elementów wymiarowych z kilku prętów ciągłych i współliniowych o takich samych własnościach.
- **Wymiaruj pręt** – funkcja pozwalająca na pojedyncze wymiarowanie prętów lub kilku prętów współliniowych w modułach wymiarujących: **InterStal**, **InterDrewno**, **EuroStal** i **EuroZelbet**.
- **Pokaż wartości ekstremalne** – pokazuje wartości ekstremalne wykresów sił wewnętrznych, naprężeń i przemieszczeń, na ekranie graficznym dla wybranych prętów układu.
- **Pokaż wskazane wartości** - pokazuje wartości wykresów sił wewnętrznych, naprężeń i przemieszczeń we wskazanych przez użytkownika lokalizacjach, na ekranie graficznym dla wybranych prętów układu.
- **Wygasz zaznaczone wartości** – wygasza wartości na wykresach dla zaznaczonych prętów.
- **Wygasz wszystkie wartości** - wygasza wszystkie wartości na wykresach dla całego układu.
- **Pokaż wartości reakcji** – opcja wyświetla wartości reakcji, których symbole w danej chwili widoczne są na ekranie.
- **Wygasz wartości reakcji** – wygasza wszystkie widoczne na ekranie wartości reakcji.
- **Ukryj zaznaczone pręty** – ukrywa zaznaczone elementy układu.
- **Zablokuj/Odblokuj widok** – opcja blokująca widok ekranu w aktualnym położeniu.
- **Widok** – opcja ułatwiająca szybki dostęp do właściwego widoku ekranu – niedostępna przy zablokowanym widoku.

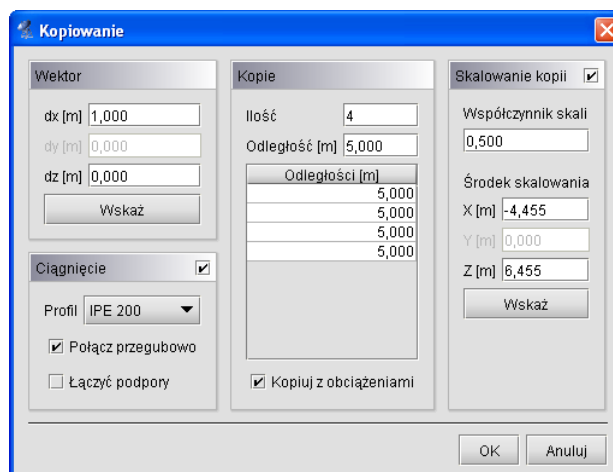


### 3.10 KOPIOWANIE WIELOKROTNE ELEMENTÓW UKŁADU

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. Funkcję kopiowania wielokrotnego wywołujemy odpowiednią ikoną z głównego paska narzędziowego, w odróżnieniu od kopiowania pojedynczego, które wywoływane jest z menu kontekstowego prawego klawisza myszki. Dodatkową różnicą między obiema funkcjami jest to że przy kopiowaniu wielokrotnym wyświetlane jest dodatkowo pośrednie okno dialogowe, natomiast przy kopiowaniu pojedynczym użytkownik od razu proszony jest o wskazanie wektora o jaki skopiowany ma być zaznaczony fragment układu.



## Podstawy



Rys. 3.37 Kopowanie wielokrotne z ciągnięciem i skalowaniem

Okno dialogowe kopiowania wielokrotnego jest podzielone na trzy grupy.

- **Wektor**

W tej grupie określa się kierunek kopiowania. Należy podać wartości **dx**, **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 kierunku 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, łączących wstawiane kopie,
- **Połącz przegubowo** – po uaktywnieniu tej opcji będą wstawiane przeguby na końcach prętów (przydatne np. przy wprowadzaniu płatwi przegubowych),
- **Łącząc podpory** – domyślnie węzły w których wstawione są podpory nie są łączone prętami. Aby to zmienić należy aktywować tę funkcję.

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.

Funkcję kopiowania z ciągnięciem rozbudowano o opcję skalowania kolejnych kopii względem wyliczonego punktu centralnego lub wskazanego przez użytkownika punktu układu. W przypadku gdy zaznaczone do kopiowania elementy układu, znajdują się w jednej płaszczyźnie, program na podstawie średniej arytmetycznej współrzędnych wszystkich węzłów (prętów wybranych do kopiowania) automatycznie określa środek skalowania. W każdej chwili przed kopiowaniem, użytkownik może zmienić punkt skalowania, przez jego wskazanie w dowolnym punkcie charakterystycznym układu. Współczynnik skalowania określa jaki będzie stosunek długości elementów ostatniej kopii do długości odpowiednich elementów zaznaczonych do kopiowania. Wszystkie pośrednie kopie będą miały pośredni współczynnik skali kopiowania, wynikający z proporcji, czyli odległości między kolejnymi kopiami i wartości końcowego współczynnika skali. Ustawienie końcowego współczynnika skalowania na zero pozwala na skalowanie wybranych elementów do punktu. Podczas kopiowania bez włączonego ciągnięcia, lecz ze skalowaniem ustawionym na „0” lub bardzo bliskim zera, ostatnia kopia będąca tak naprawdę pojedynczym „luźnym” węzłem jest automatycznie usuwana z projektu. Przy współczynniku skali ustawionym na „1” będziemy mieć do czynienia z równoległym przesunięciem kopii bez skalowania (tak samo jakby skalowanie było wyłączone). Każdy współczynnik skali w zakresie od „0” do „1” powoduje zmniejszanie wyjściowego układu, natomiast ustawienie współczynnika skali na wartość większą niż „1” powoduje powiększanie układu wyjściowego w kolejnych jego kopiach.

Dodatkowe możliwości kształtowania układu prętowego daje również możliwość samego skalowania wprowadzonego układu. Wówczas w parametrach funkcji ilość kopii ustalamy na jeden, przesunięcie kopii na „0” a powiększeniem układu steruje tylko określony przez użytkownika współczynnik skali.

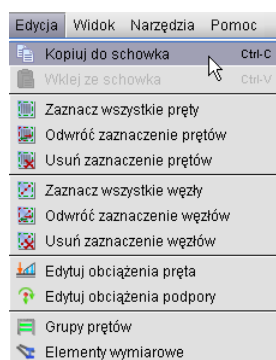


## Podstawy



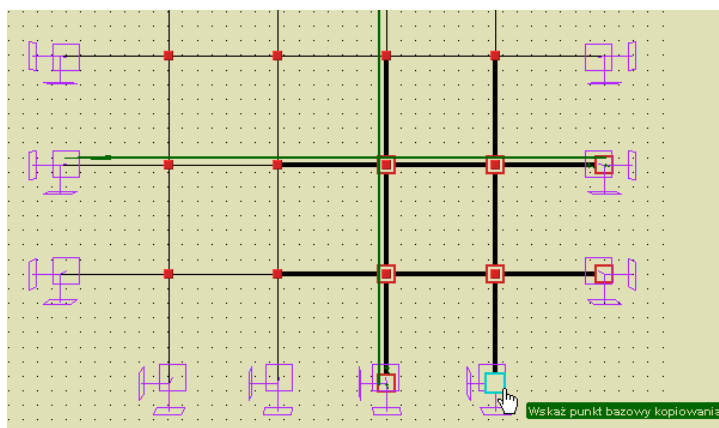
### 3.11 FUNKCJA KOPIOWANIA PRZEZ SCHOWEK

Funkcja kopiowania elementów przez schowek może być realizowana w ramach jednego dokumentu (projektu) jak również między różnymi projektami. Aby skorzystać z funkcji należy w pierwszej kolejności zaznaczyć (wyselekcjonować) obiekty projektu do skopiowania. Następnie z menu górnego *Edycja* wybieramy opcję: *Kopiuj do schowka* (*Ctrl+C*).



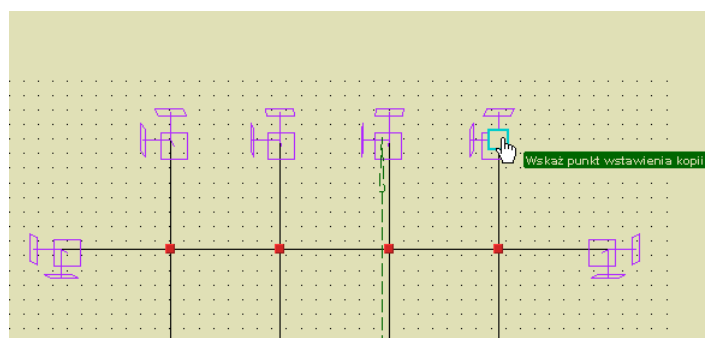
Rys. 3.38 Wywołanie funkcji kopiowania do schowka

Po wywołaniu funkcji na ekranie pojawi się polecenie: *Wskaż punkt bazowy kopiowania*, po którym wskażemy na układzie wyjściowym punkt który będzie punktem bazowym wstawiania kopii.



Rys. 3.39 Wskazywanie punktu bazowego kopiowania

Po tej operacji w menu górnym *Edycja* uaktywni się opcja: *Wklej ze schowka* (*Ctrl+V*). Po jej wybraniu w nowym lub tym samym projekcie na ekranie pokaże się polecenie: *Wskaż punkt wstawienia kopii*. Wskazanie odpowiedniego punktu na ekranie spowoduje skopiowanie zaznaczonych obiektów projektu wyjściowego do nowego lub tego samego projektu.



Rys. 3.40 Wskazywanie punktu wstawienia kopii

## Podstawy

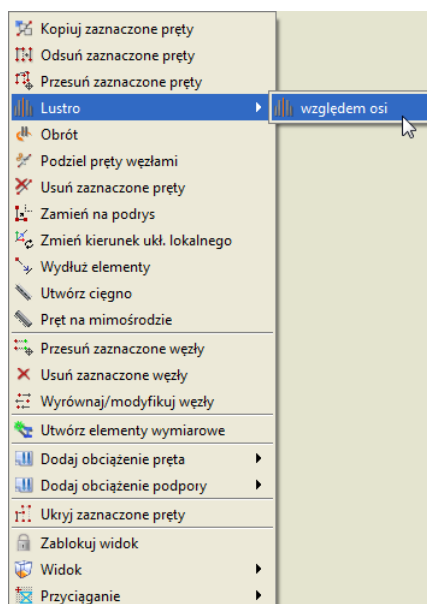
Przy kopiowaniu elementów przez schowek należy pamiętać o kilku obowiązujących zasadach analogicznych jak te, które dotyczą dołączania jednego projektu do drugiego:

- Pręty przypisane do grup prętów przy kopiowaniu również pozostają w grupach, a jeśli grupa o takiej nazwie istnieje w projekcie docelowym zostanie ona powielona z dopisanym kolejnym numerkiem na końcu nazwy. Wyjątek stanowią pręty w grupie *Niepogrupowane*, które po skopiowaniu znajdują się w tej samej grupie.
- Pręty z których stworzono elementy wymiarowe przy skopiowaniu elementów w całości, po operacji będą również należały do elementów wymiarowych o takiej nazwie jak element wyjściowy lecz z dodatkowym numerkiem na końcu.
- Analogiczna reguła jak przy elementach wymiarowych dotyczy grup obciążeń, oczywiście tylko wówczas gdy wraz z prętami kopiowane będą obciążenia przypisane do odpowiednich grup obciążeń. Kopiowanie grup obciążeń ruchomych jest możliwe tylko wówczas gdy kopiowane są wszystkie pręty do których daną grupę przyłożono. Grupa multi kopiowana jest tylko w zakresie prętów, które również podlegają kopiowaniu.
- Przy kopiowaniu przez schowek nie są przenoszone ustawienia definicji typów wymiarowania i po operacji wymagają one ponownego ustawienia.

Pozostałe własności prętów takie jak przekrój, układ współrzędnych i typ pręta przenoszone są wprost do nowego projektu.

### 3.12 LUSTRO I OBRÓT

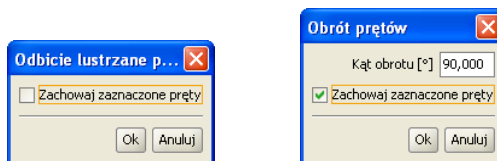
W przypadku Ramy 2D – R2D2 funkcje *Obrót i Lustro* – pozwalają na obrócenie o dowolny kąt względem wskazanego punktu lub odbicie lustrzane względem dowolnie usytuowanej osi obrotu zaznaczonych elementów konstrukcji. Obie funkcje dostępne są po zaznaczeniu elementów układu z menu podręcznego, uruchamianego prawym klawiszem myszki.



Rys. 3.41 Menu kontekstowe prawego klawisza myszki – funkcja Lustro

W przypadku funkcji lustro, po jej wywołaniu, program oczekuje na wskazanie na ekranie roboczym dwóch punktów definiujących oś odbicia. Przy obrocie użytkownik powinien wskazać jeden punkt definiujący środek obrotu zaznaczonej części układu. Po wskazaniu punktów definiujących oś odbicia lub środek obrotu, wywołane zostanie dodatkowe okienko parametrów funkcji: dla obrotu pozwalające na podanie kąta obrotu, a dla obrotu i lustra dodatkowo znacznik pozwalający zachować (lub nie) obracane (odbijane) elementy układu.

## Podstawy

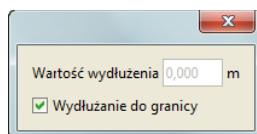


Rys. 3.42 Okienka parametrów dla funkcji lustro i obrót

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). Przy odbiciu lustrzanym jak i obrocie należy pamiętać, że przy założeniu tej samej skrętności układu lokalnego, nie ma możliwości jego pełnego odbicia. W tym przypadku zawsze któraś z osi układu lokalnego  $x,y,z$  musi być odbita antysymetrycznie. Dlatego też w przypadku stosowania funkcji obrotu i lustra dla prętów wraz z obciążeniami zadanymi w układzie lokalnym, zawsze należy przeprowadzić kontrolę poprawności obciążeń po operacji i w razie konieczności zmienić im odpowiednio znaki.

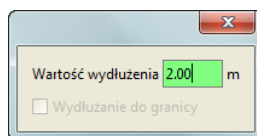
### 3.13 FUNKCJA WYDŁUŻANIA ELEMENTÓW

Funkcja wydłużania elementów dostępna jest zawsze z menu kontekstowego prawego klawisza myszki, niezależnie od tego czy jakieś pręty układu są zaznaczone czy też nie. Jednak już samo działanie funkcji zależy od tego czy przed jej wywołaniem były zaznaczone jakieś pręty układu czy też nie. W przypadku wywołania funkcji dla wcześniej zaznaczonych prętów, domyślnie wywoływane jest tzw. **Wydłużanie do granic** dla którego granicą wydłużenia są właśnie te zaznaczone pręty. Operację wydłużania prętów do granic, można zawsze zamienić na operację wydłużenia o podaną wartość, wówczas w okienku jak niżej należy odznaczyć znacznik **Wydłużenia do granic** i wpisać wartość wydłużenia.



Rys. 3.43 Okienko wydłużania do granic

W przypadku gdy przed wywołaniem funkcji nie były zaznaczone żadne pręty układu do dyspozycji mamy tylko opcję wydłużania o podaną wartość a funkcja **Wydłużenia do granic** będzie niedostępna.



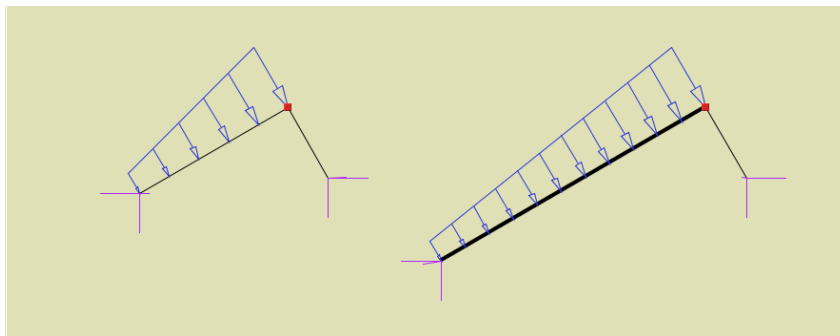
Rys. 3.44 Okienko wydłużenia o zadaną wartość

W obu opisanych powyżej przypadkach samo wydłużanie prętów realizowane jest dalej przez klikanie myszką na końcu prętów, które mają zostać wydłużone. Na koniec każdej operacji wydłużania do granic, użytkownik zostanie poproszony o potwierdzenie (lub nie) utworzenia nowych węzłów na prętach granicznych, w miejscach dojsć prętów wydłużanych.

Operacja wydłużania prętów w obu wariantach ma dwie metody realizacji:

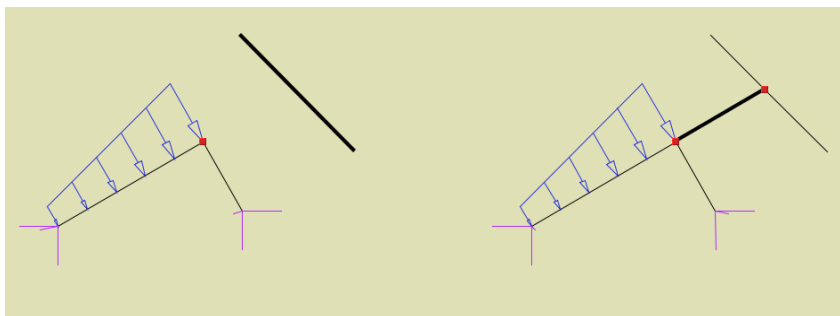
Przy wydłużaniu pręta o końcu swobodnym, nie połączonym z innymi prętami a co najwyżej zakończonym podporą, operacja wydłużania polega na przesunięciu w nową lokalizację istniejącego węzła, wraz ze wszelkimi konsekwencjami takiego przesunięcia jak np. rozciągnięcie obciążeń na pręcie wydłużanym. Dla pręta o węzle swobodnym funkcja wydłużenia o zadaną wartość może wykorzystywać wartości ujemne wydłużenia, czyli jego skrócenie. Funkcja skracania pręta (czyli wydłużenia o wartość ujemną) nie jest realizowana dla pręta o węzle nieswobodnym.

## Podstawy



Rys. 3.45 Wydłużenie o podaną wartość pręta podpartego o końcu swobodnym

Przy próbie wydłużenia pręta nieswobodnego, którego wydłużany koniec łączy się z innymi prętami układu, wydłużenie realizowane jest przez dołożenie nowego pręta na fragmencie wydłużanym, współosiowo do wydłużanego pręta. Wydłużenie realizowane w ten sposób nie zmienia lokalizacji pozostałych prętów schodzących się w węzle końcowym pręta wydłużanego.



Rys. 3.46 Wydłużanie do granicy pręta o nieswobodnym końcu

Operację wydłużania elementów można przerwać w każdej chwili wciskając klawisz **ESC**. Po wyjściu z funkcji wydłużania, pręty wydłużone oraz pręty nowe, powstałe na skutek wydłużenia, pozostaną zaznaczone. Pręty wydłużone oraz ewentualne nowe pręty powstałe na skutek wydłużania mają cechy tych prętów, które wydłużaliśmy (przekrój, przynależność do grupy prętów i kierunek układu lokalnego).

### 3.14 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 danych i 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 i sygnalizuje ukrycie części konstrukcji.

Aby ukryć pręty należy najpierw wskazać je za pomocą selekcji, a następnie skorzystać z funkcji **Ukryj zaznaczone pręty** znajdującej się w menu górnym **Widok** lub w menu kontekstowym. 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.

Funkcję ukrywania prętów układu można również wywołać z menu podręcznego prawego klawisza myszki dla całych grup prętów w „drzewie projektu” (gałąź Pręty) lub zaznaczając odpowiedni znacznik w oknie **Grupa prętów i elementów wymiarowych**. W „drzewie projektu” funkcję ukrywania można również wywołać dla pojedynczego, wybranego pręta układu.

Ukrycie części prętów symbolizowane jest dodatkowo znakiem wyświetlanym w prawym górnym rogu okna roboczego w kształcie przekreślonego „oka”. Po kliknięciu lewym klawiszem myszki 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 wyświetlanie wszystkich prętów. Wyświetlanie wszystkich prętów można włączyć także za pomocą opcji **Pokaż ukryte** w menu górnym **Widok**.

Funkcja ukrywania prętów może być również wykorzystana do generowania raportów z obliczeń statycznych, tylko dla wybranej (widocznej) grupy prętów.

## Podstawy

## 3.15 OBLICZANIE NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH

W programie dołożono obliczanie prostych naprężeń normalnych wg ogólnego wzoru:

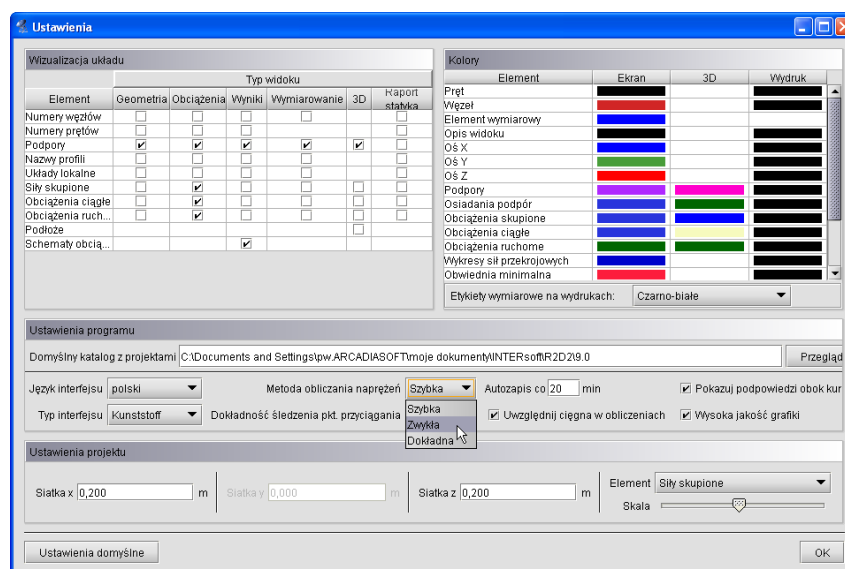
$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M_z J_y + M_y J_{zy}}{J_y J_z - J_{zy}^2} \times y \pm \frac{M_y J_z + M_z J_{zy}}{J_y J_z - J_{zy}^2} \times z \text{ [MPa]}$$

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 złożów, 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. 3.47 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).

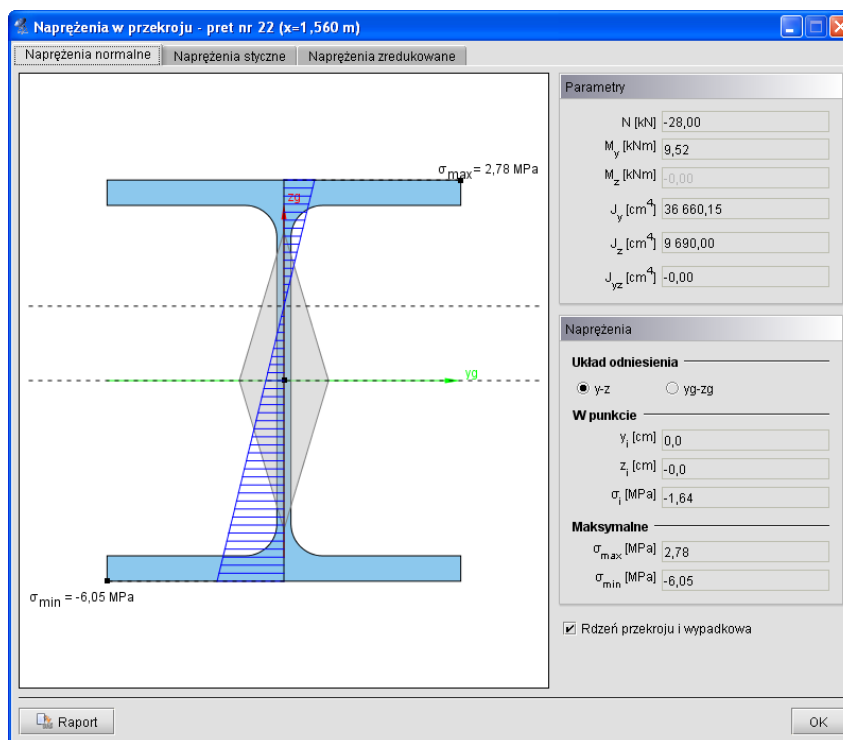
## Podstawy

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 lub kombinacji.

Odrębnym zagadnieniem w programie jest analiza naprężeń dla pojedynczego pręta w dowolnym jego przekroju. Analiza ta zawiera również własne odrębne raporty z obliczeń i została szczegółowo opisana w kolejnym punkcie podręcznika.

### 3.16 NAPRĘŻENIA W PRZEKROJU

Program umożliwia wyświetlanie wykresu naprężeń normalnych, stycznych i zredukowanych w przekroju pręta dla: obwiedni sił lub naprężeń (max lub min), poszczególnych grup obciążeń, sumy grup lub kombinacji użytkownika. 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/kombinacje), wybranego pręta oraz wskazanego punktu na przecie (ustalonego suwakiem na wykresie *Sił w przecie*). Po wywołaniu funkcji *Naprężenia w przekroju* na ekranie otwarte zostanie dodatkowe okno jak niżej:



Rys. 3.48 Naprężenia w przekroju

Okno składa się z trzech zakładek na których wyświetlane są: naprężenia normalne w przekroju, naprężenia styczne i naprężenia zredukowane. Przy czym zakładki naprężeń stycznych i zredukowanych dostępne są tylko dla prętów, których przekrój posiada minimum jedną oś symetrii. Dla pozostałych typów prętów możliwa jest jedynie analiza naprężeń normalnych. W nagłówku okna podany jest numer pręta, którego dotyczy analiza oraz położenie wyświetlanego przekroju na przecie.

Punkt na przekroju w którym analizowane są wielkości poszczególnych naprężeń w przekroju, pokrywa się z domyślnie ustawionym punktem przekroju, przy zmianie rodzaju analizowanych naprężeń, realizowaną przez zmianę zakładki.

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 przecie, oraz pozwala na obserwowanie zmienności wykresu naprężeń, przy zmianie lokalizacji przekroju na długości pręta. Funkcjonalność ta dostępna jest dla analizy naprężeń normalnych, stycznych i częściowo zredukowanych. W przypadku tych ostatnich, zmiana pręta, poło-

## Podstawy

nia na pręcie, lub hipotezy wytrzymałościowej, wymaga powtórnego poszukiwania, wartości maksymalnej i położenia wartości maksymalnej dla naprężeń zredukowanych.

### 3.16.1 Naprężenia normalne w przekroju

Zakładka **Naprężeń normalnych** 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 normalnych 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 (w układzie osi głównych lub układzie lokalnym) i wielkość naprężenia w tym punkcie. Na panelu z prawej strony w grupie **Parametry** wyświetlane są wartości sił ( $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z=0$  dla R2D2) 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 wartości naprężenia maksymalnego i minimalnego w przekroju. Wszystkie wartości sił i naprężeń pokazane w oknie „**Naprężenia w przekroju**”, dokładnie odpowiadają wartości podanym w grupie **Siły przekrojowe w punkcie** na zakładce **Wyniki**. Może się tak zdarzyć, że wartości skrajne wskazane przez użytkownika na wykresie naprężeń, są większe od opisanych wartości  $\sigma_{\max}$  i  $\sigma_{\min}$  w granicach od 0 do max 5%. Wynika to stąd, że wartości na wykresie liczone są z dużą dokładnością, natomiast wartości  $\sigma_{\max}$  i  $\sigma_{\min}$  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 prawej stronie na dole każdej zakładki umieszczono znacznik umożliwiający włączanie lub wyłączanie widoku rdzenia przekroju (może być on pomocny przy analizie naprężeń normalnych w słupach ściskanych).

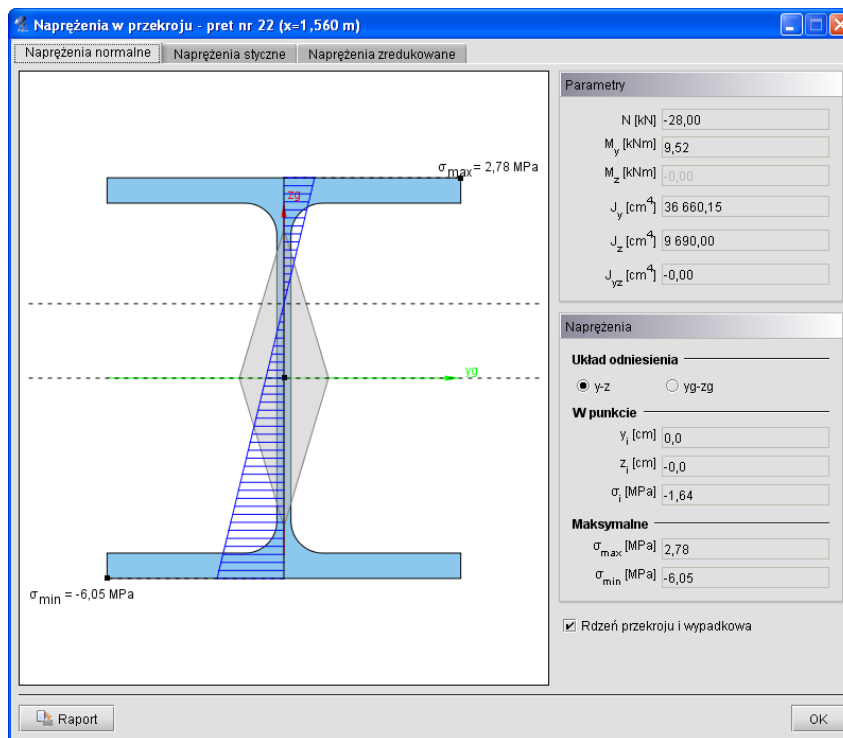
Z lewej strony na dole okna umieszczono przycisk Raportów, którego użycie spowoduje wygenerowanie jednostronicowych raportów w formacie RTF odpowiadających poszczególnym typom naprężeń.

W przypadku przekrojów złożonych z kilku elementów odsuniętych od siebie, wykres naprężeń rysowany będzie na całą, łączną wysokość przekroju, ale na odcinku na którym nie ma materiału przekroju, nie będzie wykonane kreskowanie wykresu i nie będzie tam można zlokalizować kursora i odczytać wartości naprężenia.

Wykresy naprężeń normalnych rysowane są z uwzględnieniem ich znaku (ujemne - ściskanie, dodatnie – rozciąganie).

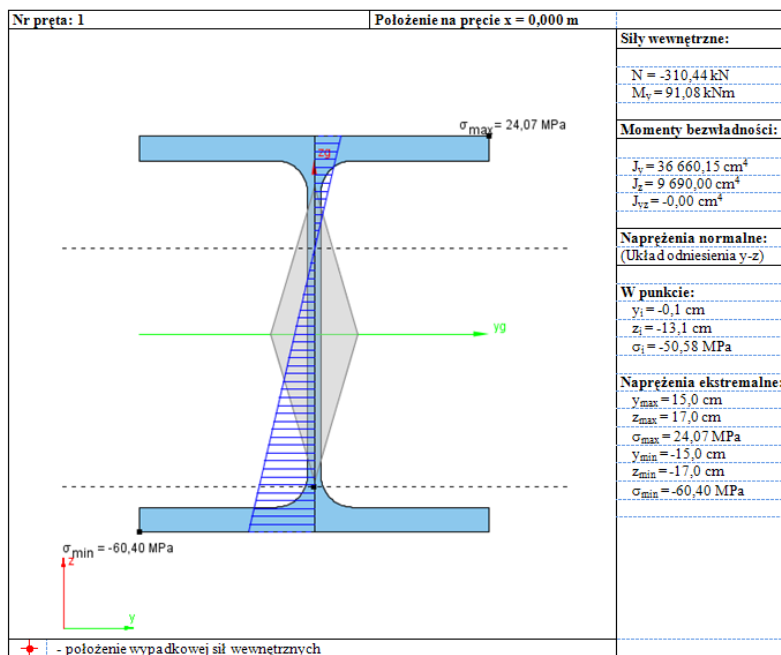


Podstawy



**Rys. 3.49** Napężenia normalne w przekroju

R2D2-Rama2D - Napężenia normalne w przekroju



**Rys. 3.50** Przykładowy raport dla naprężeń normalnych

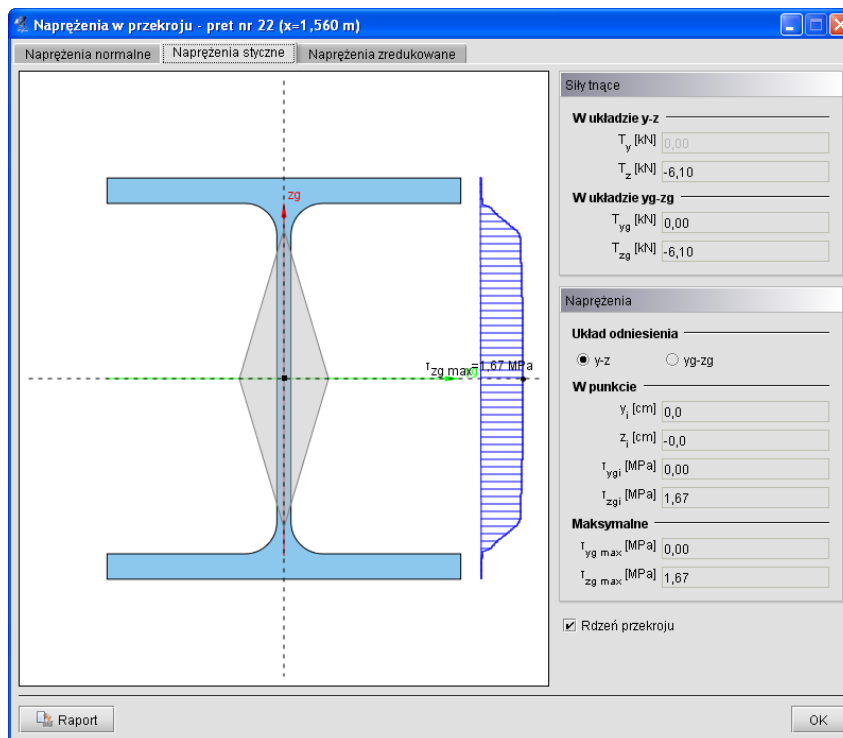
**3.16.2** Napężenia styczne w przekroju

Druga zakładka jest aktywna tylko dla przekrojów z minimum jedną osią symetrii i pozwala ona na prezentację wykresów naprężeń stycznych w przekroju. Wykresy naprężeń stycznych są interaktywne i pozwalają na wyznaczenie wartości naprężenia w dowolnym punkcie przekroju. Siły tnące brane do wyznaczenia naprężeń stycznych rzutowane są na kierunki główne i w takich kierunkach rysowane są wykresy naprężeń. Z prawej



## Podstawy

strony okna, u góry podane są w układzie lokalnym i układzie osi głównych, wartości sił tnących. Niżej w analogicznych układach odniesienia podane są wartości naprężeń tnących we wskazanym punkcie oraz maksymalne wartości naprężeń. Wykresy naprężeń stycznych rysowane są bez uwzględniania ich znaku. Przy obliczaniu naprężeń stycznych pomijane są naprężenia tego typu powstałe w przekroju pręta, na skutek działania momentu skręcającego. Wynika to z braku możliwości ustalenia dokładnej wartości wskaźnika na skręcanie dla dowolnie zdefiniowanego przekroju.



Rys. 3.51 Napężenia styczne w przekroju

Wzory wg których policzono naprężenia styczne w programie przedstawiono poniżej (tylko w osiach głównych i dla przekrojów monosymetrycznych):

$$\tau_{xz}(z) = \frac{T_z \times S_{yg}(z)}{b(z) \times J_{yg}}; \quad \tau_{xy}(y) = \frac{T_{yg} \times S_{zg}(y)}{b(y) \times J_{zg}};$$

Gdzie:

$b(z)$ ,  $b(y)$  - suma szerokości przekroju odpowiednio na odciętej  $z$  lub  $y$ ,

$T_{zg}$ ;  $T_{yg}$  - siły tnące działające wzdłuż osi głównych,

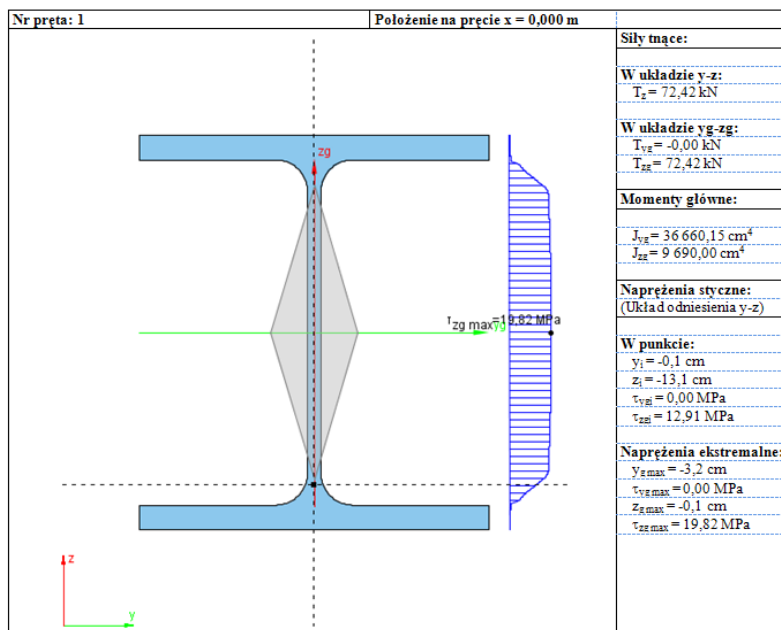
$J_{zg}$ ;  $J_{yg}$  - momenty bezwładności przekroju w osiach głównych,

$S_{zg}(y)$ ;  $S_{yg}(z)$  - momenty statyczne części odciętej odpowiednio przez  $y$  lub  $z$ .

Należy tu pamiętać że zastosowana do obliczeń naprężeń metoda (pokazana powyżej) jest metodą przybliżoną, jednak jej wyniki są wystarczająco dokładne w większości zastosowań inżynierskich.

## Podstawy

R2D2-Rama2D - Naprężenia styczne w przekroju



Rys. 3.52 Przykładowy raport z naprężeń stycznych w przekroju

Analogicznie jak dla naprężeń normalnych, w raporcie wyświetlane są siły tnące dla których policzono naprężenia styczne (podane w układzie osi lokalnych i głównych), momenty bezwładności przekroju, wartości naprężeń maksymalnych oraz wartości naprężeń w punkcie wraz z ich lokalizacją podaną w układzie osi głównych lub lokalnych przekroju.

### 3.16.3 Naprężenia zredukowane w przekroju

Trzecia zakładka, analogicznie jak druga, jest aktywna tylko dla przekrojów z minimum jedną osią symetrii i pozwala ona na prezentację wykresów bezwzględnych wartości naprężeń zredukowanych w przekroju. Gdy dla przekroju pręta możemy policzyć naprężenia normalne i styczne, wówczas dla takiego przekroju możemy również przedstawić bryłę naprężeń zredukowanych wg jednej z trzech poniższych hipotez wytrzymałościowych:

- **Coulomba** – hipoteza największych naprężeń stycznych (materiały izotropowe np. dla metali).

$$\sigma_{red} = \frac{1}{2} |\sigma_i| + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_i^2 + 4 * (\tau_{ygi}^2 + \tau_{zgi}^2)}$$

- **Coulomba – Mohra** – (dla materiałów o różnej wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie – anizotropowych jak np. drewno, beton, żelbet).

$$\sigma_{red} = \frac{\kappa - 1}{2\kappa} |\sigma_i| + \frac{\kappa + 1}{2\kappa} \sqrt{\sigma_i^2 + 4 * (\tau_{ygi}^2 + \tau_{zgi}^2)}$$

gdzie:  $\kappa$  - stosunek wytrzymałości na ściskanie do wytrzymałości na rozciąganie dla danego materiału  
 $\kappa = \left| \frac{f_c}{f_t} \right|$ .

- **Hubera** – hipoteza oparta na energii odkształcenia postaciowego (materiały izotropowe np. dla metali).

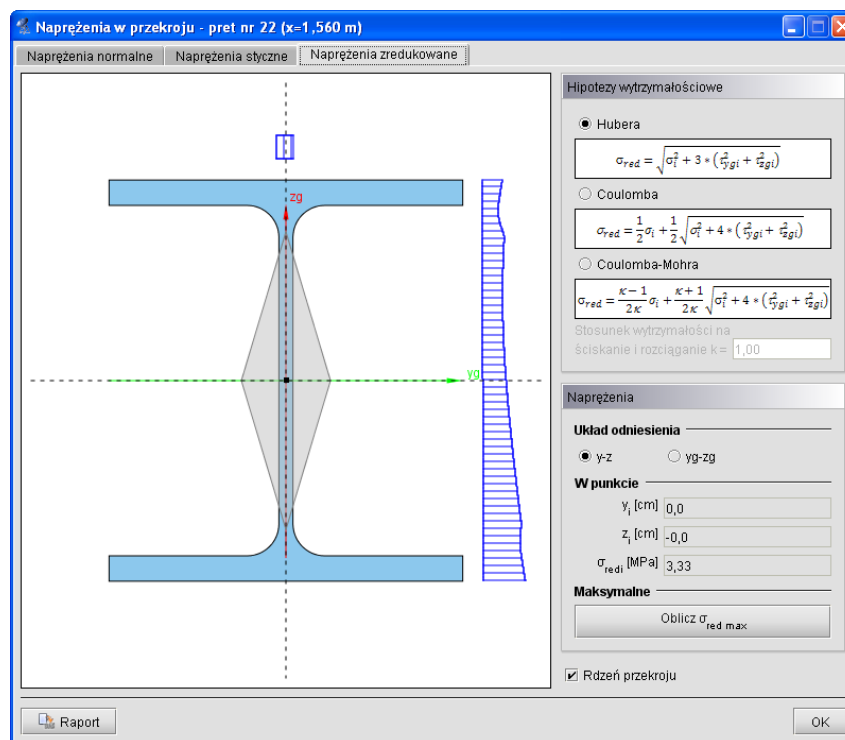
$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_i^2 + 3 * (\tau_{ygi}^2 + \tau_{zgi}^2)}$$

## Podstawy

Wartości  $\sigma_i$ ;  $\tau_{ygi}$ ;  $\tau_{zgi}$ ;  $\kappa$  - są wartościami bezwzględnymi.

Przy hipotezie Coulomba-Mohra bezwzględny stosunek wytrzymałości na ściskanie do wytrzymałości na rozciąganie  $\kappa$ , domyślnie przyjmowany jest na podstawie danych wytrzymałościowych zdefiniowanych przez użytkownika w oknie **Grupa prętów**, dla danego pręta w tej grupie. W oknie naprężeń współczynnik ten może zostać zmieniony przy czym  $\kappa \geq 1$ .

Bryłę naprężeń zredukowanych przedstawiono jako dwa wzajemnie prostopadłe wykresy uzyskane przez przecięcie przekroju, krzyżem nitkowym równoległym do osi głównych, analogicznie jak wykresy naprężeń tnących (z tą różnicą że wykres znajduje się tylko na obszarze przekroju przeciętym krzyżem nitkowym).

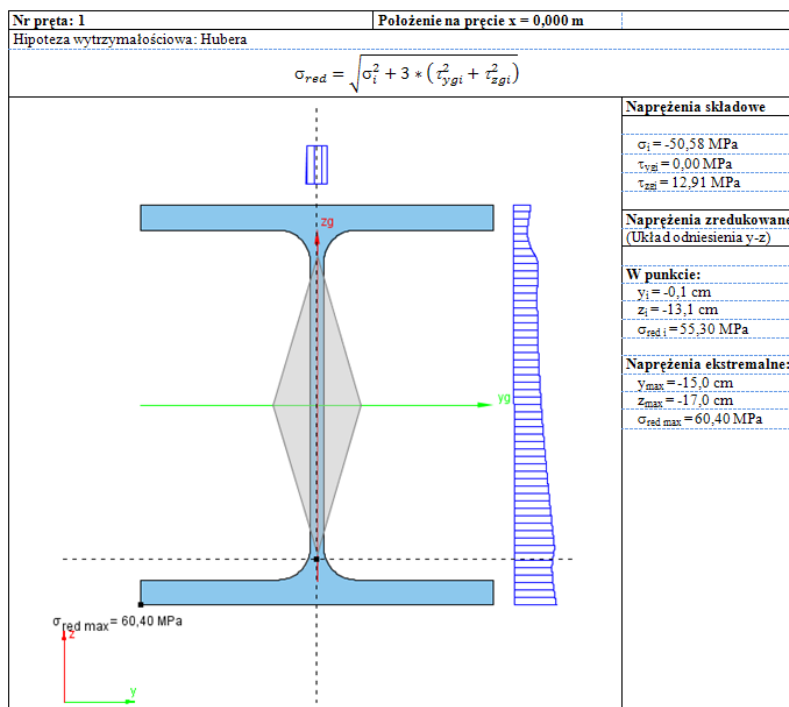


Rys. 3.53 Napężenia zredukowane w przekroju

Z lewej strony zakładki na przekroju pokazano wykresy naprężeń zredukowanych, odpowiadające położeniu krzyża nitkowego na przekroju. Z prawej strony pokazano hipotezy wytrzymałościowe i ich podstawowe wzory, dostępne przez wybór odpowiedniego znacznika w oknie, oraz lokalizację i wartość naprężenia zredukowanego we wskazanym punkcie. Poniżej znajduje się przycisk, którym dla danej lokalizacji przekroju na pręcie i wybranej hipotezy można policzyć wartość maksymalną naprężenia zredukowanego w przekroju oraz miejsce lokalizacji tego ekstremum na przekroju. Obliczenie to jest wartością chwilową i każda zmiana hipotezy, położenia punktu na pręcie, pręta lub zestawu sił powoduje ponowną konieczność wyznaczenia tej wartości, przez naciśnięcie przycisku **Oblicz  $\sigma_{red\ max}$** .

Podstawy

R2D2-Rama2D - Naprężenia zredukowane w przekroju



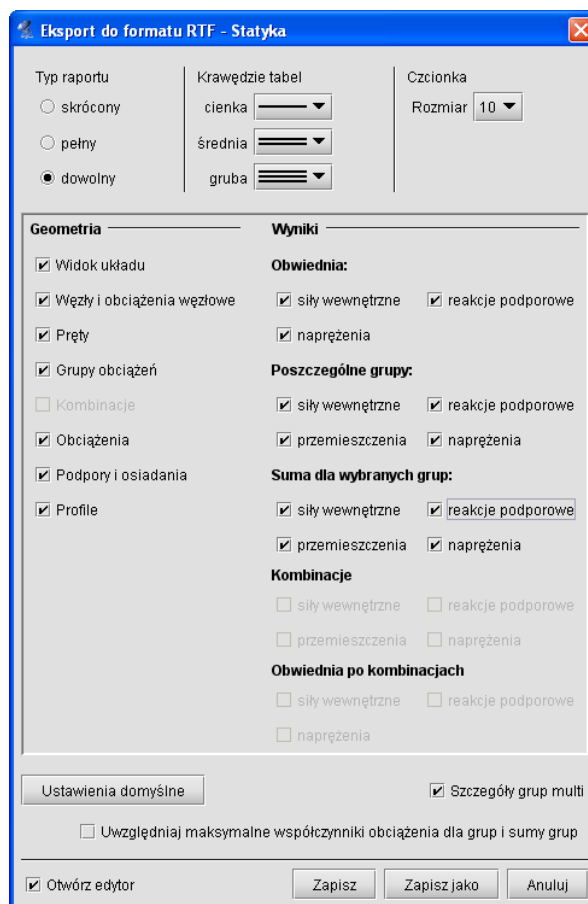
Rys. 3.54 Przykładowy raport z naprężeń zredukowanych w przekroju



### 3.17 RAPORT Z OBLICZEŃ STATYCZNYCH

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* (od wersji 2003) lub darmowym *Word Viewerze*.

## Podstawy



Rys. 3.55 Eksport do formatu RTF

Parametry raportu określa się w oknie *Eksport do formatu RTF* wywoływanym z menu *Plik – Raport obliczeń* lub z głównego paska narzędziowego programu.

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, ukrywając część konstrukcji, można ograniczyć rozmiar raportów i przedstawiać w nich tylko najbardziej istotne informacje. Z funkcji ukrywania prętów należy skorzystać przed wywołaniem okna generacji raportu.

Możliwość ukrywania wybranej części układu, wraz z możliwością zmian fragmentu ukrytego występuje bezpośrednio na zakładce *Wyniki*, bez potrzeby ponownych obliczeń układu (ukrywanie części układu – dostępne jest w tej opcji tylko za pomocą okna przecinającego 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).

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.

## Podstawy

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* (od wersji 2003), to właśnie w nim zostanie otwarty raport. Aby temu zapobiec należy odznaczyć tę opcję.

W oknie raportu umieszczono znacznik „**Wyniki dla grup i sumy grup z uwzględnieniem max współ. obc.**” - w przypadku zaznaczenia tego znacznika wyniki sił, reakcji i naprężeń dla grup i sumy grup (bez przemieszczeń) podawane są w raporcie z uwzględnieniem max współczynników obciążenia.

Struktura raportu w jego pełnej wersji może zawierać następujące dane i wyniki obliczeń:

Geometria i inne dane:


- Widok układu.
- Dane dotyczące węzłów i obciążeń węzłowych.
- Dane dotyczące prętów.
- Dane dotyczące zdefiniowanych w projekcie grup obciążeń.
- Dane dotyczące zdefiniowanych w projekcie kombinacji.
- Dane dotyczące obciążeń.
- Dane dotyczące podpór i ich osiadań.
- Dane dotyczące użytych w projekcie profili prętów.

Wyniki:

- Obwiednia sił wewnętrznych, reakcji i naprężeń.
- Wyniki dla poszczególnych grup: sił wewnętrznych, reakcji, przemieszczeń i naprężeń.
- Wyniki dla sumy wybranych grup: sił wewnętrznych, reakcji, przemieszczeń i naprężeń.
- Wyniki dla poszczególnych kombinacji: sił wewnętrznych, reakcji, przemieszczeń i naprężeń.
- Wyniki dla obwiedni po kombinacjach: sił wewnętrznych, reakcji i naprężeń.

W przypadku zdefiniowania w projekcie grup prętów, wyniki wartości sił wewnętrznych, naprężeń i przemieszczeń będą wydawane dla kolejnych prętów w ramach zdefiniowanej grupy. W przypadku gdy wszystkie pręty należą do grupy „*Niepogrupowane*”, a wszystkie inne zdefiniowane w projekcie grupy prętów są puste lub nie występują, wyniki dla prętów będą wyświetlane w kolejności ich numeracji w projekcie bez podziału na grupy.

### 3.18 TWORZENIE ANIMACJI DEFORMACJI

Ta opcja służy do zapisu na dysk animacji deformacji układu. Wywoływana jest z menu **Plik** –  **Zapisz animację deformacji...** 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*.



### 3.19 WŁAŚCIWOŚCI PROJEKTU

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

## Podstawy

Rys. 3.56 Właściwości projektu

Dodatkowo przedstawiane są tu statystyki aktualnego projektu: jego całkowite wymiary, ilości elementów: prętów i węzłów, sumy obciążeń na poszczególnych kierunkach, całkowity ciężar układu, ilości poszczególnych typów grup obciążeń (stałych, zmiennych i *multi*), oraz ilość węzłów podporowych i grup prętów zdefiniowanych w projekcie. W przypadku sumy obciążeń na poszczególne kierunki dla grup „multi” brana jest suma wszystkich podgrup wchodzących w skład tej grupy, a w przypadku grupy obciążenia ruchomego – jedna podgrupa odpowiadająca jednemu położeniu obciążenia ruchomego. Wydruk raportu w formacie *RTF* zawierającego *Właściwości projektu* wraz z widokiem 3D układu, można wykonać z okna *Widok 3D*.



### 3.20 USTAWIENIA PROGRAMU I PROJEKTU

Okno *Ustawienia* służy do zmiany ustawień programu, aktualnego projektu oraz tego co użytkownik widzi na ekranie monitora. Wywoływane jest ono odpowiednim przyciskiem na głównym pasku narzędziowym. Składa się ono z kilku grup ustawień takich jak: uwzględnianie wizualizacji danego elementu w poszczególnych trybach pracy i wydruku, ustawienia kolorystyki elementów wyświetlanych i drukowanych, *Ustawień programu* i *Ustawień projektu*.

| Element                   | Ekran  | 3D    | Wydruk |
|---------------------------|--------|-------|--------|
| Pręt                      | Red    | Black | Black  |
| Węzeł                     | Black  | Black | Black  |
| Element wymiarowy         | Blue   | Black | Black  |
| Opis widoku               | Black  | Black | Black  |
| Oś X                      | Blue   | Black | Black  |
| Oś Y                      | Green  | Black | Black  |
| Oś Z                      | Red    | Black | Black  |
| Podpora                   | Purple | Pink  | Black  |
| Osiedzenia podpór         | Black  | Black | Black  |
| Obciążenia skupione       | Blue   | Green | Black  |
| Obciążenia ciągłe         | Blue   | Black | Black  |
| Obciążenia ruchome        | Blue   | Green | Black  |
| Wykresy sił przekrojowych | Blue   | Black | Black  |
| Obwiednia minimalna       | Red    | Black | Black  |

Rys. 3.57 Ustawienia

## Podstawy

Grupa **Wizualizacja układu** służy do określania, które elementy mają być rysowane na ekranie przy włączonych poszczególnych zakładkach (**Geometria**, **Obciążenia**, **Wyniki**, **Wymiarowanie**), w podglądzie 3D oraz na wydruku widoku układu w głównym raporcie ze statyki. Można wyłączyć rysowanie niektórych elementów, które są w danej chwili zbędne i zaciemniają widok układu. Przez **Schematy obciążeń** w tej grupie, należy rozumieć wizualizację schematów na ekranie graficznym, budujących wskazane ekstremum obwiedni na zakładce **Wyniki**. Aby ta opcja była aktywna jednocześnie muszą być wizualizowane (włączone) obciążenia ciągłe i skupione na zakładce **Wyniki**. Wówczas obciążenia biorące udział w budowaniu wskazanego ekstremum wyświetlane są wyraźnym kolorem a pozostałe są wyszarzane. Przesuwanie lokalizacji ekstremum po przecię najczęściej powoduje dynamiczną zmianę schematów.

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, a także wyświetlanego tła. 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 tej grupie można również określić sposób wizualizacji kolorowych etykiet wymiarowych na wydruku.

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

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

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 zawartych jest kilka takich kompozycji, które można wybierać z listy. Zmiana będzie widoczna dopiero po ponownym uruchomieniu programu. Inne zmienne ustawienia programu to **Wybór metody liczenia naprężeń**, **Dokładność śledzenia punktów przyciągania** (1cm lub 1mm) i podany w minutach interwał czasowy autozapisu. W grupie tej można również włączyć lub wyłączyć liczenie układów ze zdefiniowanymi cięgnami (przy ich wyłączeniu program w trakcie obliczeń rozpoznaje cięgna jako zwykłe pręty).

W oknie **Ustawień** programu można również włączyć pokazywanie podpowiedzi kontekstowych obok kursora myszki, przez zaznaczenie znacznika: **Pokazuj podpowiedzi obok kursora**. Przykładowe działanie podpowiedzi kontekstowych obok kursora pokazano przy omawianiu obciążeń ruchomych.

W oknie **Ustawień** wprowadzono przełącznik pozwalający wyświetlać elementy projektu na ekranie graficznym w podwyższonej jakości (funkcja: **Wysoka jakość grafiki**). Działanie funkcji sprowadza się do włączenia funkcji wygładzania (antialiasingu) dla wszystkich wyświetlanych obiektów (linii i tekstów). W przypadku wyłączenia tej funkcji opcja wygładzania działa tylko dla linii wprowadzonego do projektu podrysu. Należy pamiętać że funkcja zwiększania jakości grafiki powoduje poprawę jakości wyświetlania elementów projektu ale jednocześnie spowalnia pracę na ekranie graficznym. W niektórych przypadkach, przy znacznym skomplikowaniu układu lub słabszej karcie graficznej, w celu zapewnienia optymalnej funkcjonalności pracy, wskazane może być wyłączenie tej funkcji.

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

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**.

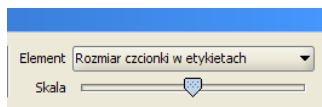
Klikając na przycisk **Ustawienia domyślne** przywracane są domyślne ustawienia widoczności elementów oraz ich kolorów.

W celu poprawy czytelności projektu na ekranie wprowadzono możliwość ustawiania wielkości etykiet i czcionek w etykietach. Ustawienie to dotyczy zielonych etykiet wyświetlanych na ekranie w czasie śledzenia i pomia-



## Podstawy

ru odległości przy wprowadzaniu elementów układu, a także etykiet z wynikami wymiarowania prętów i elementów na głównym ekranie graficznym. Opcja ta dostępna jest w sekcji *Ustawień projektu* w oknie *Ustawień*.



Rys. 3.58 Ustawienie wielkości etykiet

Poza skalowaniem etykiet w oknie *Ustawień* programu wraz z wymiarowaniem wprowadzono możliwość włączania i wyłączania obliczeń dla ciągów (przy włączonych obliczeniach dla ciągów, są one wykonywane iteracyjnie dla wybranych grup lub kombinacji z eliminacją możliwości ściskania ciągu).

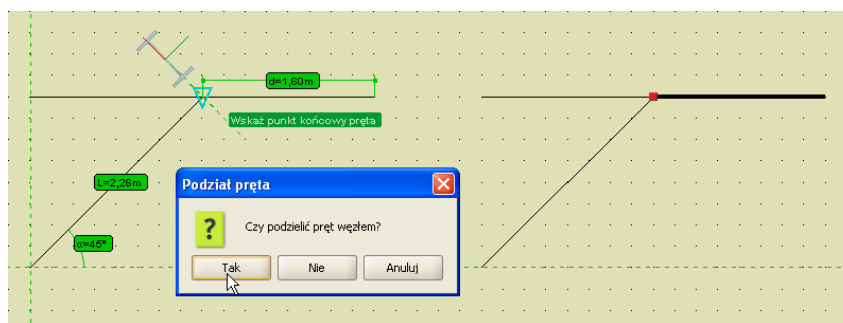
### 3.21 TYPOWE BŁĘDY MODELOWANIA UKŁADU STATYCZNEGO

Najczęstsze przypadki błędów popełnianych przez użytkowników przy modelowaniu układu sprowadzają się do dwóch bardzo istotnych kwestii mających bardzo poważne skutki w obliczeniach statycznych.

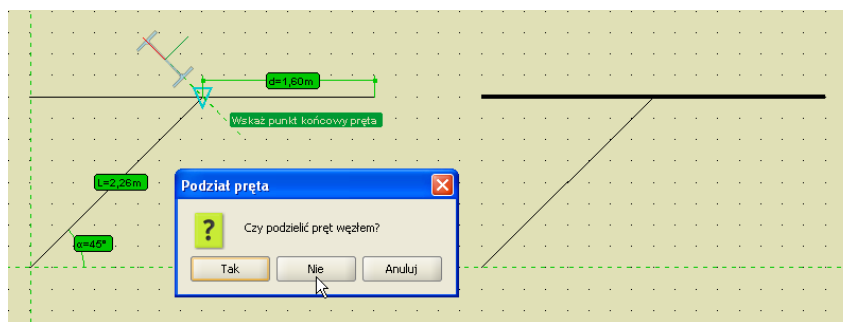
Pierwszy z nich dotyczy wprowadzania prętów do układu i polega na przeświadczeniu że dwa stykające się ze sobą na ekranie monitora pręty są ze sobą zawsze połączone. Aby tak było, wszystkie pręty stykające się w danym węźle muszą w tam mieć swój koniec lub początek – czyli muszą się w tym węźle kończyć lub zaczynać. Niestety często zdarza się, że początkujący użytkownik dociąga wprowadzany pręt do punktu leżącego na długości innego, istniejącego pręta i nie tworzy w tym miejscu na przecię węzła (opcja podziału pręta węzłem). W takim przypadku pręty te stykają się ze sobą ale w modelu statycznym nie są między sobą połączone. W konsekwencji użytkownik uzyskuje często układy geometrycznie zmienne (luźne pręty) lub wyniki obliczeń statycznych są całkowicie niezgodne z jego oczekiwaniem. Analogiczna sytuacja występuje w przypadku widocznego na ekranie przecięcia dwóch elementów. Jeśli jeden z prętów w punkcie przecięcia nie ma swojego węzła początkowego lub końcowego, to nie jest on połączony w tym punkcie z innymi elementami.

**Uwaga:**

*Aby połączyć wprowadzany pręt układu z innym istniejącym prętem na jego długości należy w miejscu ich styku utworzyć węzeł (podzielić istniejący pręt węzłem).*



Rys. 3.59 Wprowadzany pręt połączony w węźle

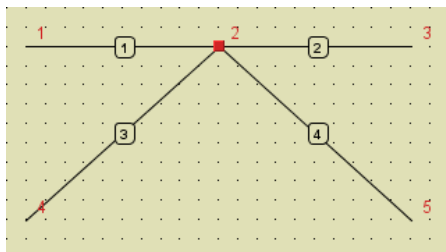


Rys. 3.60 Wprowadzany pręt niepołączony (luźny)

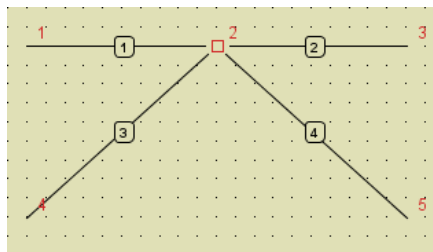
Drugi najczęściej spotykany problem w programie, dotyczy sposobu połączenia prętów w węźle. Generalnie węzeł wypełniony czerwonym kolorem jest węzłem sztywnym, natomiast węzeł bez wypełnienia (rysowany

## Podstawy

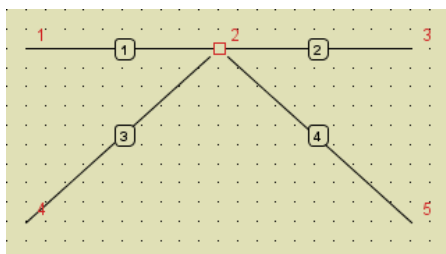
tylko obwódką) z prętami „urwanymi” przed dojściem do węzła jest węzłem przegubowym. W przypadku węzłów przegubowych bardzo istotna jest druga część definicji połączenia. W programie można definiować węzły w których część prętów dochodzi do węzła przegubowo a część jest połączona ze sobą w tym samym węźle sztywno. Wówczas przeważnie taki węzeł rysowany jest na ekranie samą obwódką bez wypełnienia. O tym czy dany pręt dochodzi do węzła przegubowo decydują dwa warunki: musi on być przzerwany przed obwódką węzła i nie może on być połączony linią z innym prętem dochodzącym do tego węzła. W każdym innym przypadku rozpatrywany pręt połączony jest sztywno z innymi prętami schodzącymi się w węźle (tymi z którymi połączony jest linią).



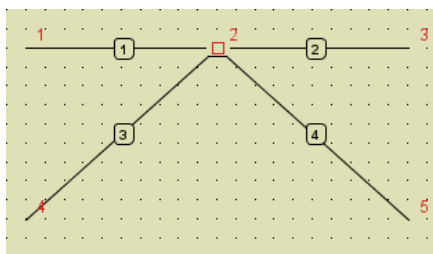
**Pelny węzeł sztywny**



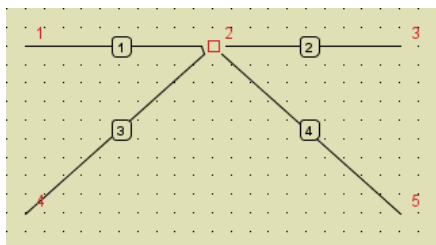
**Pelny węzeł przegubowy**



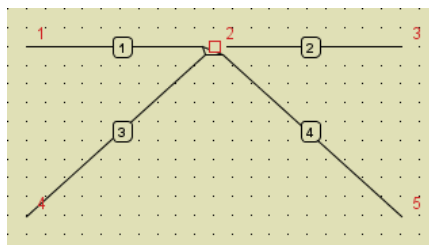
**Pręty nr 1 i 2 zeszywnione  
a nr 3 i 4 przegubowe**



**Pręty nr 3 i 4 zeszywnione  
a nr 1 i 2 przegubowe**



**Pręty nr 1 i 3 zeszywnione  
a nr 2 i 4 przegubowe**

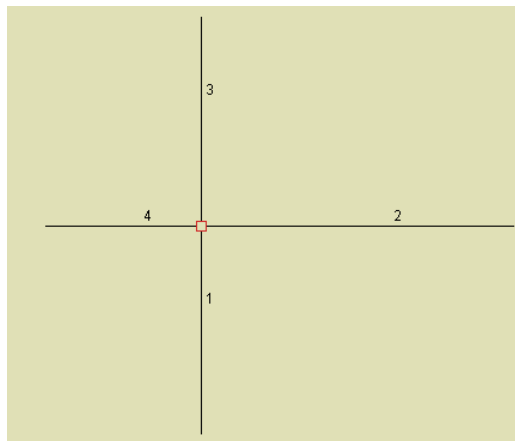


**Pręty nr 1, 3 i 4 zeszywnione  
a nr 2 przegubowy**

**Rys. 3.61 Szczegóły połączeń w węzłach**

W przypadku gdy dwa zeszywniane w węźle pręty są współliniowe lub prawie współliniowe, linia je łącząca przechodzi przez węzeł. We wszystkich pozostałych przypadkach, linia łącząca pręty zeszywniane w węźle przebiega poza węzeł. W konsekwencji w skrajnym przypadku możemy otrzymać widok węzła jak niżej:

## Podstawy



**Rys. 3.62 Dwie grupy prętów zeszywnionych połączone między sobą przegubem**

Widok węzła na powyższym rysunku oznacza, że występują dwie grupy prętów zeszywnionych między którymi występuje połączenie przegubowe. Zeszywnione są tu pręty współliniowe ujęte w nawiasy: (1 i 3); (4 i 2).

## Przekroje elementów

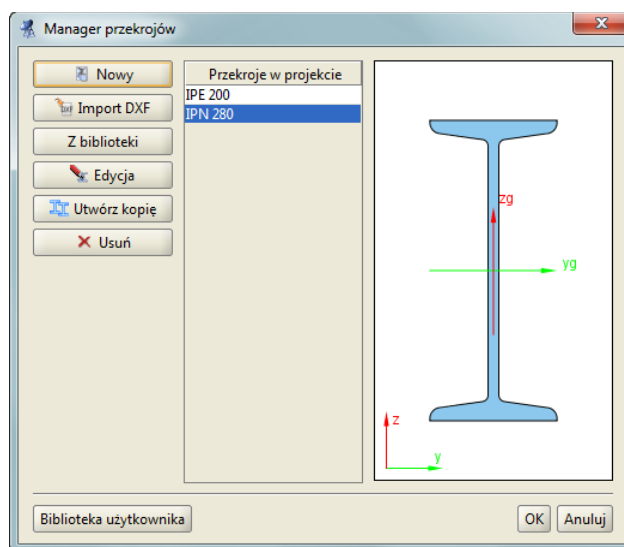
## 4 PRZEKROJE ELEMENTÓW

Dla każdego pręta w projekcie musi być określony kształt jego przekroju poprzecznego. Program *Rama2D* umożliwia tworzenie przekrojów pojedynczych lub złożonych o dowolnym kształcie. Wszystkie charakterystyki 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. Dostęp do *Managera Przekrojów* możliwy jest bezpośrednio z głównego paska narzędziowego lub z ikonki usytuowanej na zakładce *Geometria*, przy liście wyboru: *Przekrój*.



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.

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:

**Nowy**- pozwala na tworzenie nowego przekroju. Po wciśnięciu tego przycisku otwierane jest okno z przekrojami tablicowymi z których należy wybrać zadany przekrój.

**Import DXF** – pozwala na import przekrojów specjalnie przygotowanego z pliku DXF.

**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 myszką na przekroju w liście.

**Utwórz kopię** – funkcja tworząca kopię przekroju wybranego z listy **Przekroje w projekcie**.

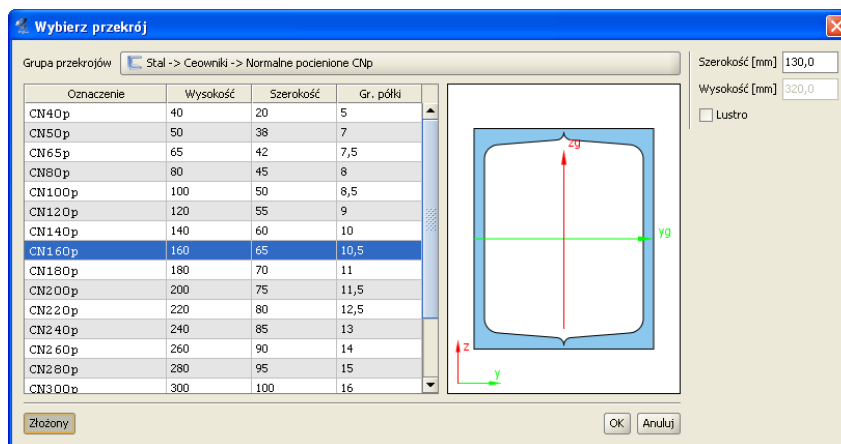
**Usuń** - usuwa zaznaczony przekrój z projektu. Aby cofnąć usunięcie (oraz wszystkie inne dokonane zmiany) należy wcisnąć przycisk **Anuluj**.

## Przekroje elementów

## 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 profili.



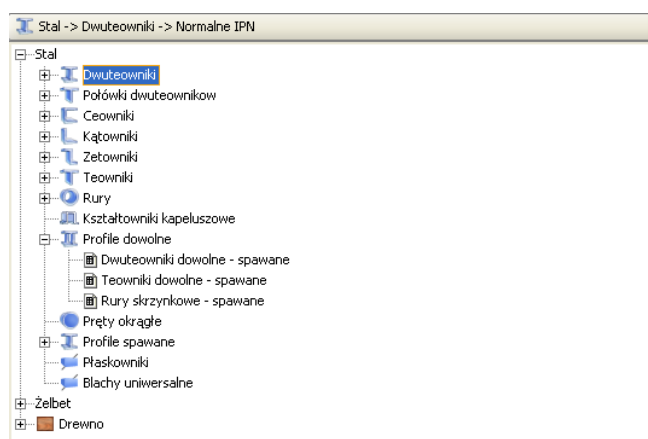
Rys. 4.2 Wybierz przekrój

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

Baza podstawowych profili tablicowych zapisana jest w programie w postaci pliku XML na podstawie najnowszych danych zawartych w katalogach firm:

ARCELOR GROUP i STALPRODUKT S.A. Informacje o profilach zawierają dane o podstawowych grupach profili europejskich, oraz wybranych grupach profili brytyjskich i amerykańskich.

Przy wstawianiu profili dodano możliwość automatycznego wstawiania podstawowych złożeń 2 (2 lub 4 dla kątowników) dla dwuteowników, połówek dwuteowników, teowników, ceowników, kątowników, rur i profili drewnianych. Do tego celu służy przycisk **Złożony** umieszczony w lewym, dolnym rogu okna *Wybierz przekrój*. Po jego wybraniu okno to zostanie poszerzone i wyświetlone będą dodatkowe parametry złożenia, które użytkownik może modyfikować takie jak **Szerokość** a w przypadku 4 profili również **Wysokość**. W przypadku profili niesymetrycznych takich jak np. kątowniki lub ceowniki możemy dodatkowo zaznaczyć opcję **Lustro**, która odwraca ustawione profile „plecami”.



Rys. 4.3 Wybór grupy przekrojów tablicowych

Strukturę pliku bazy danych profili można podejrzeć w dowolnym edytorze plików XML (np. Internet Explorer). Baza ta zawiera typoszereg podstawowych grup profili wraz z ich wymiarami i charakterystykami geometrycznymi zawartymi w katalogach producentów. Jednak w trakcie działania programu, w celu zapewnienia spójności danych, większość charakterystyk danego profilu wyliczana jest bezpośrednio przez program, a nie pobierana z bazy. W wyjątkowych przypadkach gdy potrzebna np. przy wymiarowaniu charakterystyka wymagana jest jedy-

## Przekroje elementów

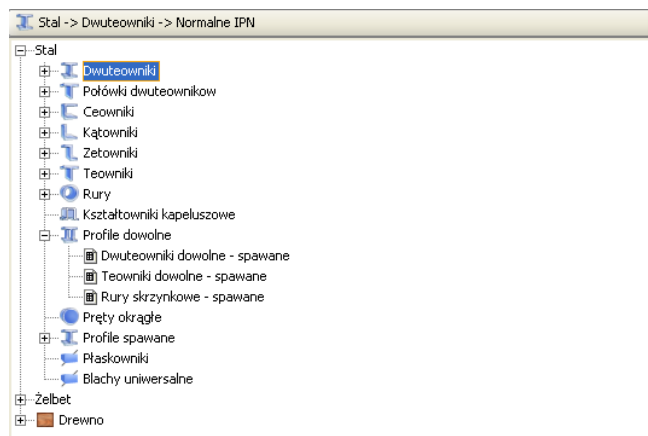
nie przy danym typie profilu, wówczas zaczytywana jest ona bezpośrednio z bazy. Dotyczy to np. położenia środka ścinania dla przekrojów ceowych.

Aktualnie w bazie zamieszczono następujące typy profili stalowych walcowanych i zimnogiętych, żelbetowych i drewnianych oraz profili o zmiennej geometrii:



Rys. 4.4 Wszystkie podstawowe grupy profili zawarte w programie

W bazie profili dołożono również grupę stalowych profili dowolnych (w domyśle spawanych), obejmującą trzy typy profili dowolnych: dwuteowy (o dowolnych szerokościach i grubościach poszczególnych pasów), teowy i skrzynkowy. Profile te mogą być obliczane w zewnętrznym module do wymiarowania stali *InterStal* i *EuroStal*.

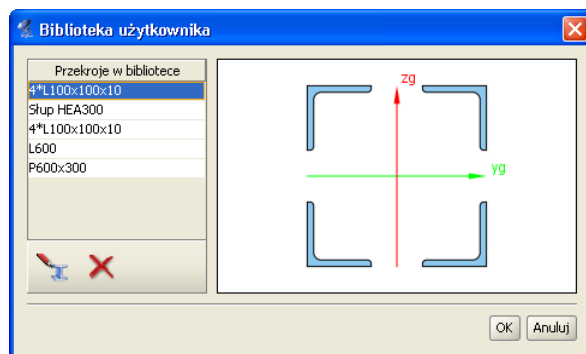


Rys. 4.5 Grupa stalowych profili dowolnych

## Przekroje elementów

## 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. 4.6 Biblioteka użytkownika

Okno biblioteki wywołuje się z okna *Managera przekrojów* przez wciśnięcie 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 nietypowego 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 definiowanym przekroju istnieje możliwość wykonania tylko 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 *Managera przekrojów* i złożyć je w jeden przekrój w *Edytorze*.



Rys. 4.7 Import przekroju z pliku DXF

## Przekroje elementów

Podczas importu program wyświetli okno informacyjne, w którym można określić skalę dla importowanego kształtu (wymiary przekroju muszą być wczytane do programu w mm). Dodatkowo należy podać także moment bezwładności na skręcanie przekroju oraz grubość jego najcieńszej ścianki.

### 4.5 EDYCJA PRZEKROJÓW

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

Wywołanie okna *Edycji przekroju* można wykonać z *Menagera przekrojów* po zaznaczeniu przekroju przewidzianego do edycji. Inną opcją wywołania okna *Edycji przekroju*, jest zaznaczenie pojedynczego pręta układu lub grupy prętów o takim samym przekroju na ekranie graficznym i wybranie odpowiedniej opcji z menu prawego klawisza myszki. W tym drugim przypadku jeśli nie zaznaczymy wszystkich prętów o takim samym przekroju lecz kilka lub jeden, wówczas edytowany profil otrzymuje automatycznie nową nazwę, złożoną z nazwy dotychczasowej i dołożonego indeksu numerycznego. Operacja ta pozwala prętom niezaznaczonym pozostawić dotychczasowy przekrój a prętom zaznaczonym do edycji nadać nowy o zmodyfikowanej nazwie. W przypadku wycofania się z edycji bez zmian, profil o nowej nazwie nie zostanie wprowadzony do projektu. W przypadku celowej zmiany przez użytkownika nowej nazwy profilu na poprzednią, po edycji profilu zostanie on „podpięty” do wszystkich prętów w projekcie, którym ten profil był wcześniej przypisany, niezależnie od tego czy były one zaznaczone do edycji czy też nie.

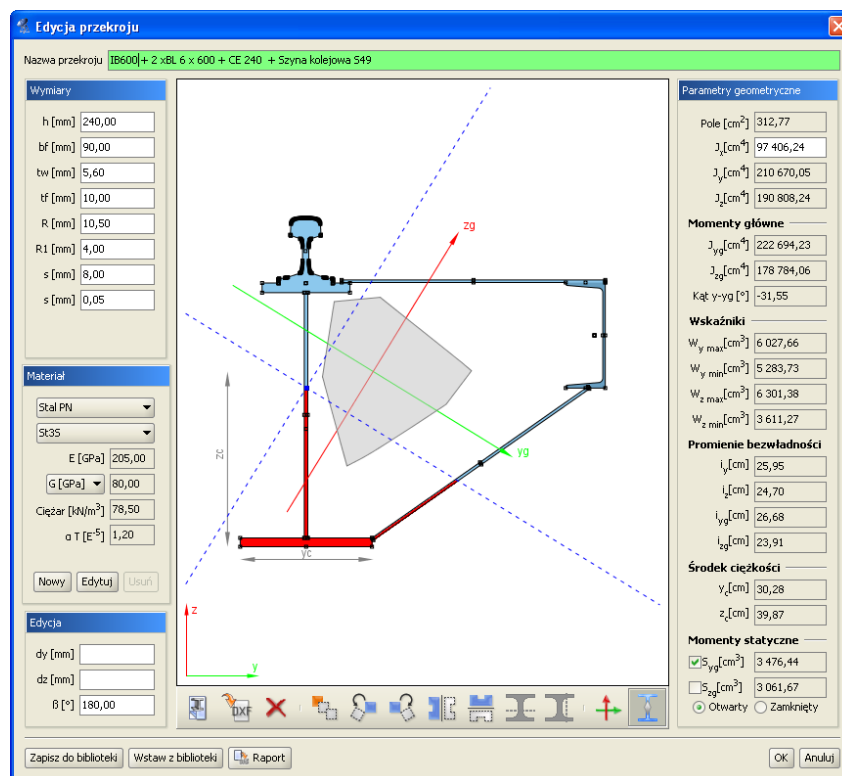
Po lewej stronie okna *Edycji przekroju* znajdują się grupy pól tekstowych, przeznaczone do modyfikacji właściwości przekroju: *Wymiary*, *Materiał*, *Edycja*. W przypadku przekrojów wczytanych do edytora z biblioteki profili tablicowych, dla zaznaczonego pojedynczego profilu w górnej części będą wyświetlone poszczególne jego wymiary (w innym przypadku grupa ta będzie pusta). Środkową część okna zajmuje ekran graficzny z widokiem przekroju oraz umieszczonymi pod nim przyciskami głównych funkcji edycyjnych. Natomiast po prawej stronie okna wyświetlane są informacje o parametrach i charakterystykach geometrycznych przekroju, wyliczonych przez program. Oznaczenia poszczególnych parametrów zawierają indeksy dolne o następującym znaczeniu:

- $y$  – charakterystyka liczona względem osi „y”
- $z$  – charakterystyka liczona względem osi „z”
- $g$  – charakterystyka liczona względem osi głównej
- $c$  – środek ciężkości
- $min$  – wartość minimalna
- $max$  – wartość maksymalna

W przypadku pokrywania się osi głównych i lokalnych dla danego przekroju (kat obrotu y-yg równa się zero), odpowiednie charakterystyki liczone w obu układach będą sobie równe.



## Przekroje elementów



Rys. 4.8 Edycja przekroju

**Widok przekroju** - Podczas pracy w edytorze na przekrojach aktywne są punkty uchwytu. Rysowane są one jako niewielkie, czarne kwadraty. Po najechaniu myszka na punkt uchwytu i wciśnięciu lewego przycisku myszy można przesunąć 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 oś  $y_g$  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 (każdy profil posiada kilka takich punktów). Po wskazaniu przekroju, w lewej części okna pojawiają się pola tekstowe służące do modyfikacji wymiarów (tylko w przypadku przekrojów tablicowych). Podczas wpisywania wartości wymiarów na widoku rysowane są odpowiednie linie wymiarowe, które ułatwiają rozpoznanie który wymiar jest modyfikowany. Przekroje można przesunąć 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  $dz$  oznaczają odpowiednio przesuw względny elementu w poziomie i w pionie. Wartości należy podawać w milimetrach.

Pozostałe funkcje edycyjne są dostępne z paska przycisków znajdującego się pod widokiem przekroju lub z menu kontekstowego pod prawym klawiszem myszki na ekranie graficznym okna. Są to następujące funkcje:



Dodanie nowego przekroju tablicowego.



Dodanie przekroju o kształcie zdefiniowanym w pliku DXF.



Usunięcie zaznaczonego przekroju (można użyć klawisza *Delete*).



Wstawianie kopii zaznaczonego profilu.

## Przekroje elementów



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 (edycja obrotu jw.).



Lustrzane odbicie zaznaczonego przekroju względem osi pionowej.



Lustrzane odbicie zaznaczonego przekroju względem osi poziomej.



Funkcja docinania pojedynczego elementu w poziomie.



Funkcja docinania pojedynczego elementu w pionie.



Wyrównanie osi głównych przekroju do osi lokalnego układu współrzędnych – funkcja ta wykonuje taki obrót przekroju aż osie obu układów pokryją się.



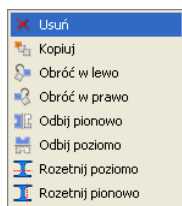
Funkcja włączania lub wyłączania widoku rdzenia przekroju.

Funkcje docinania aktywne są tylko wówczas gdy edytowany jest pojedynczy profil. Wówczas na ekranie graficznym widoczny jest dodatkowo przerywany, czerwony krzyż nitkowy, który jest niczym innym, jak linią przecięcia przekroju (pionową lub poziomą). Funkcja cięcia uruchamiana jest naciśnięciem odpowiedniej ikony pod widokiem profilu lub przez wybór funkcji z menu kontekstowego prawego klawisza myszki. Aby precyzyjnie ustawić linię docięcia, należy ustawić środek przecięcia krzyża nitkowego na dowolnym punkcie charakterystycznym przekroju, a następnie zmodyfikować parametry tego ustawienia w grupie **Edycja** (dy, dz). Na skutek docięcia przekroju tablicowego, dostajemy dwa lub więcej osobnych elementów dla których nie mogą być już edytowane **Wymiary**. Proces przecięcia jest procesem nieodwracalnym.

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  $\beta$ .

Przy lustrzanym odbiciu zaznaczonego elementu program spyta użytkownika, czy przy odbiciu ma być zachowany profil źródłowy.

**Menu kontekstowe** prawego klawisza myszki udostępnia część funkcji edycyjnych.



**Rys. 4.9** Menu prawego klawisza myszki w oknie Edycji przekroju

W przypadku zaznaczenia elementu dostępne są w ten sposób funkcje: usuwania, kopiowania, obrotu, lustra i rozcinania (tylko przy edycji pojedynczego przekroju). W przypadku gdy żaden element nie jest zaznaczony dostępne są jedynie funkcje: obrotu, lustra i rozcinania (również tylko przy edycji pojedynczego przekroju).

**Material** - W edytorze zdefiniowane są parametry podstawowych materiałów. Materiał przekroju można wybrać z rozwijanej listy znajdującej się w grupie **Material** 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.

## Przekroje elementów

W **Edytorze przekrojów** liczone są następujące charakterystyki geometryczne:

Pokazane na ekranie i w raporcie:

- Pole przekroju i momenty bezwładności na zginanie i skręcanie w osiach lokalnego układu współrzędnych pręta - **LUW**. (Ewentualny moment dewiacyjny pokazany jest w oknie **Naprężenia normalnych w przekroju**)
- Momenty bezwładności na zginanie w osiach głównych i kąt obrotu osi głównych w stosunku do układu lokalnego.
- Wskaźniki bezwładności przekroju liczone w układzie osi **LUW**.
- Promienie bezwładności liczone w osiach **LUW** i osiach głównych przekroju.
- Położenie środka ciężkości przekroju.
- Momenty statyczne dowolnej części odciętej przekroju.

Pokazane dodatkowo tylko w raporcie wykonanym z **Edycji przekroju**:

- Moment dewiacyjny w osiach **LUW**.
- Wskaźniki bezwładności przekroju liczone w układzie osi głównych.
- Plastyczne wskaźniki bezwładności przekroju liczone w układzie osi **LUW**.
- Momenty statyczne części odciętych liczone względem tych osi głównych.
- Pola powierzchni części odciętych jw.

Domyślnie na ekranie i w raporcie pokazywane są momenty statyczne części odciętych przez osie główne liczone względem tych osi. Aby ustalić wartość momentów statycznych dowolnych części odciętych przekroju, liczonych względem osi głównych, należy zaznaczyć jeden ze znaczników umieszczonych przy momentach statycznych w sekcji **Parametry przekroju**. Wówczas na ekranie graficznym część odcięta zostanie wyświetlona na czerwono i będzie ją można ustawiać dowolnie za pomocą niebieskiego krzyża nitkowego. Aby precyzyjnie ustawić linię odcięcia, należy ustawić środek przecięcia krzyża nitkowego na dowolnym punkcie charakterystycznym przekroju, a następnie zmodyfikować parametry tego ustawienia w grupie **Edycja** (dy, dz).

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

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

gdzie:

$h$  – wysokość ścianki  
 $t$  – grubość ścianki

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

$$J_x = \frac{4 * A_0^2 * \Delta_{min}}{S} \quad (2)$$

gdzie:

$A_0$  - pole powierzchni wielokąta wypukłego opisanego na grupie przekrojów, ograniczone linia środkową najcieńszej ścianki,  
 $\Delta_{min}$  - grubość najcieńszej ścianki,  
 $S$  - długość obwodu obliczona dla wielokąta jw. 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.

Dla profili pojedynczych z pliku DXF użytkownik definiuje wartość  $J_x$  oraz podaje minimalną grubość ścianki dla tego profilu (dla pojedynczego profilu z pliku DXF dostępne są przełączniki zamknięty/otwarty oraz edycja wartości  $J_x$ ).

## Przekroje elementów

W przypadku profilu złożonego program może policzyć  $J_x$  jak dla profilu otwartego z wzoru (1) jako sumę momentów bezwładności na skręcanie elementów składowych, lub jak dla profilu zamkniętego z wzoru (2) biorąc pole i obwód figury wypukłej opisanej na przekroju i minimalną grubość ścianki elementów na których opisana jest figura. Wartość momentu dla całego przekroju złożonego, może też zamiennie podać bezpośrednio użytkownik w polu edycyjnym.

W przypadku rozcinania pojedynczego elementu wstępnie całkowity moment wyjściowy figury rozdzielany jest stosunkiem pól na poszczególne części rozcięte i do każdej z nich przypisywana jest minimalna grubość elementu wyjściowego (działanie podobne jak przy wczytywaniu DXF). Po rozcięciu  $J_x$  nie zmienia (z wyjątkiem profili zamkniętych) się aż do usunięcia jakiejś części kiedy to spada o  $J_{xi}$  części usuniętej. Zaraz po rozcięciu profilu tablicowego pokazują się przełączniki otwarty/zamknięty – przy czym domyślnie zaznaczony jest otwarty ( $J_x$  jest sumą  $J_{xi}$  części), można też wpisać wartość użytkownika – wówczas oba przełączniki są odznaczone. W przypadku rozcinania pojedynczych przekrojów zamkniętych (rury okrągłe, prostokątne, kwadratowe i skrzynki) powstaje przeważnie profil otwarty (lub rozcięty), wówczas przed rozdziałem momentu  $J_x$  przeliczany jest on dla danego profilu, jak dla profilu otwartego a następnie rozdzielany na części stosunkiem pól.

Należy również pamiętać że przy zapisie do biblioteki użytkownika wartości  $J_x$  (policzone przez program lub wpisane przez użytkownika), łącznie z grubością minimalną ścianki elementu zapisują się w bibliotece i mogą być z niej odczytane. W bibliotece zapisują się wartości  $J_{xi}$  i grubości części składowych oraz  $J_x$  całego zapisywanego złożenia niezależnie od tego czy suma  $J_{xi}$  równa się  $J_x$  czy nie.

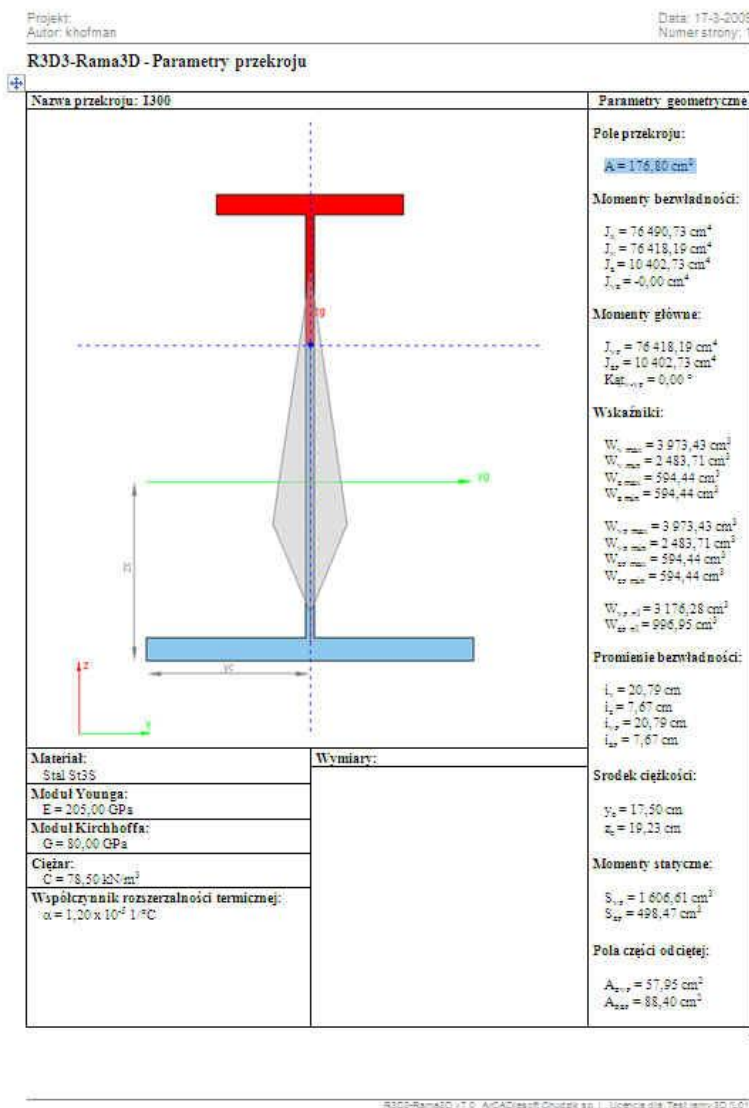
W przypadku dokładania jednego profilu do drugiego moment  $J_x$  jest sumą momentów  $J_{xi}$  części składowych a w przypadku odejmowania różnicą, przy czym odejmowanie ma miejsce aż do momentu gdy na skutek odejmowania dostalibyśmy wartość ujemną – wówczas wartością końcową  $J_x$  jest ostatnia wartość dodatnia.

**Biblioteka użytkownika** - 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. Można również w każdej chwili wczytać tak zapisany profil z biblioteki funkcją **Wczytaj z biblioteki**.

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

Po zakończeniu edycji przekroju można wykonać (naciskając przycisk **Raport**) dodatkowy jednostronicowy raport, zawierający wszystkie parametry i charakterystyki edytowanego przekroju. Przykład widoku takiego raportu pokazano poniżej:

## Przekroje elementów



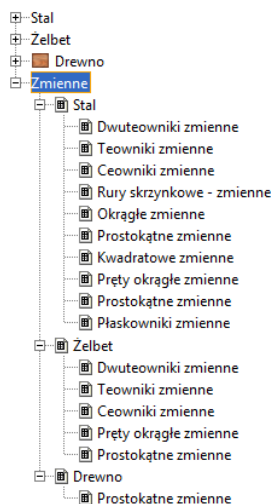
Rys. 4.10 Przykładowy raport z Edycji przekroju

## 4.6 PRZEKROJE O ZMIENNEJ GEOMETRII

### 4.6.1 Definiowanie profili zmiennych, ich możliwości i ograniczenia

Przekroje o zmiennej geometrii definiujemy w programie tak jak wszystkie pozostałe typy przekrojów, wybierając odpowiedni ich rodzaj z biblioteki przekrojów.

## Przekroje elementów



Rys. 4.11 Dostępne profile zmienne w podstawowej bibliotece programu

Dostępne w programie przekroje o zmiennej geometrii, w bibliotece profili podzielone zostały na trzy podstawowe grupy materiałowe, z których do każdej przypisano odpowiednie typy przekrojów. Choć formalnie zastosowano podział materiałowy, w programie nie ma przeszkód aby wykonać np. przekrój zmienny, drewniany o kształcie dwuteownika. W tym celu wystarczy wybrać profil z grupy profili stalowych, a następnie zmienić przypisany do niego materiał na odpowiednią klasę drewna.

Stosowanie profili o zmiennej geometrii w programie podlega następującym ograniczeniom:

- z profili o zmiennej geometrii nie można budować profili złożonych – tzn. nie można do profilu o stałym przekroju dodać przekroju zmiennego i odwrotnie do profilu zmiennego nie można dołożyć żadnego innego profilu stałego, zmiennego lub wczytanego z pliku DXF,
- dla prętów typu „ciągnio” nie można stosować profili o zmiennej geometrii i odwrotnie, pręty mające przekrój zmienny na długości, nie mogą być prętami typu „ciągnio”,
- zmienność przekroju realizowana jest w programie zawsze jedynie po jednym wybranym przez użytkownika parametrze przekroju np. wysokości przekroju albo szerokości półek.

Profile zmienne zawarte w ogólnej bibliotece profili, zawierają po jednym edytowalnym przykładzie każdego typu przekroju, natomiast każdy profil zdefiniowany indywidualnie przez użytkownika, może zostać zapisany w bibliotece użytkownika i w dowolnej chwili wykorzystany w innym projekcie.

Dla profili o zmiennej geometrii można (czasem jest to wręcz wskazane) stosować również mimośrodowo jedno lub dwustronne.

Definiowanie przekroju o zmiennej geometrii w programie realizowane jest przez przypisanie do początku i końca prętów dwóch różnych przekrojów różniących się co najwyżej jednym parametrem. Zmienność wybranego parametru przekroju, przypisanego do określonego pręta, realizowana jest w programie liniowo względem jego długości. Przy czym jako początek pręta rozpoznawany jest zawsze ten węzeł, który do układu został wprowadzony jako pierwszy.

#### 4.6.2 Edycja przekrojów o zmiennej geometrii

Edycja przekrojów o zmiennej geometrii odbywa się w oknie **Edytora przekroju** analogicznie jak w przypadku pozostałych przekrojów. Jednak sam wygląd okna **Edycji przekrojów** różni się nieznacznie w przypadku profili zmiennych. Główną część okna zajmują dwa widoki przekroju przedstawiające widok przekroju początku (górny) i końca (dolny) pręta. Po lewej i prawej stronie widoków przekroju umieszczono **Wymiary** przekroju i jego **Parametry geometryczne**, które zawsze jednocześnie wyświetlane są dla początku albo końca pręta. O tym które parametry aktualnie są wyświetlane decyduje to który z profili jest w danej chwili zaznaczony. Zaznaczenie to sygnalizowane jest pociemnionym podświetleniem przekroju pręta i pogrubionym napisem **Początek** lub **Koniec pręta**. Pod listą wymiarów przekroju widoczną z lewej strony okna umieszczony jest wybór aktualnego **Parametru zmienności**. Lista dostępnych parametrów zmienności przekroju dostosowana jest do aktualnie edytowanego typu przekroju. Wybór parametru zmienności np. wysokości przekroju „h”, mówi o tym, że wartość tego parametru może być ustawiona inna dla początku i końca pręta (pozostałe parametry dla obu końców ustawione są zawsze tak samo). W przypadku niektórych typów przekrojów mamy do dyspozycji tzw. parametry synchro-

## Przekroje elementów

niczne, które zmieniają się jednocześnie wg takiej samej proporcji. Chodzi tu o takie np. parametry jak grubości lub szerokości obu pólki dwuteownika. W przypadku gdy wyjściowo mamy np. do czynienia z dwuteownikiem o takiej samej szerokości obu pólki, oraz gdy parametr zmienności ustawimy na szerokość pólki dwuteownika, wówczas zmiana jednej pólki dwuteownika będzie skutkowała identyczną zmianą szerokości drugiej pólki. W przypadku gdy wyjściowo pólki są różnej szerokości i parametr zmienności ustawimy na szerokość pólki dwuteownika, wówczas zmiana szerokości jednej pólki będzie skutkowała zmianą szerokości drugiej w ten sposób, aby zostały zachowane takie same proporcje szerokości odpowiednich pólki między początkiem i końcem pręta. Poniżej pola wyboru **Parametru zmienności** znajduje się przycisk – **Zamień końce pręta** – którego każdorazowe wciśnięcie powoduje zamianę przekrojów przypisanych odpowiednio do początku i końca pręta. Dostęp do tej funkcji możliwy jest jeszcze z dwóch miejsc w programie: z okna **Menagera przekrojów**, oraz z menu kontekstowego prawego klawisza myszki dla zaznaczonych prętów do których został przypisany przekrój zmienny. W przypadku **Menagera przekrojów** funkcja **Zamień końce pręta** pojawia się tylko dla przekrojów o zmiennej geometrii i zamienia przekroje przypisane do końców pręta bez zmiany nazwy profilu. W menu podręcznym funkcja ta działa różnie na pręty, w zależności od tego czy w układzie zaznaczone są wszystkie pręty o danym przekroju zmiennym czy tylko ich część. W tym drugim przypadku tworzona jest kopia przekroju zmiennego o zmienionej nazwie i dla niej zamieniane są przekroje na końcach pręta.

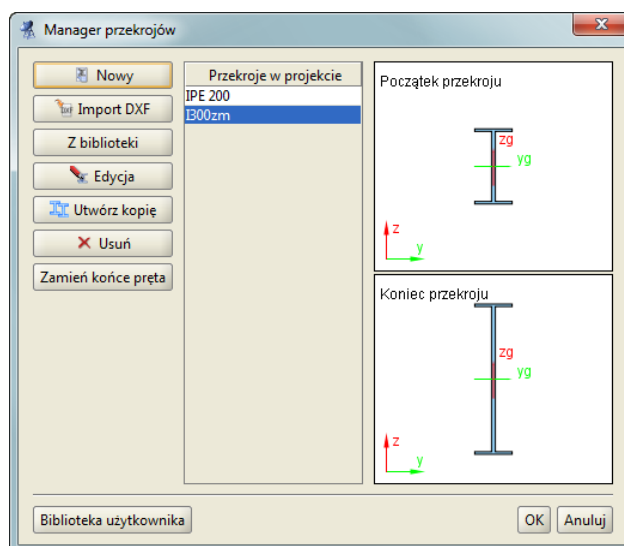
Dla przekrojów o zmiennej geometrii niedostępne są niektóre funkcje edycyjne dostępne dla zwykłych przekrojów, takie jak:

- dołączanie innego przekroju z biblioteki,
- dołączanie profili wczytywanych z pliku DXF,
- wstawiania kopii przekroju,
- obrót przekroju względem układu lokalnego pręta,
- docinania przekroju,
- obracania (wyrównywania) przekroju o kąt między osiami lokalnego układu współrzędnych i osiami głównymi (w niektórych przypadkach może on być inny dla początku i końca przekroju zmiennego).

Dla przekrojów o zmiennej geometrii dostępne są funkcje:

- obrotu początku i końca przekroju o taki sam, dowolny kąt względem układu lokalnego,
- odbicia lustrzanego przekroju względem poziomej i pionowej osi lokalnej, bez pozostawiania wyjściowej kopii (brak możliwości wykonywania złoża).

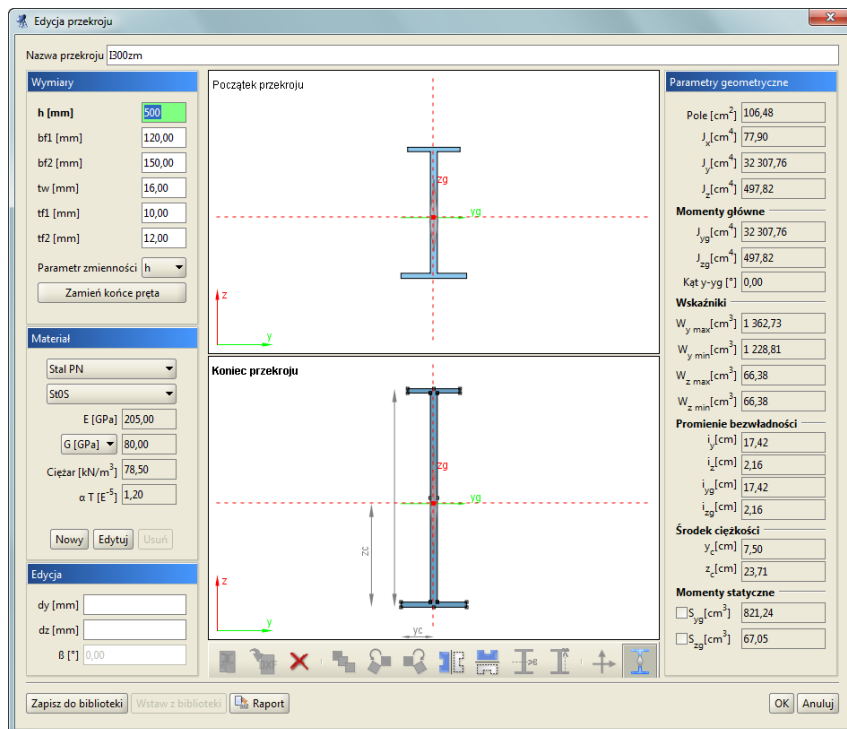
Wykonanie raportu z okna **Edycji przekroju** dla przekrojów o zmiennej geometrii sprowadza się do wykonania dwóch kartek raportu zawierających osobno wymiary i parametry początku i końca pręta o zmiennej geometrii. Widok i poprawność ułożenia przekroju zmiennego wprowadzonego do układu, można zawsze sprawdzić na szczegółowym widoku 3D.



Rys. 4.12 Widok przekroju zmiennego w Managerze przekrojów



## Przekroje elementów



Rys. 4.13 Widok okna *Edycji przekroju* dla przekroju o zmiennej geometrii

**Uwaga:**

Dla przekrojów o zmiennej geometrii w *Edytorze przekrojów* niedostępna jest opcja obrotu przekroju względem układu lokalnego pręta (kąt  $\beta$ ).

### 4.6.3 Obliczenia prętów o przekroju zmiennym

W rzeczywistości pręty o przekroju zmiennym, dla których jeden z parametrów zmienia się liniowo mają przeważnie proste krawędzie, tak też jest w *Widoku 3D*, który powstaje przez liniowe połączenie odpowiednich punktów przekroju początkowego i końcowego pręta o zmiennej geometrii. Ponieważ dla przekrojów niesymetrycznych lub monosymetrycznych, przy liniowej zmienności dowolnego parametru przekroju, linia środków ciężkości nie jest linią prostą, w modelu obliczeniowym takiego pręta zmiennego, zastosowano dopuszczalne przybliżenie polegające na tym, że to środki ciężkości przekroju zmiennego leżą na linii prostej a jego krawędzie są minimalnie wygięte.

**Macierze sztywności elementów:** dla każdego pręta o zmiennej sztywności tworzona jest indywidualnie macierz sztywności poprzez poszukiwanie kątów obrotów węzłów wywołanych siłami przywęzłowymi.

**Wektory sił węzłowych:** siły węzłowe od kolejnych obciążeń zewnętrznych obliczane są dla każdego pręta korzystając z metody sił.

Tworzenie globalnej macierzy sztywności i określenie wektora przemieszczeń węzłowych wykonywane jest tak jak dla ram z prętami o stałej sztywności.

Określenie końcowych sił wewnętrznych jest wykonywane z wykorzystaniem macierzy sztywności rozpatrywanego pręta. Macierz sztywności pręta i wyjściowe siły przywęzłowe określono bez podziału pręta na dodatkowe elementy przeprowadzając całkowanie na długości pręta. Całki oznaczone obliczono numerycznie korzystając z przybliżonej kwadratury Gaussa.

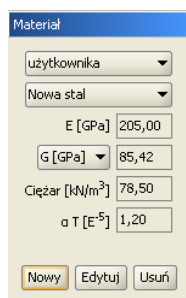
## 4.7 BIBLIOTEKA MATERIAŁÓW

W programie zaimplementowano nową bazę parametrów materiałowych w postaci pliku „XML” zawierającą predefiniowane, podstawowe typy materiałów konstrukcyjnych podzielone na odpowiednie klasy i gatunki. Aktualnie są to: *Stal PN*, *Stal EN*, *Aluminium*, *Beton*, *Drewno*. Do każdej klasy materiałowej przypisano do-



## Przekroje elementów

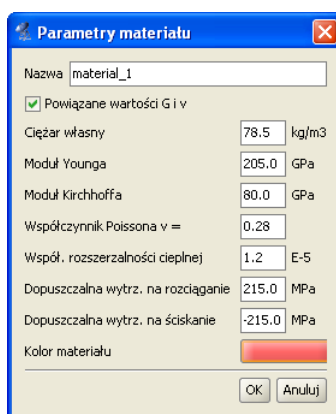
myślne wartości granicznych wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie, pozwalające w niektórych przypadkach oszacować przekroczenie sprężystych naprężeń normalnych. Wartości te wykorzystywane są jako ustawienia domyślne (użytkownik może je później zmienić) wartości granicznych w oknie **Grup prętów i elementów wymiarowych**, natomiast nie są one w żadnym razie wykorzystywane przy pełnym wymiarowaniu prętów i elementów wymiarowych. Poza materiałami predefiniowanymi, nowa biblioteka umożliwia wprowadzenie do programu nowych materiałów użytkownika. W odróżnieniu od materiałów predefiniowanych, materiały użytkownika mogą podlegać pełnej edycji (mogą być usuwane i modyfikowane). Definiowanie materiałów użytkownika realizowane jest w programie w oknie **Edycja przekroju** w grupie **Material**:



Rys. 4.14 Definicja materiału widoczna w oknie Edycji przekroju

W dolnej części ramki grupy **Material** znajdują się przyciski: **Nowy**, **Edytuj**, **Usuń**:

- Opcja **Nowy** otwiera nowe okno pozwalające zdefiniować parametry nowego materiału użytkownika takie jak: nazwa, ciężar własny, moduł Younga i Kirchhoffa, współczynnik Poissona i rozszerzalności termicznej oraz dopuszczalną wytrzymałość na ściskanie, rozciąganie i kolor materiału.



Rys. 4.15 Okno definicji i edycji Parametrów materiału

- Opcja **Edytuj** otwiera to samo okno co powyżej pozwalając edytować wprowadzone wcześniej parametry materiału użytkownika (dla materiału predefiniowanego opcja uruchamia powyższe okno w trybie podglądu bez możliwości edycji).
- Opcja **Usuń** – usuwa wcześniej wprowadzony materiał użytkownika z biblioteki materiałów (opcja ta nie jest aktywna dla materiałów predefiniowanych).

Zaznaczenie opcji powiązania wartości współczynnika Poissona i modułu Kirchhoffa spowoduje przeliczenie jednej wartości na podstawie wprowadzonej drugiej wartości. Odznaczenie tej opcji pozwoli na zapamiętanie oddzielnie obu wartości, takich jak je zdefiniował użytkownik. Przy definicji własnych materiałów należy pamiętać że w żadnej sytuacji nie będzie dla nich przeprowadzone wymiarowanie, natomiast statyka przy poprawnie wprowadzonych parametrach powyżej, będzie również przeliczona prawidłowo.

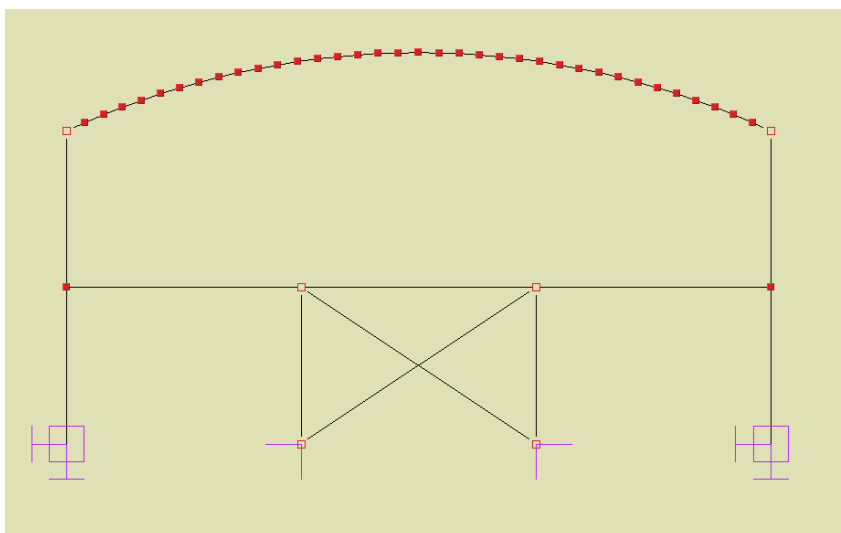
Tak zdefiniowane i zapisane w bibliotece programu materiały użytkownika mogą być używane we wszystkich projektach. W przypadku użycia w projekcie materiału użytkownika, dane tego materiału również są zapisywane w projekcie i przeniesienie projektu na inny komputer z inną bazą materiałów nie powoduje utraty informacji o użytych materiałach. Praca z materiałami użytkownika przy przenoszeniu projektów między różnymi komputerami jest analogiczna do funkcjonalności opisanej przy pracy z definicjami typów wymiarowania.

## Tworzenie przykładowej konstrukcji

# 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

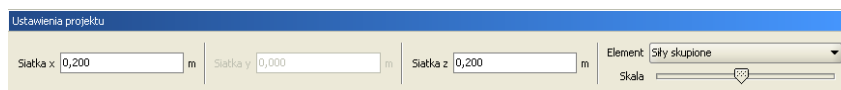
## 5.1 OPIS KONSTRUKCJI

Jest to hala stalowa w parterze trzynawowa o wymiarach 18m x 8m przekryta łukiem. Strzałka łuku kołowego wynosi 2 m. Podparcie układu stanowią na skraju podpory sztywne a w środku 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 0,2m (rys. 5.2).



Rys. 5.2 Ustawienie siatki

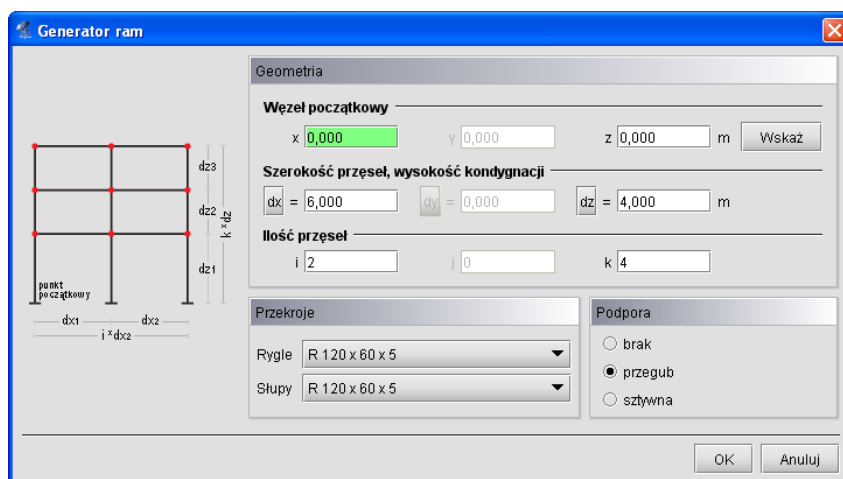
W przykładzie wprowadzono pięć profili: słup wewnętrzny i zewnętrzny, rygiel, element łuku.



## 5.3 GENERATORA RAM PROSTOKĄTNYCH

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 górne oraz słupy pietra i wstawić łuk dachu.

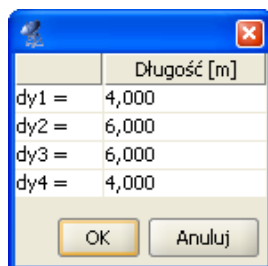
## Tworzenie przykładowej konstrukcji



Rys. 5.3 Generator ram prostokątnych

Generator umożliwia generowanie ram prostokątnych wielonawowych i wielokondygnacyjnych w dowolnym miejscu płaszczyzny „xz”. Punkt początkowy tworzonej ramy można określić przez wpisanie współrzędnych do odpowiednich pól tekstowych lub jego wskazanie na ekranie. Jeśli przed uruchomieniem generatora jeden węzeł układu będzie zaznaczony, to współrzędne tego węzła zostają potraktowane jako punkt początkowy.

Parametry  $i$ ,  $k$  odpowiadają za ilość przęseł i kondygnacji układu na kierunkach odpowiednio: szerokość, wysokość. Jeśli jeden z parametrów będzie równy zero wynikiem działania generatora będzie belka wieloprzęsłowa. Szerokości wszystkich przęseł oraz wysokości wszystkich kondygnacji określa się w polach tekstowych opisanych jako  $dx$ ,  $dz$ . 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).



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 ramy. Można pozostawić wpisane wartości domyślne  $(0, 0)$ .

Następnie określamy ilość przęseł. Na kierunkach  $i$  (szerokość) – 3 nawy po 6m oraz  $k$  (wysokość) – 2 kondygnacje po 4m.

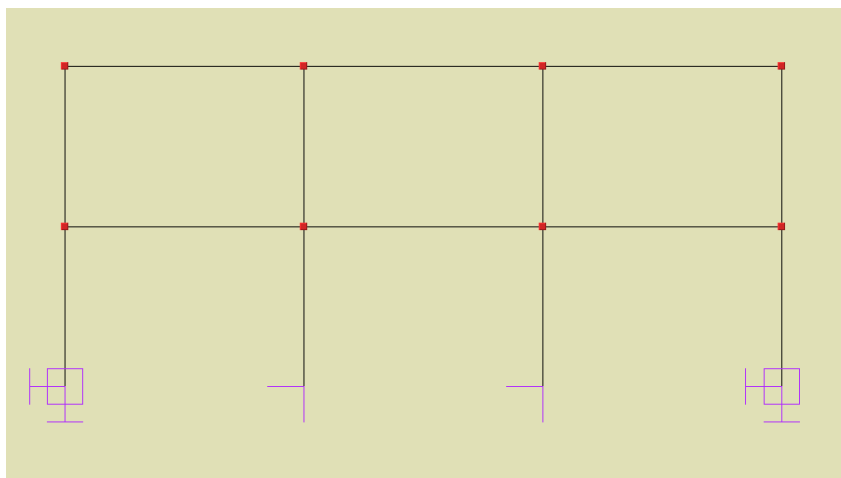
Szerokość całkowita ramy wynosi 18 m. Odległości między kondygnacjami możemy określić w oknie, które otworzy się po wciśnięciu przycisku  $dz$  (rys. 5.4) dla każdej kondygnacji osobno. Gdyby wpisane wartości były różne będzie to sygnalizowane w polu tekstowym  $dz$ , w następujący sposób:  $[..]$ .

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 jedna z opcji w oknie generatora ram.

Wprowadzana rama będzie miała podpory przegubowe, które później dla słupów zewnętrznych możemy zmienić na sztywne.

## Tworzenie przykładowej konstrukcji

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 poziomy rygiel górny i słupy wewnętrzne drugiej kondygnacji. Należy je usunąć i zastąpić łukiem dachu.

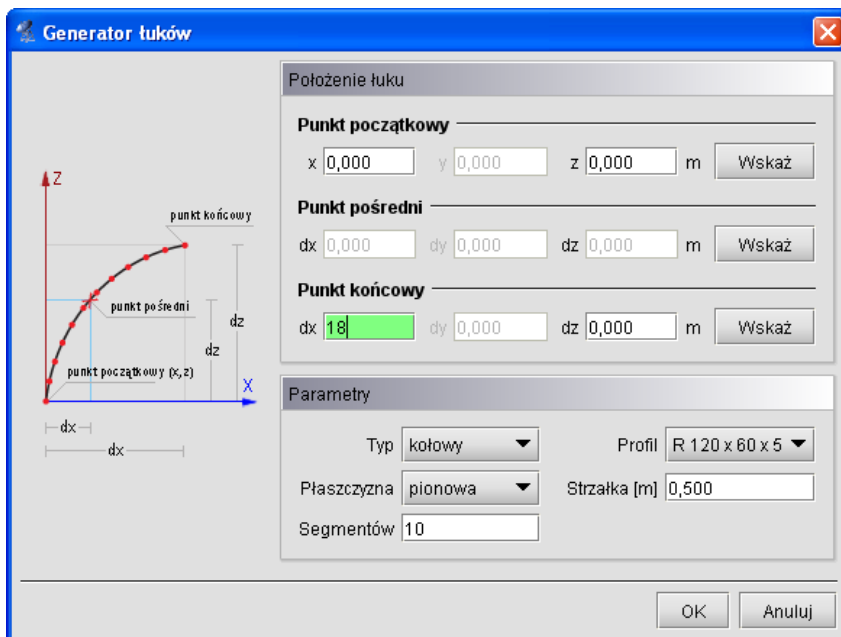
Aby usunąć pręty należy je najpierw zaznaczyć. Sposoby selekcji prętów są opisane w punkcie *Selekcja*. Po wciśnięciu ikony usuwania wszystkie zaznaczone pręty zostaną usunięte. Innym sposobem usuwania zaznaczonych prętów jest wybór funkcji *Usuń zaznaczone pręty* z menu prawego klawisza myszki lub Naciśnięcie klawisza *Delete*. W tym przypadku jednak najwygodniejszym sposobem usunięcia rygla górnego i górnych słupów środkowych jest zaznaczenie i usunięcie dwóch węzłów w których się one stykają, pamiętając że usuwając węzły usuwamy również wszystkie pręty schodzące się w tych węzłach.



### 5.5 GENERATOR ŁUKÓW

Okno *Generatora łuków* przestawione jest na rys. 5.6.

## Tworzenie przykładowej konstrukcji



Rys. 5.6 Generator łuków

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

Do jednoznacznego określenia położenia łuku w płaszczyźnie „xz” 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 lub wskazać je na ekranie graficznym. Znacznie wygodniejsze jest jednak wcześniejsze wskazanie (zaznaczenie) 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 i końcowy lub 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 umieszczane 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.

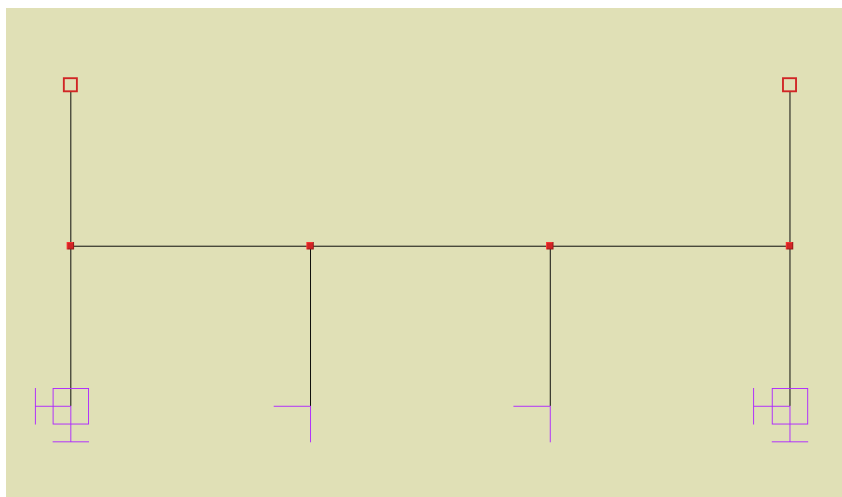
Podobnie jest w przypadku łuku parabolicznego. Tam stałe są jednak odległości między rzutami węzłów łuku na odcinek łączący punkt początkowy i końcowy łuku.

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 2 m. Łuk składa się z 36 segmentów.

Przed uruchomieniem generatora wskazujemy punkty przez które zostanie poprowadzony łuk (rys. 5.7).

## Tworzenie przykładowej konstrukcji



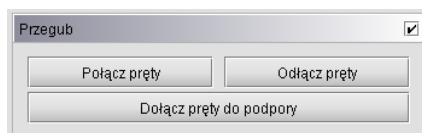
Rys. 5.7 Przed uruchomieniem generatora łuków

W oknie generatora ustawiamy odpowiednie parametry: łuk kołowy, płaszczyzna pionowa, ilość segmentów (36), profil i strzałka łuku (2m). Po wciśnięciu przycisku **OK** łuk zostanie wygenerowany.

## 5.6 WPROWADZANIE PRZEGUBÓW

Łuki ze słupami skrajnymi mają być połączone przegubowo. Wynikiem pracy generatora jest jednak konstrukcja, której wszystkie węzły są sztywne. Zmodyfikujemy teraz konstrukcję tak, aby węzły łączące słupy z łukiem były przegubowe.

Modyfikacja będzie polegała na utworzeniu przegubów w węzłach górnych słupów skrajnych oraz odłączeniu środkowych słupów dolnych od rygla dolnego. Narzędzia służące do wykonania tych operacji znajdują się w zakładce **Węzły** (rys. 5.8).

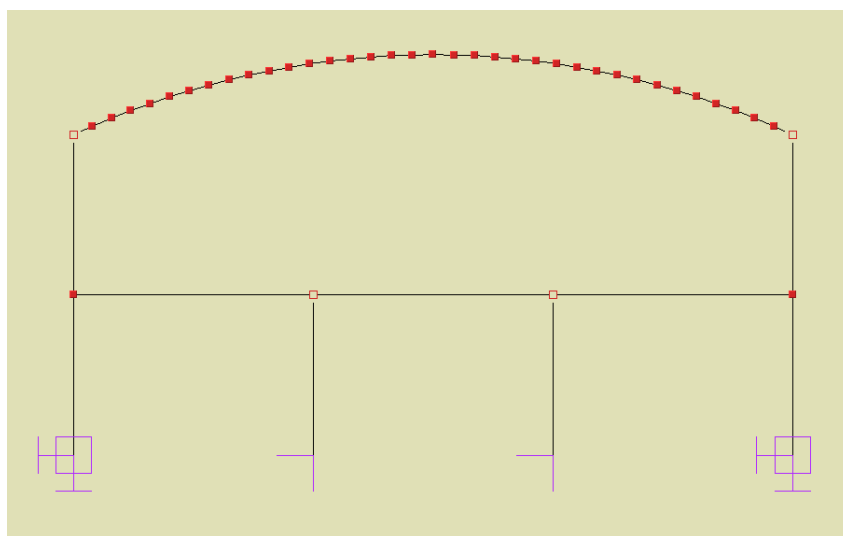


Rys. 5.8 Narzędzia do operacji w przegubach

Narzędzia te operują na uprzednio zaznaczonych węzłach i prętach. W przypadku odłączania prętów przed wykonaniem operacji zaznaczone muszą być pręty odłączane i węzły w których to odłączenie ma nastąpić.

W polu wyboru znajdującym się na pasku grupy **Przegub** można określić czy zaznaczone węzły mają być przegubami. Poniżej przedstawiono widok układu po modyfikacji:

## Tworzenie przykładowej konstrukcji



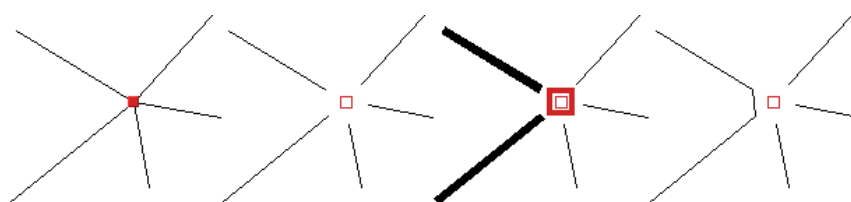
Rys. 5.9 Wprowadzanie przegubów do ramy

gubów do ramy

### 5.6.1 Połącz pręty

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

Rysunek 5.10 przedstawia typowe użycie tej funkcji.



Rys. 5.10 Zeszywnianie 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.

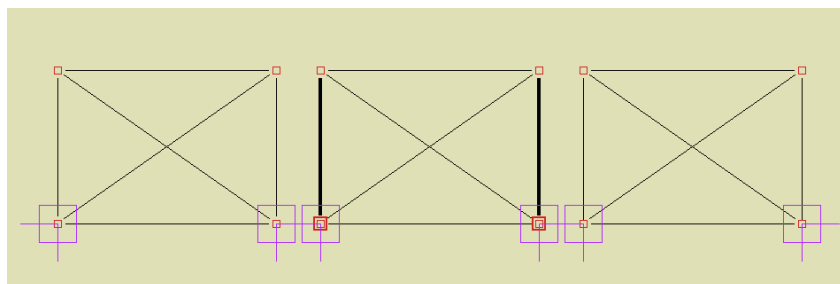
### 5.6.3 Dołącz pręty do podpory

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.



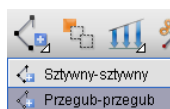
Rys. 5.9 Sztywne łączenie prętów z podporą

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 typu wprowadzanego pręta (rys. 5.10).

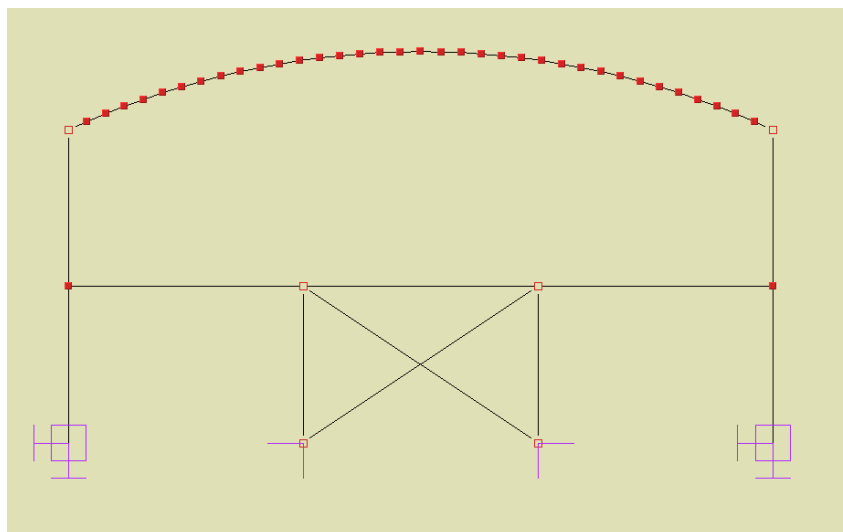


Rys. 5.10 Zmiana trybu rysowania

Tryb rysowania można zmieniać także podczas rysowania układu. Opisanego trybu użyto przy wprowadzaniu stężeń typu X w środkowej nawie. Poniżej pokazano gotowy efekt wprowadzania układu:



## Tworzenie przykładowej konstrukcji

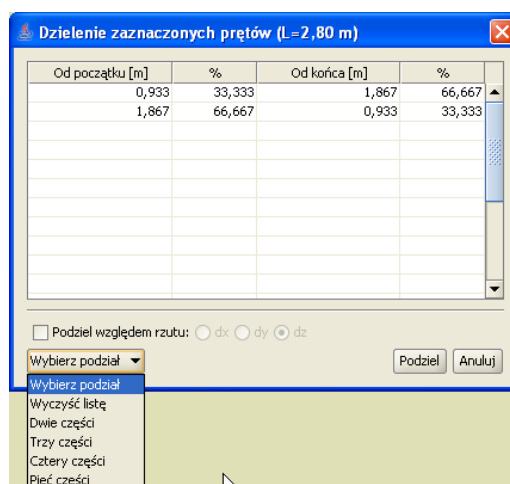


Rys. 5.11 Widok hali



## 5.8 DZIELENIE PRĘTÓW WĘZŁAMI

Okno funkcji dzielenia prętów węzłami przedstawione jest na rysunku 5.14.



Rys. 5.12 Podział prętów węzłami

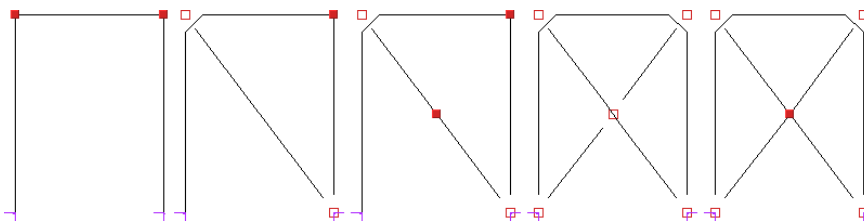
Przed uruchomieniem tej funkcji należy zaznaczyć pręty na których zostaną wprowadzone dodatkowe węzły. Położenie nowych węzłów należy podać w tabeli. Jeśli długości zaznaczonych prętów nie są równe, wówczas można podawać jedynie odległości procentowe nowych węzłów od początkowego lub końcowego węzła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

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.

Podczas dzielenia prętów na których występują obciążenia, po podziale pręta, wcześniej zadane obciążenia znajdują się w przestrzeni dokładnie w tej samej lokalizacji co przed podziałem. Zachowana zostanie również wartość obciążeń i ich kierunek. Zachowanie obciążeń ciągłych przy podziale pręta, zadanych w grupie typu „multi” opisano wcześniej, przy omawianiu grup tego typu.

Funkcja dzielenia prętów zostanie pokazana na przykładzie wprowadzania stężeń typu X do ścian, które są połączone w miejscu przecięcia. Stężenia mają postać dwóch krzyżujących się prętów połączonych sztywno ze sobą. Kolejne kroki wykonywane podczas tworzenia stężeń ścian pokazane są na rysunku 5.15.

## Tworzenie przykładowej konstrukcji



Rys. 5.13 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 również jego własności takie jak np. przekrój, ustawienie lokalnego układu współrzędnych itp.

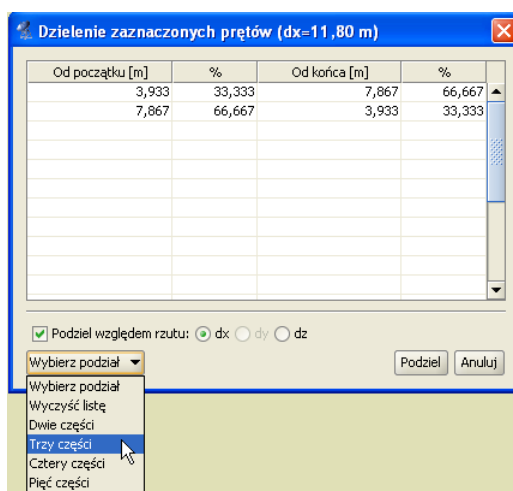
Opcja dzielenia pręta na dowolne odcinki, względem jednego z jego rzutów, jest rozbudowaną opcją dotychczasowego podziału pręta węzłami, względem jego długości. Może być ona wykorzystywana np. przy nierównomiernym podziale prętów krokwi dachów, gdy znana jest wymagana odległość pozioma elementów dochodzących, bez konieczności skomplikowanego przeliczania tych odległości na odpowiednie odcinki liczone po długości dzielonej krokwi.

Dla pojedynczego pręta lub kilku prętów o dokładnie takiej samej długości, dostępna jest opcja podziału względem jego długości w jednostkach metrycznych lub w procentach.

Dla pojedynczego pręta lub kilku prętów o dokładnie takiej samej długości i takim samym kierunku, dostępna jest opcja podziału względem wybranego rzutu prostopadłego tego pręta, na jedną z osi układu globalnego, w jednostkach metrycznych lub w procentach.

We wszystkich pozostałych przypadkach możliwy jest jedynie procentowy podział kilku prętów na raz, względem długości lub jednego z dwóch rzutów (co oczywiście daje dokładnie ten sam rezultat).

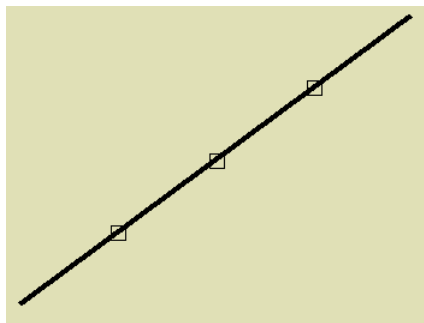
W aktualnej wersji programu wprowadzono również dowolność w podawaniu kolejnych podziałów, nie muszą być obecnie podawane w kolejności od najmniejszego do największego lub odwrotnie. Zachowana jest również zasada, że pomyłkowe podziały, wychodzące poza wymiar długości pręta, pomijane są przy użyciu tej funkcji, oraz nie można wprowadzić podziału pręta w dwóch tak samo opisanych lokalizacjach, w ramach każdej sesji działania funkcji. Pozostawiono także dotychczasowe typy predefiniowanych podziałów równomiernych na 2,3,4 i 5 części. Nowe okno podziału pręta węzłami pokazano poniżej:



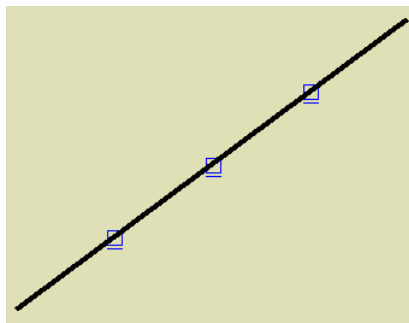
Rys. 5.14 Podział pręta względem jego rzutu dx lub dz

W trakcie definiowania podziału pręta lub prętów, na ekranie graficznym pokazywane są przewidywane położenia nowych węzłów, pozwalające na orientacyjną kontrolę poprawności wprowadzanego podziału. Symbole wskazujące położenie nowych węzłów różnią się w zależności od tego czy podział wykonywany jest względem długości, czy względem jednego z trzech rzutów prostopadłych na osie układu globalnego.

## Tworzenie przykładowej konstrukcji



Rys. 5.15 Symbole punktów podziału pręta względem jego długości



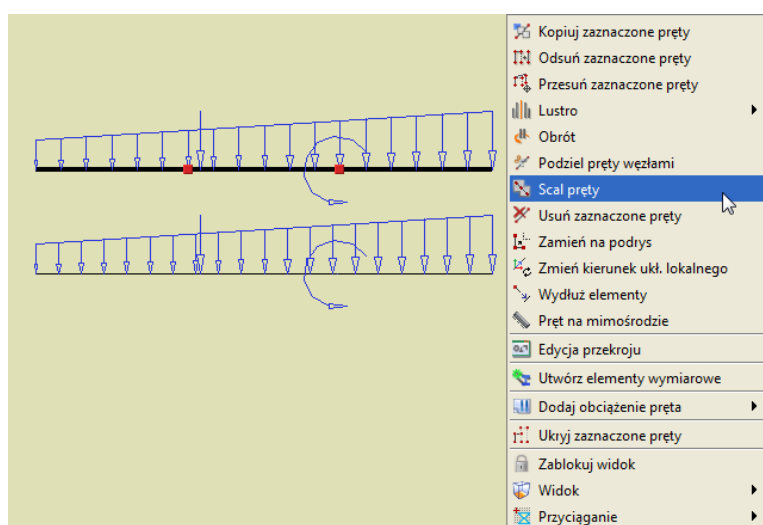
Rys. 5.16 Symbole punktów podziału pręta względem jego rzutu dx

## 5.9 SCALANIE PRĘTÓW

Funkcją odwrotną do podziału pręta węzłami, jest operacja scalania prętów w jeden pręt. Dostępna jest ona jedynie w przypadku zaznaczenia kilku kolejnych, połączonych ze sobą, współliniowych prętów, z menu kontekstowego prawego klawisza myszki. Aby operacja ta była możliwa do realizacji, pręty które mają być scalone, muszą jednocześnie spełniać kilka warunków:

- Wszystkie kolejne pręty muszą być współliniowe.
- Wszystkie pręty muszą mieć taki sam przekrój.
- Wszystkie pręty muszą należeć do jednej grupy prętów.
- Wszystkie pręty muszą mieć jednakowo zlokalizowany układ współrzędnych.

Skutkiem działania tej funkcji jest zamiana kilku kolejnych, współliniowych prętów w jeden pręt o początku i końcu pokrywającym się z węzłem początkowym i końcowym scalanych prętów skrajnych. Tak otrzymany element przejmuje wszystkie cechy(przekrój, grupę, LUW) łączonych prętów. W przypadku występowania obciążeń na prętach scalanych, po operacji scalania są one dodawane w taki sposób że nadal pozostają na swoich miejscach w przestrzeni (jak przed scaleniem). Wyjątek stanowią tu obciążenia termiczne które zawsze przyłożone są do całego pręta po scaleniu. W przypadku gdy do węzłów pośrednich scalanych prętów, dochodzą inne niewspółliniowe pręty, po operacji scalania pozostają one nadal w pierwotnej lokalizacji a jedynie pręty scalane są od nich odłączone. Po przypadkowym podziale pręta węzłem (np. na skutek włączonej opcji przyciągania do punktu bliskiego pręta), funkcja ta pozwala na ponowne jego scalenie bez potrzeby wykorzystania funkcji cofnij.



Rys. 5.17 Wywołanie funkcji scalania i widok obciążeń przed i po scaleniu

Zachowanie obciążeń przy scalaniu pręta, zadanych w grupie typu „multi” opisano wcześniej, przy omawianiu grup tego typu.

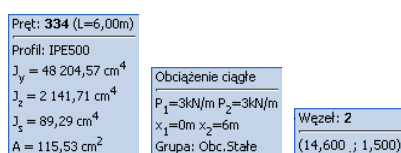
# 6 MODYFIKOWANIE WPROWADZONEGO UKŁADU

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 (węzła) powoduje wyświetlenie informacji o nim na zakładce **Geometria**, a przy zaznaczeniu obciążenia pojawiają się jego parametry na zakładce **Obciążenia**. Wartości w odpowiednich polach można modyfikować. W przypadku gdy zaznaczone jest kilka prętów, węzłów lub obciążeń, parametry dla nich wspólne wyświetlane są na odpowiednich zakładkach. W przypadku gdy dla zaznaczonych obiektów, parametry są różne wyświetlany jest wówczas znak [..], a w przypadku list wyboru puste pole.

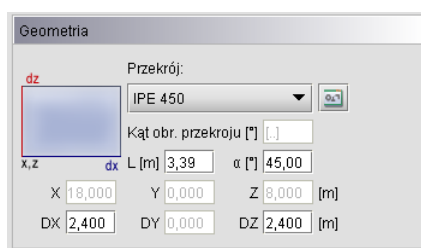
Inną możliwością uzyskania informacji o elementach projektu są tzw. **chmurki pomocy (tooltipy)**. Są to niewielkie pola tekstowe wyświetlane po zatrzymaniu wskaźnika myszy nad obiektem przez kilka sekund.



Rys. 6.1 Chmurki pomocy (tooltipy)

## 6.2 MODYFIKACJE PRĘTÓW

Po zakończeniu rysowania układu możliwości modyfikacji geometrii układu w programie są następujące: zmiana profili prętów, zmiana położenia węzłów układu, ich usuwanie i wyrównanie, usuwanie, przesuwanie, kopiowanie, odsuwanie prętów, dzielenie prętów węzłami, oraz wprowadzanie przegubów, usuwanie i modyfikacja obciążeń.



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**).

## Modyfikowanie wprowadzonego układu

### 6.3 MODYFIKACJE PODPARCIA

Dla zaznaczonych węzłów można definiować podpory - określać które przemieszczenia i obrót mają być zablokowane. Modyfikacje te wykonuje się korzystając z pól znajdujących się w grupie **Podpory** w zakładce **Geometria**. Zaznaczając odpowiednie pola ( $r_x$ ,  $r_y$ ,  $r_z$ ,  $\phi_x$ ,  $\phi_y$ ,  $\phi_z$ ) włącza się blokady przemieszczeń i obrotu na poszczególnych kierunkach globalnego układu współrzędnych.

Dla każdej blokady można dodatkowo określić wartość jej sprężystości (pola  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$ ,  $f_x$ ,  $f_y$ ,  $f_z$ ).

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 automatyczną poprawę danych (przez usunięcie obciążeń lub sprężystości podpory) lub 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.

Wprowadzanie i modyfikacje obciążeń omówiono w następnym rozdziale podręcznika.



### 6.4 FUNKCJA COFNIJ I PRZYWRÓĆ

W ramach każdej otwartej sesji programu użytkownik może dowolną ilość razy wykorzystać funkcję cofnij i przywróć. Pozwala to na wycofanie się w każdej chwili z błędnie wykonanej operacji lub przywrócenie stanu projektu z przed operacji cofnij. Należy tu pamiętać, że program zapamiętuje listę zmian jedynie w ramach jednej sesji jego działania. Po zapisaniu projektu, zamknięciu programu i ponownym uruchomieniu tego samego projektu, lista wcześniejszych zmian nie będzie pamiętana.

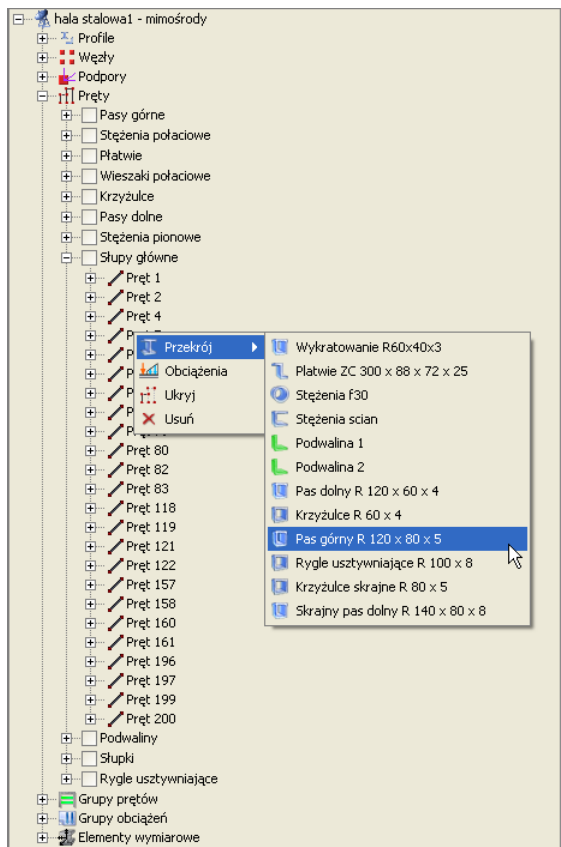
### 6.5 EDYCJA ELEMENTÓW Z POZIOMU „DRZEWA PROJEKTU”

W aktualnej wersji programu wprowadzono możliwość edycji z poziomu „drzewa” projektu, parametrów większości elementów zdefiniowanego układu. Poszczególne funkcje edycyjne dostępne są z menu kontekstowego prawego klawisza myszki, w momencie gdy jej kursor ustawiony jest nad odpowiednim elementem „drzewa” projektu. Rozbudowano również zakres informacji dostępnych w „drzewie” projektu o:

- W gałęzi **Pręty** – o informacje dotyczące sposobu dojścia pręta w węzle początkowym i końcowym.
- W gałęzi **Pręty** umożliwiono zaznaczanie w „drzewie” całej grupy prętów, analogicznie jak w gałęzi **Grupy prętów**.
- W gałęzi **Grupy obciążeń** dodano parametr **Widoczna/Niewidoczna** (niewidocznej grupy nie można zaznaczyć w „drzewie” projektu).

Przykład wywołania menu podręcznego edycji z poziomu „drzewa” projektu przedstawiono poniżej:

## Modyfikowanie wprowadzonego układu

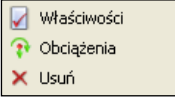
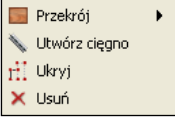
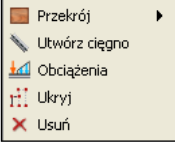
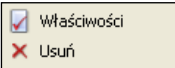
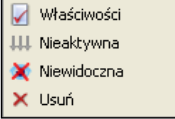
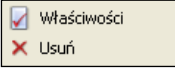
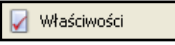
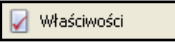


Rys. 6.4 Edycja elementów z poziomu drzewa projektu

Z poziomu „drzewa” projektu można edytować następujące elementy: profile przekroju, węzły i podpory, niektóre parametry prętów, grupy prętów, grupy obciążeń, kombinacje użytkownika, zależności grup obciążeń zmiennych i elementy wymiarowe. W większości przypadków tak wywołane funkcje edycyjne, wykonują bezpośrednie działanie lub przełączają użytkownika do odpowiedniego, istniejącego okna, odpowiedzialnego za ustawienie parametrów wskazanego elementu. W przypadku edycji właściwości węzłów i podpór, która dotychczas była możliwa jedynie na zakładce **Geometria** – dodano odpowiednie okno edycyjne. Poniżej w tabeli przedstawiono poszczególne elementy i przypisane do nich dostępne funkcje edycyjne wraz z opisem działania funkcji:

| Gałąź drzewka (menu)          | Dostępne pozycje menu | Opis działania funkcji   |
|-------------------------------|-----------------------|--|
| Profile → (konkretny profil)  | Właściwości           | Otwiera okno: <b>Edycji profilu</b> na wybranym profilu.   |
|                               | Usuń                  | Usuwa profil z projektu  |
| Węzły → (konkretny węzeł)     | Właściwości           | Otwiera nowe okno umożliwiające edycję współrzędnych węzła.  |
|                               | Usuń                  | Usuwa węzeł z projektu (wraz z schodzącymi się w nim prętami)  |
| Podpory → (konkretna podpora) | Właściwości           | Otwiera nowe okno umożliwiające edycję współrzędnych i parametrów podpory:<br>$r_x, r_z, \varphi_y, k_x, k_z, f_y$ |
|                               | Obciążenia (opcja)    | Otwiera okno edycyjne: <b>Obciąż-</b>  |

## Modyfikowanie wprowadzonego układu

|   |   |   |
|---|---|---|
|    |   | <b>zenia węzła</b> podporowego dla danej podpory.   |
|   | Usuń  | Likwiduje podporę w danym węźle (bez jego usunięcia).   |
| Pręty → (konkretna grupa prętów)<br>                     | Przekrój > (rozwijalna lista)                   | Pozwala na przypisanie do wszystkich prętów w grupie wybranego profilu z listy.                             |
|   | Utwórz cięgno/Usuń cięgno (opcja) (przełącznik) | Ustawia lub usuwa dla wszystkich prętów w grupie typ cięgno (dostępna jeśli wszystkie są tego samego typu). |
|   | Ukryj/Pokaż (przełącznik)                       | Ukrywa lub pokazuje grupę prętów w układzie.  |
|   | Usuń  | Usuwa z projektu wszystkie pręty zawarte w danej grupie prętów bez usuwania nazwy grupy.                    |
| Pręty → (konkretna grupa prętów) → (konkretny pręt)<br> | Przekrój > (rozwijalna lista)                   | Pozwala na przypisanie do pręta innego profilu z listy.   |
|   | Utwórz cięgno/Usuń cięgno (opcja) (przełącznik) | Ustawia lub usuwa dla danego pręta typ cięgno (dostępna jeśli pręt jest dwuprzegubowy).                     |
|   | Obciążenia (opcja)                              | Otwiera okno edycyjne: <b>Obciążenia pręta</b> dla danego pręta.  |
|   | Wymiarowanie > (opcjonalna lista)               | Pozwala na przejście do wymiarowania danego pręta.  |
|   | Ukryj/Pokaż (przełącznik)                       | Ukrywa lub pokazuje pręt w układzie.  |
| Grupy prętów → (konkretna grupa prętów)<br>            | Właściwości                                     | Otwiera okno edycyjne: <b>Grupy prętów i elementów wymiarowych</b> na danej grupie prętów.                  |
|   | Usuń  | Usuwa zdefiniowaną grupę prętów z układu (bez usuwania samych prętów).                                      |
| Grupy obciążeń → (konkretna grupa obciążeń)<br>        | Właściwości                                     | Otwiera okno edycyjne: <b>Grupy obciążeń</b> na zaznaczonej grupie obciążeń.                                |
|   | Aktywna/Nieaktywna (przełącznik)                | Ustawia grupę obciążeń jako aktywną lub nieaktywną.   |
|   | Widoczna/Niewidoczna (przełącznik)              | Ustawia grupę obciążeń jako widoczną lub niewidoczną.   |
|   | Usuń  | Usuwa grupę obciążeń wraz ze wszystkimi obciążeniami zdefiniowanymi w tej grupie.                           |
| Kombinacje użytkownika → (konkretna kombinacja)<br>    | Właściwości                                     | Otwiera do edycji okno: <b>Kombinacji użytkownika</b> .   |
|   | Usuń  | Usuwa daną kombinację z projektu.   |
| Zależności grup<br>                                    | Właściwości                                     | Otwiera do edycji okno: <b>Zależności grup obciążeń</b> .   |
| Elementy wy-<br>                                       | Właściwości                                     | Otwiera okno edycyjne: <b>Listy</b>   |



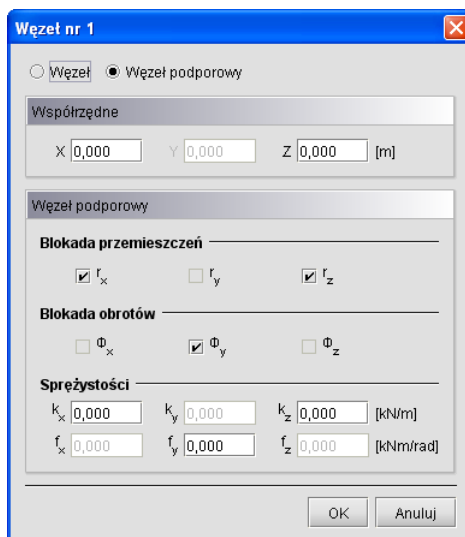
## Modyfikowanie wprowadzonego układu

|   |             |   |
|---|-------------|---|
| miarowe →<br>(konkretna grupa prętów)<br><input checked="" type="checkbox"/> Właściwości<br><input checked="" type="checkbox"/> Rozbij  |             | <b>złożonych elementów wymiarowych.</b>   |
|   | Rozbij      | Rozbija elementy wymiarowe na pręty w danej grupie prętów (usuwa element z projektu).   |
| Elementy wymiarowe →<br>(konkretna grupa prętów)<br>→ (konkretny element wymiarowy)<br><input checked="" type="checkbox"/> Właściwości<br><input checked="" type="checkbox"/> Zmień nazwę<br><input checked="" type="checkbox"/> Rozbij | Właściwości | Otwiera okno edycyjne: <b>Listy złożonych elementów wymiarowych</b> na danym elemencie. |
|   | Zmień nazwę | Otwiera okienko edycji: <b>Zmień nazwę</b> elementu wymiarowego.                        |
|   | Rozbij      | Rozbija element wymiarowy na pręty (usuwa element z projektu).                          |

Podczas edycji elementów z „drzewa” projektu należy zwrócić uwagę w jakiej głównej gałęzi „drzewa” jesteśmy, bo właśnie tych elementów będzie zawsze dotyczyła edycja, niezależnie od tego dla jakiej podgałęzi czy elementu wywołano edycję. I tak np. będąc w gałęzi **Pręty**, klikając prawym klawiszem na wybranej **Grupie prętów** i wybierając opcję **Usuń** - będziemy usuwać z układu wszystkie pręty znajdujące się w danej grupie, natomiast sama grupa nie ulegnie usunięciu (pozostanie pusta). Zupełnie inny efekt otrzymamy będąc w gałęzi głównej **Grupy prętów**, klikając tu prawym klawiszem na wybranej **Grupie prętów** i wybierając opcję **Usuń** - będziemy usuwać z układu wskazaną grupę prętów, bez usuwania samych prętów z układu (pręty zostaną przydzielone do domyślnej grupy **Niepogrupowane**).

Przed zastosowaniem funkcji **Usuń** dla prętów i węzłów pojawi się komunikat proszący użytkownika o potwierdzenie operacji, a po jej wykonaniu układ zostanie przenumerowany. Opcja usuwania prętów i węzłów dostępna jest jedynie dla elementów widocznych (nieukrytych).

Poniżej pokazano nowe okno edycji własności dla węzłów i podpór dostępne z menu kontekstowego prawego klawisza myszki w „drzewie” projektu:

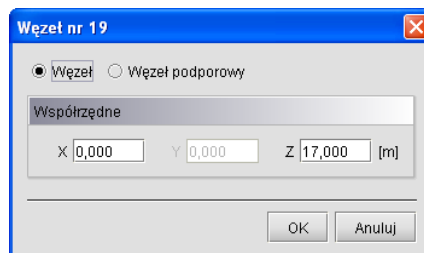


Rys. 6.5 Edycja węzłów podporowych

W przypadku edycji każdego z tych elementów wywoływane jest to samo okno, które posiada dwa widoki. Jeden widoczny powyżej pozwala na edycję współrzędnych, oraz innych parametrów węzłów podporowych. Drugi widoczny poniżej pozwala jedynie na edycję współrzędnych węzłów nie będących podporami.



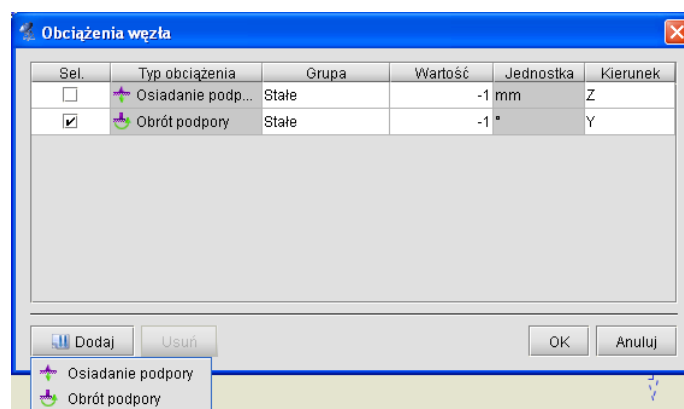
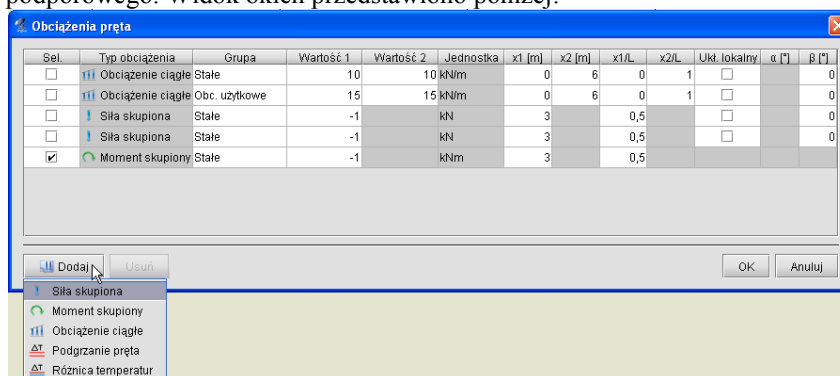
## Modyfikowanie wprowadzonego układu



Rys. 6.6 Edycja węzłów

Zmianę widoku może użytkownik wywołać w każdej chwili przełączając odpowiednio górny znacznik: **Węzeł** lub **Węzeł podporowy**. Takie rozwiązanie umożliwia w każdym momencie utworzenie w dowolnym węźle podpory i odwrotnie, każdą podporę można zamienić w zwykły węzeł układu.

Poza oknem edycji parametrów węzłów i podpór, o parametry edycji, rozbudowane są również okna **Obciążeń** dla pręta i węzła podporowego. Widok okien przedstawiono poniżej:



Rys. 6.7 Okna edycji obciążeń prętowych i podporowych dla pojedynczych prętów lub podpór

Dotychczas okna te służyły jedynie do selekcji pojedynczego obciążenia na pręcie lub w węźle. Opcja ta jest istotna wówczas gdy obciążenia na pręcie lub w węźle pokrywają się i trudno jest je wyselekcjonować graficznie. W aktualnej wersji okna te rozbudowano o możliwości edycji parametrów **Obciążeń**, łącznie z funkcją dodawania i usuwania nowych obciążeń dla pojedynczego pręta lub podpory z poziomu okna dialogowego. Znaczenie parametrów zawartych w poszczególnych kolumnach okien jest analogiczne do odpowiednich danych definiowanych na zakładce **Obciążenia**, zależnie od typu dodawanego oddziaływania.

# 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 definiowana jest przez program automatycznie i jej nazwa nie może być modyfikowana. 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 kolejnych wersjach programu. Podczas otwierania starego projektu (do wersji 2.0 włącznie) 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**.

| Nazwa        | Typ     | Charakter | min | max | Aktywna                             | Widoczna                            |
|--------------|---------|-----------|-----|-----|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Ciążar wł... | Stale   | stały     | 1   | 1   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Stale        | Stale   | stały     | 1   | 1   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Obc. użyt... | Zmienne | stały     |     | 1   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Obc. użyt... | Zmienne | stały     |     | 1   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Obc. użyt... | Zmienne | stały     |     | 1   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Obc. użyt... | Zmienne | stały     |     | 1   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Obc. użyt... | Zmienne | stały     |     | 1   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Obc. użyt... | Zmienne | stały     |     | 1   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

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) typ obciążeń działających w danej grupie (stały lub zmienny lub multi) a w kolejnej jej charakter. Następne 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, a wraz z grupą usunięte zostaną wszystkie obciążenia do niej przypisane. Nie można usuwać grupy ciężaru własnego, gdy chcemy wykonać obliczenia bez uwzględniania ciężaru własnego ustawiamy tą grupę jako nieaktywną.

W oknie definicji grup dostępna jest także funkcja usunięcia wszystkich pustych grup obciążeń. Po naciśnięciu przycisku **Czyść** zostaną usunięte wszystkie grupy nie zawierające obciążeń. Do tego celu może być również użyta funkcja oczyszczania projektu.

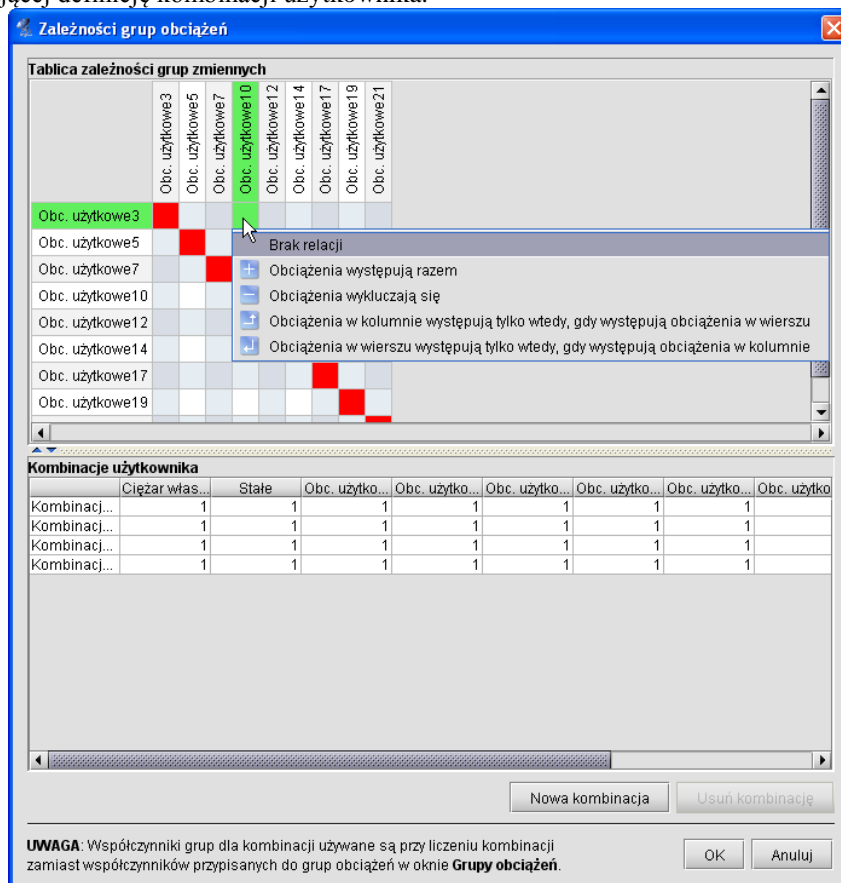
Pozostałe elementy dotyczące grup obciążeń np. specyfika grup multi itp. zostały omówione w poprzednich rozdziałach podręcznika.

## Obciążenia układu



### 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**. Składa się ono z dwóch części: górnej – zawierającej zależności grup obciążeń zmiennych i dolnej – zawierającej definicję kombinacji użytkownika.



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.

W oknie zależności grup obciążeń definiowane są również dodatkowe kombinacje użytkownika, które omówione były szczegółowo w poprzednich rozdziałach podręcznika.

## Obciążenia układu



### 7.3 WPROWADZENIE OBCIĄŻEŃ


Aby zdefiniować obciążenia w projekcie, należy zaznaczyć jeden lub wiele elementów (prętów lub węzłów), na których ma być wprowadzone jednakowe obciążenie. Obciążenia węzłów to osiadanie i obrót podpory. Obciążenia te można wprowadzać tylko w węzłach, w których istnieją podpory. Pozostałe typy obciążeń są dostępne tylko dla prętów i mogą one być następujące: siła skupiona, moment skupiony, obciążenie ciągłe, moment ciągły, różnica temperatur i podgrzanie pręta.

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. Innym sposobem zadania obciążenia jest wybór odpowiedniej opcji z menu kontekstowego prawego klawisza myszki, dla wcześniej zaznaczonej grupy prętów lub węzłów podporowych.

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.

W trakcie wprowadzania nowych obciążeń w polu **Grupa** na zakładce **Obciążenia**, dostępna jest zawsze lista wszystkich grup ustawionych jako widoczne w projekcie (poza specyficzną grupą ciężaru własnego, która nigdy nie jest widoczna w liście wyboru). W przypadku definiowania nowego obciążenia domyślnie ustawiana jest pierwsza widoczna grupa z listy. Aby przypisać obciążenie do grupy niewidocznej należy zmienić jej ustawienie na widoczną i wówczas grupa ta będzie dostępna na liście wyboru **Grupy**. W skrajnym przypadku gdy wszystkie grupy ustawione są jako niewidoczne lub widoczna jest tylko grupa ciężaru własnego, nie będzie można wprowadzić obciążenia do zaznaczonych prętów i węzłów. Do grupy ciężaru własnego, która tworzona jest automatycznie, nie można w programie przypisać żadnego obciążenia użytkownika.

#### Obciążenia skupione prętów

 Rys. 7.3 Siły skupione

 Rys. 7.4 Momenty skupione

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  $x_1$  [m], względnej  $x_1/L$  lub suwaka, należy ustawić miejsce przyłożenia obciążenia na pręcie (prętach).

## Obciążenia układu

- Dla sił skupionych, przełączając przyciski **X**, **Z** oraz wybierając układ lokalny pręta lub globalny całego układu można ustawić kierunek obciążenia zgodny z zaznaczoną osią. Dla momentu skupionego domyślnie ustawiony jest kierunek **Y** bez możliwości zmiany kierunku i układu.
- Dla sił skupionych, wybierając układ lokalny pręta lub globalny całego układu oraz ustawiając odpowiednio kąt  $\beta$  [°], można ustawić dowolny kierunek obciążenia względem pręta lub całości układu. Dla układu lokalnego kąt  $\beta$  jest kątem obrotu obciążenia w płaszczyźnie układu względem osi lokalnej. Strzałkami przy polu tekstowym  $\beta$  można zmieniać skokowo wartość kąta, co 45°. Dla momentów skupionych pola kątów są nieaktywne.

## Obciążenia ciągłe prętów



Rys. 7.5 Obciążenia ciągłe

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

- Wybrać z listy **Grupa**, właściwą dla wprowadzanego obciążenia ciągłego grupę obciążeń.
- Odpowiednio w polu  $P_1$  [kN] i  $P_2$  [kN] podać wartość początkową i końcową obciążenia ciągłego w odpowiednich jednostkach.
- Za pomocą wartości bezwzględnych  $x_1$  [m] i  $x_2$  [m], względnych  $x_1/L$  i  $x_2/L$  lub suwaków, należy ustawić miejsca początku i końca obciążenia ciągłego na pręcie (prętach). Przy obciążeniach ciągłych początek obciążenia nie może wypadać dalej niż jego koniec. Obciążenie ciągłe o początku i końcu zlokalizowanym w tym samym punkcie oznaczane jest na ekranie graficznym etykietą z wykrzyknikiem.
- Dla obciążeń ciągłych, przełączając przyciski **X**, **Z** oraz wybierając układ lokalny pręta lub globalny całego układu można ustawić kierunek obciążenia ciągłego zgodny z zaznaczoną osią.
- Dla obciążeń ciągłych, wybierając układ lokalny pręta lub globalny całego układu oraz ustawiając odpowiednio kąt  $\beta$  [°], można ustawić dowolny kierunek obciążenia ciągłego względem pręta lub całości układu. Dla układu lokalnego kąt  $\beta$  jest kątem obrotu obciążenia w płaszczyźnie układu względem osi lokalnej. Strzałkami przy polu  $\beta$  można zmieniać skokowo wartość kąta - co 45°.



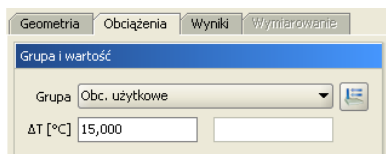
**Obciążenie równomierne** jest to często wykorzystywana uproszczona wersja obciążeń ciągłych o stałej wartości obciążenia. Przy wyborze obciążenia równomiernego, użytkownik podaje tylko jedną wartość obciążenia. Po wprowadzeniu obciążeń równomiernych (np. przy ich edycji), każde obciążenie wprowadzone jako równomierne traktowane jest przez program jak zwykle obciążenie ciągłe (można osobno zmieniać wartości na początku i końcu obciążenia).

## Obciążenia termiczne prętów:



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

## Obciążenia układu



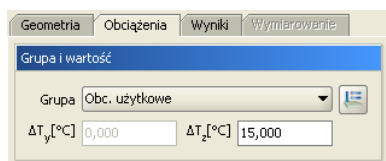
Rys. 7.6 Podgrzanie

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  $\Delta T$  [°C] należy podać w stopniach Celsjusza różnicę temperatur, o jaką podgrzano wybrane pręty.



Różnica temperatur dla pręta. Obowiązuje dla całości pręta.



Rys. 7.7 Różnica temperatur

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

- Wybrać z listy **Grupa**, właściwą dla wprowadzanego obciążenia termicznego grupę obciążeń.
- W polu  $\Delta T_z$  [°C] należy podać w stopniach Celsjusza różnicę temperatur, między cieplejszą a chłodniejszą stroną pręta. Kierunek „z” pokrywa się z kierunkiem lokalnego układu współrzędnych pręta.

### Obciążenia węzłów

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

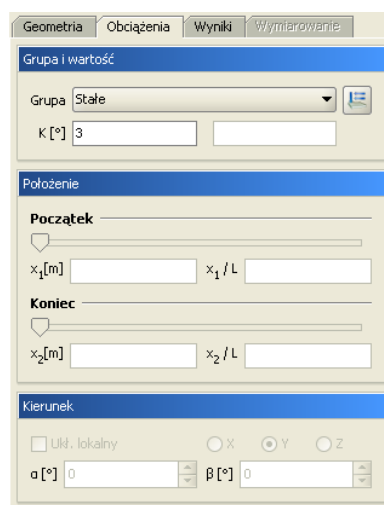
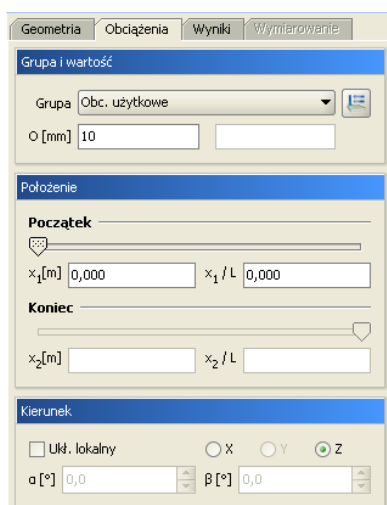
- Wybrać z listy **Grupa** właściwą grupę obciążeń.
- Podać wartość osiadania podpory w mm (**O**) lub kąt (**K**) jej obrotu w stopniach.
- Zdefiniować kierunek obciążenia przez zaznaczenie odpowiedniego znacznika „X” lub „Z” (kąt obrotu podpory określony jest względem zaznaczonej osi „Y” i nie można go zmienić). W dolnych polach tekstowych nie można wpisywać wartości kątów nachylenia obciążenia, a w pamięci zostaną zapisane te, które pokrywają się z zaznaczonymi kierunkami podpory.



Rys. 7.8 Osiadanie podpory



Rys. 7.9 Obrót podpory



## Obciążenia układu

### 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 jednocześnie 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 *[..]*, a w przypadku list wyboru pustym polem.

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 i kierunku.

#### Usuwanie wprowadzonych obciążeń

Po selekcji (zaznaczeniu) odpowiedniego zestawu obciążeń przeznaczonego do usunięcia, prawym klawiszem myszki wywołujemy menu podręczne i wybieramy opcję: **Usuń zaznaczone obciążenia**, lub używamy przycisku *Delete* bezpośrednio z klawiatury.

### 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 ( $x_1/L$  oraz  $x_2/L$ ), natomiast zmieniają się odległości bezwzględne  $x_1$  oraz  $x_2$ . 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 (wypadkowe obciążenia dla pręta przed podziałem są takie same jak dla sumy prętów po podziale).
- W przypadku podziału pręta na którym występuje obciążenie ciągle, przyłożone w grupie „*multi*” odpowiednio dzielone jest obciążenie (zgodnie z podziałem pręta) i każde z nich przydzielane jest do osobnej podgrupy grupy „*multi*”.
- W przypadku scalania prętów na których występują obciążenie ciągle, przyłożone w tej samej grupie „*multi*” odpowiednio przenoszone jest obciążenie na jeden scalony pręt i przydzielone jest do jednej podgrupy grupy „*multi*”. Charakter zachowania obciążeń w grupie „*multi*” przy scalaniu i podziale pręta, wyraźnie widać po rozbiciu grupy „*multi*”.

## Obciążenia układu

### 7.6 OBCIĄŻENIA RUCHOME

#### 7.6.1 Opis ogólny

Obciążenie ruchome zdefiniowane w programie jest jako odrębna i specyficzna grupa obciążeń zmiennych, składająca się z wewnętrznych, wzajemnie wykluczających się podgrup, odpowiadających kolejnym położeniom przemieszczającego się obciążenia. Grupa obciążenia ruchomego jest inną grupą od wszystkich pozostałych, które można zdefiniować w programie. Podstawowa różnica polega na tym, że po zdefiniowaniu grupy obciążenia ruchomego nie można do tej grupy dodać żadnego obciążenia oraz nie można z tej grupy żadnego obciążenia usunąć. Jedynym działaniem jakie można wykonać na grupie obciążenia ruchomego jest jej usunięcie lub zmiana wartości sił wchodzących w skład obciążenia ruchomego we wszystkich położeniach jednocześnie. Po zdefiniowaniu w programie grupy obciążeń ruchomych, w przypadku gdy chcemy zmienić relacje między obciążeniami wchodzącymi w skład obciążenia ruchomego, ich typ lub wektor przemieszczenia i liczbę jego podziałów, należy dotychczasową grupę usunąć i wprowadzić odpowiednio obciążenie ruchome od nowa. Zdefiniowana grupa obciążeń ruchomych widoczna jest na ekranie graficznym w postaci pierwszej pełnej lokalizacji sił opatrzonych dodatkowo symbolem graficznym wektora przemieszczenia, oraz w oknie grup obciążeń ale bez możliwości zmiany jej typu. Dla zdefiniowanej grupy obciążeń ruchomych w oknie **Grup obciążeń** dostępne są jedynie następujące operacje: usunięcie grupy, zmiana nazwy grupy, zmiana współczynników obciążenia i rozbięcie grupy obciążenia ruchomego na odpowiadający jej zestaw zwykłych wzajemnie wykluczających się grup obc. zmiennych. Na ekranie graficznym grupa obciążenia ruchomego zawsze traktowana jest jako całość (i tak się zaznacza), niezależnie od tego ile sił powiązanych relacjami wchodzi w skład obciążenia ruchomego.

Obciążenie ruchome może być zadane w programie jedynie na grupie ciągłych, współliniowych prętów, przy czym pręty z przesuniętym mimośrodem traktowane są jako nadal współliniowe. Chcąc zadać obciążenie ruchome ciągłe (jeden pojazd) o załamanym kierunku, zadajemy na każdym kierunku odrębne grupy obciążeń ruchomych i ustawiamy między nimi relację wzajemnego wykluczenia w tabeli relacji. Gdy pominiemy relację wykluczenia między grupami obciążeń ruchomych, będą one w czasie obliczeń traktowane przez program jak dwa niezależne pojazdy. Przy przykładaniu kolejnych położen obciążenia ruchomego na prętach ciągłych i współliniowych, w przypadku gdy, któreś z obciążeń nie trafi na pręt współliniowy z wcześniejszymi (wyjdzie poza układ), obciążenie takie zostanie częściowo lub całkowicie pominięte w obliczeniach. Sytuacja taka może się zdarzyć na początku lub na końcu wektora przemieszczenia w zależności od ustawienia punktu bazowego wstawiania.

W skład prawidłowo zdefiniowanej grupy obciążeń ruchomych wchodzi następujące elementy:

- **„Zespół pojazdu”** składający się z wybranych kilku sił (obciążeń) w ustalonym rozstawie, przyłożonych na pręcie lub grupie prętów ciągłych i współliniowych z określonym na tych prętach punktem bazowym wstawiania. W rzeczywistości odpowiadają one obciążeniom od kół pojazdu.
- **Wektora przemieszczenia** zdefiniowanego przez podanie początku i końca wektora określonego na pręcie lub grupie prętów ciągłych i współliniowych. Przy czym tak określona grupa prętów, może być inną grupą niż ta na której definiowany był „zespół pojazdu”. W rzeczywistości odpowiada on trasie poruszającego się pojazdu.
- **Liczba podziałów wektora przemieszczenia**, która odpowiada za ilość równomiernych, kolejnych położen „zespołu pojazdu” na wektorze przemieszczenia. Kolejne położenia realizowane są zawsze od węzła początkowego w kierunku węzła końcowego wektora przemieszczenia. Im gęstszy podział wektora przemieszczenia tym dokładniejszy będzie model ruchu pojazdu ale jednocześnie znacznie wydłuży się czas obliczeń statycznych.

W skład zestawu sił „zespołu pojazdu” mogą wchodzić dowolne obciążenia o określonej lokalizacji na pręcie z wyjątkiem obciążeń termicznych i kinematycznych.

Po zdefiniowaniu „zespołu pojazdu” i określeniu wektora przemieszczenia, układ sił wchodzących w skład zespołu usuwany jest z miejsca w którym był definiowany i przykładany jest w pierwszym położeniu na wektorze przemieszczenia (punkt wstawiania pokrywa się węzłem początkowym wektora przemieszczenia). Ta metoda pozwala na definiowanie „zespołu pojazdu” na wyodrębnionym pręcie lub grupie prętów a następnie przyłożenie go we właściwej lokalizacji w układzie statycznym. W przypadku gdy w pierwszym położeniu obciążenia ruchomego na wektorze przemieszczenia wszystkie siły zespołu pojazdu nie mieszczą się na grupie prętów ciągłych, współliniowych na ekranie graficznym pokazywane jest pierwsze kolejne, pełne, położenie obciążenia (takie w którym widać cały „zespół pojazdu”).

Po zdefiniowaniu grupy obciążenia ruchomego, poszczególne położenia „zespołu pojazdu” nie są widoczne w układzie statycznym na ekranie graficznym, zamiast tego widoczny jest jedynie symbol graficzny wektora przemieszczenia i pierwsze pełne położenie „zespołu pojazdu”. Analogicznie wszystkie obciążenia wchodzące w



## Obciążenia układu

skład niewidocznych podgrup obciążenia ruchomego, nie są również widoczne jako własności poszczególnych prętów układu w „drzewie projektu”. Aby zostały one uzewnętrznione wizualnie na ekranie graficznym i jako własności prętów w „drzewie projektu” należy grupę obciążenia ruchomego rozbić w oknie **Grup obciążeń**. Przy wykorzystaniu w projekcie grup obciążeń ruchomych należy pamiętać, że czas obliczeń statycznych znacząco rośnie wraz z ilością grup obciążeń ruchomych w tym projekcie i z gęstością podziału wektora przemieszczenia.

### 7.6.2 Definiowanie grupy obciążenia ruchomego

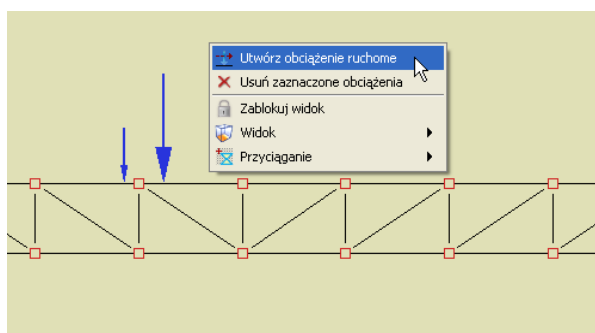
Wprowadzanie grupy obciążenia ruchomego rozpoczynamy od zdefiniowania „zespołu pojazdu”. W tym celu na dowolnym pręcie lub grupie prętów ciągłych i współliniowych wprowadzamy zwykle obciążenia o zdefiniowanych wartościach i w zadanych położeniach względem siebie. Do „zespołu pojazdu” mogą należeć dowolne obciążenia ciągłe i skupione z pominięciem obciążeń termicznych i kinematycznych. Układ sił „zespołu pojazdu” można wprowadzać na dowolnym ciągu prętów współliniowych, zarówno tych po których będzie później przemieszczał się zespół jak i dowolnych innych. W wielu przypadkach wygodnie będzie narysować luźny pręt nie związany z wprowadzonym układem statycznym i na nim zdefiniować „zespół pojazdu” (wówczas należy pamiętać o usunięciu tego luźnego pręta przed obliczeniami). W czasie definiowania obciążeń należy zastanowić się w jakim układzie (lokalnym czy globalnym) będziemy wprowadzać obciążenia, gdyż od tego będzie zależał kształt obciążenia przyłożonego do wektora przemieszczenia. W większości przypadków zaleca się wprowadzanie obciążeń od razu w układzie globalnym.

Obciążenia zdefiniowane wyjściowo w układzie globalnym, w pierwszym i każdym następnym położeniu na wektorze przemieszczenia definiowane są również w układzie globalnym.

Obciążenia zdefiniowane wyjściowo w układzie lokalnym, w pierwszym położeniu na wektorze przemieszczenia ustawiane są również w układzie lokalnym pręta (lub prętów) na którym są przykładane a następnie przeliczane są na układ globalny, bez zmiany ich dotychczasowego kierunku. W każdym następnym położeniu tak przyłożone obciążenia odbijane są już w układzie globalnym.

Generalnie docelowo wszystkie obciążenia wchodzące w skład podgrup obciążenia ruchomego są zadane w układzie globalnym.

Po zdefiniowaniu i zaznaczeniu obciążeń które mają wchodzić w skład „zespołu pojazdu” (wszystkie te obciążenia muszą znajdować się na ciągu prętów współliniowych) z menu kontekstowego prawego klawisza myszki wybieramy opcję: **Utwórz obciążenie ruchome**.



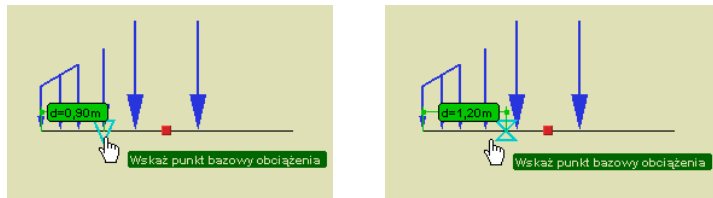
Rys. 7.10 Przykłady „zespołu pojazdu” z których można utworzyć

obciążenie ruchome

Gdy zaznaczymy kilka obciążeń zlokalizowanych na różnych prętach lub ciągach prętów i w przypadku gdy jedno z zaznaczonych obciążeń będzie typu kinematycznego lub termicznego, funkcja **Utwórz obciążenie ruchome** nie będzie dostępna w menu prawego klawisza myszki.

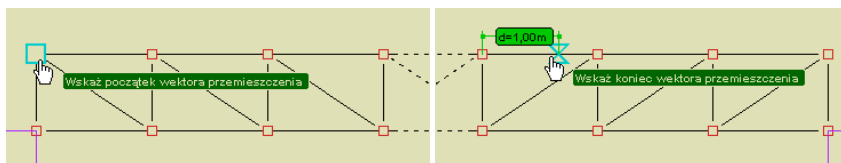
## Obciążenia układu

Następnie program prosi użytkownika o podanie punktu bazowego wstawiania obciążenia przez wyświetlenie przy kursorze polecenia: **Wskaz punkt bazowy obciążenia**. Punkt ten powinien być wskazany na tym samym ciągu prętów na którym występują zaznaczone obciążenia. Dla jego precyzyjnej lokalizacji mamy dostęp do wszystkich dostępnych dla pręta punktów przyciągania, łącznie z możliwością precyzyjnego ustawienia domiaru do węzła początkowego lub końcowego pręta.



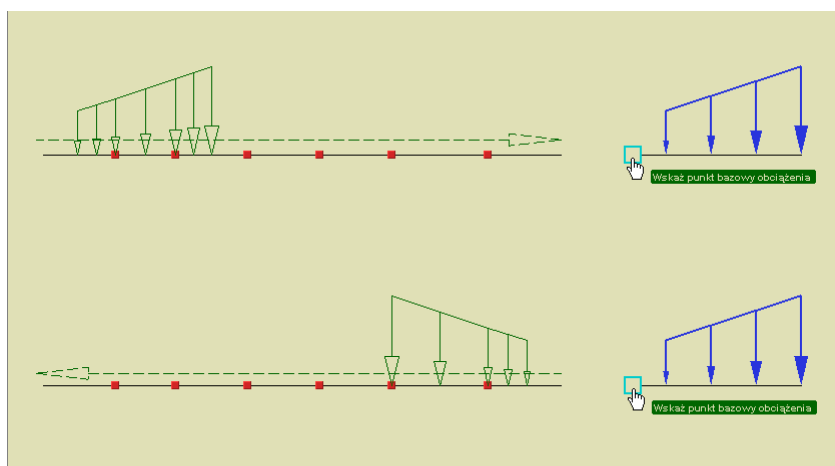
Rys. 7.11 Punkt bazowy obciążenia

Kolejną operacją jaka musimy wykonać jest zdefiniowanie wektora przemieszczenia. Operacja ta sygnalizowana jest przez program kolejnymi poleceniami umieszczonymi przy kursorze myszki: **Wstaw początek wektora przemieszczenia** i **Wstaw koniec wektora przemieszczenia**. Oba punkty muszą być wskazane na tym samym ciągu prętów współliniowych, z których żaden element nie jest ciągnem, ale nie konieczne tym samym ciągu na którym wskazywaliśmy punkt bazowy obciążenia przy definiowaniu „zespołu pojazdu”. Również w tym przypadku działają punkty przyciągania i domiary precyzyjne.



Rys. 7.12 Definiowanie wektora przemieszczenia

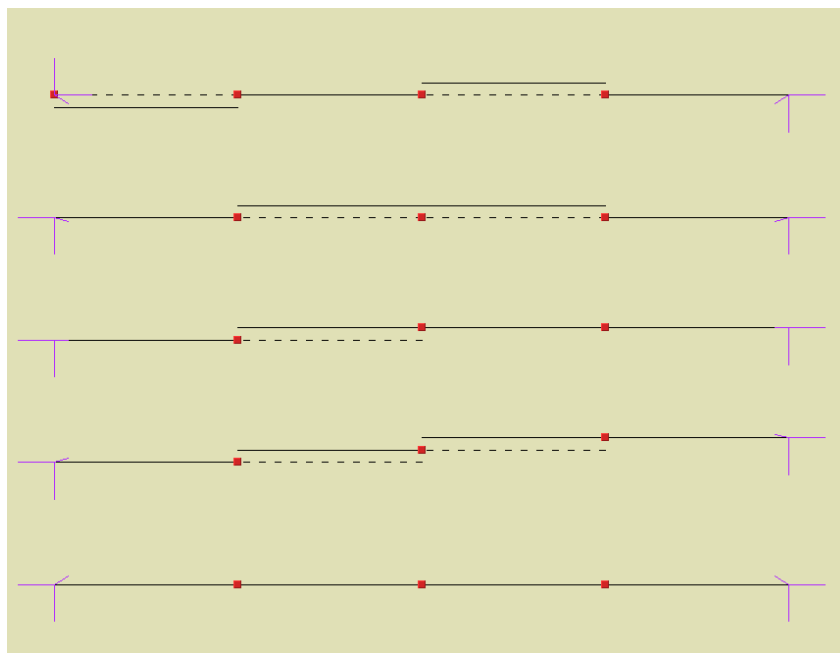
Dla każdego z obciążeń wchodzących w skład obciążenia wyjściowego ustalany jest jego kierunek względem wskazanego punktu bazowego, a następnie zgodnie z tym kierunkiem obciążenia wyjściowe odkładane są na podanym wektorze przemieszczenia. Jeśli wektor kierunku obciążenia wyjściowego względem punktu bazowego jest zgodny z wektorem przemieszczenia, obciążenie odkłada się tak jak je widać, natomiast jeśli wektory te są przeciwnie, wówczas obciążenia wyjściowe odkładane jest jako odwrócone.



Rys. 7.13 Przykład obciążenia wyjściowego i jego widok na wektorze przemieszczenia

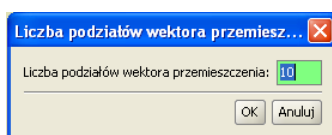
W przypadku gdy w ramach ciągu prętów na których wskazano wektor przemieszczenia występują pręty na mimośrodku jedno lub dwustronnym, układ taki będzie traktowany jako ciągły i współliniowy na którym można wprowadzić obciążenie ruchome. Poniżej przedstawiono przykłady ciągów prętów z mimośrodkami na których można wprowadzić obciążenie ruchome:

## Obciążenia układu



Rys. 7.14 Układy prętów z mimośrodkami na których można wprowadzić obciążenie ruchome

Po zdefiniowaniu wektora przemieszczenia program wyświetla dodatkowe okienko w którym użytkownik powinien podać **Liczbę podziałów wektora przemieszczenia**:

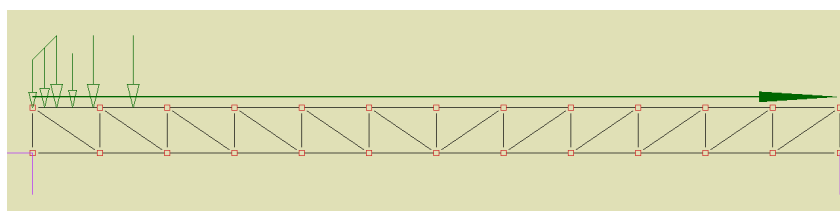


Rys. 7.15 Definiowanie liczby podziałów wektora przemieszczenia

Jeśli odległość między początkiem i końcem wektora przemieszczenia pozwoli na ustawienie przynajmniej jednego częściowego położenia „zespołu pojazdu” obciążenie ruchome zostanie zdefiniowane. W innym przypadku grupa obciążenia ruchomego nie zostanie wstawiona do projektu. Prawidłowe wstawienie obciążenia ruchomego sygnalizowane jest na ekranie graficznym, przeniesieniem obciążeń „zespołu pojazdu” z miejsca jego definiowania, w pierwsze pełne położenie na wektorze przemieszczenia oraz strzałką kierunku ruchu prowadzoną od węzła początkowego do węzła końcowego wektora.

Należy pamiętać że liczba rzeczywistych położenia zespołu pojazdu na wektorze przemieszczenia nie zawsze będzie odpowiadała zadanej liczbie podziałów wektora przemieszczenia. Może być ona mniejsza gdyż pierwsze i ostatnie położenia, mogą w zależności od sytuacji wychodzić poza ciąg prętów współliniowych do którego przykładane jest obciążenie ruchome.

Liczba rzeczywistych położenia zespołu pojazdu na wektorze przemieszczenia, dla danej grupy obciążeń ruchomych, widoczna jest zawsze w „chmurce” wyświetlanej przy najechaniu kursorem na daną grupę obciążeń ruchomych na ekranie graficznym lub w właściwościach grupy obciążeń ruchomych w „drzewie projektu”.



Rys. 7.16 Widok wprowadzonego obciążenia ruchomego

W przypadku gdy przy definiowaniu „zespołu pojazdu”, wskażemy punkt bazowy na innym ciągu prętów niż zaznaczone obciążenia lub gdy przy wskazywaniu wektora przemieszczenia, początek i koniec wektora będą leżały na różnych ciągach prętów, operacje takie nie zostaną przez program wykonane. Taki stan będzie sygnali-

## Obciążenia układu

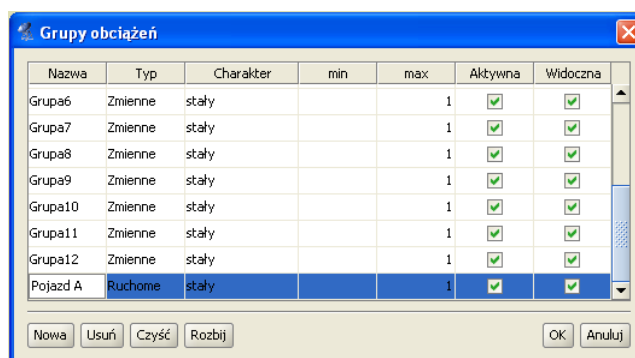
zowany ponawianiem aż do skutku (lub przerwania funkcji klawiszem **Esc**) poprzedniego polecenia wyświetlanego przy kursorze myszki.

### 7.6.3 Edycja obciążenia ruchomego

Na dostępną w programie edycje obciążenia ruchomego składają się dwa odrębne elementy:

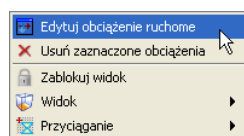
- Edycja parametrów grupy obciążenia ruchomego.
- Edycja wartości obciążeń wchodzących w skład obciążenia ruchomego.

Edycja parametrów grupy obciążenia ruchomego dostępna jest w oknie **Grup obciążeń**, gdzie można zmienić nazwę grupy obciążenia ruchomego, jej charakter, współczynnik obciążenia oraz ustawić czy grupa ta jest w projekcie aktywna i widoczna. Dla grupy obciążenia ruchomego nie można natomiast zmienić typu obciążenia, którym jest zawsze w tym przypadku - obciążenie ruchome. Poza opisanymi powyżej elementami edycji, w oknie **Grup obciążeń** możliwe jest jeszcze całościowe (łącznie z podgrupami) usunięcie grupy obciążeń ruchomych lub jej rozbięcie na zestaw zwykłych grup obciążeń zmiennych wykluczających się, odpowiadających grupie obciążenia ruchomego.



Rys. 7.17 Grupa obciążenia ruchomego

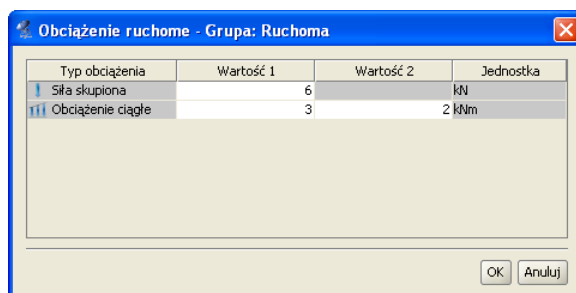
Zaznaczenie grupy obciążenia ruchomego na ekranie graficznym, możliwe jest przez kliknięcie na strzałce wektora przemieszczenia lub na dowolnym obciążeniu składowym w pierwszym jego położeniu (zaznacza się tylko symbol wektora przemieszczenia). Po zaznaczeniu pojedynczej grupy obciążenia ruchomego w menu kontekstowym prawego klawisza myszki mamy dostęp do dwóch funkcji: **Usuń zaznaczone obciążenie** (usuwa w tym przypadku grupę obciążenia ruchomego analogicznie jak funkcja **Usuń** w oknie **Grup obciążeń**) oraz **Edytuj obciążenie ruchome**.



Rys. 7.18 Wywołanie edycji wartości obciążenia ruchomego

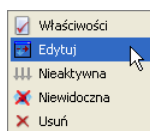
Edycja wartości obciążeń wchodzących w skład obciążenia ruchomego, dostępna jest dla zaznaczonego na ekranie graficznym pojedynczego obciążenia ruchomego z menu kontekstowego prawego klawisza myszki: **Edytuj obciążenie ruchome**. Funkcja ta pozwala tylko na zmianę wartości obciążeń wchodzących w skład „zespołu pojazdu”, natomiast zmianie nie może podlegać charakter obciążeń i ich położenie. Należy pamiętać że przy wpisaniu wartości z przeciwnym znakiem, możemy również zmienić zwrot obciążenia w ramach danego kierunku. Po wywołaniu funkcji otwarte zostanie okno **Obciążenie ruchome** w którym pojedynczo możemy edytować wartości obciążeń „zespołu pojazdu” danej grupy obciążenia ruchomego.

## Obciążenia układu



Rys. 7.19 Okno edycji wartości obciążenia ruchomego

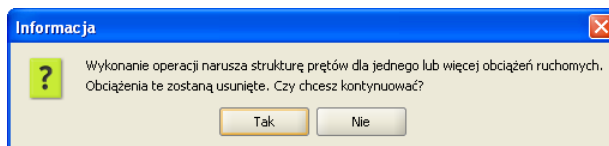
Przy edycji poszczególnych wartości na ekranie graficznym podświetlane jest obciążenie, którego edycja aktualnie dotyczy i na bieżąco zmieniana jest jego graficzna reprezentacja. Po wciśnięciu klawisza OK, wszystkie wprowadzone zmiany zostaną uwzględnione w schemacie statycznym. Tak wprowadzona zmiana wartości obciążeń odnosi się do wszystkich położenia „zespołu pojazdu”. Funkcja **Edycji** obciążenia ruchomego dostępna jest również w menu kontekstowym prawego klawisza myszki w „drzewie projektu” w gałęzi **Grupy obciążeń** dla grupy obciążenia ruchomego.



Rys. 7.20 Menu w „drzewie projektu” dla grupy obciążenia ruchomego

### 7.6.4 Wpływ modyfikacji układu na obciążenia ruchome

Każda zmiana (usunięcie, przesunięcie lub odsunięcie pręta, zmiana położenia węzła) w układzie statycznym prowadząca do utraty ciągłości lub współliniowości ciągu prętów na których przyłożono obciążenie ruchome powoduje usunięcie grupy obciążenia ruchomego po zatwierdzeniu odpowiedniego komunikatu jak niżej:



Rys. 7.21 Komunikat o konieczności usunięcia grupy obciążenia ruchomego

Każda próba zamiany pręta na ciągną do którego przyłożono obciążenie ruchome a także początek i koniec wektora przemieszczenia, prowadzi do usunięcia grupy obciążenia ruchomego po zatwierdzeniu odpowiedniego komunikatu.

Kopiowanie pojedynczego pręta z grupy prętów współliniowych obciążonych obciążeniem ruchomym wykonywane jest zawsze bez kopiowania obciążenia ruchomego niezależnie od miejsca jego przyłożenia.

Dla jednocześnie zaznaczonej całej grupy prętów do której przyłożone jest obciążenie ruchome, możliwa jest opcja przesuwania, odsuwania i kopiowania prętów z tym obciążeniem ruchomym gdy jest ono również zaznaczone. Analogiczna możliwość dla tak zdefiniowanej grupy prętów, występuje przy kopiowaniu wielokrotnym z zaznaczoną opcją **Kopiuj z obciążeniami**.

Funkcje modyfikujące odbicia lustrzanego i obrotu również mogą prowadzić do usunięcia obciążenia ruchomego o ile na skutek ich działania dojdzie do utraty ciągłości lub współliniowości ciągu prętów na których przyłożono obciążenie ruchome.

Ponieważ jak widać obciążenia ruchome są bardzo wrażliwe na wiele modyfikacji prętów do których są przyłożone, wskazane jest definiowanie obciążeń ruchomych po ustaleniu ostatecznej struktury prętowej układu.

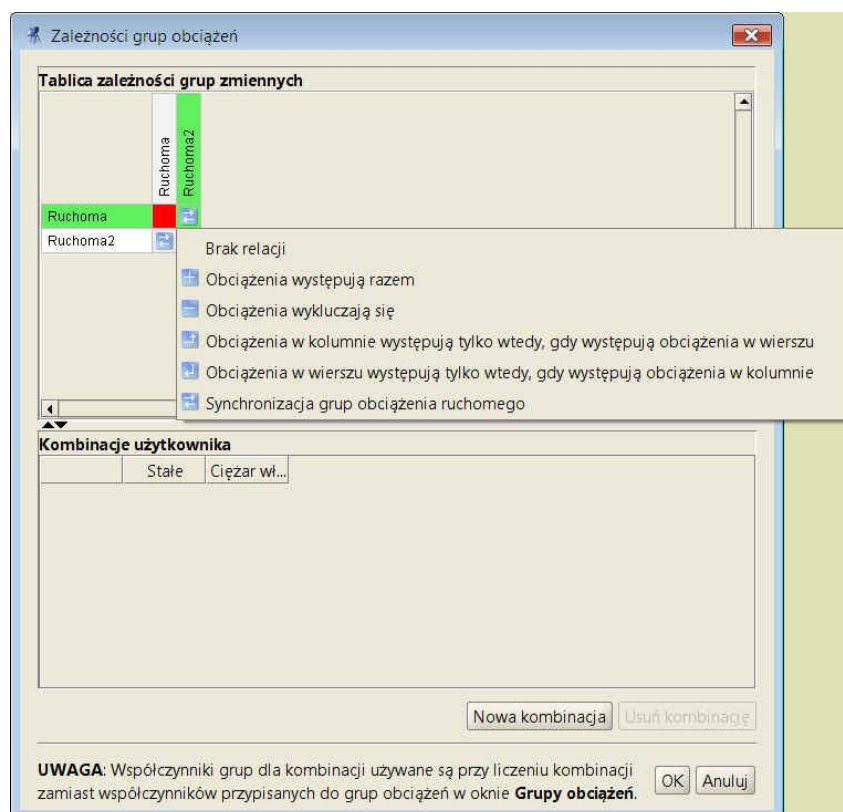
Funkcje dzielenia i scalania prętów do których przyłożono obciążenie ruchome, nie zmieniają ciągłości i współliniowości prętów i w związku z tym nie mają wpływu na przyłożone obciążenie ruchome.

Zmiany pozostałych obciążeń, przekrojów prętów, położenia układu lokalnego oraz wprowadzenie w prętach mimośrodów a także ukrywanie części układu nie wpływają na grupę obciążenia ruchomego.

## Obciążenia układu

### 7.6.5 Synchronizacja grup obciążenia ruchomego

Dla dwóch lub więcej grup obciążenia ruchomego w przypadku gdy zawierają one taką samą liczbę położen obciążenia na wektorze przemieszczenia, można zastosować funkcję ich synchronizacji. Opcja synchronizacji kilku grup obciążenia ruchomego w trakcie obliczeń statycznych wpływa jedynie na budowę obwiedni sił wewnętrznych i naprężeń. Funkcję tą wywołujemy w oknie **Zależności grup obciążeń**, w **Tablicy zależności grup zmiennych**. Na przecięciu wiersza jednej grupy ruchomej z kolumną drugiej grupy ruchomej wybieramy relację **Synchronizacja grup obciążenia ruchomego**.



Rys. 7.22 Synchronizacja grup obciążenia ruchomego

Relacja ta jest dostępna tylko dla takich dwóch grup obciążenia ruchomego, które zawierają taką samą ilość rzeczywistych położen obciążenia na wektorze przemieszczenia. Po ustawieniu takiej relacji program dalej kolejne położenia obciążenia ruchomego w ramach jednej grupy będzie widział jako wzajemnie wykluczające się, ale dodatkowo wewnętrznie będzie zakładał że pierwsze położenie jednej grupy występuje zawsze razem z pierwszym położeniem drugiej grupy obciążenia ruchomego i tak dalej. Funkcja ta może być wykorzystywana np. przy obciążeniu pojazdem, gdy jego prawa i lewa grupa kół porusza się po innej grupie prętów współliniowych, jak w przypadku suwnicy. Przy jednoczesnym rozbiciu dwóch zsynchronizowanych grup obciążenia ruchomego, w tabeli relacji zachowane zostaną wszystkie wewnętrzne relacje podgrup łącznie z relacjami synchronizacji. W przypadku rozbicia jednej z grup obciążenia ruchomego, która ma ustawioną relację synchronizacji z inną grupą ruchomą. W tabeli relacji utracone zostaną tylko relacje synchronizacji obciążeń (relacje wykluczania pozostaną bez zmian). Synchronizacja grup obciążenia ruchomego nie wpływa na wyniki dla poszczególnych grup obciążeń ruchomych i ich prezentację na zakładce **Wyniki**. W tym przypadku synchronizację grup obciążenia ruchomego można przeprowadzić ręcznie wybierając odpowiednie położenie w ramach danej grupy. Przy synchronizacji dwóch grup obciążenia ruchomego należy pamiętać, że sprawdzany warunek podziału wektora przemieszczenia na jednakową ilość położen nie gwarantuje całkowitej równoległości zadanego obciążenia. Aby równoległość ta była zachowana, muszą być spełnione jeszcze dwa dodatkowe warunki, które zależą od działań użytkownika: długość i kierunek obu wektorów przemieszczenia musi być taki sam.



## Obciążenia układu

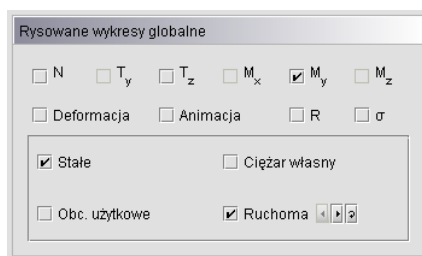
### 7.6.6 Obliczenia oraz prezentacja wyników dla grupy obciążenia ruchomego

Posługiwanie się w projekcie grupami obciążenia ruchomego analogicznie jak w przypadku grup typu „multi”, ma sens tylko w przypadku gdy chcemy analizować wyniki dla automatycznie budowanej obwiedni.

Grupa obciążeń ruchomych podczas obliczeń statycznych widziana jest jako kilka (kilkanaście) wzajemnie wykluczających się podgrup, odpowiadających kolejnym położeniom „zespołu pojazdu” na wektorze przemieszczenia. Obwiednia sił wewnętrznych i naprężeń od tak zdefiniowanych podgrup i ich wzajemnych relacji wykonywana jest w programie automatycznie. W przypadku poszukiwania wyników dla konkretnej zdefiniowanej kombinacji lub przy obliczeniach dla układów z ciągnami oraz przed wymiarowaniem grup i sumy grup obciążeń, zaleca się rozbić wszystkich grup obciążenia ruchomego. W przypadku braku takiego rozbięcia należy pamiętać że zarówno grupy „multi” jak i grupy obciążeń ruchomych nie będą dostępne w oknie budowania kombinacji (nie mogą wchodzić w skład kombinacji) oraz w oknie wyboru grup i sumy grup do wymiarowania. W przypadku obliczeń statycznych układów z ciągnami, grupy typu „multi” oraz grupy obciążeń ruchomych nie będą również dostępne w oknie wyboru do obliczeń statycznych. Grupy obciążeń ruchomych można wykorzystywać w programie do analizy wyników sił wewnętrznych i naprężeń dla obwiedni a także grupy obciążenia ruchomego oraz dowolnej sumy grup obciążeń. W przypadku zastosowania w projekcie grup obciążeń ruchomych, wymiarowanie indywidualne lub zbiorcze należy zawsze prowadzić jedynie dla obwiedni. We wszystkich innych przypadkach należy się posługiwać rozbitymi grupami obciążeń ruchomych (inaczej nie będą one dostępne do wymiarowania).

W raporcie ze statyki wyniki dla grupy obciążenia ruchomego można drukować jedynie dla wybranego (na zakładce **Wyniki**) w danej chwili położenia obciążenia ruchomego. Analogicznie w przypadku wydawania wyników dla sumy grup w skład której wchodzi obciążenie ruchome wyniki brane są dla aktualnego, konkretnego położenia tego obciążenia ruchomego. Gdyby użytkownik jednak chciał zobaczyć na raz wyniki statyki od wszystkich podgrup obciążenia ruchomego, należy przed wykonaniem raportu, grupy te rozbić i przeliczyć ponownie projekt. W przypadku raportów z obwiedni dla projektów zawierających obciążenia ruchome przy każdym ekstremum wyszczególnione są grupy, które to ekstremum budują. Jak pamiętamy w przypadku grup „multi” był to numer tej grupy i w nawiasie podana lista prętów na których występuje obciążenie zmienne. Analogicznie w przypadku grupy obciążenia ruchomego jest to numer tej grupy i w nawiasie podane wybrane położenie „zespołu pojazdu” na wektorze przemieszczenia (zawsze jedno bo wszystkie podgrupy są wzajemnie wykluczające się).

Po obliczeniach statycznych analizując wyniki dla grupy obciążeń ruchomych na zakładce **Wyniki**, mamy do dyspozycji dodatkową możliwość przeglądania wykresów sił wewnętrznych układu uwzględniając zmienność położenia „zespołu pojazdu” w kolejnych położeniach na wektorze przemieszczenia. Aby taka analiza była możliwa należy wybrać grupę obciążenia ruchomego zaznaczając odpowiedni znacznik przed nazwą grupy na zakładce **Wyniki**. Wówczas funkcję wizualizacji można realizować na pomocą małych strzałek zlokalizowanych za nazwą każdej grupy obciążeń ruchomych, pozwalających przełączać kolejną lokalizację obciążenia ruchomego wraz z odpowiadającym jej wykresem sił wewnętrznych lub naprężeń (wstecz lub do przodu). Każde pojedyncze kliknięcie strzałeczki zmienia położenie pojazdu o jedną lokalizację w lewo lub w prawo. Za strzałkami przy grupie znajduje się jeszcze jeden dodatkowy przycisk, którego wciśnięcie powoduje automatyczne, płynne przełączanie kolejnych położen pojazdu łącznie z zapętleniem ruchu w danej grupie.

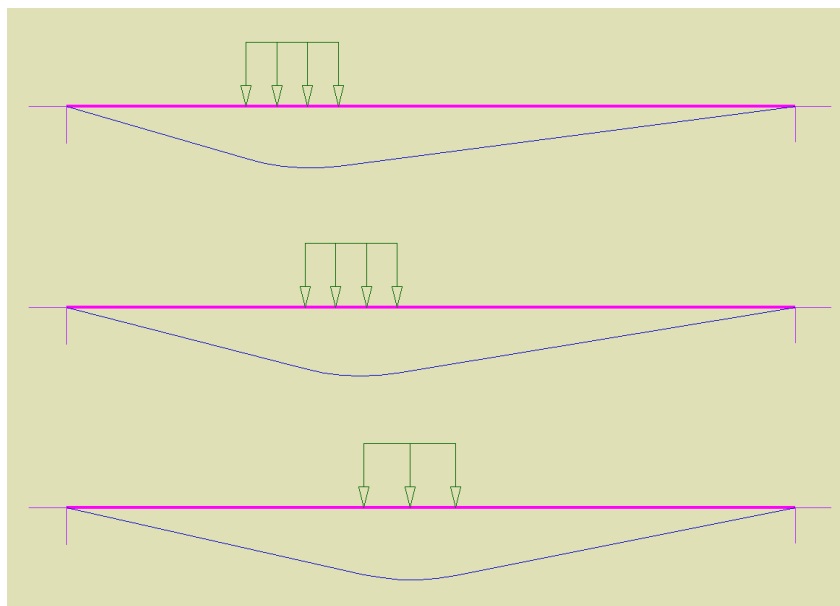


Rys. 7.23 Zakładka Wyniki – sterowanie grupą obciążenia ruchomego

Przy włączonym zapętleniu ruchu, wskazane jest odczekanie do przynajmniej dwóch pełnych przebiegów obciążenia ruchomego, co pozwala programowi prawidłowo wyskalować wielkości zmieniających się wykresów (skalowanie odbywa się zawsze w pierwszym, pełnym przebiegu obciążenia ruchomego). Na czas obracania, przesuwania i zoomowania układu, ruch zapętłony obciążenia ruchomego jest wstrzymywany i ponownie uruchamiany po zakończeniu operacji.

## Obciążenia układu

W przypadku wykorzystania w projekcie kilku grup obciążeń ruchomych, przy zapętłonym ruchu wszystkich lub kilku pojazdów, za pomocą strzałek przy danej grupie (działających także w fazie zapętlenia) można odpowiednio synchronizować ruch pojazdów. Wizualizację zmienności położenia pojazdu a w konsekwencji również zmienność wykresów sił wewnętrznych i naprężeń można analizować dla pojedynczej grupy obciążeń ruchomych, kilku grup obciążeń ruchomych z odpowiednią synchronizacją lub dla dowolnej sumy zwykłych grup stałych i zmiennych oraz obciążenia ruchomego. Jedynym wyjątkiem jest zablokowanie możliwości obliczenia  $\sigma_{red\ max}$  w oknie naprężeń zredukowanych przy włączonym zapętleniu grupy obciążenia ruchomego. Na zakładce **Wyniki** grupa obciążeń ruchomych zawsze prezentowana jest w jednej lokalizacji, takiej której odpowiadają prezentowane wyniki sił wewnętrznych zarówno dla obwiedni sił wewnętrznych jak i dla grup i sumy grup obciążeń.



Rys. 7.24 Widoki przemieszczającego się obciążenia ruchomego

Przy włączonej widoczności obciążeń i schematów statycznych w oknie **Ustawień** dla zakładki **Wyniki**, przy prezentacji wyników dla obwiedni, podczas zmieniania lokalizacji na wybranym przecię, prezentowane są wyniki obwiedni sił wewnętrznych oraz odpowiadające im schematy obciążenia (tylko te które budują aktualnie prezentowaną wartość). Także w tym przypadku, gdy w skład prezentowanej obwiedni wchodzi grupa obciążenia ruchomego, obciążenie to pokazywane jest tylko w lokalizacji która dokładnie odpowiada wartościom prezentowanych sił wewnętrznych. Różnica w stosunku do zwykłych grup obciążeń jest taka że przy prezentacji schematów dla obwiedni, obciążenia ją budujące są podświetlone a pozostałe wyszarzone, natomiast dla grupy obciążenia ruchomego wyświetlane jest zawsze tylko jedno właściwe położenie a pozostałe położenia są niewidoczne. W przypadku gdy schematy statyczne w oknie **Ustawień** są wyłączone, grupa obciążeń ruchomych zawsze prezentowana jest w położeniu wyjściowym, niezależnie od tego, które jej rzeczywiste położenie buduje aktualnie wyświetlane wyniki obwiedni.

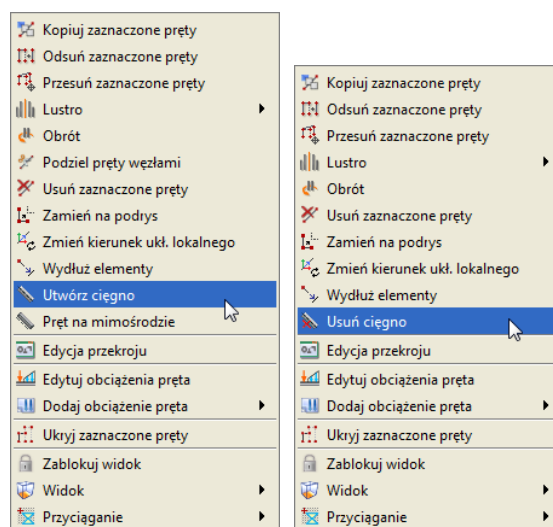


## Cięgna

## 8 CIĘGNA

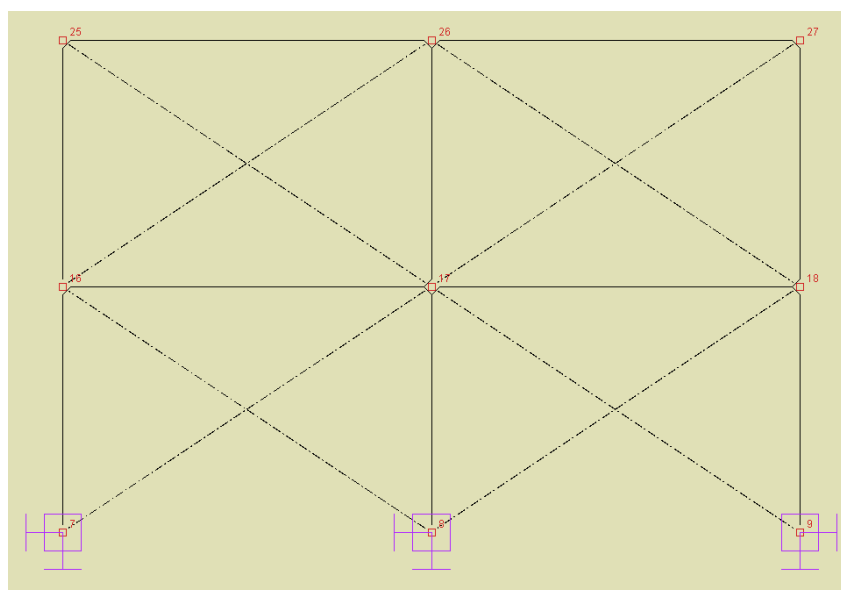
## 8.1 DEFINIOWANIE PRĘTÓW TYPU CIĘGNO

Aby zdefiniować w układzie pręty typu cięgno należy zaznaczyć jeden lub kilka prętów dwuprzegubowych (które na obu końcach mają przeguby momentowe) i z menu podręcznego prawego klawisza myszki wybrać opcję *Utwórz cięgno*.



Rys. 8.1 Wywołanie funkcji Utwórz i Usuń cięgno

Aby wybrany pręt mógł być cięgnem nie może występować na nim obciążenie przyłożone na długości pręta, wyjątkiem są tu siły skupione w węzłach (przyłożone na końcach pręta) i podgrzanie pręta. Po tej operacji obraz pręta w układzie zmieni się z linii ciągłej na linię punktową-przerywaną i element ten w czasie obliczeń (przy włączonych obliczeniach dla cięgien) będzie traktowany jako cięgno przenoszące jedynie siły rozciągające. Jeśli obliczenia dla cięgien będą wyłączone, niezależnie od tego czy pręty są oznaczone jako cięgno czy nie, będą przez program traktowane jako zwykłe pręty (przenoszące ściskanie, rozciąganie, ścinanie i zginanie).



Rys. 8.2 Widok cięgien na ekranie graficznym

## Cięgna

### 8.2 MODYFIKACJE CIĘGIEN

Aby zamienić cięgno na zwykły pręt, należy zaznaczyć element będący cięgnem i z podręcznego menu kontekstowego wybrać opcję: **Usuń cięgno**. Opcja ta zamienia powtórnie cięgno na zwykły pręt. Całkowicie można usunąć cięgno (pręt) z układu wybierając dla niego opcję: **Usuń zaznaczone pręty**. Dla pręta typu cięgno, analogicznie jak dla zwykłych prętów, dostępne są również inne opcje modyfikacyjne takie jak: kopiowanie, odsuwanie, przesuwanie, lustro i zmiana przekroju.

Dla cięgien nie są dostępne następujące funkcje modyfikacji (dostępne dla innych prętów):

- Dzielenie pręta typu cięgno węzłem, a w konsekwencji dla takiego pręta, nie jest dostępne również wprowadzanie elementu od dowolnego punktu środkowego cięgna z opcją jego podziału węzłem.
- Scalanie kolejnych, ciągłych współliniowych prętów z których jeden lub więcej jest cięgnem.
- Wprowadzanie na cięgno jakichkolwiek obciążeń z wyjątkiem sił skupionych w węzłach końcowych cięgna i podgrzania pręta. Niedostępna jest również operacja odwrotna utworzenia cięgna z pręta obciążonego na jego długości.
- Dla węzłów końcowych pręta będącego cięgnem nie jest możliwe ustawienie węzła sztywnego.
- Nie ma możliwości sztywnego łączenia (zesztywniania) pręta będącego cięgnem w węzłach końcowych z innymi prętami schodzącymi się w tych węzłach.

Jeśli jedną z powyższych funkcji, chcemy zastosować należy to zrobić przed przypisaniem do pręta opcji cięgna. Pręty typu cięgno nie mogą wchodzić w skład elementów wymiarowych (są wymiarowane jako pojedyncze pręty).

Informacja o przypisanym typie „cięgno” do poszczególnych prętów układu umieszczona jest dodatkowo w raporcie z obliczeń, w danych o prętach.

### 8.3 OBLICZANIE UKŁADÓW Z CIĘGNIAMI

#### Uwaga:

*Dla układów chwilowo kinematycznie zmiennych ale samostatecznych z cięgnami, przy obliczeniach dla cięgien wyniki przemieszczeń nie odpowiadają obliczeniom jak dla cięgien lecz wynikom jak dla zwykłych prętów sztywnych, natomiast siły wewnętrzne obliczane są jak dla układu z cięgnami.*

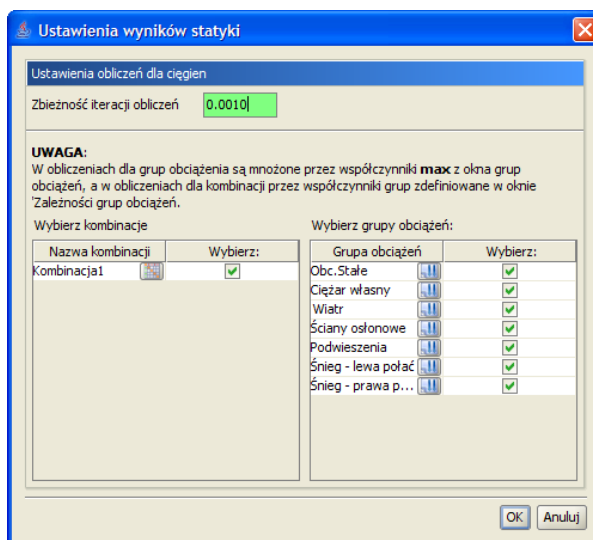
Po zdefiniowaniu cięgien w układzie obliczenia można prowadzić w dwóch wariantach:

- **Bez uwzględniania cięgien** (tak jak dotychczas) – gdzie wszystkie pręty mogą przenosić siły ściskające i rozciągające a obliczenia mogą być wykonywane dla grup obciążeń, sumy grup obciążeń, zdefiniowanych kombinacji i obwiedni. Cięgna są wówczas traktowane podczas obliczeń jak zwykłe pręty.
- **Z uwzględnieniem cięgien** – gdzie pręty oznaczone jako cięgno mogą przenosić jedynie siły rozciągające a obliczenia mogą być wykonane jedynie dla wybranych grup obciążeń i kombinacji. Obliczenia wówczas wykonywane są metodą iteracyjną w taki sposób, że eliminują możliwość wystąpienia sił ściskających w cięgnach.

Oba opisane powyżej warianty obliczeń nie mogą być wykonywane jednocześnie, ale w każdej chwili można się między nimi przełączyć (obliczenia statyki wówczas należy wykonać powtórnie).

Aby uruchomić wariant obliczeń z uwzględnieniem cięgien, należy w oknie **Ustawienia** zaznaczyć znacznik: **Uwzględnij cięgna w obliczeniach**. Wówczas jeśli w układzie występują pręty typu cięgno, po naciśnięciu ikony obliczeń statycznych (lub w czasie przełączania na zakładkę **Wyniki**) wyświetli się dodatkowe okno dialogowe jak niżej:

## Cięgna



Rys. 8.3 Wywołanie obliczeń statycznych jak dla cięgien

W oknie tym możemy ustawić parametr zbieżności iteracji przy obliczaniu cięgien (czym niższa wartość parametru tym więcej iteracji będzie musiał wykonać program i tym dłużej będą trwały obliczenia, ale wyniki będą dokładniejsze). Niżej w dwóch kolumnach użytkownik powinien wybrać dla jakich grup i kombinacji mają być przeprowadzone obliczenia. Ponieważ wszystkie obliczenia z uwzględnieniem cięgien wykonywane są iteracyjnie, zasada jest tu podobna, im więcej elementów wybierzemy do obliczeń tym dłużej będą one trwały. W grupach obciążeń do wyboru jak również w kombinacjach, przy obliczaniu układów z cięgnami pomijana jest grupa ciężaru własnego konstrukcji, ponieważ daje ona siły zginające w cięgnach, które dla tego modelu są niedopuszczalne. W oknie *Ustawień wyników statyki*, przy nazwach grup i kombinacji dołożono ikonki umożliwiające dostęp do ustawień grupy lub kombinacji, pozwalające szybko zmodyfikować współczynniki obciążenia. W przypadku grup obciążeń stałych do obliczeń cięgien uwzględniany jest tylko maksymalny współczynnik obciążenia (minimalny jest pomijany). Poszczególne grupy obciążeń i te same grupy w kombinacjach mogą mieć ustawione inne współczynniki obciążenia, przy czym przy liczeniu kombinacji uwzględniane są współczynniki zdefiniowane w oknie *Zależności grup obciążeń*, natomiast przy liczeniu wyników dla poszczególnych grup uwzględniane są współczynniki maksymalne ustawione w oknie definicji grup.

Po naciśnięciu przycisku **OK** w oknie j. w. program przechodzi do wykonania obliczeń z uwzględnieniem cięgien. Ponieważ proces ten może trwać dość długo, w jego trakcie wyświetlane jest okienko w którym użytkownik jest informowany o postępie procesu obliczeniowego.

W przypadku wykonywania obliczeń dla cięgien, nie będą uwzględniane w obliczeniach zdefiniowane w projekcie grupy obciążeń typu „multi” oraz grupy obciążeń ruchomych, które z założenia przeznaczone są do szybkiego budowania obwiedni sił wewnętrznych dla niezależnych obciążeń zmiennych w układach ramowych. Jedynym rozwiązaniem w tym przypadku, jest rozbitcie grup „multi” i grup obciążenia ruchomego w oknie *Grup obciążeń* na odpowiednie podgrupy przed wykonaniem obliczeń dla cięgien (podobną metodologię powinno się również stosować przy zwykłych obliczeniach dla kombinacji bez uwzględniania cięgien).

## 8.4 STATYKA I WYMIAROWANIE CIĘGIEN

Cięgnem nazywamy w programie pręt prostoliniowy, obustronnie przegubowy, który przenosi tylko siły normalne rozciągające.

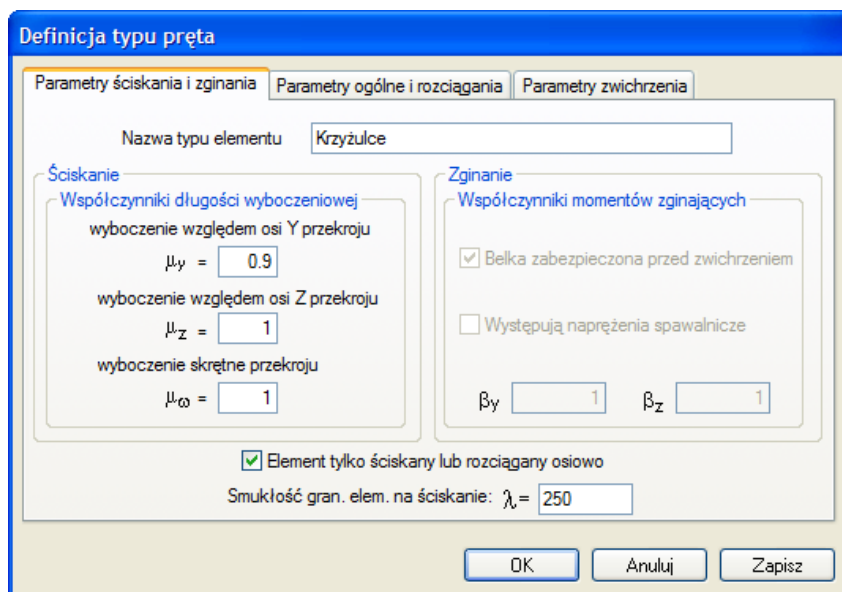
Obliczenia sił wewnętrznych i przemieszczeń dokonywane są w sposób iteracyjny. W kolejnych krokach iteracyjnych wprowadza się wirtualne obciążenia zerujące, czyli w każdym kolejnym kroku iteracyjnym siłę w ściszanym cięgnie o wartości największej siły ściskającej. Iteracja jest przeprowadzana tak długo, aż siły w ścispanych cięgnach są mniejsze od iloczynu współczynnika zbieżności iteracji i największej początkowej wartości siły ściskającej w cięgnach.

Dla układów z cięgnami użytkownik nie może korzystać z zasady superpozycji dla różnych obciążeń. Stąd, w przeciwieństwie do układów bez cięgien, program nie wykonuje automatycznych obwiedni sił i przemieszczeń. Obliczenia są wykonywane tylko dla wybranych grup i kombinacji obciążeń.

## Cięgna

Należy pamiętać że podczas obliczeń statycznych dla cięgien, w grupie ciężaru własnego zachodzi modyfikacja eliminująca ciężar własny samych cięgien. Cięgna modelowane są w układzie jako elementy nieważkie i ich ciężar jest pomijany w dalszych obliczeniach.

Ponieważ na skutek dokładności numerycznej obliczeń może się zdarzyć, że w prętach typu „ciągno” mogą wystąpić poza siłą rozciągającą inne, nie zerowe (ale bliskie zera) wartości sił wewnętrznych, które mogłyby niewłaściwie wpływać na ścieżkę wymiarowania. Zaleca się do wymiarowania wszystkie pręty typu „ciągno” definiować w osobnych grupach prętów, z przypisanymi do nich odpowiednimi typami wymiarowania, zawierającymi zaznaczony parametr: *Element tylko ściskany lub rozciągany osiowo* (zakładka *Parametry ściskania i zginania* w definicji typu pręta dla *Interstali*). Ustawienie tego parametru powoduje automatyczne obcięcie („śmieciowych” w tym przypadku) wartości momentów i sił tnących do zera.



Rys. 8.4 Ustawienia definicji typu wymiarowania dla cięgien

Wymiarowanie zbiorcze prętów i elementów wymiarowych, po przeprowadzonych obliczeniach dla cięgien, wykonywane jest dla całego układu tylko dla jednej grupy lub kombinacji, zaznaczonej przez użytkownika na zakładce *Wyniki*. Analogicznie po obliczeniach dla cięgien, pojedynczy pręt lub grupę prętów współliniowych możemy zwymiarować tylko dla jednej wybranej grupy obciążeń lub kombinacji. Gdy chcemy zmienić grupę lub kombinację do wymiarowania, zaznaczamy odpowiedni znacznik wyboru (grupy lub kombinacji) na dole zakładki *Wyniki* i ponownie naciskamy ikonę wymiarowania zbiorczego (wymiarowanie dla innych sił wewnętrznych musi być wówczas przeprowadzone powtórnie). Jest to jedna z podstawowych różnic między zwykłymi obliczeniami dla których wymiarowanie przeprowadzane jest zawsze dla obwiedni, a obliczeniami dla cięgien gdzie wymiarowana jest zawsze jedna wybrana grupa obciążeń lub kombinacja.

Dla układów zawierających cięgna i w których jednocześnie zdefiniowano grupy obciążeń typu „multi” lub grupy obciążenia ruchomego, założono blokadę uniemożliwiającą wybór tych grup do obliczeń.

### Uwaga:

*Dla dwóch krzyżujących się cięgien nie wolno w miejscu ich przecięcia tworzyć węzła przegubowego, gdyż taki układ traktowany jest przez program jako geometrycznie zmienny i prowadzi do nieskończonej liczby iteracji przy obliczeniach statycznych.*

## Pręty na mimośrodku

# 9 PRĘTY NA MIMOŚRODKU

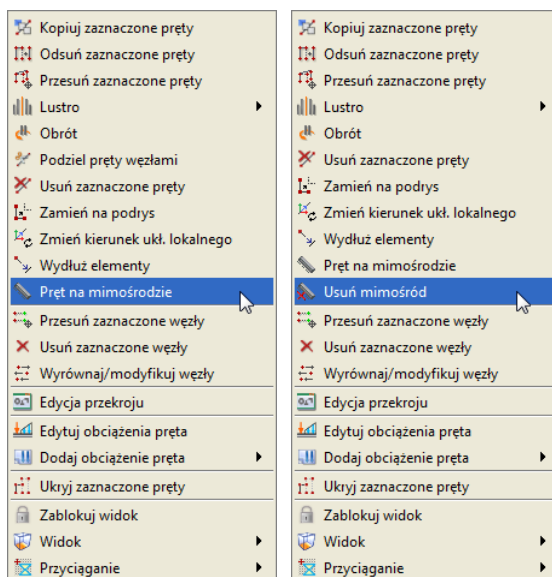
## 9.1 DEFINIOWANIE PRĘTÓW NA MIMOŚRODKU

W programie można definiować dwa podstawowe typy prętów na mimośrodku (z przeniesioną osią pręta):

- Pręt z mimośrodem wprowadzonym na jednym końcu pręta.
- Pręty z takim samym mimośrodem na obu końcach pręta.

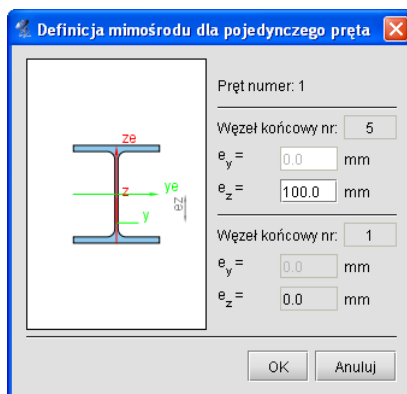
Niezależnie od typu wprowadzonego mimośrodu pręty dla których wprowadzono mimośród są zawsze całkowicie równoległe do tych samych prętów przed wprowadzeniem mimośrodu.

Mimośród na jednym końcu pręta można wprowadzić tylko pojedynczo dla każdego pręta w układzie osobno. Aby to zrobić należy zaznaczyć pojedynczy pręt dla którego chcemy wprowadzić mimośród oraz jeden z jego węzłów w którym będziemy wprowadzać wartości mimośrodu. Następnie z menu kontekstowego prawego klawisza myszki wybieramy opcję: **Pręt na mimośrodku**.



Rys. 9.1 Wywołanie funkcji tworzenia i usuwania mimośrodu dla pręta

Po wyborze opisanej funkcji otrzymamy okno jak niżej:

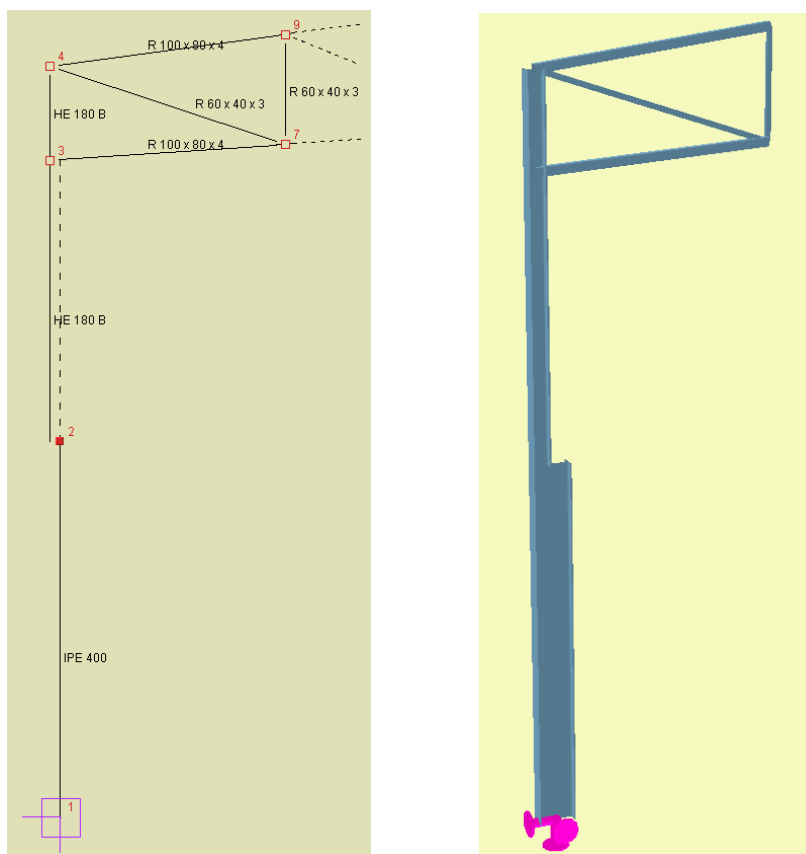


Rys. 9.2 Okno definicji mimośrodu jednostronnego

W okienku jak wyżej z lewej strony odrysowany jest rzeczywisty przekrój wybranego pręta na którym pokazywane jest jego przesunięcie mimośrodowe. Z prawej strony okienka podany jest numer wybranego pręta, oraz

## Pręty na mimośrodzie

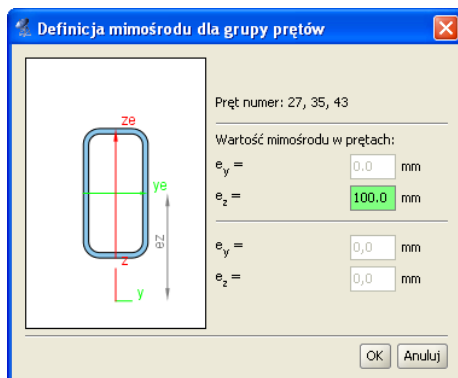
dla wybranego numeru węzła aktywne jest pole edycyjne mimośrodu  $e_z$ . Dla drugiego węzła mimośród ustawiony jest na zero i jest nieaktywny. Należy tu pamiętać, że wprowadzany mimośród przekroju, podawany może być tylko w kierunku osi „z” układu lokalnego pręta. Na skutek wprowadzenia mimośrodu w jednym z węzłów pręt odsuwany jest w tym węźle o wprowadzoną wielkość i łączony z węzłem wyjściowym wirtualnym (niewidocznym dla użytkownika) prętem o dużej sztywności, z przeniesieniem typu połączenia do nowego węzła. Po wprowadzeniu mimośrodu na jednym końcu pręta, na drugim końcu następuje przesunięcie istniejącego węzła o taki sam mimośród z odpowiednią modyfikacją prętów dochodzących w tym węźle. Powyższa metoda wprowadzania mimośrodu najczęściej wykorzystywana będzie przy definiowaniu słupów o skokowo zmiennej sztywności, z płaską powierzchnią pod obudowę z jednej strony. Oznaczenie pręta mimośrodowego składa się z dwóch równoległych linii ciągłej i przerywanej. Wygląd pręta w układzie i widoku 3D, z mimośrodem na jednym jego końcu przedstawiono poniżej:



Rys. 9.3 Widok mimośrodu jednostronnego na ekranie graficznym i w widoku 3D

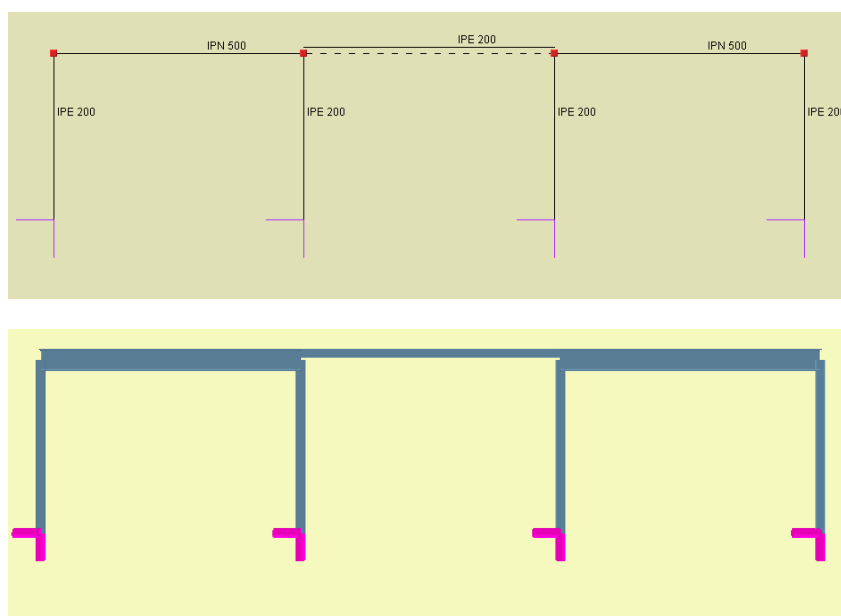
Dla wielu zaznaczonych prętów (z zaznaczonymi węzłami lub nie) a także dla pojedynczego pręta z zaznaczonymi oboma węzłami, przy wyborze opcji: **Pręt na mimośrodzie**, można zdefiniować jedynie taki sam mimośród na obu jego końcach. Dla pojedynczego pręta z zaznaczonymi węzłami, zostanie otwarte wówczas okienko jak poprzednio lecz z aktywnymi polami edycyjnymi mimośrodów dla obu węzłów. Przy czym należy pamiętać, że wówczas zmiana mimośrodu w jednym węźle będzie automatycznie powodowała taką samą zmianę mimośrodu w drugim węźle. Wybranie opcji: **Pręt na mimośrodzie** dla wybranego pojedynczego pręta (bez zaznaczonych węzłów) pozwala jedynie na podgląd zdefiniowanego w tym pręcie mimośrodu bez możliwości jego edycji. Wybranie funkcji: **Pręt na mimośrodzie** dla wielu zaznaczonych prętów powoduje wywołanie okna jak niżej:

## Pręty na mimośrodzie



Rys. 9.4 Definicja mimośrodu dla grupy prętów

W oknie wyświetlą się wówczas numery wszystkich zaznaczonych prętów, pominięte zostaną numery węzłów, a aktywne pole edycyjne pozwoli na zdefiniowanie mimośrodu  $e_z$  dla wszystkich zaznaczonych prętów na obu końcach na raz. Tak jak w pierwszym przypadku wprowadzany mimośród przekroju, podany może być tylko w kierunku osi „z” układu lokalnego pręta. Na skutek wprowadzenia mimośródów, na obu końcach pręty odsuwane są w tych węzłach o wprowadzoną wielkość mimośrodu i łączone z węzłami wyjściowymi, wirtualnymi (niewidocznymi dla użytkownika) prętami o dużej sztywności, z przeniesieniem typu połączenia do nowych węzłów. Opisana metoda wprowadzania mimośrodu najczęściej wykorzystywana będzie przy definiowaniu elementów belkowych opartych na innych podciągach (np. oparcie płatwi na ryglach). Oznaczenie pręta mimośrodowego składa się z dwóch równoległych linii ciągłej i przerywanej. Wygląd pręta w układzie i widoku 3D, z mimośrodem na obu jego końcach przedstawiono poniżej:



Rys. 9.5 Widok mimośrodu dwustronnego na ekranie graficznym i w widoku 3D

Ponieważ wprowadzenie dużej ilości prętów na mimośrodzie może mieć istotny wpływ na szybkość przeprowadzanych obliczeń, za każdym razem przed zdefiniowaniem tego typu prętów należy rozważyć czy taka definicja jest konieczna i może mieć istotny wpływ na wyniki obliczeń statycznych.

Niewidoczne pręty wirtualne, których długość reprezentuje wprowadzony mimośród, mają sztywność ok. 1000 razy większą od pręta o największej sztywności, wybranego z listy prętów schodzących się w węzle dla którego ten mimośród został zdefiniowany.

Po zdefiniowaniu mimośrodów dla poszczególnych prętów, poprawność ich wprowadzenia można obejrzeć na **Widoku 3D**.

## Pręty na mimośrodzie

### 9.2 EDYCJA I MODYFIKACJE PRĘTÓW NA MIMOŚRODZIE

Aby usunąć wprowadzony mimośród na pręcie zaznaczamy element lub elementy z mimośrodem i z menu podręcznego prawego klawisza myszki wybieramy opcję: *Usuń mimośród*. Na skutek tej operacji wszystkie mimośrodki w prętach zostaną ustawione na wartość „0” a w przypadku mimośrodu na jednym końcu pręta, drugi koniec powraca do położenia wyjściowego. Całkowicie można usunąć z układu pręt na mimośrodzie, wybierając dla niego opcję: *Usuń zaznaczone pręty*. Operacja usuwania z układu takiego pręta odbywa się w dwóch etapach niewidocznych dla użytkownika. W pierwszej kolejności dla takiego pręta wszystkie mimośrodki ustawiane są na „0” (ze wszystkimi konsekwencjami tej operacji), a w drugim etapie pręt całkowicie usuwany jest z układu. Złożony proces tej operacji widać jedynie gdy po usunięciu pręta na mimośrodzie z układu zastosujemy funkcję „cofnij”, która przywraca stan poprzedni w dwóch ruchach. Dla prętów z mimośrodem tak jak dla pozostałych prętów, dostępne są dodatkowo następujące opcje modyfikacyjne: kopiowanie, odsuwanie, przesuwanie, lustro i zmiana przekroju.

Dla prętów z mimośrodem nie są dostępne następujące funkcje modyfikacji:

- Dzielenie pręta z mimośrodem, a w konsekwencji dla takiego pręta, nie jest dostępne również wprowadzanie elementu od dowolnego punktu środkowego tego pręta z opcją jego podziału.
- Scalanie kolejnych, ciągłych współliniowych prętów z których jeden lub więcej ma ustawiony mimośród.
- Dla węzłów końcowych pręta z mimośrodem nie jest możliwa zmiana typu węzła z przegubowego na sztywny i odwrotnie.

Jeśli jedną z powyższych funkcji, chcemy zastosować należy to zrobić przed zdefiniowaniem mimośrodów w pręcie.

Jeśli dla jednego pręta wchodzącego w skład elementu wymiarowego będziemy chcieli ustawić mimośród, element zostanie rozbity a operacja poprzedzona odpowiednim komunikatem.

Jeśli kilka ciągłych i współliniowych prętów ma ten sam przekrój, tak samo ustawione mimośrodki i takie same pozostałe własności, wówczas można z nich utworzyć element wymiarowy wykorzystywany przy wymiarowaniu zbiorczym.

Informacje o zadanych w poszczególnych prętach mimośrodkach umieszczone są w raporcie ze statyki w dodatkowej tabeli w informacjach o wprowadzonym układzie.

### 9.3 OBLICZENIA PRĘTÓW NA MIMOŚRODZIE

Obliczenia statyczne układu zawierającego pręty na mimośrodkach wykonywane są tak samo jak obliczenia zwykłego układu. Jedyną różnicą jest uwzględnianie na etapie obliczeń niewidocznych dla użytkownika prętów wirtualnych o dużej sztywności, które reprezentują odpowiednie przesunięcia mimośrodowe prętów układu. W celu przyspieszenia obliczeń dla tego typu układów, przed przystąpieniem do procesu obliczeń przeprowadzana jest dodatkowa optymalizacja polegająca kolejno na:

- Scalaniu prętów wirtualnych o takiej samej długości, znajdujących się dokładnie w takiej samej lokalizacji i mających takie same typy połączeń na jednym i drugim końcu.
- Eliminowaniu z układu prętów wirtualnych, których jeden koniec połączony jest z innymi prętami układu (z zachowaniem ich połączeń w tym węźle), a drugi jest swobodny.
- Renumeracji prętów i węzłów (niewidoczna dla użytkownika) – operacja ta wykonywana jest na początku obliczeń, a po ich zakończeniu obliczone wartości ponownie przepisywane są ponownie do listy prętów i węzłów widzianej dla użytkownika na interfejsie.

Operacje te znacznie przyspieszają obliczenia układów zawierających pręty na mimośrodkach, ale mimo to należy liczyć się z znacząco dłuższymi czasami obliczeń (w stosunku do układów nie zawierających prętów na mimośrodkach), wynikającymi ze zwiększonej ilości liczonych prętów i węzłów, a także znacznych różnic w sztywnościach liczonych elementów.



## Optymalizacja obliczeń statycznych

# 10 OPTIMALIZACJA OBLICZEŃ STATYCZNYCH

Obliczenia statyczne w programie wykonywane są dokładną macierzową metodą przemieszczeń. W każdym projekcie na podstawie macierzy sztywności poszczególnych prętów układu, budowana jest globalna macierz sztywności układu, a następnie na podstawie zadanych obciążeń ustalany jest dla poszczególnych grup obciążeń wektor wyrazów wolnych. Dla tak zbudowanego układu równań wyznaczane są wszystkie przemieszczenia węzłowe, osobno dla każdej grupy obciążeń, przez wielokrotne rozwiązywanie układu równań liniowych z dużą liczbą niewiadomych. Na podstawie otrzymanych przemieszczeń węzłowych i obciążeń przyłożonych do poszczególnych prętów wyznaczane są wartości sił wewnętrznych, przemieszczeń, reakcji a następnie liczone są naprężenia normalne w poszczególnych przekrojach prętów.

W aktualnej wersji programu Rama 2D w znacznym stopniu zmieniono metodologię wykonywania obliczeń statycznych, a zwłaszcza rozwiązywania wielkich układów równań liniowych. Wprowadzone zmiany przyspieszają działanie algorytmów liczących w różnych przypadkach obliczeniowych z szczególnym uwzględnieniem układów zawierających pręty na mimośrodku. Wprowadzone w programie zmiany i modyfikacje obejmują:

- Wymianę podstawowej biblioteki matematycznej „mtj.jar” na nowszą wersję z poprawioną obsługą pamięci.
- Optymalizację algorytmu przygotowania danych do obliczeń dla układów z prętami na mimośrodku.
- Zmianę współczynnika stosunku sztywności między prętami na mimośrodku a prętami wirtualnymi z 1000 na 100000 – skutkującą zwiększoną dokładnością wyników, bez wpływu na szybkość obliczeń.
- Implementację algorytmu renumeracji węzłów o najniższej różnicy numerów kolejnych węzłów metodą „reverse Cuthill-McKee” - renumeracja działa tylko podczas obliczeń i jest niezauważalna dla użytkownika.
- Zmianę metodologii przygotowania macierzy sztywności do obliczeń, oraz rozdzielenie metod przygotowania macierzy dla układów z mimośrodkami i pozostałych układów. Aktualnie do rozwiązywania układu równań liniowych stosowana jest iteracyjna metoda gradientów sprzężonych (Conjugate Gradient Method, CG). Do realizacji uwarunkowania wstępnego (preconditioning) dla układów zawierających mimośrodku stosowany jest algorytm niekompletnej faktoryzacji Cholesky’ego (Incomplete Cholesky Factorization, Incomplete Cholesky preconditioning, ICC), dla układów bez mimośrodków stosowany jest algorytm realizacji uwarunkowania wstępnego na podstawie głównej przekątnej macierzy współczynników (Diagonal preconditioner).
- Wprowadzenie obsługi możliwości wykorzystania do czterech wątków na komputerach HT, Core 2 Duo i Quad, przy rozwiązywaniu układów równań dla wielu grup obciążeń – skutkujące dalszą redukcją czasu obliczeń.

Dodatkowo w programie wykonano optymalizację algorytmu oczyszczania projektu na etapie kontroli modelu obliczeniowego.

Ponieważ rozwiązanie układów równań metody przemieszczeń, wykonywane jest przez program przybliżoną metodą iteracyjną, w niektórych przypadkach uzyskuje się wymaganą zbieżność metody mimo tego że układ jest geometrycznie zmienny. Dlatego też pod koniec obliczeń statycznych wprowadzono dodatkowe zabezpieczenie polegające na sprawdzeniu przemieszczeń liniowych wszystkich węzłów od sumy wszystkich grup obciążeń i ich porównaniu z maksymalnym rozmiarem układu. W przypadku gdy przemieszczenie te przekraczają maksymalny rozmiar układu po obliczeniach wyprowadzony jest odpowiedni komunikat informacyjny podający numery prętów dla których wystąpiło to przekroczenie. Pozostawiono również w tym przypadku możliwość analizy otrzymanych wyników (mimo że układ z dużym prawdopodobieństwem jest geometrycznie zmienny). Dla wielu złożonych układów statycznych takie podejście umożliwia łatwe wychwycenie (na podstawie ugięć) miejsc w których założono niewłaściwe więzi skutkujące powstaniem układów geometrycznie zmiennych.

## Analiza wyników

# 11 ANALIZA WYNIKÓW

## 11.1 ZAPAMIĘTYWANIE WYNIKÓW OBLICZEŃ

W aktualnej wersji programu wprowadzono zapamiętywanie wyników obliczeń statycznych i wymiarowania w postaci dodatkowego pliku, o takiej samej nazwie jak plik modelu projektu *f2d* lecz o rozszerzeniu *sw2d*. Każdy pliki *sw2d* jest plikiem archiwum typu zip zawierającym wewnątrz jeden lub dwa pliki typu XML w których zapisane zostały osobno wyniki obliczeń statycznych i wymiarowania zbiorczego. Wyniki obliczeń statycznych i wymiarowania zapisywane są do pliku zaraz po wykonaniu odpowiednich obliczeń, a także podczas użycia przez użytkownika funkcji **Zapisz projekt jako**. Po zapisaniu przeliczonego projektu i zamknięciu programu oraz po ponownym jego uruchomieniu, plik projektu wczytuje się wraz z ostatnio przeliczonymi wynikami. Dostęp do tych wyników obliczeń możliwy jest przez zmianę zakładki na **Wyniki** lub **Wymiarowanie**. Wyniki obliczeń będą zawsze pamiętane w projekcie do momentu istotnej zmiany modelu liczonego układu, przeważnie mającej wpływ na ich wartości. W przypadku gdy model układu ulegnie zmianie, każde wywołanie obliczeń za pomocą odpowiedniego przycisku lub próba zmiany zakładek na **Wyniki** lub **Wymiarowanie** spowoduje automatyczne usunięcie dotychczasowych wyników obliczeń i ponowne wywołanie procesu obliczeniowego. W przypadku uruchomienia obliczeń statycznych lub wymiarowania z odpowiedniego przycisku w pasku narzędziowym, zawsze obliczenia będą się wykonywały od początku, niezależnie od tego czy model uległ zmianie czy też nie. W przypadku gdy model nie uległ zmianie i są już dla niego wyniki obliczeń, ponowne wykonanie obliczeń będzie poprzedzone odpowiednim komunikatem: „**Aktualny projekt jest już przeliczony, ponowne jego przeliczenie spowoduje utratę dotychczasowych wyników. Czy chcesz wykonać ponownie obliczenia?**”. Plik z wynikami zapisywany jest na dysku w miejscu lokalizacji pliku modelu projektu (*f2d*) w postaci dodatkowego archiwum, zawierającego w osobnych plikach **XML** wyniki z obliczeń statycznych i wyniki z wymiarowania zbiorczego. Plik wyników obliczeń może zawierać same wyniki obliczeń statycznych lub wyniki obliczeń statycznych i wymiarowania zbiorczego w zależności od tego jakie obliczenia były wykonywane dla danego projektu. W przypadku gdy dla wykonanego projektu układu nie zostały wykonane żadne obliczenia na dysku zapisywany jest jedynie plik *f2d* zawierający model układu statycznego. Wczytywanie wyników już przeliczonego projektu jest dla większości układów statycznych znacznie szybsze niż prowadzenie ponownych obliczeń. Funkcja ta nabiera szczególnego znaczenia przy przeliczaniu dużych projektów zawierających dużą liczbę prętów lub dużą liczbę grup obciążeń, wówczas różnica między ponownym wykonaniem obliczeń a wczytaniem wyników z istniejącego pliku jest bardzo duża. Należy również pamiętać, że przy obliczeniach statycznych układów z cięgnami oraz przy wymiarowaniu zbiorczym, użytkownik decyduje na jakie zestawy obciążeń lub sił wewnętrznych mają być przeprowadzone obliczenia. Zmiana tych zestawów w stosunku do dotychczasowych, wymusza w programie ponowne wykonanie obliczeń. W celu zapewnienia spójności wyników obliczeń wprowadzono również następujące zasady:

- Wymuszenie ponownych obliczeń statycznych (przez program lub użytkownika) powoduje usunięcie dotychczasowych wyników obliczeń statycznych i wymiarowania zbiorczego.
- Wymuszenie ponownych obliczeń wymiarowania zbiorczego (przez program lub użytkownika) powoduje usunięcie dotychczasowych wyników wymiarowania zbiorczego a wyniki obliczeń statycznych pozostają bez zmian.

Jeśli użytkownik przez pomyłkę wymusi z paska narzędziowego, ponowne wykonanie obliczeń statyki lub wymiarowania dla uprzednio przeliczonego i niezmienionego modelu, może je jeszcze w każdej chwili przerwać, co spowoduje powrót do wcześniejszych wyników obliczeń (wyniki ulegają nadpisaniu tylko po prawidłowych i całkowicie ukończonych obliczeniach statycznych lub wymiarowaniu).

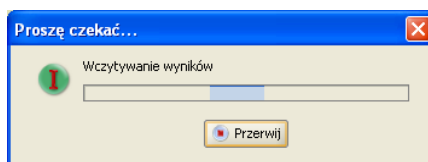
### Uwaga:

- **Każde wywołanie obliczeń statycznych lub wymiarowania zbiorczego z górnego paska narzędziowego powoduje ponowne przeliczenie projektu, niezależnie czy wcześniej istniały wyniki obliczeń czy też nie.**
- **Każde pierwsze wywołanie obliczeń statycznych lub wymiarowania zbiorczego przez przełączenie na zakładkę Wyniki lub Wymiarowanie powoduje wczytanie dotychczasowych wyników obliczeń do pamięci o ile wcześniej były one wykonane, oraz ich zakres i model układu nie uległ istotnej zmianie. W każdym innym przypadku, przełączenie zakładek wywoła ponowne proces obliczeniowy jak w punkcie pierwszym.**
- **Każde kolejne wywołanie obliczeń statycznych lub wymiarowania zbiorczego przez przełączenie na zakładkę Wyniki lub Wymiarowanie powoduje zmianę zakresu wyświetlanych wyników, umieszczonych w**

## Analiza wyników

*pamięci komputera, o ile model układu nie uległ istotnej zmianie. W każdym innym przypadku, przełączenie zakładek wywoła ponowne proces obliczeniowy jak w punkcie pierwszym.*

Po wykonaniu obliczeń lub ich wczytaniu, wyniki obliczeń przechowywane są w pamięci komputera do czasu zamknięcia programu lub do czasu ponownego (automatycznego lub wymuszonego) uruchomienia obliczeń lub ich wczytania. Proces wczytywania gotowych wyników obliczeń do pamięci komputera może trwać do kilkunastu sekund (w zależności od skomplikowania układu) i opatrzony jest odpowiednim komunikatem na ekranie:



Rys. 11.1 Komunikat o wczytywaniu wyników

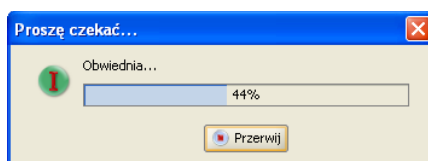
Gdy wczytamy do programu wcześniej zapisany dowolny układ statyczny, wykonamy jego istotną modyfikację, a następnie przeliczymy statykę i wymiarowanie, przy zamykaniu programu użytkownik zostanie zapytany czy ma być zapisany zmieniony projekt. Jeśli użytkownik potwierdzi zapis, układ w zmienionej formie zostanie zapisany wraz z wynikami obliczeń. W przeciwnym przypadku wyjściowy układ nie zostanie zmodyfikowany a wyniki przeprowadzonych obliczeń (dla zmienionego układu) nie zostaną zapisane na dysku. Taka metodologia zapewnia zachowanie spójności danych wyjściowych i przypisanych im wyników obliczeń statycznych i wymiarowania.



## 11.2 ANALIZA WYNIKÓW NA EKRANIE

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 odpowiedni sił przekrojowych. W trakcie obliczeń wyświetlany jest na ekranie pasek postępu oraz aktualna informacja o ich stanie. W przypadku gdy liczony układ jest geometrycznie zmienny, obliczenia są przerywane i wydawany jest odpowiedni komunikat. W każdej chwili proces liczenia może zostać przerwany przez użytkownika przyciskiem **Przerwij**.

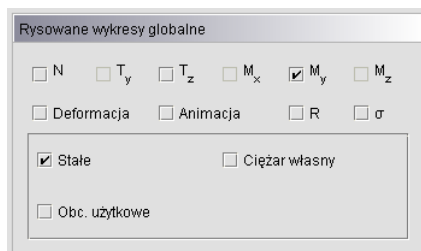


Rys. 11.2 Pasek postępu w trakcie obliczeń

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.

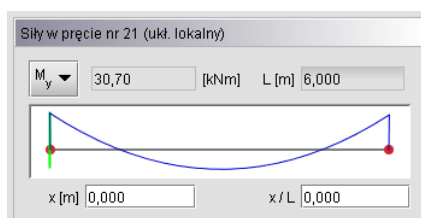
## Analiza wyników



Rys. 11.3 Wybór grup obciążeń

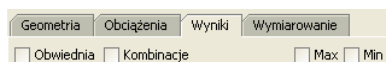
Niektóre pozycje na liście grup mogą być nieaktywne. Oznacza to, że dana grupa jest grupą nieaktywną (wyłączona w oknie **Grup Obciążeń**) i nie ma dla niej wyników w pamięci. Nad listą grup znajdują się przełączniki włączające lub wyłączające widok wykresów poszczególnych sił wewnętrznych na ekranie graficznym.

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. 11.4 Wykresy sił dla pojedynczego pręta

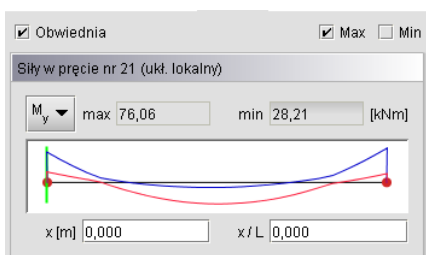
Punkt z którego odczytywane są wartości można określić za pomocą zielonego suwaka ustawionego na wykresie oraz podając jego współrzędne z klawiatury. Na podglądzie pręta oraz na widoku układu, rysowane są znaczniki pokazujące z którego punktu pręta odczytywane są wyniki.



Rys. 11.5 Przełączniki Grupy/Obwiednia/Kombinacje

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. 11.6 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 przęciu**. 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.

## Analiza wyników

Rys. 11.7 Siły przekrojowe w punkcie

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 przecię. Pozostałe wartości reakcji są wartościami odpowiadającymi.

Rys. 11.8 Obwiednia reakcji

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

Rys. 11.9 Wartości przemieszczeń

Prezentacja wyników dla zdefiniowanych przez użytkownika kombinacji oraz analiza naprężeń, zostały omówione szczegółowo w rozdziale 3 (**Kombinacji użytkownika i Naprężenia w przekroju**).

Na kolejnych stronach znajduje się przykładowy raport z obliczeń statycznych. 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).

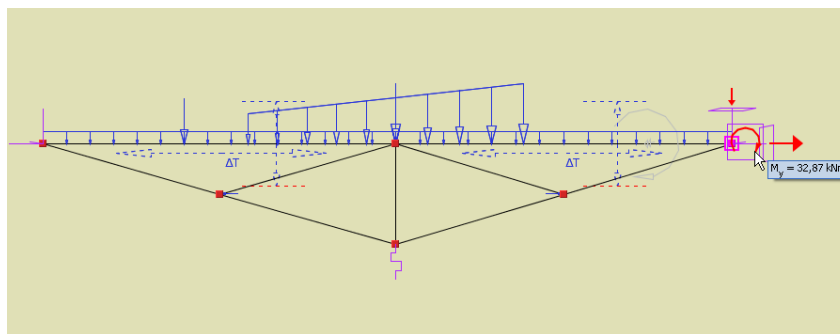
Rys. 11.10 Przełączniki min/max

W przypadku analizy wyników prowadzonej na ekranie, dla poszczególnych grup i sumy grup obciążeń, aktywne są 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 jako charakterystyczne lub obliczeniowe zależnie od ustawienia odpowiedniego przełącznika w oknie **Eksport do formatu RTF**.

### 11.3 FUNKCJA WIZUALIZACJI REAKCJI

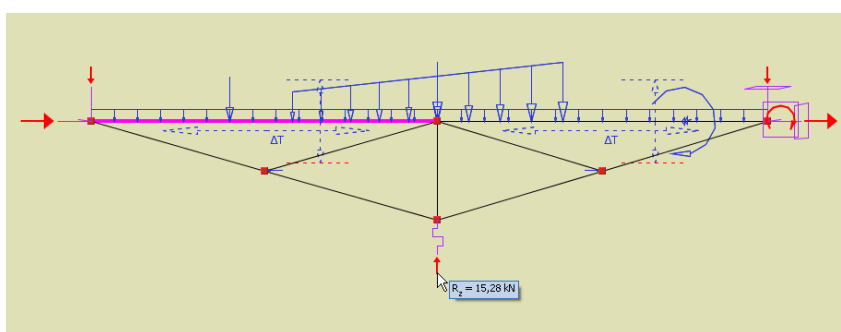
Na zakładce **Wyniki** istnieje możliwość wizualizacji kierunków i wartości reakcji podpór. Wizualizacja reakcji możliwa jest w programie w dwóch trybach.

## Analiza wyników



Rys. 11.11 Widok reakcji dla pojedynczego węzła (obwiednia)

Dla pojedynczego węzła podporowego (zaznaczonego na zakładce **Wyniki**) dostępna jest wizualizacja reakcji i ich wartości: dla grup i wybranej sumy grup obciążeń, wybranej kombinacji lub wybranego ekstremum obwiedni reakcji.



Rys. 11.12 Widok reakcji dla całego układu (suma grup obciążeń)

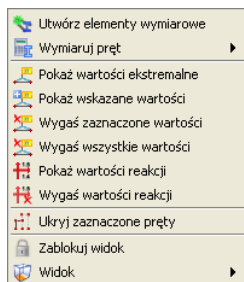
Drugi tryb wizualizacji reakcji dotyczy całości układu i dostępny jest na zakładce **Wyniki** po zaznaczeniu znacznika „**R**” w panelu „**Rysowane wykresy globalne**”. Wówczas dla całego układu wyświetlane są odpowiednie kierunki reakcji w węzłach podporowych dla grup i sumy grup obciążeń oraz wybranych kombinacji. W tym trybie nie jest dostępne wyświetlanie reakcji dla jakiegokolwiek obwiedni. Przy wybraniu **Obwiedni** sił na zakładce **Wyniki** użytkownik traci możliwość zaznaczenia wspomnianego znacznika „**R**”. Podgląd wartości poszczególnych reakcji w obu trybach dostępny jest w wyświetlanej dynamicznie podpowiedzi, widocznej po najechaniu kursorem myszki na symbol odpowiedniej reakcji. W węzłach podporowych dla których jedna z reakcji ma wartość „0”, symbol tej reakcji nie jest wyświetlany, niezależnie od tego, że więź danego typu jest założona.

## 11.4 FUNKCJA WIZUALIZACJI WARTOŚCI NA WYKRESACH GLOBALNYCH

Dla wykresów globalnych całości układu (sił wewnętrznych, naprężeń i przemieszczeń) istnieje możliwość wyświetlania ich wartości ekstremalnych lub innych wartości we wskazanych przez użytkownika punktach. W tym celu będąc na zakładce **Wyniki**, po zaznaczeniu kilku wybranych prętów, można wybrać z menu kontekstowego prawego klawisza myszki jedną z dwóch funkcji:

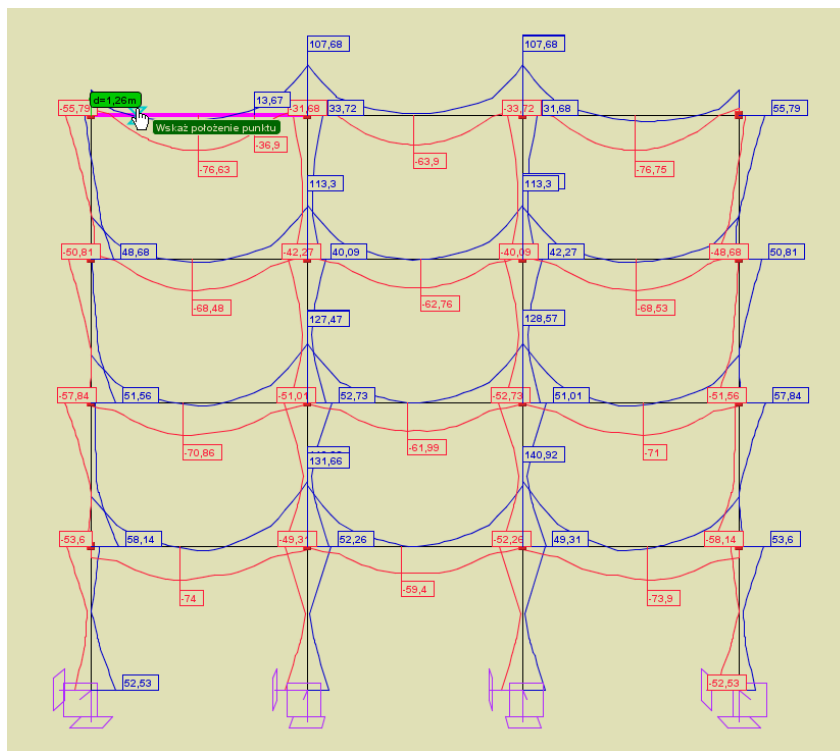
- **Pokaż wartości ekstremalne** (pozycja dostępna w menu jeśli zaznaczone są pręty, dla których nie są pokazywane wartości ekstremalne) – funkcja ta dla wskazanych prętów układu automatycznie wyświetla w odpowiednich punktach, ekstremalne wartości wykresów (sił wewnętrznych, naprężeń lub przemieszczeń). Przy wyświetlaniu pomijane są wartości zerowe nawet wówczas gdy stanowią ekstremum.
- **Pokaż wskazane wartości** – wybranie tej funkcji pozwala użytkownikowi wskazać na prętach układu dodatkowe lokalizacje, w których mają zostać wyświetlone wartości aktualnie widocznych wykresów. Podczas działania tej funkcji uruchamiane jest działanie punktów przyciągania do pręta, wraz z domiarem lokalizacyjnym i precyzyjnym ustawianiem położenia za pomocą kursorów. Aby zakończyć działanie tej funkcji należy wcisnąć klawisz **ESC**.

## Analiza wyników



Rys. 11.13 Menu kontekstowe prawego klawisza myszki dla zakładki Wyniki

Wartości na wykresach globalnych wyświetlane będą w etykietach z uwzględnieniem znaku i z pominięciem jednostki, która jest taka sama jak dla odpowiednich wartości wyświetlanych na zakładce **Wyniki**. Prezentacja wartości na wykresach działa jedynie w ramach danej sesji programu lub do momentu ponownego przeliczenia statyki układu. Po wykonaniu powtórnych obliczeń statycznych procedurę włączania wyświetlania wartości na wykresie należy powtórzyć. Samo przejście między zakładkami nie powoduje usunięcia wyświetlanych wartości na wykresach. W celu wygaszenia wyświetlania wszystkich wartości na wykresach, należy z menu kontekstowego prawego klawisza myszki wywołać funkcję: **Wygaś wszystkie wartości** (pozycja dostępna w menu jeśli wyświetlane są jakiegokolwiek wartości ekstremalne lub zdefiniowane przez użytkownika). W przypadku gdy chcemy wyłączyć wyświetlanie wartości na jednym lub kilku prętach wybieramy z menu kontekstowego opcję: **Wygaś zaznaczone wartości** (pozycja dostępna w menu jeśli zaznaczone są pręty, dla których pokazywane są wartości ekstremalne lub zdefiniowane przez użytkownika).



Rys. 11.14 Widok układu z wartościami pokazanymi na wykresach

Przy dużych złożonych układach statycznych zaleca się używanie funkcji wyświetlania wartości na wykresach tylko dla ograniczonej liczby prętów z jednoczesnym ukryciem części układu, oraz przy włączonym pojedynczym wykresie np.  $M_y$ . W przeciwnym razie użycie tych funkcji może prowadzić do dużego zwolnienia działania programu a zwłaszcza spowoduje utratę czytelności wyświetlanych wartości i odpowiadających im wykresów. W celu poprawienia czytelności wyświetlanych wartości można w pewnym zakresie posługiwać się sterowaniem wielkością etykiet w oknie **Ustawień** programu i projektu.

Analogicznie jak w przypadku wartości sił wewnętrznych, naprężeń i przemieszczeń na wykresach, w menu prawego klawisza myszki dla zakładki **Wyniki**, można włączyć lub wyłączyć wyświetlanie wartości widocznych

## Analiza wyników

na ekranie reakcji podporowych. Do tego celu służą funkcje menu prawego klawisza myszki: **Pokaż wartości reakcji** i **Wygaś wartości reakcji**. Wartości reakcji wyświetlane są bez etykiety, zawsze w kolorze czarnym, bezpośrednio przy symbolu danej reakcji. Wartości reakcji wyświetlane są w postaci ułamka gdzie dla danego kierunku w liczniku podana jest wartość siły a w mianowniku wartość momentu w podporze. W przypadku gdy jedna z tych wartości jest zerowa, wyświetlana jest dla danego kierunku tylko pojedyncza wartość.

### 11.5 FUNKCJA RAPORTU Z EKРАНU GRAFICZNEGO

W programie będąc na dowolnej zakładce (*Geometria*, *Obciążenia*, *Wyniki* lub *Wymiarowanie*) można wykonać zrzut aktualnego widoku ekranu graficznego do raportu **RTF**. W tym celu z menu rozwijalnego głównego paska narzędziowego **Raporty** wybieramy opcję: **Raport aktualnego widoku ekranu graficznego**. Na powyższy raport składa się:

- tytuł odpowiadający zakładce z której wykonano zrzut,
- powiększony na całą kartkę aktualny widok ekranu graficznego, wykonany zawsze na białym tle, przedstawiający aktualny widok układu widziany w identycznym położeniu jak na ekranie,
- opis wartości i ich jednostek przedstawianych na układzie (tylko dla zakładki **Wyniki** i **Wymiarowanie**).

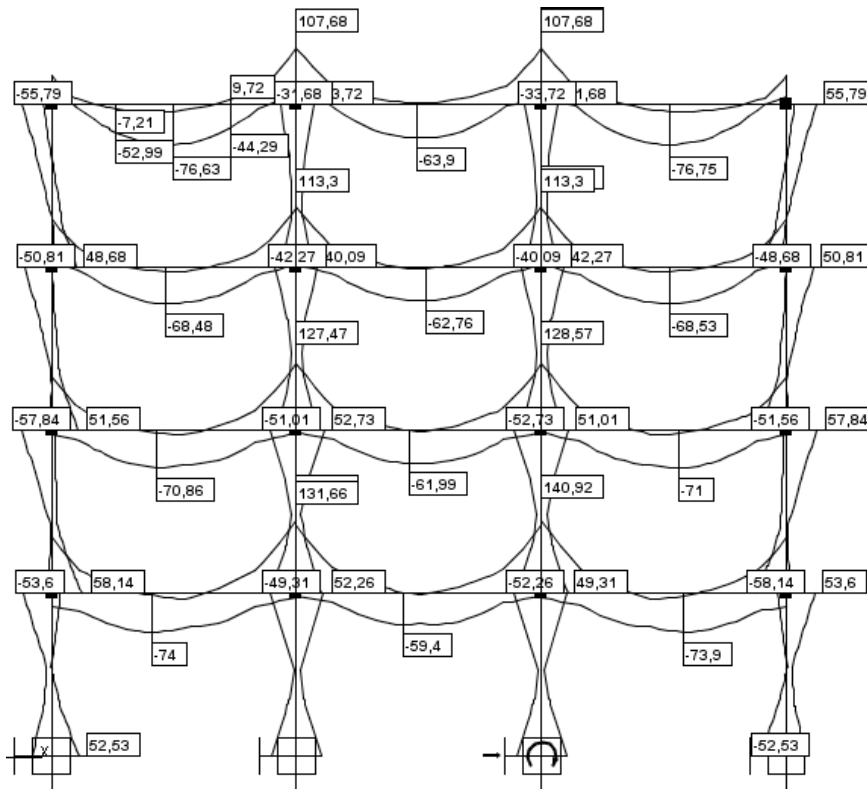
Funkcja raportu z ekranu graficznego, przewidziana jest do prezentacji w formie wydruku, wybranych przez użytkownika fragmentów lub całości układu, zawierających np. wykresy dowolnych sił wewnętrznych, naprężeń lub przemieszczeń wraz z ich wartościami opisanymi w punktach ekstremalnych i wskazanymi przez użytkownika, prezentacji kierunków reakcji lub wyników wymiarowania zbiorczego w zakresie stanu granicznego nośności lub użytkowania. Przy wykonywaniu tego raportu należy zawsze pamiętać, że widok w raporcie będzie dokładnym odzwierciedleniem widoku układu na ekranie i w przypadku ustawienia jednoczesnego wyświetlania zbyt dużej ilości informacji, może on być w obu przypadkach nieczytelny. Domyślnie raport wykonywany jest jako czarno-biały. W przypadku gdy chcemy wykonać raport w kolorach lub odcieniach szarości, należy ustawić odpowiednią opcję kolorów etykiet na wydruku, w oknie **Ustawień** programu.

Przykładowe raporty z ekranu graficznego dla zakładki **Wyniki** i **Wymiarowanie** przedstawiono poniżej:



## Analiza wyników

### R2D2-Rama2D – Wyniki

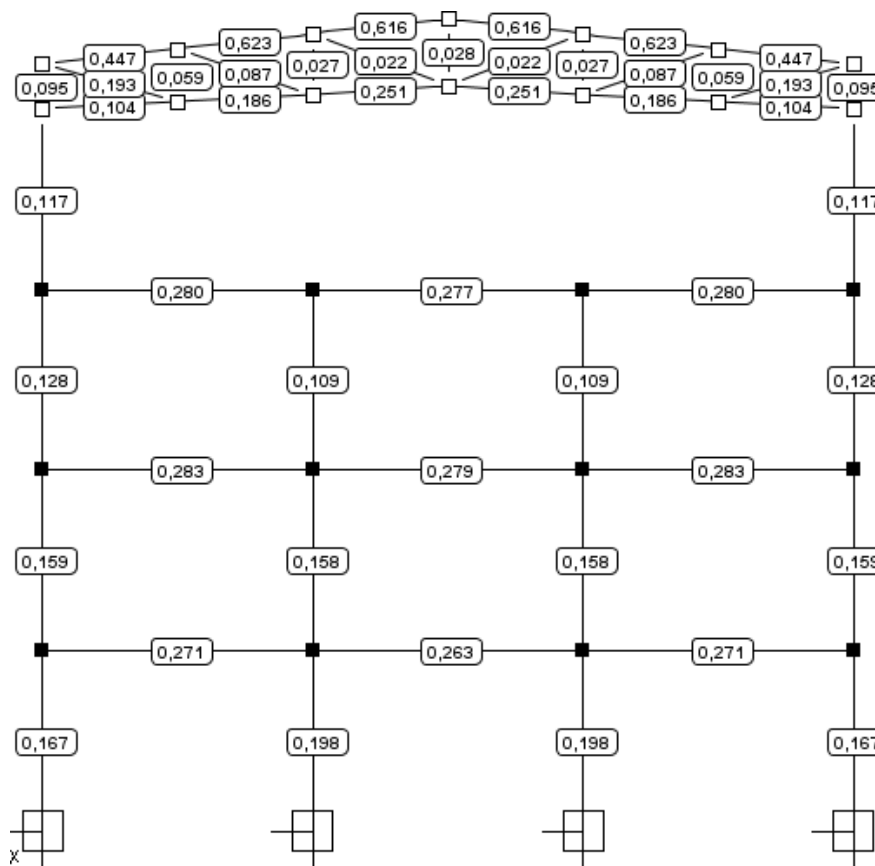


|                        |  |
|------------------------|--|
| <b>Typ obciążenia:</b> |  |
| Obwiednia              |  |

|                              |       |       |
|------------------------------|-------|-------|
| <b>Rodzaj oddziaływania:</b> |       |       |
| Momenty tnące:               | $M_y$ | [kNm] |

## Analiza wyników

## R2D2-Rama2D - Wymiarowanie



|             |                             |
|-------------|-----------------------------|
| <b>Typ:</b> |                             |
| Obwiednia:  | sił wewnętrznych i naprężeń |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>Stan graniczny nośności:</b>  |     |
| Stopień wykorzystania przekroju: | SGN |



## 11.6 PODSTAWOWE TYPY RAPORTÓW

W programie **R2D2 Rama 2D** mogą być wykonane następujące rodzaje raportów:

- **Raport z obliczeń statycznych** – obejmuje siły wewnętrzne, reakcje, przemieszczenia i naprężenia dla obwiedni, poszczególnych grup obciążeń, sumy grup, kombinacji i obwiedni po kombinacjach.  
Wywołanie: menu **Plik - Raport obliczeń** lub ikonka na pasku głównym programu.
- **Raport z wymiarowania** – skrócony raport z wymiarowania całości układu, zawierający informację o przekrojach, grupach prętów, elementach wymiarowych, definicjach typu wymiarowania, sprawdzaniach nośności oraz ugięciu i zarysowaniu.  
Wywołanie: menu **Plik - Raport z wymiarowania** lub ikonka na pasku głównym programu.

## Analiza wyników

- **Raport z ekranu graficznego** – obejmuje pojedynczy raport z aktualnego widoku graficznego całego układu lub jego widocznej części wraz włączonymi wartościami sił, naprężeń lub przemieszczeń lub etykietami wymiarowymi.  
Wywołanie: **Plik – Raport z aktualnego widoku graficznego** lub ikonka na głównym pasku narzędziowym.
- **Raport z edycji przekroju** – obejmuje wszystkie charakterystyki edytowanego przekroju.  
Wywołanie: **Edytor przekrojów – Raport**.
- **Raport z widoku 3D** – obejmuje widok 3D układu z zaznaczeniem elementów dla których przekroczone zostały dopuszczalne naprężenia sprężyste.  
Wywołanie: **Widok 3D – Raport**.
- **Raport z naprężeń normalnych w przekroju** – obejmuje wykres naprężeń normalnych w przekroju.  
Wywołanie: **Naprężenia w przekroju – Raport** (ustawiona zakładka naprężeń normalnych).
- **Raport z naprężeń stycznych w przekroju** – obejmuje wykresy naprężeń stycznych w danym przekroju (tylko dla przekrojów monosymetrycznych).  
Wywołanie: **Naprężenia w przekroju – Raport** (ustawiona zakładka naprężeń stycznych).
- **Raport z naprężeń zredukowanych w przekroju** – obejmuje wykresy bryły naprężeń zredukowanych w danym przekroju (tylko dla przekrojów monosymetrycznych).  
Wywołanie: **Naprężenia w przekroju – Raport** (ustawiona zakładka naprężeń zredukowanych).

Szczegółowy opis ich zawartości i sposobu uzyskania został omówiony w poprzednich i następnych rozdziałach. Poza opisanymi powyżej raportami uzyskanymi z głównego programu obliczeniowymi, każda z nakładek wymiarujących dla pojedynczego pręta, elementu złożonego lub elementu wymiarowego tworzy osobny szczegółowy raport z wymiarowania.

## 11.7 PRZYGOTOWANIE DO WYMIAROWANIA

Przystępując do końcowego wymiarowania elementów, układ statyczny powinien być dokładnie sprawdzony, policzony i poddany wstępnej analizie. Aby to zrobić sprawnie zaleca się wykonanie następujących czynności:

- Dzielimy pręty układu na grupy prętów, które naszym zdaniem powinny mieć ten sam przekrój i zrobione będą z materiału o tych samych własnościach mechanicznych (tej samej klasie).
- Do poszczególnych grup prętów przypisujemy własności w postaci granicznych wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie (w przypadku elementów żelbetowych proponuje się na ściskanie przyjąć wytrzymałość betonu a na rozciąganie wytrzymałość stali).
- Liczymy statykę i w **Widoku 3D** sprawdzamy dla których prętów nastąpiło przekroczenie założonych naprężeń (warto również sprawdzić jak duże jest to przekroczenie), następnie dla tych prętów zwiększamy przekrój lub zmieniamy parametry materiału i ponownie przeliczamy statykę do momentu aż wszystkie pręty będą mieściły się w granicy założonych naprężeń sprężystych.
- Na koniec przystępujemy do rzeczywistego wymiarowania właściwym modulem wymiarującym w stali lub drewnie.

Program **R2D2 Rama 2D** współpracuje z zewnętrznymi programami wymiarującymi takimi jak np. **InterStal**, **EuroStal** (wymiarowanie profili stalowych), **InterDrewno** (wymiarowanie elementów drewnianych) oraz **EuroŻelbet** (wymiarowanie elementów żelbetowych). Wymagają one osobnej licencji. Komunikacja między programem statycznym i wymiarującym odbywa się za pomocą pliku XML i odpowiedniego zestawu funkcji.

**InterStal** - jest głównym, zewnętrznym programem wymiarującym profile stalowe wg **PN-90/B-03200**. W tym celu oba programy przystosowane zostały do korzystania z jednej spójnej bazy danych o profilach stalowych zawartej w pliku XML. Opracowany został również sposób dwustronnej komunikacji i wymiany danych między programem statycznym i wymiarującym.

Typy wymiarowanych profili:

- walcowane - dwuteownik, połówka dwuteownika, teownik, ceownik, kątownik równoramienny i nierównoramienny, rura prostokątna, kwadratowa i okrągła,
- spawane – dowolny dwuteownik niesymetryczny, dowolny teownik, skrzynka.
- zimmogięte – rura prostokątna, kwadratowa i okrągła.

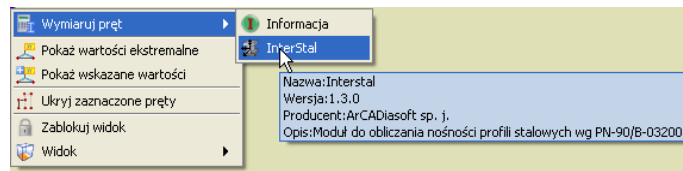
Typy profili liczone w stanie nadkrytycznym to:

- walcowane – dwuteownik, rura prostokątna i kwadratowa,
- spawane – dowolny dwuteownik, skrzynka,
- zimno gięte - rura prostokątna i kwadratowa.

## Analiza wyników

Program wymiaruje pojedyncze pręty, oraz elementy złożone współliniowe (o różnicy kątów kolejnych prętów poniżej 3%) i takim samym przekroju.

Wywołanie modułu wymiarującego odbywa się po wykonaniu obliczeń statycznych (z poziomu zakładki **Wyniki**) przez kliknięcie prawym klawiszem myszki na wybranym pręcie układu i wybranie z menu kontekstowego opcji **Wymiaruj pręt**.



Rys. 11.15 Wywołanie wymiarowania w stali wg PN-B-03150:2000

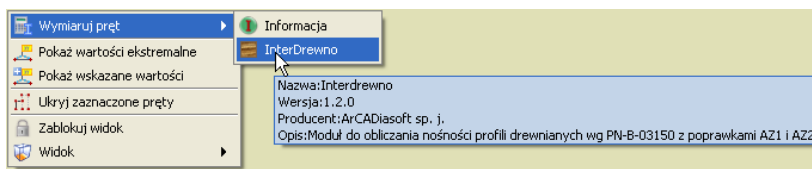
Aktualnie istnieją dwie opcje wymiarowania:

- Pojedynczego wybranego pręta układu,
- Elementu złożonego z kilku połączonych ze sobą, współliniowych prętów o takim samym przekroju.

Wymiarowanie wykonywane może być domyślnie na podstawie wszystkich obwiedni sił wewnętrznych (siły normalnej, sił tnących, momentów gnących) z wyjątkiem obwiedni momentów skręcających, a także na podstawie obwiedni sprężystych naprężeń normalnych. W programie istnieje również możliwość indywidualnego wymiarowania pręta, lub grupy prętów współliniowych na wybrana kombinację grup, sumę grup lub pojedynczą grupę obciążeń z pominięciem w tych przypadkach grup obciążeń typu „multi” i grup obciążenia ruchomego.

**InterDrewno** - jest głównym, zewnętrznym programem do wymiarowania przestrzennych konstrukcji drewnianych o przekrojach prostokątnych z drewna litego i klejonego wg **PN-B-03150:2000 Az1 i Az2** w dwukierunkowym stanie naprężenia z uwzględnieniem momentu skręcającego.

- Współczynnik modyfikacyjny  $k_{mod}$  przyjmowany automatycznie na podstawie grupy obciążeń o największym oddziaływaniu na konstrukcję w danej kombinacji lub ręcznie, na podstawie decyzji użytkownika.

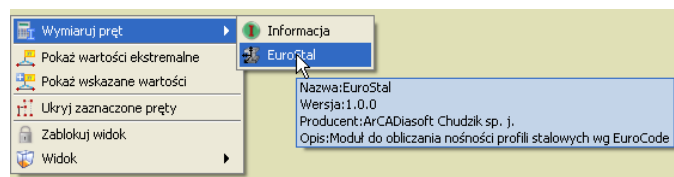


Rys. 11.16 Wywołanie wymiarowania w drewnie wg PN-B-03150:2000

**EuroStal** - jest głównym, zewnętrznym programem wymiarującym podstawowe profile stalowe wg **PN-EN 1993-1-1 Eurokod3: czerwiec 2006**.

Program sprawdza nośność dla następujących typów przekrojów prętów:

- dwuteowniki walcowane,
- połówki dwuteowników walcowanych,
- teowniki walcowane,
- ceowniki walcowane,
- kątowniki równoramienne i nierównoramienne walcowane,
- walcowane rury prostokątne, kwadratowe i okrągłe,
- dowolne dwuteowniki monosymetryczne spawane,
- dowolne teowniki monosymetryczne spawane,
- spawane przekroje skrzynkowe ( monosymetryczne ),
- zimnogięte rury prostokątne, kwadratowe i okrągłe



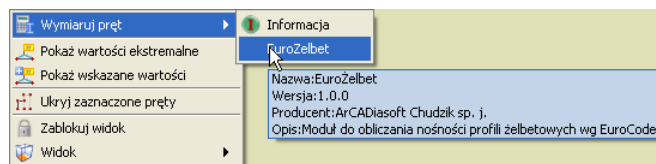
Rys. 11.17 Wywołanie wymiarowania stali wg PN-EN 1993-1-1 Eurokod3

## Analiza wyników

**EuroŻelbet** - podstawowy moduł do wymiarowania elementów prętowych w żelbecie wg normy: **PN-EN 1992-1-1 Eurokod2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków: wrzesień 2008**.

Program sprawdza następujące stany pracy i typy przekrojów:

- Obliczenie powierzchni zbrojenia podłużnego na dwukierunkowe zginanie, ściskanie mimośrodowe, rozciąganie mimośrodowe i skręcanie z uwzględnieniem nieprzekroczenia rys prostopadłych.
- Obliczenie zbrojenia poprzecznego (strzemion) na ścinanie dwukierunkowe i skręcanie.
- Obliczenie ugięcia dwukierunkowego w stanie zarysowanym.
- Wymiarowane przekroje: okrągły, prostokątny, kątowy, teowy, dwuteowy, ceowy, zetowy.



Rys. 11.18 Wywołanie wymiarowania żelbetu wg PN-EN 1992-1-1 Eurokod2

## 11.8 OBWIEDNIA UGIĘĆ WZGLĘDNYCH

Poza obwiednią przemieszczeń na etapie wymiarowania indywidualnego lub zbiorczego, dla każdego pręta i zdefiniowanego elementu wymiarowego ustalana jest obwiednia ugięć względnych pręta lub elementu.

Obwiednia ugięć względnych tak jak obwiednia przemieszczeń budowana jest w układzie osi lokalnych pręta lub elementu, lecz ostateczne wyniki przeliczone są na kierunki osi głównych przekroju (w przypadku elementów stalowych i drewnianych) lub na kierunki prostopadłe i równoległe do krawędzi przekroju dla elementów żelbetowych.

Obwiednia ugięć względnych budowana jest na podstawie osobnego algorytmu liczącego, gdzie sprawdzane zestawy grup budujące ekstremum ugięć względnych. W tym celu dla wszystkich grup stałych i grup zmiennych działających na pręcie, zgodnie z tabelą relacji szukane są punkty ekstremalnych przemieszczeń.

Następnie dla tak wyznaczonych punktów na pręcie dodawane są przemieszczenia (jeśli powiększają ekstremum) od pozostałych grup zmiennych również zgodnie z tabelą relacji. Dla tak ustalonego zestawu grup wyznaczane są ugięcia względne. Jeśli maksymalne przemieszczenie pręta lub elementu zlokalizowane jest na jego długości, to ugięcie względne wyznaczone jest jako odległość punktu maksymalnego przemieszczenia na pręcie od linii łączącej początek i koniec przemieszczonego pręta lub elementu. Jeśli maksymalne przemieszczenie pręta lub elementu zlokalizowane jest na jednym z jego końców oraz maksymalna różnica przemieszczeń punktów na pręcie odpowiada różnicy przemieszczeń jego końców, wówczas ugięcie względne wyznaczone jest jako odległość punktu maksymalnego przemieszczenia od linii stycznej do wykresu ugięć poprowadzonej w drugim końcu tego pręta lub elementu. W pozostałych przypadkach ugięcie względne wyznaczone jest jako maksymalna różnica przemieszczeń punktów na pręcie lub elemencie. Przy analizie ugięć względnych należy zawsze pamiętać, że poprawność ich wyznaczenia przez program w dużym stopniu zależy od prawidłowego zdefiniowania przez użytkownika elementów wymiarowych. W niektórych przypadkach może okazać się że kształt elementów wymiarowych do liczenia stanu granicznego nośności, powinien być inny niż przy liczeniu stanu granicznego użytkownika, a zwłaszcza przy wyznaczaniu ugięć względnych. Wówczas dla takiego przypadku wymiarowanie należy przeprowadzić dwa razy. Raz dla elementu wymiarowego przeznaczonego do liczenia nośności (i sprawdzać jedynie nośność elementu) a raz dla innego elementu wymiarowego zbudowanego ze względu na ugięcia względne (i wówczas sprawdzać dla niego jedynie ugięcia względne).

### Uwaga:

**Przy obliczeniach ugięć względnych, niewłaściwe zdefiniowanie elementów wymiarowych, lub ich brak tam gdzie są wymagane, będzie prowadził do wyznaczenia nieprawidłowych wartości obliczonych przez program ugięć względnych.**

Prawidłowo zdefiniowany element wymiarowy ze względu na ugięcia względne, to ciąg prętów współliniowych, do którego na długości nie dochodzą żadne inne pręty niewspółliniowe i na którego końcach występuje podpora, wolny koniec lub połączony jest z innymi prętami niewspółliniowymi. W wielu przypadkach już sam pojedyn-

## Analiza wyników

czy pręt będzie spełniał powyższe warunki i wówczas nie ma potrzeby budować z niego innych elementów wymiarowych.

Należy również pamiętać że obwiednia przemieszczeń (ugięć) i obwiednia ugięć względnych to dwa całkowicie odrębne stany fizyczne, liczone odrębnymi algorytmami, dające bardzo często zupełnie inne wyniki i równie często wyznaczane dla innych zestawów grup obciążeń.

Obwiednia ugięć względnych analogicznie jak obwiednia przemieszczeń, ustalana jest na etapie wymiarowania zbiorczego lub indywidualnego prętów i elementów. Dla prętów lub elementów typu wspornikowego dla których maksymalne przemieszczenie znajduje się na jego wolnym końcu, a maksymalna różnica przemieszczeń występuje na obu jego końcach, przy liczeniu ugięć względnych eliminowany jest wpływ sztywnego obrotu wspornika na różnicę przemieszczeń.

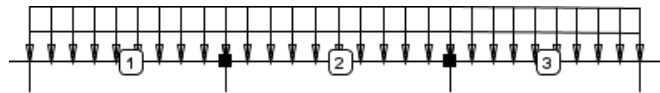
Obwiednia ugięć względnych wykonywana jest również na etapie wymiarowania zbiorczego. Wówczas aby otrzymać jej wyniki ugięć względnych, będąc na zakładce **Wymiarowanie**, ustawiamy przełącznik na stan graniczny użytkownika: *SGU* i wybieramy znacznik ugięć względnych  $\Delta u_{\max}$ . Analogicznie jak dla obwiedni przemieszczeń, w przypadku ugięć względnych, ich wartości widoczne w etykietach poszczególnych prętów i elementów wymiarowych, możemy wyświetlać w dwóch trybach :

- Jako wartości bezwzględne  $\Delta u_{\max}$  podane w centymetrach
- Jako bezwymiarowe wartości względne  $\Delta u_{\max} / \Delta u_{\text{dop}}$ , liczone względem ustalonej wartości dopuszczalnej, określonej na podstawie definicji typu wymiarowania.

Algorytm liczenia obwiedni ugięć względnych, ze względu na brak precyzyjnej definicji ugięcia względnego, może w niektórych przypadkach dawać wyniki niezgodne z oczekiwaniem. Zwłaszcza dla prętów nieobciążonych, których wygięcie jest skutkiem obrotów węzłów początkowego i końcowego. Dlatego też w raporcie szczegółowym oprócz wartości wyliczonego ugięcia względnego dodatkowo podana jest zawsze dla danego przypadku obciążeń maksymalna różnica przemieszczeń poszczególnych punktów pręta.

# 12 PRZYKŁADOWY RAPORT WYNIKÓW OBLICZEŃ

## Geometria



Węzły w globalnym układzie współrzędnych:

| Nr | x [m]  | y [m] | z [m] | Przegub |
|----|--------|-------|-------|---------|
| 1  | -5,800 | 0,000 | 0,000 |         |
| 2  | 0,200  | 0,000 | 0,000 |         |
| 3  | 7,200  | 0,000 | 0,000 |         |
| 4  | 13,200 | 0,000 | 0,000 |         |

Pręty:

| Nr                | Węzły          |                | Pręty zeszytnione w |                | Przekrój pręta | Długość [m] |
|-------------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|-------------|
|                   | w <sub>1</sub> | w <sub>2</sub> | w <sub>1</sub>      | w <sub>2</sub> |                |             |
| 1: Niepogrupowane | 1 (S)          | 2 (S)          | wszystkie           | wszystkie      | IPE 400        | 6,000       |
| 2: Niepogrupowane | 2 (S)          | 3 (S)          | wszystkie           | wszystkie      | IPE 400        | 7,000       |
| 3: Niepogrupowane | 3 (S)          | 4 (S)          | wszystkie           | wszystkie      | IPE 400        | 6,000       |

Podpory i osiadania podpór w globalnym układzie współrzędnych:

| Nr | r <sub>x</sub> | r <sub>y</sub> | r <sub>z</sub> | φ <sub>x</sub> | φ <sub>y</sub> | φ <sub>z</sub> | Spreżystość [kN/m] |                |                | Spreżystość [kN/rad] |                |                |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|
|    |                |                |                |                |                |                | k <sub>x</sub>     | k <sub>y</sub> | k <sub>z</sub> | f <sub>x</sub>       | f <sub>y</sub> | f <sub>z</sub> |
| 1  | +              | +              | +              |                |                |                |                    |                |                |                      |                |                |
| 2  | +              | +              | +              |                |                |                |                    |                |                |                      |                |                |
| 3  | +              | +              | +              |                |                |                |                    |                |                |                      |                |                |
| 4  | +              | +              | +              |                |                |                |                    |                |                |                      |                |                |

Grupy obciążeń:

| Nazwa grupy   | Nr | Rodzaj obciążeń | Charakter | min  | max  | Grupa aktywna |
|---------------|----|-----------------|-----------|------|------|---------------|
| Ciężar własny | 1  | Stałe           | stały     | 1,00 | 1,00 | +             |
| Stałe         | 2  | Stałe           | stały     | 1,00 | 1,00 | +             |
| Zmienne1      | 3  | Zmienne         | stały     |      | 1,00 | +             |
| Zmienne2      | 4  | Zmienne         | stały     |      | 1,00 | +             |
| Zmienne3      | 5  | Zmienne         | stały     |      | 1,00 | +             |

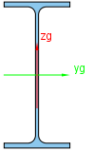
Obciążenia układu:

| Grupa | Pręt    | Typ               | Wartość 1 | Wartość 2 | x <sub>1</sub> [m] | x <sub>2</sub> [m] | α [°] | β [°] | Lok. |
|-------|---------|-------------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|-------|-------|------|
| Stałe | 1       | Obciążenie ciągłe | 8,00kN/m  | 8,00kN/m  | 0,00               | 6,00               | 0,0   | 0,0   |      |
|       | Stale 2 | Obciążenie ciągłe | 8,00kN/m  | 8,00kN/m  | 0,00               | 7,00               | 0,0   | 0,0   |      |
|       | Stale 3 | Obciążenie ciągłe | 8,00kN/m  | 8,00kN/m  | 0,00               | 6,00               | 0,0   | 0,0   |      |

## Przykładowy raport wyników obliczeń

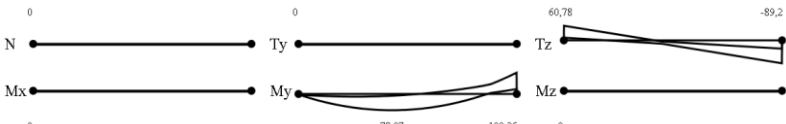
| Grupa    | Pręt | Typ               | Wartość 1 | Wartość 2 | x <sub>1</sub> [m] | x <sub>2</sub> [m] | α [°] | β [°] | Lok. |
|----------|------|-------------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|-------|-------|------|
| Zmienne1 | 1    | Obciążenie ciągłe | 15,00kN/m | 15,00kN/m | 0,00               | 6,00               | 0,0   | 0,0   |      |
| Zmienne2 | 2    | Obciążenie ciągłe | 15,00kN/m | 15,00kN/m | 0,00               | 7,00               | 0,0   | 0,0   |      |
| Zmienne3 | 3    | Obciążenie ciągłe | 15,00kN/m | 15,00kN/m | 0,00               | 6,00               | 0,0   | 0,0   |      |


## Parametry geometryczne i fizyczne elementów:


| Nazwa               | IPE 400                                      |  |  |                               |  |  |  |  |  |
|---------------------|--|--|--|-------------------------------|---|--|--|--|--|
| Parametry przekroju | A = 84,48cm <sup>2</sup>                     |  |  |                               |   |  |  |  |  |
|                     | J <sub>x</sub> = 51,08cm <sup>4</sup>        | J <sub>y</sub> = 23 132,14cm <sup>4</sup>  | J <sub>z</sub> = 1 317,85cm <sup>4</sup>     |                               |   |  |  |  |  |
|                     | α <sub>y-yg</sub> = 0°                       | J <sub>yg</sub> = 23 132,14cm <sup>4</sup> | J <sub>zg</sub> = 1 317,85cm <sup>4</sup>    |                               |   |  |  |  |  |
|                     | W <sub>y max</sub> = 1 156,61cm <sup>3</sup> |  | W <sub>y min</sub> = 1 156,61cm <sup>3</sup> |                               |   |  |  |  |  |
|                     | W <sub>z max</sub> = 146,43cm <sup>3</sup>   |  | W <sub>z min</sub> = 146,43cm <sup>3</sup>   |                               |   |  |  |  |  |
| Material            | Stal PN St3S                                 | E = 205GPa                                 | G = 80GPa                                    | Cież. = 78,5kN/m <sup>3</sup> |   |  |  |  |  |

## Wyniki

## Obwiednia sił wewnętrznych:

| Nr   | x [m] | N [kN] | T <sub>v</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | Numery grup |
|--|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 1  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | <b>60,78</b>        | 0,00                 | -0,00                | -0,00                | 2, 3, 1, 5  |
|  | 6,00  | 0,00   | 0,00                | <b>-89,20</b>       | 0,00                 | 109,25               | 0,00                 | 4, 2, 3, 1  |
|  | 6,00  | 0,00   | 0,00                | -89,20              | 0,00                 | <b>109,25</b>        | 0,00                 | 4, 2, 3, 1  |
|  | 2,57  | 0,00   | 0,00                | 0,01                | 0,00                 | <b>-78,07</b>        | 0,00                 | 2, 3, 1, 5  |
|  |       |        |                     |                     |                      |                      |                      |             |

| Nr   | x [m] | N [kN] | T <sub>v</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | Numery grup |
|--|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 2  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | <b>88,91</b>        | 0,00                 | 109,25               | -0,00                | 4, 2, 3, 1  |
|  | 7,00  | 0,00   | 0,00                | <b>-88,91</b>       | 0,00                 | 109,25               | -0,00                | 4, 2, 1, 5  |
|  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 88,91               | 0,00                 | <b>109,25</b>        | -0,00                | 4, 2, 3, 1  |
|  | 3,50  | 0,00   | -0,00               | 0,01                | 0,00                 | <b>-69,27</b>        | -0,00                | 4, 2, 1     |
|  |       |        |                     |                     |                      |                      |                      |             |

| Nr   | x [m] | N [kN] | T <sub>v</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | Numery grup |
|--|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 3  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | <b>89,20</b>        | 0,00                 | 109,25               | 0,00                 | 4, 2, 1, 5  |
|  | 6,00  | 0,00   | 0,00                | <b>-60,78</b>       | 0,00                 | -0,00                | -0,00                | 2, 3, 1, 5  |
|  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 89,20               | 0,00                 | <b>109,25</b>        | 0,00                 | 4, 2, 1, 5  |
|  | 3,43  | 0,00   | -0,00               | -0,01               | 0,00                 | <b>-78,07</b>        | 0,00                 | 2, 3, 1, 5  |
|  |       |        |                     |                     |                      |                      |                      |             |

## Obwiednia reakcji:

| Nr | R <sub>x</sub> [kN] | R <sub>y</sub> [kN] | R <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | Numery grup |
|----|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 1  | 0,00                | -0,00               | <b>60,78</b>        | 0,00                 | 0,00                 | -0,00                | 2, 3, 1, 5  |




Przykładowy raport wyników obliczeń


| Nr | R <sub>x</sub> [kN] | R <sub>y</sub> [kN] | R <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | Numery grup |
|----|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 2  | 0,00                | -0,00               | <b>13,38</b>        | 0,00                 | 0,00                 | -0,00                | 4, 2, 1     |
|    | 0,00                | 0,00                | <b>178,11</b>       | 0,00                 | -0,00                | -0,00                | 4, 2, 3, 1  |
|    | 0,00                | 0,00                | <b>54,83</b>        | 0,00                 | 0,00                 | -0,00                | 2, 1, 5     |
| 3  | 0,00                | 0,00                | <b>178,11</b>       | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 4, 2, 1, 5  |
|    | 0,00                | 0,00                | <b>54,83</b>        | 0,00                 | -0,00                | 0,00                 | 2, 3, 1     |
| 4  | 0,00                | -0,00               | <b>60,78</b>        | 0,00                 | -0,00                | 0,00                 | 2, 3, 1, 5  |
|    | 0,00                | -0,00               | <b>13,38</b>        | 0,00                 | -0,00                | 0,00                 | 4, 2, 1     |

**Obwiednia naprężeń:**


| Nr | x [m] | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 1  | 6,00  | 0,00   | 109,25               | 0,00                 | <b>94,46</b>           | -94,46                 | 4, 2, 3, 1  |
|    | 6,00  | 0,00   | 109,25               | 0,00                 | <b>94,46</b>           | <b>-94,46</b>          | 4, 2, 3, 1  |



| Nr | x [m] | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 2  | 0,00  | 0,00   | 109,25               | -0,00                | <b>94,46</b>           | -94,46                 | 4, 2, 3, 1  |
|    | 0,00  | 0,00   | 109,25               | -0,00                | <b>94,46</b>           | <b>-94,46</b>          | 4, 2, 3, 1  |

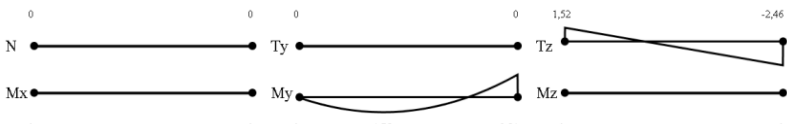


| Nr | x [m] | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 3  | 0,00  | 0,00   | 109,25               | 0,00                 | <b>94,46</b>           | -94,46                 | 4, 2, 1, 5  |
|    | 0,00  | 0,00   | 109,25               | 0,00                 | <b>94,46</b>           | <b>-94,46</b>          | 4, 2, 1, 5  |




**Siły wewnętrzne dla grupy obciążeń Ciężar własny:**

| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>y</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | <b>1,52</b>         | 0,00                 | -0,00                | -0,00                |
|    | 6,00  | 0,00   | 0,00                | <b>-2,46</b>        | 0,00                 | 2,81                 | 0,00                 |
|    | 6,00  | 0,00   | 0,00                | -2,46               | 0,00                 | <b>2,81</b>          | 0,00                 |
|    | 2,28  | 0,00   | 0,00                | 0,01                | 0,00                 | <b>-1,75</b>         | -0,00                |



| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>y</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 2  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | <b>2,32</b>         | 0,00                 | 2,81                 | -0,00                |
|    | 7,00  | 0,00   | 0,00                | <b>-2,32</b>        | 0,00                 | 2,81                 | -0,00                |
|    | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 2,32                | 0,00                 | <b>2,81</b>          | -0,00                |
|    | 3,50  | 0,00   | -0,00               | 0,00                | 0,00                 | <b>-1,25</b>         | -0,00                |



## Przykładowy raport wyników obliczeń

| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>y</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 3  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 2,46                | 0,00                 | 2,81                 | 0,00                 |
|    | 6,00  | 0,00   | 0,00                | -1,52               | 0,00                 | -0,00                | -0,00                |
|    | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 2,46                | 0,00                 | 2,81                 | 0,00                 |
|    | 3,72  | 0,00   | -0,00               | -0,01               | 0,00                 | -1,75                | -0,00                |
|    |       |        |                     |                     |                      |                      |                      |

## Sily wewnętrzne dla grupy obciążeń Stale:

| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>y</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 18,35               | 0,00                 | -0,00                | -0,00                |
|    | 6,00  | 0,00   | 0,00                | -29,65              | 0,00                 | 33,88                | 0,00                 |
|    | 6,00  | 0,00   | 0,00                | -29,65              | 0,00                 | 33,88                | 0,00                 |
|    | 2,28  | 0,00   | 0,00                | 0,11                | 0,00                 | -21,05               | -0,00                |
|    |       |        |                     |                     |                      |                      |                      |

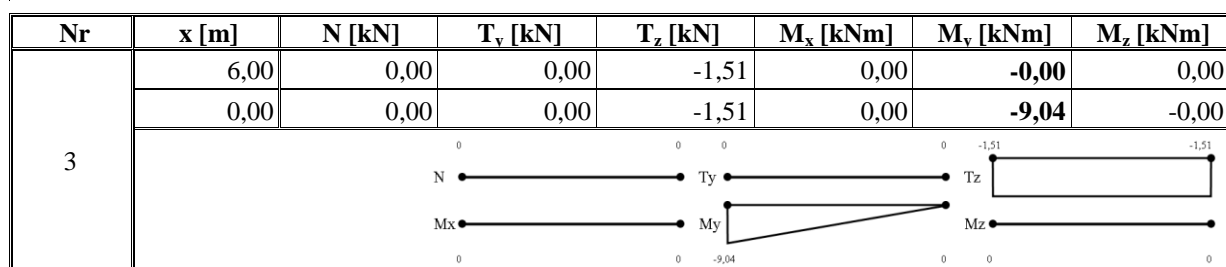
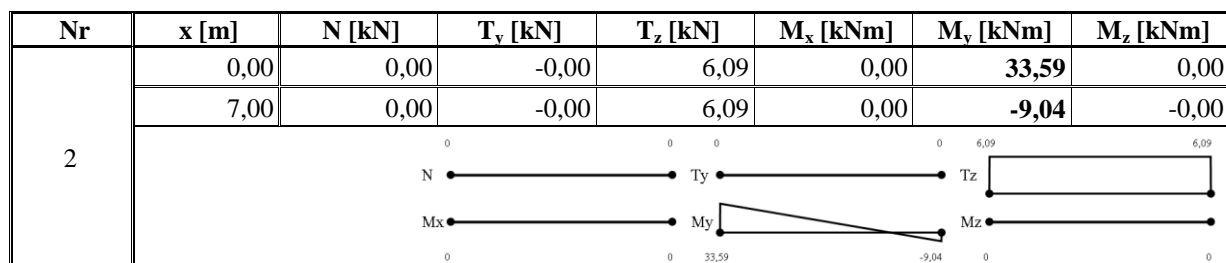
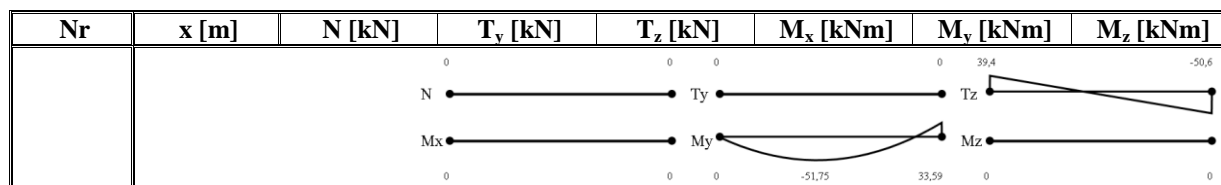
| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>y</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 2  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 28,00               | 0,00                 | 33,88                | -0,00                |
|    | 7,00  | 0,00   | 0,00                | -28,00              | 0,00                 | 33,88                | -0,00                |
|    | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 28,00               | 0,00                 | 33,88                | -0,00                |
|    | 3,50  | 0,00   | 0,00                | 0,00                | 0,00                 | -15,12               | -0,00                |
|    |       |        |                     |                     |                      |                      |                      |

| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>y</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 3  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 29,65               | 0,00                 | 33,88                | 0,00                 |
|    | 6,00  | 0,00   | 0,00                | -18,35              | 0,00                 | -0,00                | -0,00                |
|    | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 29,65               | 0,00                 | 33,88                | 0,00                 |
|    | 3,72  | 0,00   | -0,00               | -0,11               | 0,00                 | -21,05               | -0,00                |
|    |       |        |                     |                     |                      |                      |                      |

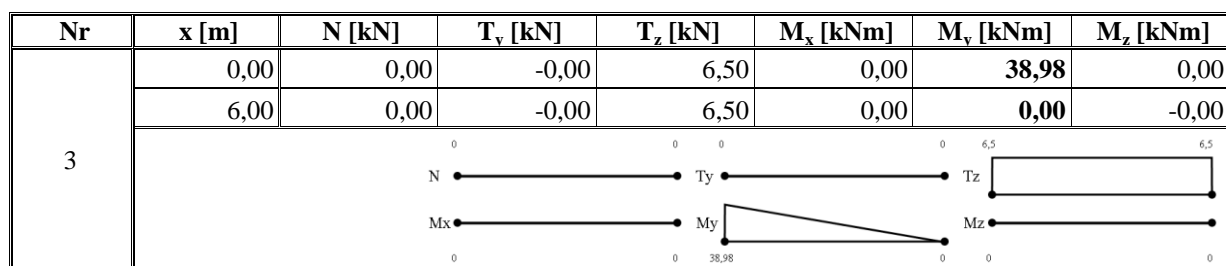
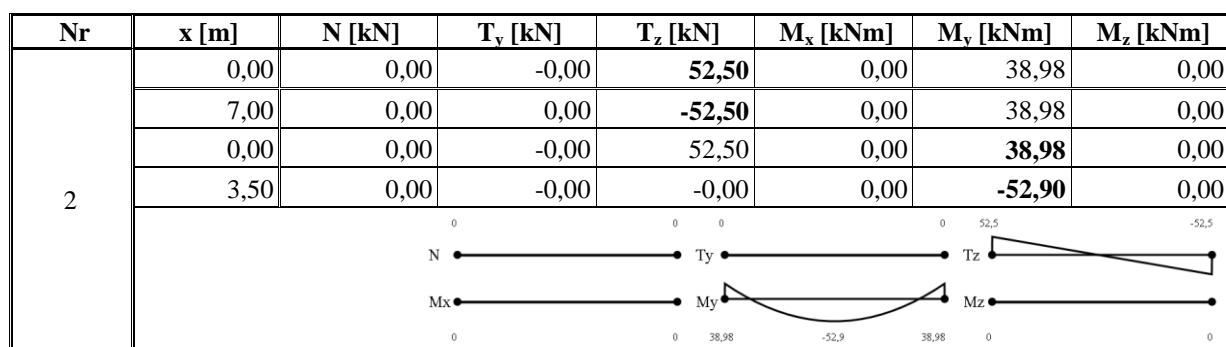
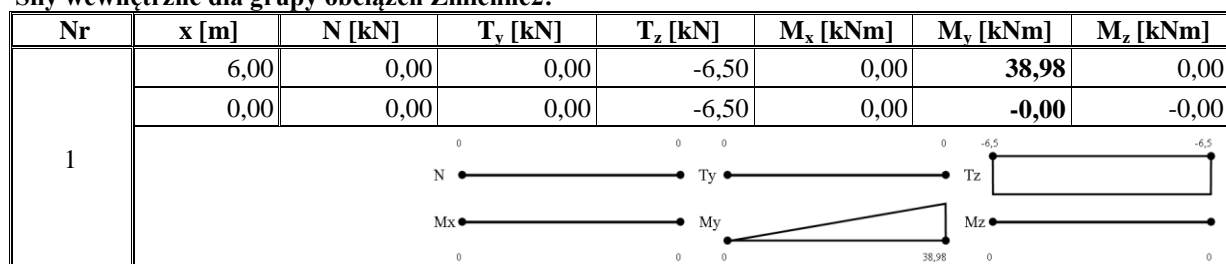
## Sily wewnętrzne dla grupy obciążeń Zmienne1:

| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>y</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 39,40               | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 |
|    | 6,00  | 0,00   | 0,00                | -50,60              | 0,00                 | 33,59                | -0,00                |
|    | 6,00  | 0,00   | 0,00                | -50,60              | 0,00                 | 33,59                | -0,00                |
|    | 2,62  | 0,00   | -0,00               | 0,16                | 0,00                 | -51,75               | 0,00                 |

Przykładowy raport wyników obliczeń



**Sily wewnętrzne dla grupy obciążeń Zmienne2:**



**Sily wewnętrzne dla grupy obciążeń Zmienne3:**

| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>v</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|

## Przykładowy raport wyników obliczeń

| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>v</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 1,51                | 0,00                 | -0,00                | 0,00                 |
|    | 6,00  | 0,00   | -0,00               | 1,51                | 0,00                 | -9,04                | -0,00                |
|    |       |        |                     |                     |                      |                      |                      |

| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>v</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 2  | 7,00  | 0,00   | 0,00                | -6,09               | 0,00                 | 33,59                | 0,00                 |
|    | 0,00  | 0,00   | 0,00                | -6,09               | 0,00                 | -9,04                | -0,00                |
|    |       |        |                     |                     |                      |                      |                      |

| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>v</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 3  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 50,60               | 0,00                 | 33,59                | -0,00                |
|    | 6,00  | 0,00   | 0,00                | -39,40              | 0,00                 | -0,00                | 0,00                 |
|    | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 50,60               | 0,00                 | 33,59                | -0,00                |
|    | 3,38  | 0,00   | 0,00                | -0,16               | 0,00                 | -51,75               | 0,00                 |
|    |       |        |                     |                     |                      |                      |                      |

## Przemieszczenia dla grupy obciążeń Ciężar własny:

| Nr           | x [m] | dx [mm] | dy [mm] | dz [mm] | d [mm]      | fx [mm] | fy [mm] | fz [mm] | f [mm]      |
|--------------|-------|---------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|-------------|
| 1<br>(1 - 2) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 2,578 | 0,00    | 0,00    | -0,11   | <b>0,11</b> | 0,00    | 0,00    | 0,11    | <b>0,11</b> |
|              | 6,000 | 0,00    | 0,00    | -0,00   | 0,00        |         |         |         |             |
| 2<br>(2 - 3) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 3,519 | 0,00    | 0,00    | -0,07   | <b>0,07</b> | 0,00    | 0,00    | 0,07    | <b>0,07</b> |
|              | 7,000 | 0,00    | 0,00    | -0,00   | 0,00        |         |         |         |             |
| 3<br>(3 - 4) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 3,423 | 0,00    | 0,00    | -0,11   | <b>0,11</b> | 0,00    | 0,00    | 0,11    | <b>0,11</b> |
|              | 6,000 | 0,00    | -0,00   | -0,00   | 0,00        |         |         |         |             |

## Przemieszczenia dla grupy obciążeń Stałe:

| Nr           | x [m] | dx [mm] | dy [mm] | dz [mm] | d [mm]      | fx [mm] | fy [mm] | fz [mm] | f [mm]      |
|--------------|-------|---------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|-------------|
| 1<br>(1 - 2) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 2,578 | 0,00    | 0,00    | -1,28   | <b>1,28</b> | 0,00    | 0,00    | 1,28    | <b>1,28</b> |
|              | 6,000 | 0,00    | -0,00   | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
| 2<br>(2 - 3) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 3,519 | 0,00    | 0,00    | -0,90   | <b>0,90</b> | 0,00    | 0,00    | 0,90    | <b>0,90</b> |
|              | 7,000 | 0,00    | -0,00   | -0,00   | 0,00        |         |         |         |             |
| 3<br>(3 - 4) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 3,423 | 0,00    | 0,00    | -1,28   | <b>1,28</b> | 0,00    | 0,00    | 1,28    | <b>1,28</b> |
|              | 6,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |

## Przykładowy raport wyników obliczeń

## Przemieszczenia dla grupy obciążeń Zmienne1:

| Nr           | x [m] | dx [mm] | dy [mm] | dz [mm] | d [mm]      | fx [mm] | fy [mm] | fz [mm] | f [mm]      |
|--------------|-------|---------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|-------------|
| 1<br>(1 - 2) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 2,836 | 0,00    | 0,00    | -3,76   | <b>3,76</b> | 0,00    | 0,00    | 3,76    | <b>3,76</b> |
|              | 6,000 | 0,00    | 0,00    | -0,00   | 0,00        |         |         |         |             |
| 2<br>(2 - 3) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 2,663 | 0,00    | -0,00   | 1,70    | <b>1,70</b> | 0,00    | -0,00   | -1,70   | <b>1,70</b> |
|              | 7,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
| 3<br>(3 - 4) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 2,540 | 0,00    | -0,00   | -0,44   | <b>0,44</b> | 0,00    | -0,00   | 0,44    | <b>0,44</b> |
|              | 6,000 | 0,00    | -0,00   | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |

## Przemieszczenia dla grupy obciążeń Zmienne2:

| Nr           | x [m] | dx [mm] | dy [mm] | dz [mm] | d [mm]      | fx [mm] | fy [mm] | fz [mm] | f [mm]      |
|--------------|-------|---------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|-------------|
| 1<br>(1 - 2) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 3,464 | 0,00    | -0,00   | 1,90    | <b>1,90</b> | 0,00    | -0,00   | -1,90   | <b>1,90</b> |
|              | 6,000 | 0,00    | -0,00   | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
| 2<br>(2 - 3) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 3,519 | 0,00    | 0,00    | -4,85   | <b>4,85</b> | 0,00    | 0,00    | 4,85    | <b>4,85</b> |
|              | 7,000 | 0,00    | -0,00   | -0,00   | 0,00        |         |         |         |             |
| 3<br>(3 - 4) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 2,540 | 0,00    | -0,00   | 1,90    | <b>1,90</b> | 0,00    | -0,00   | -1,90   | <b>1,90</b> |
|              | 6,000 | 0,00    | 0,00    | -0,00   | 0,00        |         |         |         |             |

## Przemieszczenia dla grupy obciążeń Zmienne3:

| Nr           | x [m] | dx [mm] | dy [mm] | dz [mm] | d [mm]      | fx [mm] | fy [mm] | fz [mm] | f [mm]      |
|--------------|-------|---------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|-------------|
| 1<br>(1 - 2) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 3,464 | 0,00    | -0,00   | -0,44   | <b>0,44</b> | 0,00    | -0,00   | 0,44    | <b>0,44</b> |
|              | 6,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
| 2<br>(2 - 3) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 4,339 | 0,00    | -0,00   | 1,70    | <b>1,70</b> | 0,00    | -0,00   | -1,70   | <b>1,70</b> |
|              | 7,000 | 0,00    | -0,00   | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
| 3<br>(3 - 4) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 3,175 | 0,00    | 0,00    | -3,76   | <b>3,76</b> | 0,00    | 0,00    | 3,76    | <b>3,76</b> |
|              | 6,000 | 0,00    | -0,00   | -0,00   | 0,00        |         |         |         |             |

## Reakcje podporowe dla grupy obciążeń Ciężar własny:

|   | R <sub>x</sub> [kN] | R <sub>y</sub> [kN] | R <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 0,00                | -0,00               | 1,52                |                      |                      |                      |
| 2 | 0,00                | 0,00                | 4,78                |                      |                      |                      |
| 3 | 0,00                | 0,00                | 4,78                |                      |                      |                      |
| 4 | 0,00                | -0,00               | 1,52                |                      |                      |                      |

## Reakcje podporowe dla grupy obciążeń Stałe:

|   | R <sub>x</sub> [kN] | R <sub>y</sub> [kN] | R <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 0,00                | -0,00               | 18,35               |                      |                      |                      |
| 2 | 0,00                | 0,00                | 57,65               |                      |                      |                      |
| 3 | 0,00                | 0,00                | 57,65               |                      |                      |                      |
| 4 | 0,00                | -0,00               | 18,35               |                      |                      |                      |

## Reakcje podporowe dla grupy obciążeń Zmienne1:

## Przykładowy raport wyników obliczeń

|   | $R_x$ [kN] | $R_y$ [kN] | $R_z$ [kN] | $M_x$ [kNm] | $M_y$ [kNm] | $M_z$ [kNm] |
|---|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 0,00       | 0,00       | 39,40      |             |             |             |
| 2 | 0,00       | -0,00      | 56,69      |             |             |             |
| 3 | 0,00       | -0,00      | -7,60      |             |             |             |
| 4 | 0,00       | 0,00       | 1,51       |             |             |             |

## Reakcje podporowe dla grupy obciążeń Zmienne2:

|   | $R_x$ [kN] | $R_y$ [kN] | $R_z$ [kN] | $M_x$ [kNm] | $M_y$ [kNm] | $M_z$ [kNm] |
|---|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 0,00       | -0,00      | -6,50      |             |             |             |
| 2 | 0,00       | 0,00       | 59,00      |             |             |             |
| 3 | 0,00       | 0,00       | 59,00      |             |             |             |
| 4 | 0,00       | -0,00      | -6,50      |             |             |             |

## Reakcje podporowe dla grupy obciążeń Zmienne3:

|   | $R_x$ [kN] | $R_y$ [kN] | $R_z$ [kN] | $M_x$ [kNm] | $M_y$ [kNm] | $M_z$ [kNm] |
|---|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 0,00       | 0,00       | 1,51       |             |             |             |
| 2 | 0,00       | -0,00      | -7,60      |             |             |             |
| 3 | 0,00       | -0,00      | 56,69      |             |             |             |
| 4 | 0,00       | 0,00       | 39,40      |             |             |             |

## Napężenia dla grupy obciążeń Ciężar własny:

| Nr | x [m] | N [kN] | $M_y$ [kNm] | $M_z$ [kNm] | $\sigma_{max}$ [MPa] | $\sigma_{min}$ [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 1  | 6,00  | 0,00   | 2,81        | 0,00        | 2,43                 | -2,43                | 1           |
|    | 6,00  | 0,00   | 2,81        | 0,00        | 2,43                 | <b>-2,43</b>         | 1           |
|    |       |        |             |             |                      |                      |             |

| Nr | x [m] | N [kN] | $M_y$ [kNm] | $M_z$ [kNm] | $\sigma_{max}$ [MPa] | $\sigma_{min}$ [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 2  | 0,00  | 0,00   | 2,81        | -0,00       | 2,43                 | -2,43                | 1           |
|    | 0,00  | 0,00   | 2,81        | -0,00       | 2,43                 | <b>-2,43</b>         | 1           |
|    |       |        |             |             |                      |                      |             |


| Nr | x [m] | N [kN] | $M_y$ [kNm] | $M_z$ [kNm] | $\sigma_{max}$ [MPa] | $\sigma_{min}$ [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 3  | 0,00  | 0,00   | 2,81        | 0,00        | 2,43                 | -2,43                | 1           |
|    | 0,00  | 0,00   | 2,81        | 0,00        | 2,43                 | <b>-2,43</b>         | 1           |
|    |       |        |             |             |                      |                      |             |


## Napężenia dla grupy obciążeń Stale:

| Nr | x [m] | N [kN] | $M_y$ [kNm] | $M_z$ [kNm] | $\sigma_{max}$ [MPa] | $\sigma_{min}$ [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 1  | 6,00  | 0,00   | 33,88       | 0,00        | 29,29                | -29,29               | 2           |
|    | 6,00  | 0,00   | 33,88       | 0,00        | 29,29                | <b>-29,29</b>        | 2           |
|    |       |        |             |             |                      |                      |             |

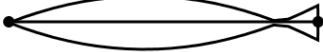
| Nr | x [m] | N [kN] | $M_y$ [kNm] | $M_z$ [kNm] | $\sigma_{max}$ [MPa] | $\sigma_{min}$ [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 2  | 0,00  | 0,00   | 33,88       | -0,00       | 29,29                | -29,29               | 2           |
|    | 0,00  | 0,00   | 33,88       | -0,00       | 29,29                | <b>-29,29</b>        | 2           |


## Przykładowy raport wyników obliczeń

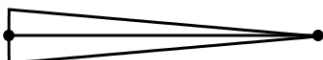
| Nr | x [m]   | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|---|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
|    | 29,29 -29,29<br> |        |                      |                      |                        |                        |             |

| Nr | x [m]   | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|---|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 3  | 0,00  | 0,00   | 33,88                | 0,00                 | 29,29                  | -29,29                 | 2           |
|    | 0,00  | 0,00   | 33,88                | 0,00                 | 29,29                  | <b>-29,29</b>          | 2           |
|    | 29,29 -29,29<br> |        |                      |                      |                        |                        |             |


## Napężenia dla grupy obciążeń Zmienn1:


| Nr | x [m]   | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|---|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 1  | 2,62  | 0,00   | -51,75               | 0,00                 | 44,74                  | -44,74                 | 3           |
|    | 2,62  | 0,00   | -51,75               | 0,00                 | 44,74                  | <b>-44,74</b>          | 3           |
|    | 44,74 -44,74<br> |        |                      |                      |                        |                        |             |

| Nr | x [m]   | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|---|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 2  | 0,00  | 0,00   | 33,59                | 0,00                 | 29,04                  | -29,04                 | 3           |
|    | 0,00  | 0,00   | 33,59                | 0,00                 | 29,04                  | <b>-29,04</b>          | 3           |
|    | 29,04 -29,04<br> |        |                      |                      |                        |                        |             |

| Nr | x [m]   | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|---|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 3  | 0,00  | 0,00   | -9,04                | -0,00                | 7,82                   | -7,82                  | 3           |
|    | 0,00  | 0,00   | -9,04                | -0,00                | 7,82                   | <b>-7,82</b>           | 3           |
|    | 7,82 -7,82<br> |        |                      |                      |                        |                        |             |

## Napężenia dla grupy obciążeń Zmienn2:

| Nr | x [m]   | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|---|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 1  | 6,00  | 0,00   | 38,98                | 0,00                 | 33,70                  | -33,70                 | 4           |
|    | 6,00  | 0,00   | 38,98                | 0,00                 | 33,70                  | <b>-33,70</b>          | 4           |
|    | 33,7 -33,7<br> |        |                      |                      |                        |                        |             |

| Nr | x [m]   | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|---|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 2  | 3,50  | 0,00   | -52,90               | 0,00                 | 45,74                  | -45,74                 | 4           |
|    | 3,50  | 0,00   | -52,90               | 0,00                 | 45,74                  | <b>-45,74</b>          | 4           |
|    | 45,74 -45,74<br> |        |                      |                      |                        |                        |             |

| Nr | x [m] | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 3  | 0,00  | 0,00   | 38,98                | 0,00                 | 33,70                  | -33,70                 | 4           |
|    | 0,00  | 0,00   | 38,98                | 0,00                 | 33,70                  | <b>-33,70</b>          | 4           |

## Przykładowy raport wyników obliczeń

| Nr | x [m]      | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|------------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
|    | 33,7 -33,7 |        |                      |                      |                        |                        |             |
|    |            |        |                      |                      |                        |                        |             |

## Napężenia dla grupy obciążeń Zmienne3:

| Nr | x [m] | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 1  | 6,00  | 0,00   | -9,04                | -0,00                | 7,82                   | -7,82                  | 5           |
|    | 6,00  | 0,00   | -9,04                | -0,00                | 7,82                   | <b>-7,82</b>           | 5           |
|    |       |        |                      |                      |                        |                        |             |

| Nr | x [m] | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 2  | 7,00  | 0,00   | 33,59                | 0,00                 | 29,04                  | -29,04                 | 5           |
|    | 7,00  | 0,00   | 33,59                | 0,00                 | 29,04                  | <b>-29,04</b>          | 5           |
|    |       |        |                      |                      |                        |                        |             |

| Nr | x [m] | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 3  | 3,38  | 0,00   | -51,75               | 0,00                 | 44,74                  | -44,74                 | 5           |
|    | 3,38  | 0,00   | -51,75               | 0,00                 | 44,74                  | <b>-44,74</b>          | 5           |
|    |       |        |                      |                      |                        |                        |             |

## Siły wewnętrzne dla sumy grup (Ciężar własny):

| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>y</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | <b>1,52</b>         | 0,00                 | -0,00                | -0,00                |
|    | 6,00  | 0,00   | 0,00                | <b>-2,46</b>        | 0,00                 | 2,81                 | 0,00                 |
|    | 6,00  | 0,00   | 0,00                | -2,46               | 0,00                 | <b>2,81</b>          | 0,00                 |
|    | 2,28  | 0,00   | 0,00                | 0,01                | 0,00                 | <b>-1,75</b>         | -0,00                |
|    |       |        |                     |                     |                      |                      |                      |

| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>y</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 2  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | <b>2,32</b>         | 0,00                 | 2,81                 | -0,00                |
|    | 7,00  | 0,00   | 0,00                | <b>-2,32</b>        | 0,00                 | 2,81                 | -0,00                |
|    | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 2,32                | 0,00                 | <b>2,81</b>          | -0,00                |
|    | 3,50  | 0,00   | -0,00               | 0,00                | 0,00                 | <b>-1,25</b>         | -0,00                |
|    |       |        |                     |                     |                      |                      |                      |

| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>y</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 3  | 0,00  | 0,00   | -0,00               | <b>2,46</b>         | 0,00                 | 2,81                 | 0,00                 |
|    | 6,00  | 0,00   | 0,00                | <b>-1,52</b>        | 0,00                 | -0,00                | -0,00                |



## Przykładowy raport wyników obliczeń

| Nr | x [m] | N [kN] | T <sub>y</sub> [kN] | T <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|----|-------|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|    | 0,00  | 0,00   | -0,00               | 2,46                | 0,00                 | 2,81                 | 0,00                 |
|    | 3,72  | 0,00   | -0,00               | -0,01               | 0,00                 | -1,75                | -0,00                |

## Przemieszczenia dla sumy grup (Ciężar własny):

| Nr           | x [m] | dx [mm] | dy [mm] | dz [mm] | d [mm]      | fx [mm] | fy [mm] | fz [mm] | f [mm]      |
|--------------|-------|---------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|-------------|
| 1<br>(1 - 2) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 2,578 | 0,00    | 0,00    | -0,11   | <b>0,11</b> | 0,00    | 0,00    | 0,11    | <b>0,11</b> |
|              | 6,000 | 0,00    | 0,00    | -0,00   | 0,00        |         |         |         |             |
| 2<br>(2 - 3) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 3,519 | 0,00    | 0,00    | -0,07   | <b>0,07</b> | 0,00    | 0,00    | 0,07    | <b>0,07</b> |
|              | 7,000 | 0,00    | 0,00    | -0,00   | 0,00        |         |         |         |             |
| 3<br>(3 - 4) | 0,000 | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00        |         |         |         |             |
|              | 3,423 | 0,00    | 0,00    | -0,11   | <b>0,11</b> | 0,00    | 0,00    | 0,11    | <b>0,11</b> |
|              | 6,000 | 0,00    | -0,00   | -0,00   | 0,00        |         |         |         |             |

## Reakcje podporowe dla sumy grup (Ciężar własny):

|   | R <sub>x</sub> [kN] | R <sub>y</sub> [kN] | R <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 0,00                | -0,00               | 1,52                |                      |                      |                      |
| 2 | 0,00                | 0,00                | 4,78                |                      |                      |                      |
| 3 | 0,00                | 0,00                | 4,78                |                      |                      |                      |
| 4 | 0,00                | -0,00               | 1,52                |                      |                      |                      |

## Naprężenia dla sumy grup (Ciężar własny):

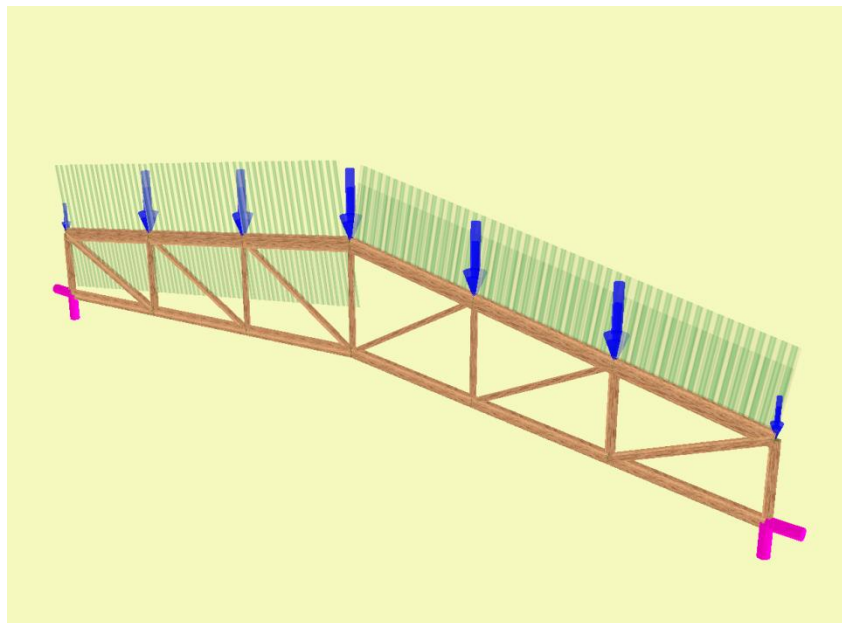
| Nr | x [m] | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 1  | 6,00  | 0,00   | 2,81                 | 0,00                 | 2,43                   | -2,43                  | 1           |
|    | 6,00  | 0,00   | 2,81                 | 0,00                 | 2,43                   | <b>-2,43</b>           | 1           |
|    |       |        |                      |                      |                        |                        |             |

| Nr | x [m] | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 2  | 0,00  | 0,00   | 2,81                 | -0,00                | 2,43                   | -2,43                  | 1           |
|    | 0,00  | 0,00   | 2,81                 | -0,00                | 2,43                   | <b>-2,43</b>           | 1           |
|    |       |        |                      |                      |                        |                        |             |

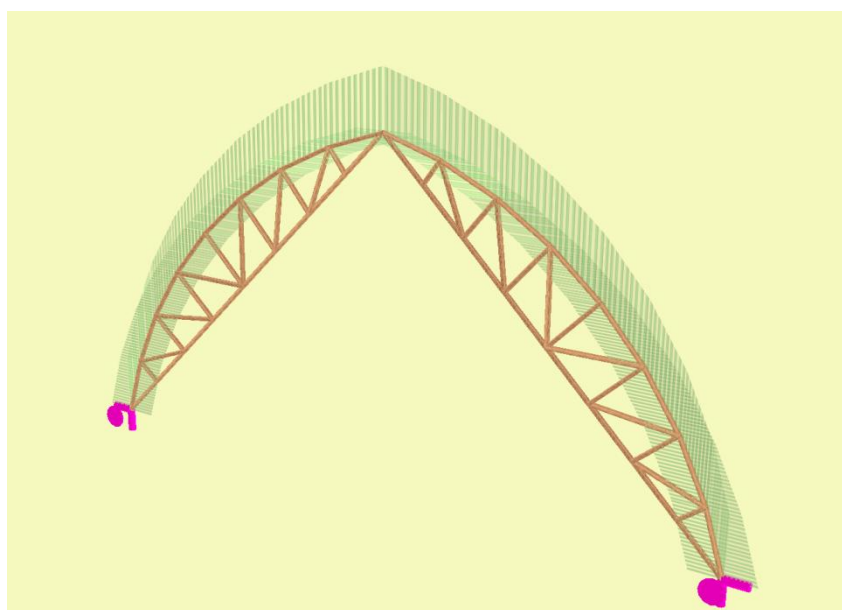
| Nr | x [m] | N [kN] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] | σ <sub>max</sub> [MPa] | σ <sub>min</sub> [MPa] | Numery grup |
|----|-------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| 3  | 0,00  | 0,00   | 2,81                 | 0,00                 | 2,43                   | -2,43                  | 1           |
|    | 0,00  | 0,00   | 2,81                 | 0,00                 | 2,43                   | <b>-2,43</b>           | 1           |
|    |       |        |                      |                      |                        |                        |             |

## 13 PRZYKŁADOWE SCHEMATY UKŁADÓW STATYCZNYCH

Poniżej przedstawiono kilka przykładowych układów statycznych modelowanych i liczonych w programie R2D2 – Rama 2D:

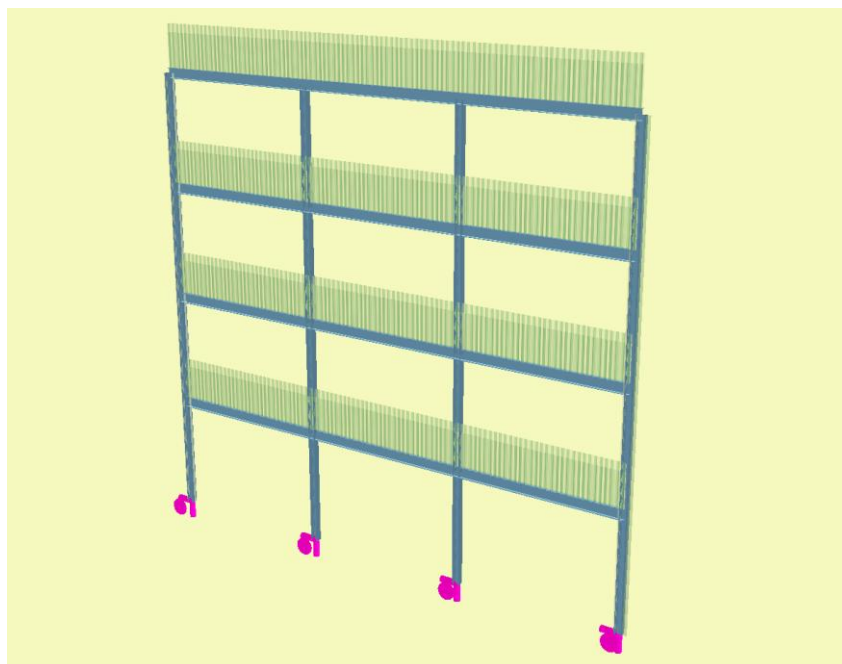


**Rys. 13.1** Kratownica drewniana

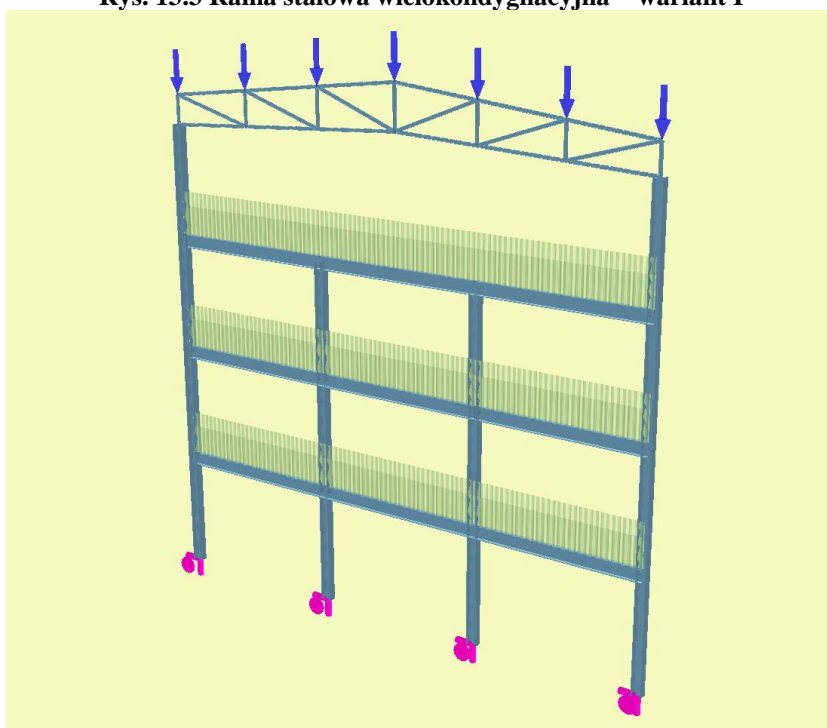


**Rys. 13.2** Hala łukowa drewniana

## Przykładowe schematy układów statycznych

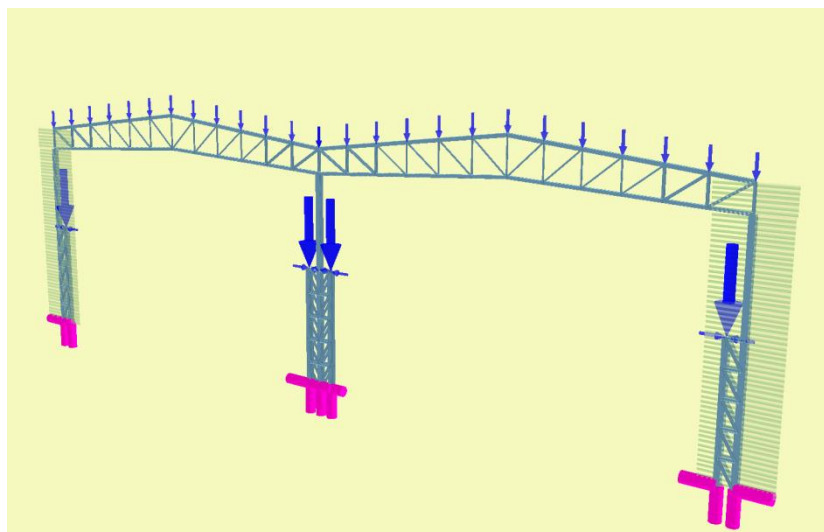


**Rys. 13.3 Rama stalowa wielokondygnacyjna – wariant I**



**Rys. 13.4 Rama stalowa wielokondygnacyjna – wariant II**

Przykładowe schematy układów statycznych



Rys. 13.5 Hala dwunawowa

## Wymiarowanie zbiorcze

# 14 WYMIAROWANIE ZBIORCZE

## 14.1 OPIS OGÓLNY FUNKCJI WYMIAROWANIA

Wprowadzenie trybu wymiarowania zbiorczego w żadnym razie nie eliminuje dotychczasowego sposobu wymiarowania pojedynczych prętów lub wskazanej grupy takich samych prętów współliniowych. Oba tryby są dostępne w programie niezależnie i korzystają z tych samych zdefiniowanych przez użytkownika typów wymiarowania.

Wymiarowanie zbiorcze tak jak wymiarowanie pojedynczych prętów dostępne jest w programie w pełnej wersji wówczas, gdy użytkownik ma wykupioną licencję na poszczególne moduły wymiarujące.

Aby wykonać automatyczne wymiarowanie zbiorcze całego układu muszą być spełnione następujące warunki:

- Statyka układu musi być poprawnie przeliczona.
- Cały układ musi być odpowiednio podzielony na grupy prętów i elementów wymiarowych z przypisanymi do nich właściwymi typami wymiarowania.

Należy pamiętać, że podział układu na grupy prętów i wydzielone w ramach grup elementy wymiarowe, nie ma żadnego wpływu na obliczenia statyczne i w związku z tym może być wykonany po zakończeniu liczenia statyki. Jednak ze względów praktycznych (możliwość selekcji prętów po grupach na etapie edycji) zaleca się dokonanie wstępnego podziału na grupy prętów już przed obliczeniami statycznymi. Po wykonaniu obliczeń statycznych użytkownik powinien dokonać ostatecznego podziału na grupy prętów, pamiętając że każdej z nich będzie mógł przypisać tylko jeden typ wymiarowania (wszystkie pręty w ramach grupy będą miały ten sam typ wymiarowania). W ramach każdej grupy prętów użytkownik może wydzielić kilka elementów wymiarowych. Element wymiarowy może stanowić kilka ciągłych, współliniowych prętów o takim samym przekroju i takich samych właściwościach. Pojedynczy pręt nie może stanowić elementu wymiarowego i jeżeli chcemy go wymiarować innym typem wymiarowania niż grupa w której on jest, musi on znaleźć się w odrębnej wydzielonej grupie prętów. Wydzielonym w ramach danej grupy elementom wymiarowym można przypisać odrębny typ wymiarowania inny niż pozostałym prętom w tej grupie. Każdy zdefiniowany element wymiarowy może mieć przypisany inny typ wymiarowania. Element wymiarowy jest obiektem podrzędnym danej grupy prętów, co oznacza że pręty składające się na element nie mogą należeć do różnych grup prętów. Każdy pręt może należeć tylko do jednego elementu wymiarowego. Każdy pręt układu jest przypisany do określonej przez użytkownika grupy prętów (lub do grupy *Niepogrupowane*), lub stanowi część składową wydzielonego elementu wymiarowego, wchodzącego w skład grupy prętów i elementów.

Przy wymiarowaniu zbiorczym należy również pamiętać, że wymiarowane będą tylko te pręty dla których materiał i przekrój odpowiada zakresowi wymiarowania danego modułu wymiarującego. W przypadku próby wymiarowania nieodpowiedniego przekroju lub materiału, jako wynik wymiarowania program wyświetli jedynie komunikat informujący użytkownika z jakiej przyczyny nie przeprowadzono wymiarowania danego pręta lub elementu. Może się również zdarzyć że, wymiarowanie nie zostanie wykonane z powodu przekroczenia jakiegoś warunku geometrycznego (najczęściej warunku smukłości) – wówczas również wynik zostanie opatrzony odpowiednim komunikatem. Generalnie zasada działania jest taka, że niezależnie od tego jakie pręty próbujemy wymiarować zbiorczo, program w przypadku natrafienia na przeszkody nie przerywa obliczeń, jako wynik dla danego elementu ustawia odpowiedni komunikat i przechodzi do wymiarowania następnego elementu. W ten sposób przeglądając wyniki obliczeń dla całości układu możemy kontrolować, które pręty (elementy) nie zostały zwymiarowane i dlaczego.

## 14.2 ELEMENTY WYMIAROWE

W programie można definiować elementy wymiarowe, złożone z kilku prętów ciągłych i współliniowych o takim samym przekroju i właściwościach (materiał, klasa, obrót przekroju i lokalnego układu współrzędnych itp.). Pręty składające się na element muszą również należeć do jednej grupy prętów, stąd elementy wymiarowe są podrzędne względem zdefiniowanych grup prętów. Elementy wymiarowe służą w programie do jednolitego i całościowego traktowania podczas wymiarowania obiektów, które na etapie statyki muszą być podzielone na osobne pręty (np. z powodu połączenia na ich długości z innymi prętami). Złożony element wymiarowy podczas

## Wymiarowanie zbiorcze

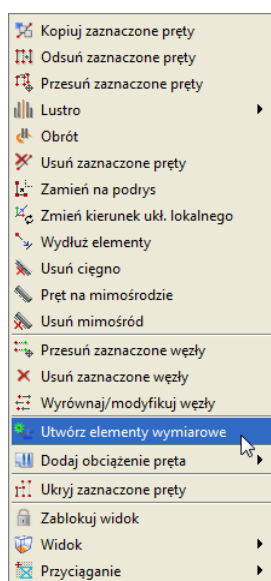
wymiarowania traktowany jest jak jeden pręt. To znaczy że np. dopuszczalne ugięcie oraz długość wybożenia brana jest przy wymiarowaniu dla całej długości elementu, będącej sumą długości prętów składających się na element. Do każdego zdefiniowanego w układzie elementu wymiarowego można przypisać osobny typ wymiarowania.

### 14.2.1 Tworzenie elementów wymiarowych

Tworzenie elementów wymiarowych w projekcie można wykonać na dwa sposoby:

**Pojedynczo** – zaznaczając kilka ciągłych i współliniowych prętów nie będących ciągami, o takim samym przekroju i właściwościach oraz należących do tej samej grupy prętów i wybierając z menu podręcznego, prawego klawisza myszki opcję: **Utwórz elementy wymiarowe**.

**Zbiorczo** – zaznaczając dowolnie wybraną grupę prętów układu, nie będących ciągami, zdefiniowaną grupę prętów lub wręcz cały układ i wybierając z menu podręcznego, prawego klawisza myszki opcję: **Utwórz elementy wymiarowe**.



Rys. 14.1 Wywołanie funkcji tworzenia elementów wymiarowych

W drugim przypadku program sam selekcjonuje możliwe elementy wymiarowe na podstawie wyżej wymienionych cech, które pręty wchodzące w skład elementu muszą spełniać. Oczywiście dla całego zaznaczonego układu nie zawsze dostaniemy efekt o który nam chodzi, ale selekcjonując właściwie pręty i wywołując kolejno opcję: **Utwórz elementy wymiarowe** zawsze jesteśmy w stanie uzyskać właściwy efekt.

Po wywołaniu funkcji: **Utwórz elementy wymiarowe** na ekranie otrzymamy okno – **Lista tworzonych elementów wymiarowych** o wyglądzie jak niżej, zawierające odpowiednio jeden lub więcej elementów wymiarowych.

| Nazwa elementu       | Materiał     | Numerы prętów (liczba prętów) | Grupa prętów | Definicja typu wymiarowania | Utwórz element                      |
|----------------------|--------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Element wymiarowy-1  | Stal PN St3S | 26, 34, 42 (3)                | K1-Pas dolny | Krzyżulce                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-2  | Stal PN St3S | 27, 35, 43 (3)                | K1-Pas dolny | Krzyżulce                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-3  | Stal PN St3S | 28, 36, 44 (3)                | K1-Pas górny | Krzyżulce                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-4  | Stal PN St3S | 29, 37, 45 (3)                | K1-Pas górny | Krzyżulce                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-5  | Stal PN St3S | 3, 5, 7 (3)                   | R1-Rygle     | Krzyżulce                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-6  | Stal PN St3S | 10, 12, 14 (3)                | R1-Rygle     | Krzyżulce                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-7  | Stal PN St3S | 17, 19, 21 (3)                | R1-Rygle     | Krzyżulce                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-8  | Stal PN St3S | 1, 8, 15, 22 (4)              | R1-Słupy     | Krzyżulce                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-9  | Stal PN St3S | 2, 9, 16 (3)                  | R1-Słupy     | Krzyżulce                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy... | Stal PN St3S | 4, 11, 18 (3)                 | R1-Słupy     | Krzyżulce                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy... | Stal PN St3S | 6, 13, 20, 23 (4)             | R1-Słupy     | Krzyżulce                   | <input checked="" type="checkbox"/> |

Buttons at the bottom: Rozbij zaznaczone, Zaznacz wszystkie, Odnznacz wszystkie, OK, Anuluj

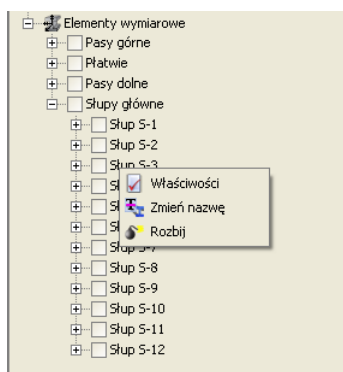
## Wymiarowanie zbiorcze

**Rys. 14.2 Okno listy utworzonych elementów wymiarowych**

Do momentu kliknięcia w tym oknie przycisku **OK** wyselekcjonowane elementy wymiarowe nie są jeszcze zdefiniowane w projekcie. W oknie powyżej pola edytowalne oznaczone są na biało a na szaro pola informacyjne. I tak kolejno w tabeli wyświetlane są następujące informacje: domyślna nazwa elementu (można zmienić), rodzaj materiału i jego klasa, numery i liczba prętów składających się na dany element, nazwa grupy prętów do której element należy, domyślna definicja typu wymiarowania (można przypisać właściwą przez wybór z listy) wraz z przyciskiem dostępu do okna definicji typu wymiarowania dla danego materiału. W ostatniej kolumnie umieszczono znaczniki pozwalające użytkownikowi wybrać, które z zaproponowanych elementów tak naprawdę mają być utworzone w projekcie (domyślnie wszystkie zaznaczone). Dolne przyciski **Zaznacz/Odznacz wszystkie** powodują zaznaczenie lub odznaczenie znaczników w ostatniej kolumnie. Wciśnięcie przycisku **OK** spowoduje utworzenie w projekcie zaznaczonych elementów, a przycisku **Anuluj** przerwanie operacji bez utworzenia nowych elementów wymiarowych. Operację tworzenia elementów wymiarowych, można wykonywać wielokrotnie, pamiętając że ponowne tworzenie elementów z prętów które są już składnikiem istniejących elementów, spowoduje automatyczne rozbięcie dotychczasowych elementów i utworzenie nowych. Jest to związane z założeniem programu, że dowolny pręt układu w danej chwili może należeć tylko do jednego elementu wymiarowego.

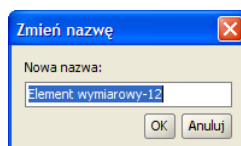
### 14.2.2 Edycja elementów wymiarowych

Po utworzeniu elementów wymiarowych w drzewie projektu z lewej strony ekranu graficznego, pokaże się nowa rozwijalna pozycja: **Elementy wymiarowe**. Po jej rozwinięciu możemy przeglądać jakie elementy w poszczególnych grupach prętów zostały utworzone w projekcie. Przed nazwą elementu w drzewie projektu znajduje się pole znacznika pozwalające na selekcję wybranych elementów w projekcie. Klikając na nazwie elementu w drzewie prawym klawiszem myszki, mamy dostęp do menu podręcznego zawierającego trzy funkcje: **Właściwości**, **Rozbij** i **Zmień nazwę** – pozwalające odpowiednio wyświetlić okno edycji elementów wymiarowych, rozbić dany element na poszczególne pręty i zmienić nazwę elementu.



**Rys. 14.3 Funkcje właściwości, rozbięcia i zmiany nazwy elementu wymiarowego**

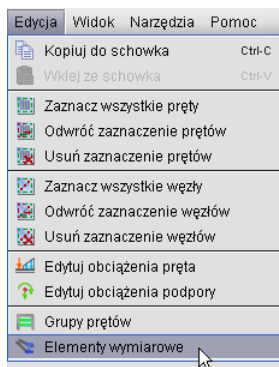
Rozbicie elementu na pręty równoważne jest jego likwidacji w ramach projektu, ale oczywiście nie usuwa żadnych prętów z układu. Wybranie opcji: **Zmień nazwę** – wywołuje okienko jak niżej pozwalające na dowolną zmianę nazwy zdefiniowanego elementu.



**Rys. 14.4 Okno Zmiany nazwy elementu wymiarowego**

Dodatkowo edycję zdefiniowanych w projekcie elementów wymiarowych można wykonywać w specjalnie przeznaczonym do tego oknie dialogowym, które wywołujemy z menu górnego: **Edycja – Elementy wymiarowe**.

## Wymiarowanie zbiorcze



Rys. 14.5 Wywołanie edycji elementów wymiarowych

Jest ono co do funkcjonalności bardzo podobne do okna, które otrzymywaliśmy przy tworzeniu nowych elementów wymiarowych. Oba okna różnią się tylko nagłówkiem okna i nazwą ostatniej kolumny oraz dostępem do funkcji na dole okna – **Rozbij zaznaczone**. Główna różnica w funkcjonalności między tymi oknami polega na tym że przy tworzeniu elementów wyświetlane są jedynie te elementy, które w danej chwili będą tworzone (nie ma ich jeszcze w projekcie), natomiast przy wywołaniu okna – **Lista złożonych elementów wymiarowych** - wyświetlane są w tabeli wszystkie dotychczas utworzone elementy w projekcie. Dodatkową różnicą jest dostęp w drugim przypadku do funkcji **Rozbij zaznaczone**, pozwalającej na rozbicie na pojedyncze pręty wybranych i zaznaczonych elementów w kolumnie **Wybierz element**. Po rozbiciu dany element znika z listy, ale tak naprawdę zmiany w projekcie akceptowane są po wyjściu z okna przez naciśnięcie przycisku **OK**. Wyjście z okna klawiszem **Anuluj** nie akceptuje zmian wprowadzonych w tym oknie. Poza rozbijaniem elementów, **Listę złożonych elementów wymiarowych** można wykorzystać do zmiany nazwy elementów i zmiany przypisania typu wymiarowania do elementu.

| Nazwa elementu       | Materiał     | Numbry prętów (liczba prętów) | Grupa prętów | Definicja typu wymiarowania | Wybierz element          |
|----------------------|--------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------|--------------------------|
| Element wymiarowy-1  | Stal PN St3S | 26, 34, 42 (3)                | K1-Pas dolny | Krzyżulce                   | <input type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-2  | Stal PN St3S | 27, 35, 43 (3)                | K1-Pas dolny | Krzyżulce                   | <input type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-3  | Stal PN St3S | 28, 36, 44 (3)                | K1-Pas górny | Krzyżulce                   | <input type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-4  | Stal PN St3S | 29, 37, 45 (3)                | K1-Pas górny | Krzyżulce                   | <input type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-5  | Stal PN St3S | 3, 5, 7 (3)                   | R1-Rygle     | Krzyżulce                   | <input type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-6  | Stal PN St3S | 10, 12, 14 (3)                | R1-Rygle     | Krzyżulce                   | <input type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-7  | Stal PN St3S | 17, 19, 21 (3)                | R1-Rygle     | Krzyżulce                   | <input type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-8  | Stal PN St3S | 1, 8, 15, 22 (4)              | R1-Słupy     | Krzyżulce                   | <input type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy-9  | Stal PN St3S | 2, 9, 16 (3)                  | R1-Słupy     | Krzyżulce                   | <input type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy... | Stal PN St3S | 4, 11, 18 (3)                 | R1-Słupy     | Krzyżulce                   | <input type="checkbox"/> |
| Element wymiarowy... | Stal PN St3S | 6, 13, 20, 23 (4)             | R1-Słupy     | Krzyżulce                   | <input type="checkbox"/> |

Buttons: Rozbij zaznaczone, Zaznacz wszystkie, Odnazcz wszystkie, OK, Anuluj

Rys. 14.6 Okno edycji złożonych elementów wymiarowych

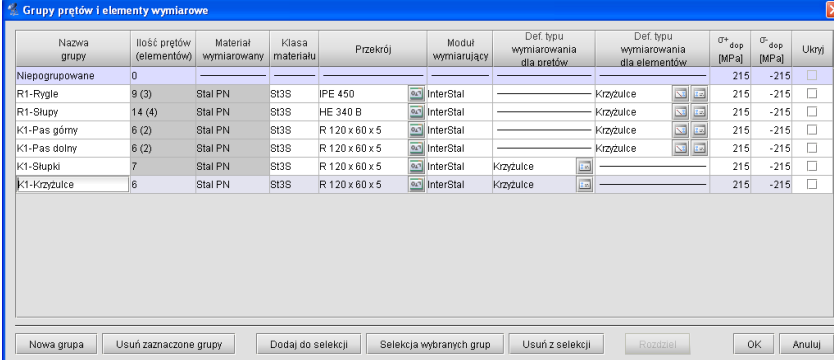
W celu lepszej orientacji w projekcie, każde zaznaczenie elementu w ostatniej kolumnie **Wybierz element** lub **Utwórz element** w obu oknach, podświetla zaznaczone pręty (elementy) na ekranie graficznym. Zdefiniowane w projekcie elementy wymiarowe widoczne są w oknie jak wyżej i drzewie projektu, natomiast na ekranie graficznym przy włączonych zakładkach **Geometria**, **Obciążenia**, **Wyniki** możemy zaznaczać jedynie poszczególne pręty. Inaczej sytuacja wygląda gdy wykonaliśmy wymiarowanie zbiorcze i jesteśmy na zakładce **Wymiarowanie**. Wówczas na ekranie graficznym możemy zaznaczać również pręty, które nie należą do żadnych elementów wymiarowych, ale w przypadku kliknięcia na pręt, który jest częścią elementu zaznacza się cały element. Wynika to stąd, że wyniki wymiarowania zbiorczego prezentowane są dla pojedynczych prętów (nie wchodzących w skład elementów) i właśnie elementów wymiarowych. Elementy wymiarowe na ekranie graficznym, przy włączonej zakładce **Wymiarowanie**, wyświetlane są w innym kolorze (można go zmienić w **Ustawieniach**) – domyślnie na niebiesko. W przypadku próby zmiany prętów wchodzących w skład elementu wymiarowego na cięgną, element zostanie rozbity a operacja ta zostanie poprzedzona odpowiednim komunikatem.



## Wymiarowanie zbiorcze

## 14.3 EDYCJA GRUP PRĘTÓW I ELEMENTÓW W GRUPACH

W wersji 6.0 programu znacznie rozbudowane zostało okno definiowania *Grup prętów i elementów wymiarowych*.



| Nazwa grupy    | Ilość prętów (elementów) | Materiał wymiarowany | Klasa materiału | Przekrój       | Moduł wymiarujący | Def. typu wymiarowania dla prętów | Def. typu wymiarowania dla elementów | $\sigma^+$ dep [MPa] | $\sigma^-$ dep [MPa] | Ukryj                    |
|----------------|--------------------------|----------------------|-----------------|----------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| Niepogrupowane | 0                        |                      |                 |                |                   |                                   |                                      | 215                  | -215                 | <input type="checkbox"/> |
| R1-Rygle       | 9 (3)                    | Stal PN              | ST3S            | IPE 450        | InterStal         |                                   | Krzyżulce                            | 215                  | -215                 | <input type="checkbox"/> |
| R1-Ślupy       | 14 (4)                   | Stal PN              | ST3S            | HE 340 B       | InterStal         |                                   | Krzyżulce                            | 215                  | -215                 | <input type="checkbox"/> |
| K1-Pas górny   | 6 (2)                    | Stal PN              | ST3S            | R 120 x 60 x 5 | InterStal         |                                   | Krzyżulce                            | 215                  | -215                 | <input type="checkbox"/> |
| K1-Pas dolny   | 6 (2)                    | Stal PN              | ST3S            | R 120 x 60 x 5 | InterStal         |                                   | Krzyżulce                            | 215                  | -215                 | <input type="checkbox"/> |
| K1-Ślupki      | 7                        | Stal PN              | ST3S            | R 120 x 60 x 5 | InterStal         |                                   | Krzyżulce                            | 215                  | -215                 | <input type="checkbox"/> |
| k1-Krzyżulce   | 6                        | Stal PN              | ST3S            | R 120 x 60 x 5 | InterStal         |                                   | Krzyżulce                            | 215                  | -215                 | <input type="checkbox"/> |

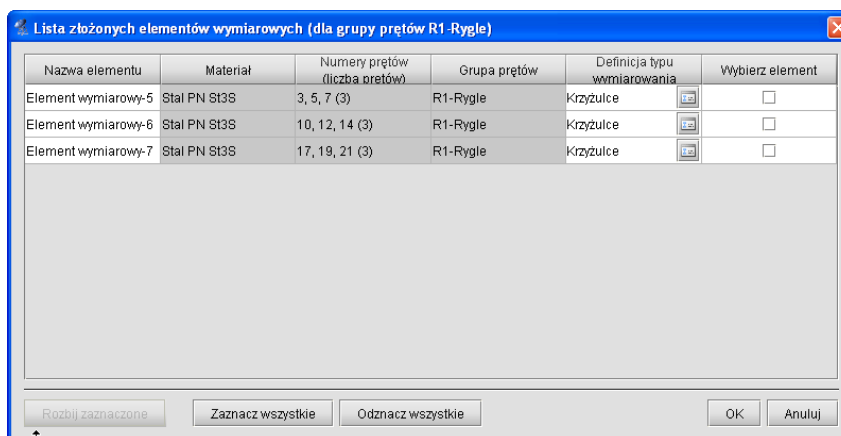
Rys. 14.7 Okno edycji Grup prętów i elementów wymiarowych

W dolnej części okna usytuowano przyciski pozwalające tworzyć i usuwać grupy prętów a także dodawać i usuwać selekcję poszczególnych grup prętów. Z prawej strony na dole umieszczono przyciski **OK** i **Anuluj** akceptujące lub pomijające wprowadzone w oknie zmiany. Pozostałą część okna stanowi rozbudowana tabelka w której pola białe przewidziane są do edycji a pola szare są polami informacyjnymi. Dodatkowo w niektórych kolumnach dostępne są ikony przycisków wywołujących: *Edytor przekrojów*, *Edytor elementów w grupie prętów* i *Edytor typów wymiarowania*. Pierwsza i dwie ostatnie kolumny są polami edycyjnymi umożliwiającymi wpisanie właściwej nazwy lub wartości. W pozostałych kolumnach edycyjnych użytkownik ma możliwość zmiany zawartości pola, przez odpowiedni wybór z listy. Grupa prętów *Niepogrupowane* jest wyróżniona kolorystycznie jako grupa nieusuwalna i dla której niedostępna jest zmiana nazwy, w której będą definiowane wszystkie nowe pręty, w przypadku gdy nie są zdefiniowane inne grupy użytkownika. Kolejno w tabeli zamieszczono kolejno następujące kolumny:

- **Nazwa grupy** – dowolna nazwa identyfikująca grupę prętów, określona przez użytkownika. Wyjątek stanowi grupa *Niepogrupowane*, która jest nieusuwalna i nie można zmienić jej nazwy.
- **Ilość prętów (elementów)** – w kolumnie program podaje łączną ilość prętów wchodzących w skład grupy a w nawiasie ilość elementów wymiarowych zdefiniowanych w grupie.
- **Materiał wymiarowany** – program podaje rodzaj materiału z jakiego wykonane są pręty w grupie. W przypadku gdy w danej grupie prętów znajdują się pręty (elementy) wykonane z różnych materiałów wyświetlony będzie znak *[...]* i grupa taka nie będzie mogła być wymiarowana zbiorczo.
- **Klasa materiału** – w kolumnie podana jest klasa materiału, która będzie uwzględniona przy wymiarowaniu. W przypadku gdy w danej grupie prętów znajdują się pręty (elementy) wykonane z materiałów o różnych klasach wyświetlony będzie znak *[...]*. Użytkownik może przez wybór z listy zmienić klasę materiału dla wszystkich prętów i elementów w danej grupie. Jeśli zmieniamy klasę materiału i nie zmieniamy przekroju, a przekrój ten jest wykorzystywany również w innej grupie prętów, program tworzy w projekcie kopię przekroju ze zmienioną klasą.
- **Przekrój** – w kolumnie podana jest nazwa przekroju jeśli wszystkie pręty w danej grupie mają taki sam przekrój. W innym przypadku wyświetlany jest znak *[...]*. Użytkownik może przypisać wszystkim prętom i elementom w grupie nowy przekrój przez wybór z listy przekrojów zdefiniowanych w projekcie lub rozpocząć edycję wybranego przekroju przez kliknięcie na ikonce *Edytora przekrojów*. W przypadku próby edycji przekroju, który jest również używany w innej grupie prętów, tworzona jest w projekcie jego kopia z kolejnym numerem w nazwie i na niej odbywa się edycja. W ten sposób program zabezpiecza projekt przed nieprzewidywalnymi zmianami w modelu.
- **Moduł wymiarujący** – użytkownik może wybrać z listy dostępny dla danego typu materiału moduł wymiarujący.
- **Definicja typu wymiarowania dla prętów** – użytkownik może dla wszystkich prętów w grupie przypisać z listy, charakterystyczny dla danego modułu wymiarującego typ wymiarowania. Przez kliknięcie na ikonce *Edytora typów wymiarowania* można zdefiniować nowy typ i przypisać go do danej grupy prętów. Ikona ta uruchamia edytor charakterystyczny dla danego modułu wymiarującego. W kolumnie tej użytkownik może również wybrać z listy opcję Brak wymiarowania – wówczas wszystkie pręty w danej grupie będą pominięte przy wymiarowaniu zbiorczym.

## Wymiarowanie zbiorcze

- Definicja typu wymiarowania dla elementów** – użytkownik może dla wszystkich elementów wymiarowych w grupie przypisać z listy, charakterystyczny dla danego modułu wymiarującego typ wymiarowania. Przez kliknięcie na ikonkę **Edytora typów wymiarowania** można zdefiniować nowy typ i przypisać go do elementów w danej grupie prętów. Ikona ta uruchamia edytor charakterystyczny dla danego modułu wymiarującego. W kolumnie tej użytkownik może również wybrać z listy opcję **Brak wymiarowania** – wówczas wszystkie elementy w danej grupie będą pominięte przy wymiarowaniu. Wciskając ikonkę **Elementów wymiarowych** w danej grupie wywołujemy dodatkowe okno edycji elementów wymiarowych dla tej grupy (**Lista złożonych elementów wymiarowych** - dla danej grupy), które pozwala między innymi przypisać każdemu elementowi inny typ wymiarowania.



Rys. 14.8 Okno elementów wymiarowych dla grupy prętów

- $\sigma(+)$ <sub>dop</sub> [MPa] – dopuszczalna wytrzymałość materiału prętów w danej grupie na rozciąganie, uwzględniana jedynie przy szacunkowym sprawdzaniu przekroczenia normalnych naprężeń sprężystych.
- $\sigma(-)$ <sub>dop</sub> [MPa] – dopuszczalna wytrzymałość materiału prętów w danej grupie na ściskanie, uwzględniana jedynie przy szacunkowym sprawdzaniu przekroczenia normalnych naprężeń sprężystych.
- Ukryj** – kolumna zawierająca znacznik ukrycia danej grupy prętów w projekcie.

## 14.4 DEFINICJE TYPU WYMIAROWANIA

Głównym założeniem przy pracy z definicjami typów wymiarowania w wymiarowaniu zbiorczym, jest konieczność zachowania przypisanych typów wymiarowania do prętów i elementów w pliku danego projektu. W związku z tym informacje o użytych w projekcie typach wymiarowania i ich właściwościach zapisywane są od wersji 6.0 programu w plikach projektów. Oprócz tego tak jak dotychczas istnieje osobna baza typów wymiarowania definiowanych przez użytkownika w programie i dostępnych w każdym innym projekcie. Obie opisane powyżej bazy są bazami biernymi i nie są bezpośrednio wykorzystywane podczas pracy nad projektem. Przy otwieraniu istniejącego projektu program tworzy zawsze tymczasową bazę dostępnych typów wymiarowania, która jest sumą bazy zawartej w projekcie i bazy w programie. Ta tymczasowa baza jest właśnie dostępna podczas pracy w programie. Przy tworzeniu bazy tymczasowej, w przypadku gdy dwa typy wymiarowania mają tę samą nazwę lecz różnią się właściwościami, typ z projektu dodawany jest do bazy tymczasowej z dodatkowym oznaczeniem (proj) na końcu nazwy. Typy które mają tę samą nazwę i właściwości przy budowaniu bazy tymczasowej nie są dublowane. Podczas pracy nad projektem nowe typy wymiarowania dodawane są do bazy tymczasowej. Przy zapisie projektu wykonywana jest na podstawie pliku tymczasowego synchronizacja baz typów wymiarowania w pliku projektu i w programie, a po synchronizacji plik bazy tymczasowej jest usuwany. Synchronizacja baz polega na tym że, do bazy programu kopiowane są wszystkie definicje typów z pliku tymczasowego z wyjątkiem tych z przyrostkiem (proj). Natomiast do projektu kopiowane są wszystkie używane w danym projekcie typy wymiarowania z ewentualnym pominięciem dodanego przyrostka (proj), o ile taki wystąpi. Jeśli zdarzyłoby się że po usunięciu przyrostka (proj) nazwy typów się powtarzają to do nazwy jest dodawany automatycznie numer porządkowy.

Wszystkie bazy definicji typów wymiarowania są wykonane w postaci plików **XML**.

Przy definiowaniu grup prętów i elementów należy pamiętać o zasadzie:


## Wymiarowanie zbiorcze

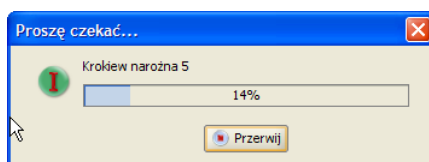
*W wymiarowaniu zbiorczym dowolnej grupie prętów można przypisać tylko jedną wybraną definicję typu wymiarowania. Natomiast w przypadku zdefiniowania w tych samych grupach prętów, złożonych elementów wymiarowych, każdemu z nich można przypisać osobną definicję typu wymiarowania.*



### 14.5 WYMIAROWANIE ZBIORCZE

Po przeliczeniu statyki, zdefiniowaniu grup prętów i elementów wymiarowych oraz przypisaniu im odpowiednich typów wymiarowania, można przystąpić do wymiarowania zbiorczego całości układu. Dopóki statyka układu nie jest przeliczona, ikona wymiarowania zbiorczego i zakładka **Wymiarowanie** nie są aktywne w programie.

Aby włączyć obliczenia wymiarowania zbiorczego, należy kliknąć odpowiednią ikonkę  na głównym pasku narzędziowym (następna po ikonie obliczeń statycznych), lub przełączyć się na zakładkę **Wymiarowanie**. Po tej operacji powinien pokazać się pasek postępu obliczeń informujący jakie pręty i elementy są kolejno wymiarowane:



Rys. 14.9 Pasek postępu przy wymiarowaniu zbiorczym

Naciśnięcie przycisku **Przerwij** w trakcie obliczeń spowoduje przerwanie wymiarowania po skończeniu obliczeń dla ostatnio liczonego pręta lub elementu.

Między wymiarowaniem zbiorczym całego układu i indywidualnym, istnieje jedna podstawowa różnica. Wymiarowanie zbiorcze wykonywane jest we wszystkich punktach charakterystycznych pręta lub elementu, wybranych przez program, natomiast przy wymiarowaniu indywidualnym, użytkownik może dodatkowo wskazać punkty na przecię lub elemencie, w których ma być dodatkowo sprawdzona nośność.

W przypadku wymiarowania zbiorczego układów prętowych dla których liczona jest obwiednia sił wewnętrznych, sprawdzenia nośności zostaną wykonane dla wartości maksymalnych i minimalnych obwiedni sił wewnętrznych i naprężeń, we wszystkich punktach charakterystycznych obwiedni danego pręta lub elementu.

W przypadku wymiarowania zbiorczego lub indywidualnego układów prętowych z ciągami, dla których znane są jedynie wyniki dla wskazanych grup i kombinacji, wymiarowanie będzie przeprowadzone jedynie dla tej grupy lub kombinacji, która w danej chwili wybrana jest na zakładce **Wyniki** (której wyniki sił wewnętrznych w aktualnie widoczne są na ekranie graficznym). Wymiarowanie to również przeprowadzone będzie dla stałych w danym punkcie sił wewnętrznych, we wszystkich punktach charakterystycznych (dla danej grupy lub kombinacji) danego pręta lub elementu. Przy wyborze dodatkowego punktu wymiarowania użytkownika w wymiarowaniu indywidualnym, dla statyki liczonej jak dla ciągów, wszystkie obwiednie będą zawierać ten sam zestaw sił wewnętrznych wybranej grupy lub kombinacji.

Przy wymiarowaniu zbiorczym układów hybrydowych (wykonanych z różnych typów materiałów), których wszystkie pręty znalazły się w jednej grupie, lub układ podzielony został na grupy prętów bez zachowania podziału ze względu na typ materiału, program przed wykonaniem wymiarowania zapyta użytkownika czy ma automatycznie rozdzielić te grupy prętów na odrębne ze względu na materiał. Jeśli użytkownik wyrazi zgodę grupy te zostaną rozdzielone ze względu na materiał, zostaną im przypisane domyślne definicje typu wymiarowania i przekroje zostaną sprawdzone. W innym przypadku grupy hybrydowe zostaną pominięte przy wymiarowaniu.

Po wykonaniu całości obliczeń program przełączy się na zakładkę **Wymiarowanie**. Na głównym ekranie graficznym widzimy wówczas układ podzielony na pręty i elementy z przypisanymi do nich kolorowymi etykietami, zawierającymi wartość maksymalnego sprawdzenia dla danego pręta lub elementu. Na ekranie graficznym w trybie zakładki **Wymiarowanie** użytkownik może wskazać pojedynczy pręt nie wchodzący w skład elementu wymiarowego lub cały element wymiarowy. Nie może natomiast wskazać pojedynczego pręta będącego składnikiem elementu wymiarowego. Dla wskazanego pręta lub elementu z prawej strony okna, na zakładce wyświetlone zostaną wówczas wszystkie skrócone wyniki wymiarowania dla wskazanego obiektu. Dla zakładki **Wymiarowanie** tak jak dla pozostałych zakładek można zaznaczyć oknem przecinającym lub obejmującym część

## Wymiarowanie zbiorcze

układu i ukryć zaznaczone pręty i elementy. Najedźdząc na dowolny pręt lub element kursorem myszki w tym trybie, wyświetli się tooltip informacyjny zawierający: numer pręta lub nazwę elementu, jego długość, opis modułu wymiarującego i użytej definicji typu wymiarowania, a także opis i wartość maksymalnego sprawdzenia.

Krokiew narożna 5 (L=8,12m)  
 Moduł wymiarujący: **InterDrewno**  
 Definicja typu wymiarowania: **Krokiew**  
 Sprawdzenie  $\sigma$  na: N + My + Mz - **0,938**

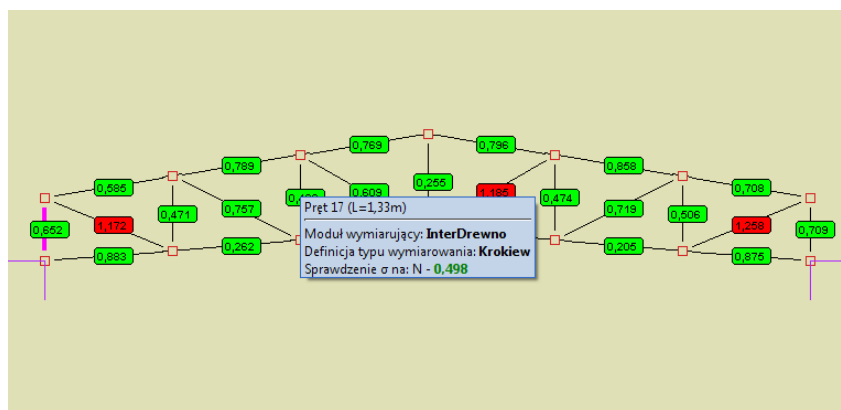
Rys. 14.10 Tooltip („chmurka”) z wymiarowania zbiorczego

W przypadku wystąpienia komunikatu z wymiarowania, zostanie on również podany w okienku informacyjnym.

Krokiew narożna 2 (L=9,99m)  
 Moduł wymiarujący: **InterDrewno**  
 Definicja typu wymiarowania: **Krokiew**  
 Sprawdzenie  $\sigma$  na: N + My + Mz - **2,273**  
 (Za duża smukłość pręta  $\lambda > 150$ )

Rys. 14.11 Tooltip („chmurka”) z wymiarowania zbiorczego z komunikatem o przekroczeniu smukłości

Widok okna głównego ekranu graficznego w trybie wymiarowania zbiorczego przedstawiono poniżej:



Rys. 14.12 Widok ekranu po wymiarowaniu zbiorczym dla stanu granicznej nośności

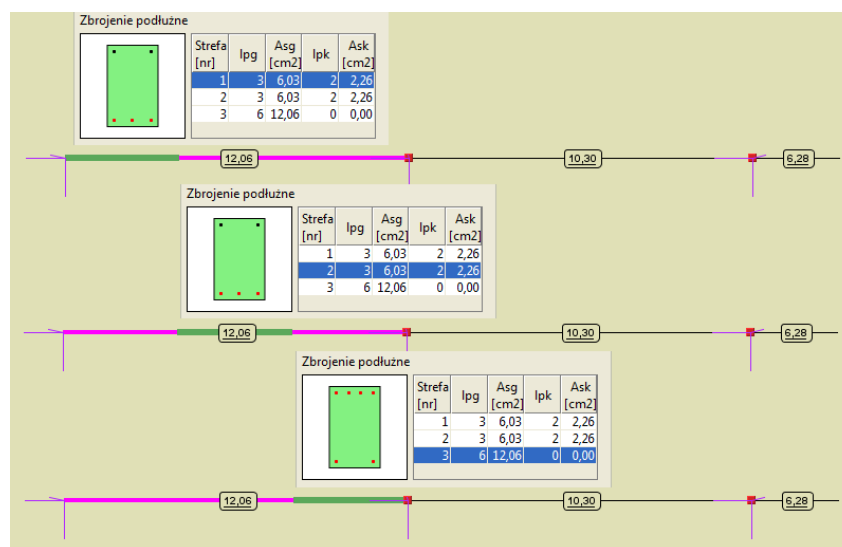
Opis oznaczeń kolorowych etykiet sprawdzenia nośności pokazano poniżej:

|  |   |   |
|--|---|---|
|  | <b>Etykieta zielona</b>                                     | Maksymalne sprawdzenie nośności pręta lub elementu nie przekracza jedności (wszystkie warunki spełnione).   |
|  | <b>Etykieta czerwona</b>                                    | Maksymalne sprawdzenie nośności pręta lub elementu przekracza wartość jeden (minimum jeden z warunków nie został spełniony).  |
|  | <b>Etykieta żółta</b>                                       | W czasie wymiarowania zbiorczego wystąpił dodatkowy komunikat o niespełnieniu jakiegoś warunku (najczęściej przekroczona smukłość pręta) lub komunikat o przyczynie braku wymiarowania. |
|  | <b>Etykieta żółta - wartość i ramka etykiet na czerwono</b> | Dodatkowo przekroczony jeden z warunków nośności.   |
|  | <b>Etykieta żółta - wartość i ramka etykiety na zielono</b> | Mimo komunikatu wszystkie warunki nośności spełnione.   |
|  | <b>Etykieta żółta - wykrzyknik</b>                          | Brak wymiarowania wynikający z niespełnienia jakiegoś warunku (warunek opisany w tooltipie).  |

## Wymiarowanie zbiorcze

|       |  |   |
|-------|--|---|
| ?     | <b>Etykieta żółta - znak zapytania</b>                               | Użytkownik ustawił dla danego elementu opcję <b>Brak wymiarowania</b> .                 |
| 63,33 | <b>Etykieta przezroczysta, wartość podkreślona w kolorze czarnym</b> | Maksymalna wartość powierzchni zbrojenia podłużnego dla pręta lub elementu wymiarowego. |

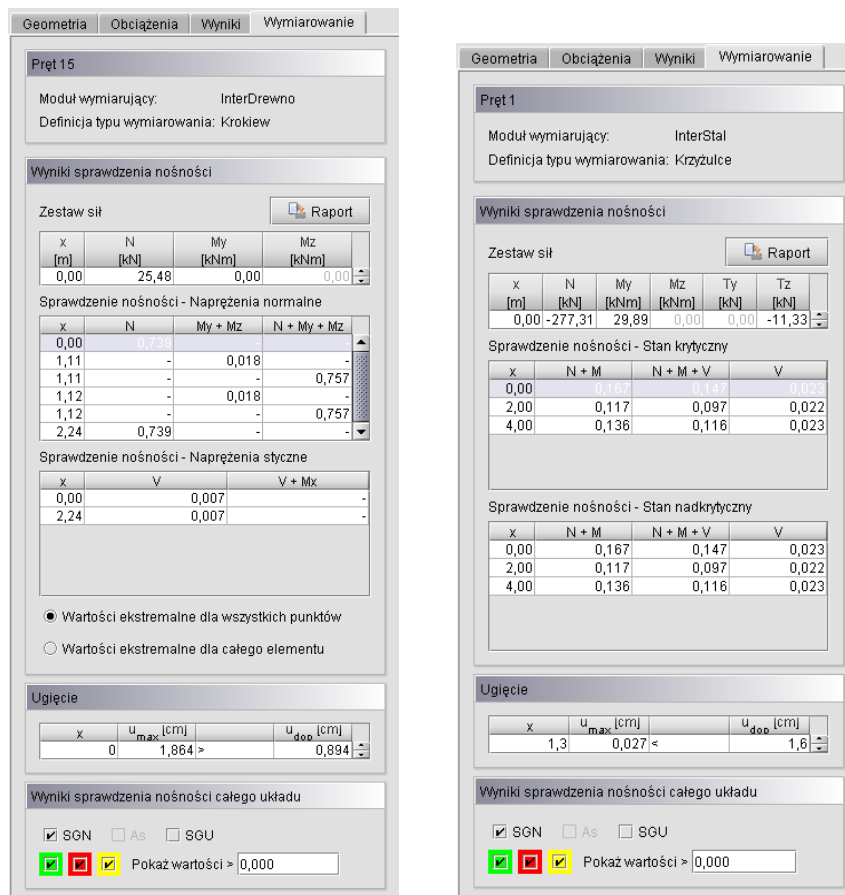
Przy wymiarowaniu zbiorczym modulem **EuroŻelbet**, użytkownik może wskazywać na ekranie graficznym pręty i elementy wymiarowe, oraz odpowiednią ich strefę, dla której będą podświetlone wyniki podłużnego zbrojenia głównego na zakładce **Wymiarowanie**. Analogicznie wskazanie danej strefy zbrojenia podłużnego na zakładce **Wymiarowanie**, będzie powodować jej „zapalenie” na danym pręcie lub elemencie wymiarowym układu.



Rys. 14.13 Widok stref zbrojenia belki

Oprócz wyników na ekranie graficznym, użytkownik może wyświetlić skrócone wyniki wszystkich sprawdzeń na prawym panelu zakładki **Wymiarowanie**. W tym celu na ekranie graficznym klikamy na wybranym pręcie lub elemencie. Okno zakładki **Wymiarowanie** różni się nieznacznie w zależności od tego w jakim materiale zostało ono wykonane i odpowiada odpowiednim tabelom przedstawionym przy indywidualnym wymiarowaniu prętów. Przykładowy wygląd zakładki dla wymiarowania w drewnie, stali i żelbecie przedstawiono poniżej:

## Wymiarowanie zbiorcze



**Rys. 14.14 Widok zakładki Wymiarowanie dla pręta drewnianego i stalowego wg norm PN**



## Wymiarowanie zbiorcze

**Pręt 10**  
Moduł wymiarujący: EuroStal  
Definicja typu wymiarowania: typowy

**Wyniki sprawdzenia nośności**

Zestaw sił

| x [m] | N [kN] | My [kNm] | Mz [kNm] | Ty [kN] | Tz [kN] |
|-------|--------|----------|----------|---------|---------|
| 0,00  | 0,00   | -86,03   | 0,00     | -0,00   | 81,24   |

Sprawdzenie nośności elementu

| x    | N | M     | N + M |
|------|---|-------|-------|
| 0,00 |   | 0,241 |       |
| 0,00 |   |       | 0,257 |

Sprawdzenie nośności przekroju

| x    | N + M | V     | M(N, V) |
|------|-------|-------|---------|
| 0,00 | 0,218 | 0,117 | 0,217   |
| 0,00 | 0,214 | 0,118 | 0,212   |
| 0,00 | 0,219 | 0,118 | 0,214   |

Ugięcie

| x    | u <sub>max</sub> [cm] | u <sub>doz</sub> [cm] |
|------|-----------------------|-----------------------|
| 2,94 | 0,241 <               | 2,4                   |

Wyniki sprawdzenia nośności całego układu

SGN  As  SGU

Pokaż wartości > 0,000

---

**Pręt 2**  
Moduł wymiarujący: EuroZelbet  
Definicja typu wymiarowania: belka1

**Wyniki zbrojenia**

Siły dla zbrojenia głównego

| Strefa [nr] | N [kN] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|-------------|--------|----------|----------|
| 1,00        | 5,50   | -100,91  | 0,00     |

Zbrojenie podłużne

| Strefa [nr] | lpg [cm] | Asg [cm <sup>2</sup> ] | lpg [cm] | Ask [cm <sup>2</sup> ] |
|-------------|----------|------------------------|----------|------------------------|
| 1,00        | 4 60,82  | 0                      | 0,00     | 0,00                   |
| 2,00        | 5 76,03  | 0                      | 0,00     | 0,00                   |
| 3,00        | 4 60,82  | 0                      | 0,00     | 0,00                   |

Siły dla zbrojenia poprzecznego

| Ls [m] | Mx [kNm] | Ty [kN] | Tz [kN] | s [cm] | As [cm <sup>2</sup> /m] |
|--------|----------|---------|---------|--------|-------------------------|
| 2,00   | 0,00     | 0,00    | 43,50   | 10,55  | 76,21                   |
| 2,00   | 0,00     | 0,00    | 0,00    | 10,55  | 76,21                   |
| 2,00   | 0,00     | 0,00    | 43,50   | 10,55  | 76,21                   |

Ugięcie w stanie sprężystym i zarysowanym

| x    | Δu <sub>max</sub> [cm] | Δu <sub>st</sub> [cm] | u <sub>doz</sub> [cm] |
|------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 3,00 | 0,277                  | 0,631 <               | 2,400                 |

Zarysowanie

| x    | w <sub>max</sub> [cm] | w <sub>doz</sub> [cm] |
|------|-----------------------|-----------------------|
| 3,00 | 0,181 <               | 0,300                 |

Wyniki sprawdzenia nośności całego układu

SGN  As  SGU

Pokaż wartości > 0,000 cm<sup>2</sup>

**Rys. 14.15 Widok zakładki Wymiarowanie dla pręta Stalowego i żelbetowego wg norm EN**

W górnej części zakładki podano nazwę i numer wymiarowanego pręta lub elementu, rodzaj użytego modułu wymiarującego i użyty typ wymiarowania. Gdy dla elementu w trakcie wymiarowania, wystąpi jakiś dodatkowy komunikat, jest on również wyświetlany w pierwszej sekcji zakładki. Niżej w kolejnej części podane są siły wewnętrzne na które przeprowadzone było wymiarowanie w poszczególnych punktach pręta lub elementu. Wartości tych sił zmieniają się w zależności od tego który punkt wymiarowania na pręcie lub elemencie wybierzemy w tabelkach poniżej. Tabelki wyników sprawdzenia nośności w poszczególnych punktach dokładnie odpowiadają takim samym tabelą omówionym w wymiarowaniu indywidualnym w modułach *InterStal*, *InterDrewno*, *EuroStal* i *EuroZelbet*. Na górze omawianej sekcji znajduje się dodatkowy przycisk *Raport* pozwalający przejść do szczegółowego raportu z wymiarowania w formacie *RTF*. Jest to taki sam raport jaki otrzymujemy na końcu wymiarowania indywidualnego w poszczególnych modułach. Poniżej wyników sprawdzania nośności znajduje się jednowierszowa tabelka sprawdzająca wartość obwodni ugięcia pręta lub elementu z ugięciem dopuszczalnym zdefiniowanym w definicji typu wymiarowania. Na samym dole zakładki znajduje się sekcja *Wyniki sprawdzania nośności całego układu* pozwalająca na filtrowanie wyników wyświetlanych na ekranie graficznym. Trzy znaczniki w kolorach zielonym, czerwonym i żółtym włączają lub wyłączają wyświetlanie etykiet o odpowiadających im kolorach dla poszczególnych prętów i elementów. Pole edycyjne *Pokaż wartości* pozwala użytkownikowi eliminować z wyświetlania na ekranie graficznym etykiety dla których wartości maksymalnego sprawdzenia nośności nie przekroczą podanego limitu.

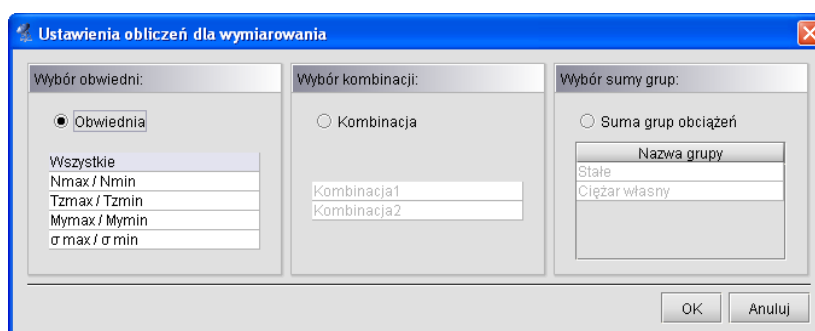
Dla projektów w których nie zdefiniowano cięgien i nie wybrano obliczeń z ich uwzględnieniem oraz dla układów z cięgnami, wywołanie obliczeń statycznych lub wymiarowania zbiorczego za pomocą menu lub ikon paska narzędziowego zawsze niezależnie od sytuacji wywołuje ponowne wykonanie przeliczenia układu. Inaczej działają zakładki *Wyniki* i *Wymiarowanie* ich wybór uruchamia obliczenia tylko wówczas gdy wcześniej, w ramach danej sesji, nie wykonano odpowiednich obliczeń, lub gdy obliczenia te zostały wykonane, a w międzyczasie układ uległ istotnej z punktu obliczeniowego zmianie. Taka metodologia pozwala po obliczeniach przelaznąć się między zakładkami bez potrzeby ponownego przeliczenia układu. Pozostała aktualna zasada że ikonką (zakładkę) *Wymiarowania* można uruchomić jedynie w tym przypadku, gdy wcześniej zostały wykonane dla tego sa-

## Wymiarowanie zbiorcze

mego układu obliczenia statyczne. Aktualnie jedyna różnica między obliczeniami dla zwykłych układów i układów zawierających ciągną polega na tym, że w przypadku wywoływania obliczeń statycznych dla ciągnien pojawia się okno wyboru zestawów sił dla których mają być przeprowadzone obliczenia, a w przypadku pozostałych układów takiego okna nie ma i program bezpośrednio przechodzi do wykonania obliczeń.

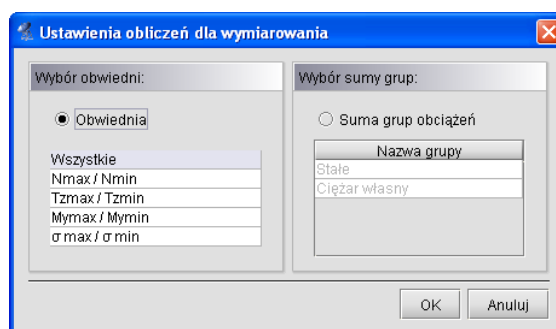
W aktualnej wersji programu umożliwiono przy wymiarowaniu indywidualnym i zbiorczym ustalenie dla jakich zestawów sił ma być przeprowadzone wymiarowanie. W tym celu po uruchomieniu wymiarowania (zbiorczego lub indywidualnego) wyświetlane jest okno umożliwiające wybór zakresu sił do wymiarowania.

W przypadku układów, które nie zawierają ciągnien użytkownik może wybrać wymiarowanie wszystkich (opcja domyślna) lub jednej wybranej obwiedni sił lub naprężeń. Alternatywą dla tego wyboru jest wymiarowanie jednej zaznaczonej kombinacji lub dowolnej grupy lub sumy grup obciążeń zdefiniowanych w projekcie. Przy wyborze sumy grup do wymiarowania, użytkownik w oknie jak niżej, powinien zaznaczyć grupę lub sumę grup (kilka grup na raz zaznaczamy z klawiszem **Shift** lub **Ctrl**). Wybrane grupy, zaznaczone w oknie podświetlone są na niebiesko. W przypadku wymiarowania wybranej w oknie kombinacji, program uwzględni współczynniki zdefiniowane dla tej kombinacji, a pomija współczynniki przypisane do poszczególnych grup obciążeń. Przy wybranej grupie lub sumie grup do wymiarowania uwzględniane są maksymalne współczynniki obciążenia, przypisane do grup obciążeń, zdefiniowane w oknie **Grup obciążeń**.



Rys. 14.16 Okno ustawienia obliczeń do wymiarowania

W przypadku gdy w projekcie nie będzie zdefiniowanych kombinacji, powyższe okno wyboru zostanie zawężone do widoku jak niżej:



Rys. 14.17 Okno ustawienia obliczeń do wymiarowania dla układów bez kombinacji

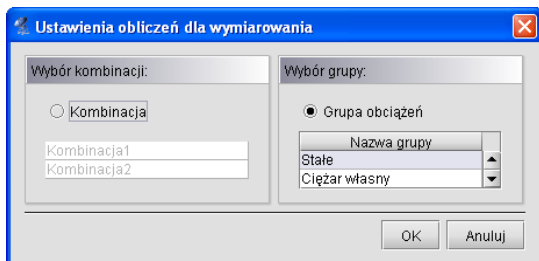
Na skutek wyboru zestawu sił do wymiarowania, przy uruchomieniu obliczeń, odpowiedniemu ograniczeniu ulega także wybór zestawów sił, dla dodatkowo definiowanych punktów użytkownika, dostępnych w poszczególnych modułach wymiarujących, przy wymiarowaniu indywidualnym. To znaczy że jeśli przy wymiarowaniu indywidualnym wybierzemy np. wymiarowanie dla jakiejś kombinacji lub sumy grup, to dla dodatkowych punktów wymiarowania użytkownika, zostanie ono przeprowadzone dla tej właśnie kombinacji lub sumy grup. Wyjątek tak jak dotychczas stanowi wymiarowanie domyślne na wszystkie obwiednie, gdzie dla dodatkowych punktów użytkownika możemy przeprowadzić również wymiarowanie na wszystkie obwiednie lub wybrać tylko jedną z nich. Takiego wyboru oczywiście nie będzie, gdy już na początku przy starcie obliczeń określiliśmy, że wymiarowanie pojedynczego pręta lub kilku prętów ma być wykonane na jedną wybraną obwiednię.

W przypadku wymiarowania układów, które zawierają w swojej strukturze pręty typu ciągną, wybór zestawu sił ograniczony jest do jednej wskazanej kombinacji, lub jednej wskazanej grupy. W tym wypadku przy wymiarowaniu, współczynniki obciążenia uwzględniane są tak jak dla zwykłych układów opisanych powyżej. Ponieważ

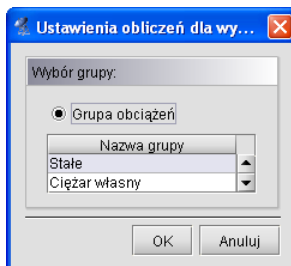


## Wymiarowanie zbiorcze

przy obliczaniu statyki układów z ciągniami, obwiednia nie jest liczona, nie jest też na nią wykonywane wymiarowanie. Inna sytuacja występuje przy wyborze wymiarowania dla grup obciążeń, przy liczeniu układów z ciągniami. W tym przypadku, wyniki obliczeń statycznych od zestawu sił, będącego sumą grup (jak w kombinacji) są zupełnie inne niż suma wyników sił wewnętrznych od grup, wchodzących w skład tego samego zestawu. Przy czym te ostatnie, dadzą nieprawdziwe wartości sił wewnętrznych. Stąd w programie nie ma możliwości wymiarowania układów z ciągniami, na siły wewnętrzne będące sumą sił z grup obciążeń a jedynie na siły dla jednej wybranej i zaznaczonej grupy. Zakres dostępnych wyborów przy wymiarowaniu układów z ciągniami pokazano w poniższych oknach dialogowych:



Rys. 14.18 Gdy w projekcie występują grupy i kombinacje obciążeń



Rys. 14.19 Gdy w projekcie występują jedynie grupy obciążeń

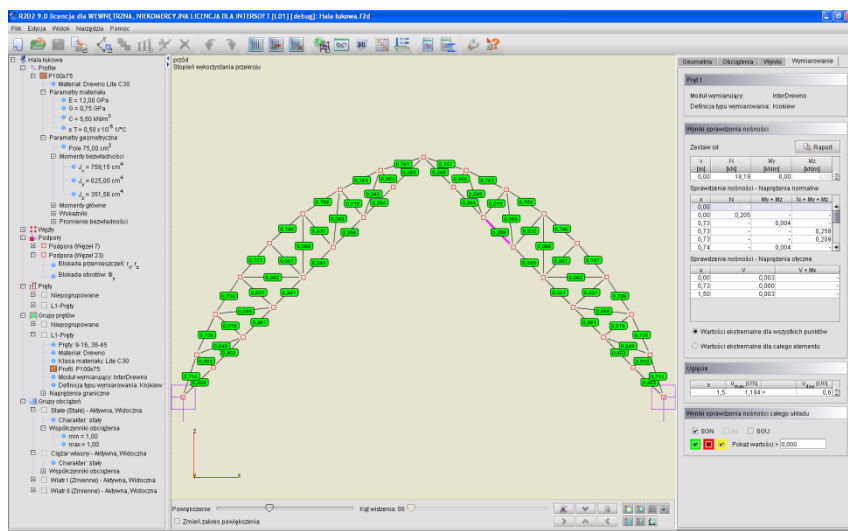
Wszystkie powyżej opisane opcje wyboru zestawów sił, wykonywane są zarówno przy wymiarowaniu indywidualnym jak i zbiorczym, przy starcie tego wymiarowania i obowiązują dla całego procesu obliczeń. Po wykonaniu wymiarowania zbiorczego i przełączeniu programu na zakładkę **Wymiarowanie** istnieje obecnie możliwość przełączenia wyników na ekranie graficznym między stanem granicznym nośności (SGN) i stanem granicznym użytkowania (SGU).



Rys. 14.20 Filtrowanie wyników dla stanu granicznego użytkowania

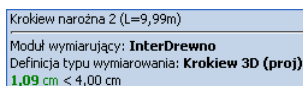
Przy włączonym SGN, wyniki wymiarowania zbiorczego prezentowane są tak jak dotychczas, natomiast przy włączeniu SGU na ekranie graficznym, w etykietach, prezentowane są dla każdego pręta i elementu wymiarowego, wartości maksymalnego ugięcia, podane bezwzględnie w centymetrach, lub względnie jako stosunek ugięcia rzeczywistego i dopuszczalnego. Sposób prezentacji wybierany jest odpowiednim przełącznikiem  $u_{max}/u_{dop}$ . Etykieta zielona na prętach układu pokazuje wartość ugięcia, które nie przekroczyło wartości dopuszczalnej. Etykieta czerwona wartość ugięcia, która przekracza ugięcie dopuszczalne zdefiniowane w definicji typu wymiarowania. Etykieta żółta została zarezerwowana dla tych przypadków, dla których ugięcie lub sprawdzenie nośności nie mogło być przeprowadzone. Tak jak w przypadku sprawdzenia nośności, wyniki ugięć maksymalnych dla poszczególnych prętów można filtrować. Widok całego ekranu graficznego w tym trybie pokazano poniżej:

## Wymiarowanie zbiorcze



Rys. 14.21 Widok ekranu graficznego dla stanu granicznego użytkowania

Po najechaniu kursorem myszki na dowolny pręt lub element wymiarowy w „chmurce” zostanie pokazana informacja zawierająca pełne sprawdzenie ugięcia dopuszczalnego dla danego pręta lub elementu.



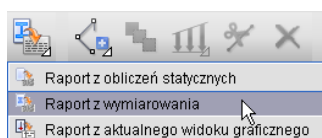
Rys. 14.22 Tooltip („chmurka”) dla stanu granicznego użytkowania

## 14.6 RAPORT Z WYMIAROWANIA ZBIORCZEGO

Do wykonania raportu można przystąpić po wykonaniu obliczeń z wymiarowania zbiorczego, gdy jego wyniki są już wyświetlane na ekranie (włączona zakładka **Wymiarowanie**). W innym przypadku raport ten będzie niedostępny. Należy pamiętać że dla układu nie zawierającego cięgien, wymiarowanie będzie przeprowadzone dla obwiedni sił wewnętrznych. Natomiast jeśli w układzie występują cięgna i dodatkowo włączone są obliczenia statyczne jak dla cięgien, program wykona obliczenia dla aktualnej w danej chwili grupy lub kombinacji i dla takich obliczeń będzie stworzony raport z wymiarowania zbiorczego.

Po wykonaniu wymiarowania zbiorczego i przejrzaniu wyników na ekranie można przystąpić do tworzenia raportu skróconego z wymiarowania. Analogicznie jak w przypadku raportu ze statyki, zostanie on wykonany jedynie dla tych prętów i elementów, które w danej chwili widoczne są na ekranie graficznym. Sterując wyświetlaniem i ukrywaniem odpowiednich prętów i elementów możemy uzyskać raport dla tych obiektów, które wybieramy. Klikając na ikonę raportu na górnym pasku narzędziowym, po wykonaniu obliczeń wymiarowania zbiorczego mamy do wyboru trzy opcje:

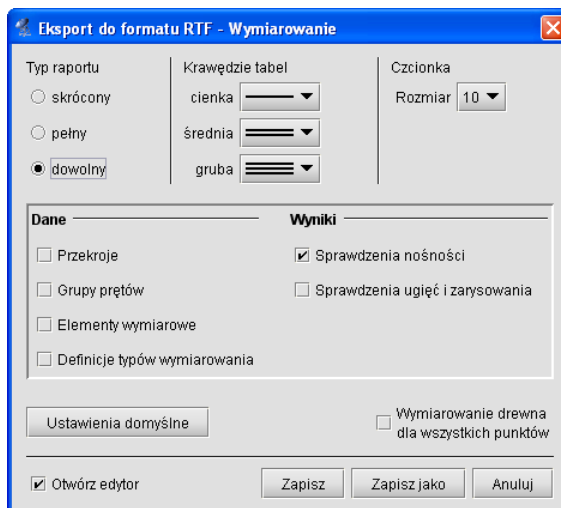
- **Raport z obliczeń statycznych**
- **Raport z wymiarowania**
- **Raport z aktualnego widoku graficznego**



Rys. 14.23 Wywołanie raportu z wymiarowania zbiorczego

Pierwsza opcja uruchamia tak jak dotychczas okno eksportu do formatu **RTF** raportu z obliczeń statycznych. Natomiast druga analogiczne okno eksportu do formatu **RTF** raportu z wymiarowania.

## Wymiarowanie zbiorcze



Rys. 14.24 Okno Eksportu do formatu RTF dla wymiarowania zbiorczego

Struktura powyższego okna jest analogiczna jak w przypadku statyki. Wybór typu raportu: *skrócony*, *pełny*, *dowolny*, pozwala decydować jakie elementy znajdują się w raporcie. Dolny znacznik *Wymiarowanie drewna dla wszystkich punktów*, decyduje o tym czy w raporcie wyniki wymiarowania drewna mają być przedstawione we wszystkich sprawdzanych punktach, czy wydane mają być jedynie wartości ekstremalne poszczególnych sprawdzeń. Po wciśnięciu przycisku *Zapisz* lub *Zapisz jako* i podaniu nazwy pliku raportu utworzony zostanie dokument w formacie **RTF** zawierający raport z wymiarowania zbiorczego. Przykładowy raport z wymiarowania zbiorczego zamieszczono poniżej.

## 14.7 RAPORT Z WYMIAROWANIA – PRZYKŁAD

DanePrzekroje

|                            |                                 |                                  |                                 |                             |  |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--|
| <b>Nazwa</b>               | HE 240 B                        |                                  |                                 |                             |  |
| <b>Parametry przekroju</b> | $A = 106\text{cm}^2$            |                                  |                                 |                             |  |
|                            | $J_x = 102,69\text{cm}^4$       | $J_y = 11\,260,38\text{cm}^4$    | $J_z = 3\,922,68\text{cm}^4$    |                             |  |
|                            | $\alpha_{y-yg} = 0^\circ$       | $J_{yg} = 11\,260,38\text{cm}^4$ | $J_{zg} = 3\,922,68\text{cm}^4$ |                             |  |
|                            | $W_{y\max} = 938,36\text{cm}^3$ |                                  | $W_{y\min} = 938,36\text{cm}^3$ |                             |  |
|                            | $W_{z\max} = 326,89\text{cm}^3$ |                                  | $W_{z\min} = 326,89\text{cm}^3$ |                             |  |
| <b>Material</b>            | Stal EN S275                    | $E = 205\text{GPa}$              | $G = 80\text{GPa}$              | Cieź. = $78,5\text{kN/m}^3$ |  |
| <b>Nazwa</b>               | IPE 360                         |                                  |                                 |                             |  |
| <b>Parametry przekroju</b> | $A = 72,74\text{cm}^2$          |                                  |                                 |                             |  |
|                            | $J_x = 37,32\text{cm}^4$        | $J_y = 16\,267,87\text{cm}^4$    | $J_z = 1\,043,46\text{cm}^4$    |                             |  |
|                            | $\alpha_{y-yg} = 0^\circ$       | $J_{yg} = 16\,267,87\text{cm}^4$ | $J_{zg} = 1\,043,46\text{cm}^4$ |                             |  |
|                            | $W_{y\max} = 903,77\text{cm}^3$ |                                  | $W_{y\min} = 903,77\text{cm}^3$ |                             |  |
|                            | $W_{z\max} = 122,76\text{cm}^3$ |                                  | $W_{z\min} = 122,76\text{cm}^3$ |                             |  |
| <b>Material</b>            | Stal EN S275                    | $E = 205\text{GPa}$              | $G = 80\text{GPa}$              | Cieź. = $78,5\text{kN/m}^3$ |  |

Grupy prętów

R1-Rygle (pręty: 3, 5, 7, 10, 12, 14, 17, 19, 21, 24, 26, 28)

| Material | Przekrój | Moduł wym. | Def. typu wym. | Naprężenia graniczne |
|----------|----------|------------|----------------|----------------------|
|----------|----------|------------|----------------|----------------------|

## Wymiarowanie zbiorcze

| Material     | Przekrój | Moduł wym. | Def. typu wym. | Naprężenia graniczne |                 |
|--------------|----------|------------|----------------|----------------------|-----------------|
|              |          |            |                | $\sigma_{\min}$      | $\sigma_{\max}$ |
| Stal EN S275 | IPE 360  | EuroStal   | typowy         | 275,00               | -275,00         |

R1-Słupy (pręty: 1-2, 4, 6, 8-9, 11, 13, 15-16, 18, 20, 22-23, 25, 27)

| Material     | Przekrój | Moduł wym. | Def. typu wym. | Naprężenia graniczne |                 |
|--------------|----------|------------|----------------|----------------------|-----------------|
|              |          |            |                | $\sigma_{\min}$      | $\sigma_{\max}$ |
| Stal EN S275 | HE 240 B | EuroStal   | typowy         | 275,00               | -275,00         |

## Definicje typów wymiarowania

typowy (EuroStal)

| Parametry ściskania                |   |
|------------------------------------|---|
| Wymiarowanie rur okrągłych klasy 4 | metoda stanu nadkrytycznego               |
| Dopuszczalne ugięcie               | L/250,00                                  |
| Parametry żeber                    |   |
| szerokość żebra                    | 100.0 mm                                  |
| grubość żebra                      | 12.0 mm                                   |
| Parametry zwichrzenia              |   |
| Typ zwichrzenia                    | Element zabezpieczony przed zwichrzeniem. |

## Wyniki

## Sprawdzenia nośności

| Pręt 10                        |        | Moduł wym.     | EuroStal |        |        |          |  |
|--------------------------------|--------|----------------|----------|--------|--------|----------|--|
|                                |        | Def. typu wym. | typowy   |        |        |          |  |
| Sprawdzenie nośności elementu  |        |                |          |        |        |          |  |
| x [m]                          | N [kN] | My [kNm]       | Tz [kN]  | N      | M      | N + M    |  |
| 0,00                           | 2,32   | -210,47        | 183,07   | -1,000 | 0,847  | -1,000   |  |
| 0,00                           | -22,40 | -210,72        | 183,19   | -1,000 | -1,000 | 0,883    |  |
| Sprawdzenie nośności przekroju |        |                |          |        |        |          |  |
| x [m]                          | N [kN] | My [kNm]       | Tz [kN]  | N + M  | V      | M(N + V) |  |
| 0,00                           | -9,69  | -211,95        | 182,63   | 0,761  | 0,327  | 0,756    |  |
| 6,00                           | 3,47   | -172,06        | -172,24  | 0,616  | 0,309  | 0,614    |  |
| Pręt 12                        |        | Moduł wym.     | EuroStal |        |        |          |  |
|                                |        | Def. typu wym. | typowy   |        |        |          |  |
| Sprawdzenie nośności elementu  |        |                |          |        |        |          |  |
| x [m]                          | N [kN] | My [kNm]       | Tz [kN]  | N      | M      | N + M    |  |
| 0,00                           | 9,74   | -149,35        | 163,71   | -1,000 | 0,601  | -1,000   |  |
| 0,00                           | -10,77 | -205,93        | 179,74   | -1,000 | -1,000 | 0,846    |  |
| Sprawdzenie nośności przekroju |        |                |          |        |        |          |  |
| x [m]                          | N [kN] | My [kNm]       | Tz [kN]  | N + M  | V      | M(N + V) |  |
| 0,00                           | -2,09  | -207,90        | 179,74   | 0,743  | 0,322  | 0,742    |  |
| 6,00                           | -10,90 | -33,57         | -57,69   | 0,125  | 0,103  | 0,120    |  |

## Wymiarowanie zbiorcze

|                                       |               |                 |                       |              |          |                 |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|--------------|----------|-----------------|
| Pręt 14                               |               |                 | <b>Moduł wym.</b>     | EuroStal     |          |                 |
|                                       |               |                 | <b>Def. typu wym.</b> | typowy       |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 6,00                                  | 2,32          | -210,47         | -183,07               | -1,000       | 0,847    | -1,000          |
| 6,00                                  | -22,40        | -210,72         | -183,19               | -1,000       | -1,000   | 0,883           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 6,00                                  | -9,69         | -211,95         | -182,63               | 0,761        | 0,327    | 0,756           |
| 6,00                                  | -22,40        | -210,72         | -183,19               | 0,763        | 0,328    | 0,752           |
| Pręt 17                               |               |                 | <b>Moduł wym.</b>     | EuroStal     |          |                 |
|                                       |               |                 | <b>Def. typu wym.</b> | typowy       |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 0,00                                  | 5,83          | -197,48         | 176,66                | -1,000       | 0,795    | -1,000          |
| 0,00                                  | -13,50        | -195,77         | 177,53                | -1,000       | -1,000   | 0,809           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 0,00                                  | 5,83          | -197,48         | 176,66                | 0,708        | 0,317    | 0,705           |
| 6,00                                  | 16,01         | -164,22         | -169,33               | 0,594        | 0,303    | 0,586           |
| Pręt 19                               |               |                 | <b>Moduł wym.</b>     | EuroStal     |          |                 |
|                                       |               |                 | <b>Def. typu wym.</b> | typowy       |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 0,00                                  | 6,83          | -198,40         | 176,79                | -1,000       | 0,798    | -1,000          |
| 0,00                                  | -3,70         | -195,07         | 176,84                | -1,000       | -1,000   | 0,791           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 0,00                                  | 6,83          | -198,40         | 176,79                | 0,711        | 0,317    | 0,708           |
| 6,00                                  | 14,91         | -196,30         | -176,84               | 0,708        | 0,317    | 0,700           |
| Pręt 21                               |               |                 | <b>Moduł wym.</b>     | EuroStal     |          |                 |
|                                       |               |                 | <b>Def. typu wym.</b> | typowy       |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 6,00                                  | 5,83          | -197,48         | -176,66               | -1,000       | 0,795    | -1,000          |
| 6,00                                  | -13,50        | -195,77         | -177,53               | -1,000       | -1,000   | 0,809           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 6,00                                  | 5,83          | -197,48         | -176,66               | 0,708        | 0,317    | 0,705           |
| 6,00                                  | -13,50        | -195,77         | -177,53               | 0,705        | 0,318    | 0,699           |
| Pręt 24                               |               |                 | <b>Moduł wym.</b>     | EuroStal     |          |                 |

## Wymiarowanie zbiorcze

|                                       |               |                 |                |                       |          |                 |  |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------------|----------|-----------------|--|
|                                       |               |                 |                | <b>Def. typu wym.</b> | typowy   |                 |  |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |                       |          |                 |  |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N</b>              | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |  |
| 0,00                                  | -48,85        | -196,48         | 180,67         | -1,000                | -1,000   | 0,869           |  |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                |                       |          |                 |  |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N + M</b>          | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |  |
| 0,00                                  | -48,85        | -196,48         | 180,67         | 0,725                 | 0,324    | 0,701           |  |
| 6,00                                  | -45,79        | -114,36         | -159,39        | 0,431                 | 0,286    | 0,408           |  |
| Pręt 26                               |               |                 |                | <b>Moduł wym.</b>     | EuroStal |                 |  |
|                                       |               |                 |                | <b>Def. typu wym.</b> | typowy   |                 |  |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |                       |          |                 |  |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N</b>              | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |  |
| 0,00                                  | -41,08        | -191,72         | 174,73         | -1,000                | -1,000   | 0,838           |  |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                |                       |          |                 |  |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N + M</b>          | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |  |
| 0,00                                  | -40,99        | -191,72         | 174,59         | 0,705                 | 0,313    | 0,684           |  |
| 6,00                                  | -41,08        | -191,72         | -174,73        | 0,705                 | 0,313    | 0,684           |  |
| Pręt 28                               |               |                 |                | <b>Moduł wym.</b>     | EuroStal |                 |  |
|                                       |               |                 |                | <b>Def. typu wym.</b> | typowy   |                 |  |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |                       |          |                 |  |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N</b>              | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |  |
| 6,00                                  | -48,85        | -196,48         | -180,67        | -1,000                | -1,000   | 0,869           |  |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                |                       |          |                 |  |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N + M</b>          | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |  |
| 6,00                                  | -48,85        | -196,48         | -180,67        | 0,725                 | 0,324    | 0,701           |  |
| 6,00                                  | -38,99        | -195,09         | -181,62        | 0,716                 | 0,325    | 0,696           |  |
| Pręt 3                                |               |                 |                | <b>Moduł wym.</b>     | EuroStal |                 |  |
|                                       |               |                 |                | <b>Def. typu wym.</b> | typowy   |                 |  |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |                       |          |                 |  |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N</b>              | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |  |
| 0,00                                  | -5,99         | -185,48         | 180,09         | -1,000                | -1,000   | 0,756           |  |
| 0,00                                  | 13,28         | -221,75         | 187,55         | -1,000                | 0,892    | -1,000          |  |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                |                       |          |                 |  |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N + M</b>          | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |  |
| 0,00                                  | 13,28         | -221,75         | 187,55         | 0,798                 | 0,336    | 0,791           |  |
| 6,00                                  | 16,37         | -172,15         | -172,86        | 0,622                 | 0,310    | 0,614           |  |
| Pręt 5                                |               |                 |                | <b>Moduł wym.</b>     | EuroStal |                 |  |
|                                       |               |                 |                | <b>Def. typu wym.</b> | typowy   |                 |  |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |                       |          |                 |  |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N</b>              | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |  |

## Wymiarowanie zbiorcze

|                                       |               |                 |                       |              |          |                 |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|--------------|----------|-----------------|
| 0,00                                  | 12,70         | -210,15         | 180,38                | -1,000       | 0,846    | -1,000          |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 0,00                                  | 12,70         | -210,15         | 180,38                | 0,756        | 0,323    | 0,750           |
| 6,00                                  | 13,13         | -210,13         | -180,38               | 0,756        | 0,323    | 0,750           |
| Pręt 7                                |               |                 | <b>Moduł wym.</b>     | EuroStal     |          |                 |
|                                       |               |                 | <b>Def. typu wym.</b> | typowy       |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 6,00                                  | -5,99         | -185,48         | -180,09               | -1,000       | -1,000   | 0,756           |
| 6,00                                  | 13,28         | -221,75         | -187,55               | -1,000       | 0,892    | -1,000          |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 6,00                                  | 13,28         | -221,75         | -187,55               | 0,798        | 0,336    | 0,791           |
| 6,00                                  | 0,35          | -220,26         | -187,98               | 0,786        | 0,337    | 0,786           |
| Pręt 1                                |               |                 | <b>Moduł wym.</b>     | EuroStal     |          |                 |
|                                       |               |                 | <b>Def. typu wym.</b> | typowy       |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 0,00                                  | -669,49       | 77,69           | -33,07                | -1,000       | -1,000   | 0,620           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 0,00                                  | -489,82       | 84,21           | -35,41                | 0,459        | 0,067    | 0,309           |
| 4,00                                  | -672,82       | -70,58          | -41,07                | 0,475        | 0,078    | 0,280           |
| Pręt 11                               |               |                 | <b>Moduł wym.</b>     | EuroStal     |          |                 |
|                                       |               |                 | <b>Def. typu wym.</b> | typowy       |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 0,00                                  | -927,06       | 75,26           | -36,49                | -1,000       | -1,000   | 0,734           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 0,00                                  | -927,06       | 75,26           | -36,49                | 0,578        | 0,069    | 0,337           |
| 4,00                                  | -936,56       | -73,38          | -36,47                | 0,575        | 0,069    | 0,330           |
| Pręt 13                               |               |                 | <b>Moduł wym.</b>     | EuroStal     |          |                 |
|                                       |               |                 | <b>Def. typu wym.</b> | typowy       |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 4,00                                  | -499,87       | 95,99           | 51,17                 | -1,000       | -1,000   | 0,608           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                       |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b>        | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 4,00                                  | -499,87       | 95,99           | 51,17                 | 0,503        | 0,097    | 0,354           |

## Wymiarowanie zbiorcze

|                                       |               |                 |                |              |          |                 |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|----------------|--------------|----------|-----------------|
| 4,00                                  | -499,87       | 95,99           | 51,17          | 0,503        | 0,097    | 0,354           |
| Pręt 15                               |               | Moduł wym.      | EuroStal       |              |          |                 |
|                                       |               | Def. typu wym.  | typowy         |              |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 4,00                                  | -324,02       | -87,29          | -46,14         | -1,000       | -1,000   | 0,492           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 0,00                                  | -234,15       | 89,54           | -40,75         | 0,390        | 0,077    | 0,309           |
| 4,00                                  | -324,02       | -87,29          | -46,14         | 0,413        | 0,087    | 0,301           |
| Pręt 16                               |               | Moduł wym.      | EuroStal       |              |          |                 |
|                                       |               | Def. typu wym.  | typowy         |              |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 0,00                                  | -586,46       | 64,85           | -30,89         | -1,000       | -1,000   | 0,533           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 0,00                                  | -491,51       | 69,74           | -32,43         | 0,409        | 0,061    | 0,256           |
| 4,00                                  | -596,35       | 62,03           | 30,30          | 0,419        | 0,057    | 0,238           |
| Pręt 18                               |               | Moduł wym.      | EuroStal       |              |          |                 |
|                                       |               | Def. typu wym.  | typowy         |              |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 0,00                                  | -586,46       | -64,85          | 30,89          | -1,000       | -1,000   | 0,533           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 0,00                                  | -491,51       | -69,74          | 32,43          | 0,409        | 0,061    | 0,256           |
| 4,00                                  | -596,35       | -62,03          | -30,30         | 0,419        | 0,057    | 0,238           |
| Pręt 2                                |               | Moduł wym.      | EuroStal       |              |          |                 |
|                                       |               | Def. typu wym.  | typowy         |              |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 0,00                                  | -1 271,79     | -66,84          | 31,77          | -1,000       | -1,000   | 0,869           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 0,00                                  | -1 271,79     | -66,84          | 31,77          | 0,667        | 0,060    | 0,362           |
| 4,00                                  | -1 279,88     | 60,94           | 31,55          | 0,649        | 0,060    | 0,332           |
| Pręt 20                               |               | Moduł wym.      | EuroStal       |              |          |                 |
|                                       |               | Def. typu wym.  | typowy         |              |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |              |          |                 |



## Wymiarowanie zbiorcze

| x [m]                                 | N [kN]  | My [kNm] | Tz [kN] | N      | M      | N + M    |
|---------------------------------------|---------|----------|---------|--------|--------|----------|
| 4,00                                  | -324,02 | 87,29    | 46,14   | -1,000 | -1,000 | 0,492    |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |         |          |         |        |        |          |
| x [m]                                 | N [kN]  | My [kNm] | Tz [kN] | N + M  | V      | M(N + V) |
| 0,00                                  | -234,15 | -89,54   | 40,75   | 0,390  | 0,077  | 0,309    |
| 4,00                                  | -324,02 | 87,29    | 46,14   | 0,413  | 0,087  | 0,301    |

| Pręt 22                               |         |          | Moduł wym.     | EuroStal |        |          |
|---------------------------------------|---------|----------|----------------|----------|--------|----------|
|                                       |         |          | Def. typu wym. | typowy   |        |          |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |         |          |                |          |        |          |
| x [m]                                 | N [kN]  | My [kNm] | Tz [kN]        | N        | M      | N + M    |
| 0,00                                  | -159,07 | 115,28   | -47,52         | -1,000   | -1,000 | 0,521    |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |         |          |                |          |        |          |
| x [m]                                 | N [kN]  | My [kNm] | Tz [kN]        | N + M    | V      | M(N + V) |
| 0,00                                  | -159,07 | 115,28   | -47,52         | 0,453    | 0,090  | 0,398    |
| 4,00                                  | -161,10 | -93,63   | -55,83         | 0,379    | 0,106  | 0,323    |

| Pręt 23                               |         |          | Moduł wym.     | EuroStal |        |          |
|---------------------------------------|---------|----------|----------------|----------|--------|----------|
|                                       |         |          | Def. typu wym. | typowy   |        |          |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |         |          |                |          |        |          |
| x [m]                                 | N [kN]  | My [kNm] | Tz [kN]        | N        | M      | N + M    |
| 0,00                                  | -241,69 | -68,63   | 30,90          | -1,000   | -1,000 | 0,382    |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |         |          |                |          |        |          |
| x [m]                                 | N [kN]  | My [kNm] | Tz [kN]        | N + M    | V      | M(N + V) |
| 0,00                                  | -241,69 | -68,63   | 30,90          | 0,320    | 0,059  | 0,237    |
| 4,00                                  | -256,17 | 58,40    | 30,58          | 0,290    | 0,058  | 0,202    |

| Pręt 25                               |         |          | Moduł wym.     | EuroStal |        |          |
|---------------------------------------|---------|----------|----------------|----------|--------|----------|
|                                       |         |          | Def. typu wym. | typowy   |        |          |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |         |          |                |          |        |          |
| x [m]                                 | N [kN]  | My [kNm] | Tz [kN]        | N        | M      | N + M    |
| 0,00                                  | -241,69 | 68,63    | -30,90         | -1,000   | -1,000 | 0,382    |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |         |          |                |          |        |          |
| x [m]                                 | N [kN]  | My [kNm] | Tz [kN]        | N + M    | V      | M(N + V) |
| 0,00                                  | -241,69 | 68,63    | -30,90         | 0,320    | 0,059  | 0,237    |
| 4,00                                  | -256,17 | -58,40   | -30,58         | 0,290    | 0,058  | 0,202    |

| Pręt 27                               |         |          | Moduł wym.     | EuroStal |        |          |
|---------------------------------------|---------|----------|----------------|----------|--------|----------|
|                                       |         |          | Def. typu wym. | typowy   |        |          |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |         |          |                |          |        |          |
| x [m]                                 | N [kN]  | My [kNm] | Tz [kN]        | N        | M      | N + M    |
| 0,00                                  | -159,07 | -115,28  | 47,52          | -1,000   | -1,000 | 0,521    |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |         |          |                |          |        |          |
| x [m]                                 | N [kN]  | My [kNm] | Tz [kN]        | N + M    | V      | M(N + V) |
| 0,00                                  | -159,07 | -115,28  | 47,52          | 0,453    | 0,090  | 0,398    |

## Wymiarowanie zbiorcze

|                                       |               |                 |                |              |          |                 |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|----------------|--------------|----------|-----------------|
| 4,00                                  | -65,09        | 20,20           | 8,24           | 0,092        | 0,016    | 0,070           |
| Pręt 4                                |               | Moduł wym.      | EuroStal       |              |          |                 |
|                                       |               | Def. typu wym.  | typowy         |              |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 0,00                                  | -1 271,79     | 66,84           | -31,77         | -1,000       | -1,000   | 0,869           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 0,00                                  | -1 271,79     | 66,84           | -31,77         | 0,667        | 0,060    | 0,362           |
| 4,00                                  | -1 279,88     | -60,94          | -31,55         | 0,649        | 0,060    | 0,332           |
| Pręt 6                                |               | Moduł wym.      | EuroStal       |              |          |                 |
|                                       |               | Def. typu wym.  | typowy         |              |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 0,00                                  | -669,49       | -77,69          | 33,07          | -1,000       | -1,000   | 0,620           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 0,00                                  | -489,82       | -84,21          | 35,41          | 0,459        | 0,067    | 0,309           |
| 4,00                                  | -672,82       | 70,58           | 41,07          | 0,475        | 0,078    | 0,280           |
| Pręt 8                                |               | Moduł wym.      | EuroStal       |              |          |                 |
|                                       |               | Def. typu wym.  | typowy         |              |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 4,00                                  | -499,87       | -95,99          | -51,17         | -1,000       | -1,000   | 0,608           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 4,00                                  | -499,87       | -95,99          | -51,17         | 0,503        | 0,097    | 0,354           |
| 4,00                                  | -499,87       | -95,99          | -51,17         | 0,503        | 0,097    | 0,354           |
| Pręt 9                                |               | Moduł wym.      | EuroStal       |              |          |                 |
|                                       |               | Def. typu wym.  | typowy         |              |          |                 |
| <b>Sprawdzenie nośności elementu</b>  |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N</b>     | <b>M</b> | <b>N + M</b>    |
| 0,00                                  | -927,06       | -75,26          | 36,49          | -1,000       | -1,000   | 0,734           |
| <b>Sprawdzenie nośności przekroju</b> |               |                 |                |              |          |                 |
| <b>x [m]</b>                          | <b>N [kN]</b> | <b>My [kNm]</b> | <b>Tz [kN]</b> | <b>N + M</b> | <b>V</b> | <b>M(N + V)</b> |
| 0,00                                  | -927,06       | -75,26          | 36,49          | 0,578        | 0,069    | 0,337           |
| 4,00                                  | -936,56       | 73,38           | 36,47          | 0,575        | 0,069    | 0,330           |

## Sprawdzenia ugięć

**Wymiarowanie zbiorcze**

| Nazwa   | Długość [m] | Maks. przemieszenie [cm] | Maks. ugięcie względne [cm] | Maks. ugięcie w stanie zarysowanym [cm] | Dopuszczalne ugięcie [cm] |
|---------|-------------|--------------------------|-----------------------------|---|---------------------------|
| Pręt 10 | 6,00        | 1,173                    | 0,919                       | -                                       | 2,400                     |
| Pręt 12 | 6,00        | 1,169                    | 0,782                       | -                                       | 2,400                     |
| Pręt 14 | 6,00        | 1,173                    | 0,919                       | -                                       | 2,400                     |
| Pręt 17 | 6,00        | 1,214                    | 0,909                       | -                                       | 2,400                     |
| Pręt 19 | 6,00        | 1,291                    | 0,780                       | -                                       | 2,400                     |
| Pręt 21 | 6,00        | 1,214                    | 0,909                       | -                                       | 2,400                     |
| Pręt 24 | 6,00        | 1,479                    | 1,100                       | -                                       | 2,400                     |
| Pręt 26 | 6,00        | 1,377                    | 0,822                       | -                                       | 2,400                     |
| Pręt 28 | 6,00        | 1,479                    | 1,100                       | -                                       | 2,400                     |
| Pręt 3  | 6,00        | 1,078                    | 0,921                       | -                                       | 2,400                     |
| Pręt 5  | 6,00        | 0,976                    | 0,757                       | -                                       | 2,400                     |
| Pręt 7  | 6,00        | 1,078                    | 0,921                       | -                                       | 2,400                     |
| Pręt 1  | 4,00        | 0,678                    | 0,678                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 11 | 4,00        | 1,418                    | 0,747                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 13 | 4,00        | 1,421                    | 0,760                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 15 | 4,00        | 1,933                    | 0,484                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 16 | 4,00        | 1,915                    | 0,491                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 18 | 4,00        | 1,915                    | 0,491                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 2  | 4,00        | 0,670                    | 0,670                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 20 | 4,00        | 1,932                    | 0,484                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 22 | 4,00        | 2,278                    | 0,284                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 23 | 4,00        | 2,196                    | 0,222                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 25 | 4,00        | 2,196                    | 0,222                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 27 | 4,00        | 2,278                    | 0,284                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 4  | 4,00        | 0,670                    | 0,670                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 6  | 4,00        | 0,678                    | 0,678                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 8  | 4,00        | 1,421                    | 0,760                       | -                                       | 1,600                     |
| Pręt 9  | 4,00        | 1,418                    | 0,747                       | -                                       | 1,600                     |