

# Podręcznik użytkownika programu **Soldis PROJEKTANT**

Dokumentacja została przygotowana dla wersji 8.0 lub nowszej.

Ostatnia aktualizacja 30.07.2013

## Spis treści

|  |    |
|--|----|
| 1 Oznaczenia i skróty.....                                 | 4  |
| 2 Informacje wstępne.....                                  | 5  |
| 3 Definiowanie i edycja schematu statycznego.....          | 6  |
| 3.1 Uwagi ogólne.....                                      | 6  |
| 3.2 Podstawowe elementy interfejsu użytkownika.....        | 7  |
| 3.3 Obsługa oraz ustawienia obszaru kreślenia.....         | 8  |
| 3.4 Układ wsp. globalnych oraz roboczych.....              | 8  |
| 3.5 Zaznaczanie/odznaczanie.....                           | 9  |
| 3.6 Grupy prętowe.....                                     | 9  |
| 3.7 Narzędzia obsługi projektu.....                        | 10 |
| 3.8 Węzły.....   | 11 |
| 3.9 Pręty.....   | 12 |
| 3.10 Podparcie.....  | 13 |
| 3.11 Obciążenia.....                                       | 14 |
| 3.11.1 Definicja grup.....                                 | 14 |
| 3.11.2 Definicja wykluczeń.....                            | 15 |
| 3.11.3 Definicja sił.....                                  | 16 |
| 3.11.4 Obciążenie reakcją.....                             | 17 |
| 3.12 Profile (przekroje i materiały).....                  | 18 |
| 4 Uruchomienie obliczeń.....                               | 21 |
| 5 Statyka.....   | 22 |
| 5.1 Informacje wstępne.....                                | 22 |
| 5.2 Przeglądanie wyników.....                              | 23 |
| 5.3 Generowanie raportu.....                               | 24 |
| 6 Wymiarowanie.....  | 25 |
| 6.1 Informacje wstępne.....                                | 25 |
| 6.2 Reguły wymiarowania.....                               | 26 |
| 6.2.1 Elementy wspólne okna edycji reguł wymiarowania..... | 28 |
| 6.2.2 Element żelbetowy wg PN-B-03264:2002.....            | 29 |
| 6.2.3 Element stalowy wg PN-90/B-03200.....                | 31 |
| 6.2.4 Naprężenia dopuszczalne.....                         | 32 |
| 6.2.5 Przemieszczenia dopuszczalne.....                    | 33 |
| 6.2.6 Siły przekrojowe.....                                | 34 |
| 6.2.7 Reakcje dopuszczalne.....                            | 35 |
| 6.2.8 Własne reguły wymiarowania.....                      | 35 |
| 6.3 Generowanie raportu.....                               | 36 |
| 7 Optymalizacja.....                                       | 38 |
| 7.1 Informacje wstępne.....                                | 38 |
| 7.2 Definiowanie zmiennych.....                            | 39 |
| 7.3 Konfiguracja i uruchomienie optymalizacji.....         | 41 |
| 8 Linie wpływu.....  | 44 |

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

|      |  |    |
|------|--|----|
| 8.1  | Informacje wstępne.....  | 44 |
| 8.2  | Definicja zadania.....   | 44 |
| 8.3  | Przeglądanie wyników.....  | 45 |
| 9    | Stateczność (problem własny).....                                | 47 |
| 9.1  | Informacje wstępne.....  | 47 |
| 9.2  | Definicja zadania.....   | 47 |
| 9.3  | Przeglądanie wyników.....  | 47 |
| 10   | Dynamika (drgania własne).....                                   | 49 |
| 10.1 | Informacje wstępne.....  | 49 |
| 10.2 | Definicja zadania.....   | 49 |
| 10.3 | Przeglądanie wyników.....  | 49 |
| 11   | Przykłady raportów dla reguł wymiarowania.....                   | 50 |
| 11.1 | Przykład raportu dla „Element żelbetowy wg PN-B-03264:2002”..... | 50 |
| 11.2 | Przykład raportu dla „Element stalowy wg PN-90/B-03200”.....     | 55 |

## 1 Oznaczenia i skróty

|                      |                                   |
|----------------------|-----------------------------------|
| <b>LPM</b>           | Lewy przycisk myszy               |
| <b>PPM</b>           | Prawy przycisk myszy              |
| <b>SPM</b>           | Środkowy przycisk myszy (scroll)  |
| <b>KM</b>            | Kółko myszy (scroll)              |
| <b>&lt;??&gt;</b>    | Przytrzymanie klawisza „??”       |
| <b><i>n x ??</i></b> | n-krotne kliknięcie klawisza „??” |

## 2 Informacje wstępne

Program służy do analizy płaskich układów prętowych. Dostępne są następujące rodzaje analizy:

- statyka liniowej wraz z kombinatoryką obciążenia (PN, EN-PN),
- statyka nieliniowa wraz z kombinatoryką obciążenia,
- wymiarowanie,
- optymalizacja,
- linie wpływu (analiza liniowa),
- linie wpływu (analiza nieliniowa),
- stateczność początkowa (problem własny),
- dynamika (drgania własne).

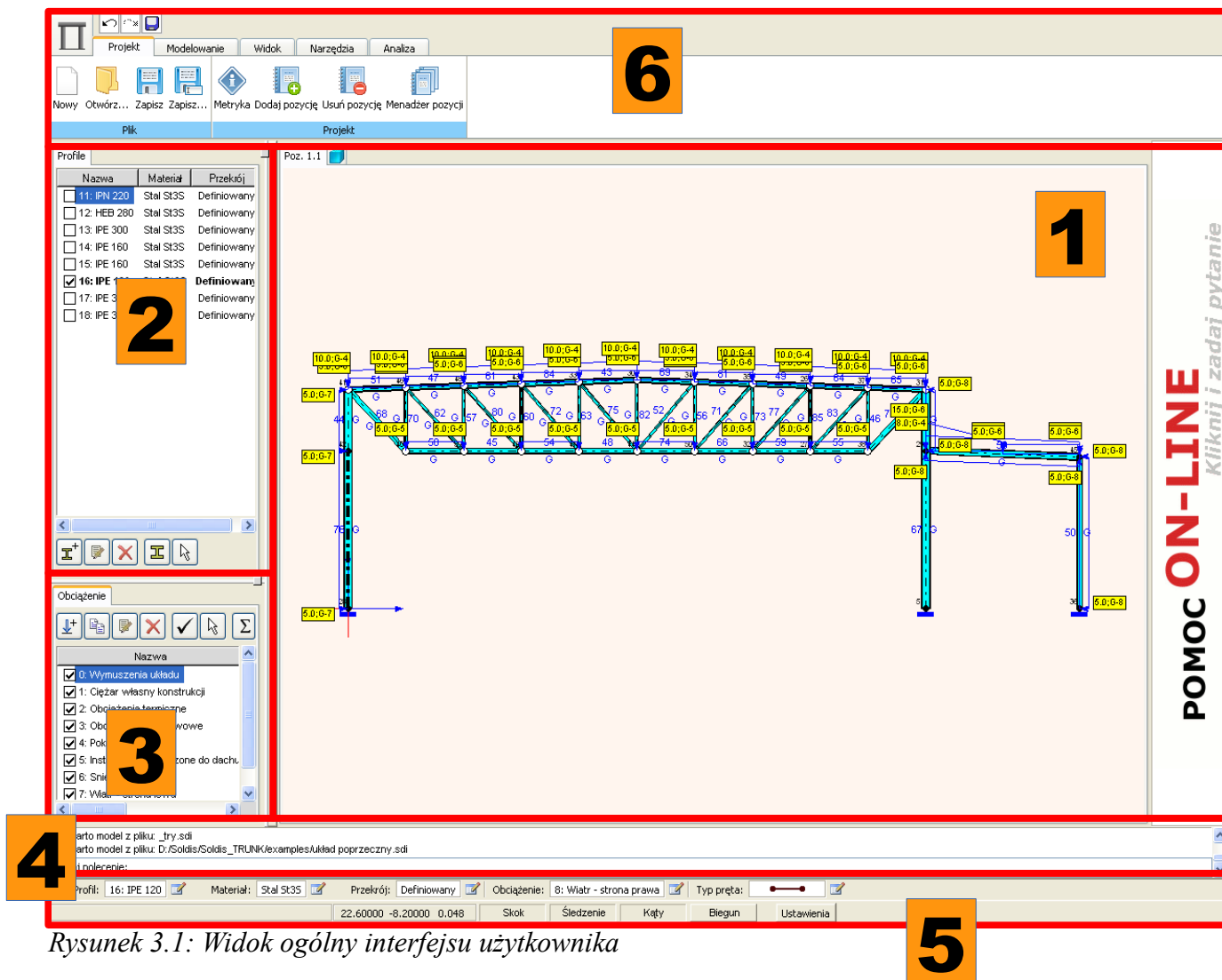
Program stosuje klasyczny model belki Bernoulliego-Eulera z liniowym modelem materiału i funkcją kształtu w postaci wielomianu trzeciego stopnia. W przypadku analizy nieliniowej dodatkowo uwzględniana jest macierz geometryczna, a w analizie dynamicznej – konsystentna macierz mas.

## 3 Definiowanie i edycja schematu statycznego

### 3.1 Uwagi ogólne

- Program przygotowany jest do obsługi za pomocą klawiatury oraz myszy (zaleca się używanie myszy ze środkowym przyciskiem w postaci kółka → łatwe powiększanie/pomniejszanie widoku).
- Komendy można wywoływać wciskając odpowiedni przycisk na pasku narzędziowym/menu lub wpisując komendę (potwierdzenie **SPACJA** lub **ENTER**). Wykaz dostępnych komend wraz ze skrótami dostępny jest w menu programu → **Edycja skrótów**.
- Prawy przycisk myszy w obszarze kreślenia wywołuje menu podręczne którego zawartość zależna jest od aktualnego zaznaczenia.
- Wraz z zaznaczeniem elementów pojawia się dodatkowy pasek narzędzie w obszarze kreślenia który zawiera podstawowe funkcje edycji dla aktualnego zaznaczenia.
- Klawisz **ESC** powoduje przerwanie bieżącej komendy lub odznaczenie elementów jeżeli żadna komenda nie jest aktywna.
- Dwukrotne kliknięcie na element w obszarze kreślenia wywołuje okno edycji.
- Prawy przycisk myszy w trakcie aktywnej komendy typu rysuj linię lub wskaż punkt przerywa ją.
- Środkowy przycisk myszy przy zaznaczaniu elementu potwierdza wybór.
- W całym programie separatorem dziesiętnym jest '.' (kropka).
- Wskazanie punktu może odbyć się za pomocą myszy lub alternatywnie poprzez podane współrzędnych z klawiatury.
- Przy podawaniu współrzędnych punktu można użyć odniesienia do ostatnio zdefiniowanego punktu (np. początku pręta) poprzedzając współrzędne lokalne znakiem „@”. Dla przykładu „@10.0,5.0” oznacza punkt oddalony o x=10m oraz y=5m od ostatnio narysowanego punktu.
- Program obsługuje kopiowanie przez schowek (menu podręczne obszaru kreślenia → **kopiuj** lub **kopiuj z punktem bazowym**) co umożliwia kopiowanie zawartości między wieloma jednocześnie otwartymi programami.

### 3.2 Podstawowe elementy interfejsu użytkownika



Rysunek 3.1: Widok ogólny interfejsu użytkownika

|   |                          |   |
|---|--------------------------|---|
| 1 | Obszar kreślenia         | Zestaw zakładki (pozycje obliczeniowe) z obszarem do definicji/edycja geometrii, obciążenia oraz warunków brzegowych. |
| 2 | Menadżer profili         | Tworzenie/edycja/usuwanie/przypisywanie profili.  |
| 3 | Menadżer grup obciążenia | Tworzenie/edycja/usuwanie grup obciążenia.  |
| 4 | Pole tekstowe            | Komunikacja tekstowa z programem. Wpisywanie poleceń oraz wyświetlanie informacji dla użytkownika.                    |
| 5 | Pasek statusu            | Ustawienia obszaru kreślenia.   |
| 6 | Paski narzędziowe        | Wywoływanie komend do definicji/edycji układu oraz projektu.  |

### 3.3 Obsługa oraz ustawienia obszaru kreślenia

Obszar kreślenia dostarcza użytkownikowi płótno które umożliwia wygodne i szybkie definiowanie geometrii.

Manipulowanie widokiem odbywa się za pomocą następujących kombinacji klawiszy:

|              |   |
|--------------|---|
| <SPM>        | Przesuwanie zawartości.                     |
| <b>KM</b>    | Powiększanie/pomniejszanie widoku           |
| <b>2xSPM</b> | Dopasowanie zawartości do obszaru kreślenia |

W trakcie rysowania aktywny jest mechanizm śledzenia punktów charakterystycznych. Dynamicznej lokalizacji mogą polegać następujące punkty:

- początek i koniec pręta,
- środek pręta,
- środek układu współrzędnych,
- punkt prostopadłości,
- punkt przecięcia prętów,
- punkty konstrukcyjne.

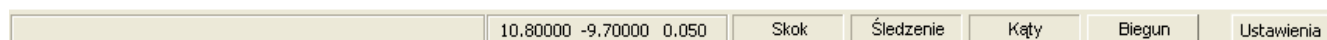
W przypadku lokalizacji jednego z punktów charakterystycznych w bliskim obszarze kursora myszy wyświetlony zostaje symbol, a współrzędne są zablokowane. Punkty charakterystyczne podlegające śledzeniu można swobodnie wybierać (pasek statusu → **PPM** na przycisku **Śledzenie** lub przycisk **Ustawienia**).

Kolejne narzędzie ułatwiające definicję układu to śledzenie kątów charakterystycznych. Domyślnie śledzone są kąty co 45 st., ale użytkownik może je dowolnie zmieniać (pasek statusu → **PPM** na przycisku **Kąty** lub przycisk **Ustawienia**).

Dodatkowo współrzędne mogą podlegać zaokrągleniu przy zadanej rozdzielczości ze zróżnicowaniem dla kierunków względem osi X oraz Y (pasek statusu → **PPM** na przycisku **Skok** lub przycisk **Ustawienia**).

Dla konstrukcji o ortogonalnej geometrii istnieje możliwość zablokowania kątów (co 90st, pasek statusu → **LPM** na przycisku **Biegun**).

Edycja ustawień może zostać dokonana za pomocą paska statusu (Rysunek 3.2). **LPM** włącza/wyłącza dane narzędzie, natomiast **PPM** umożliwia edycję szczegółowych ustawień.



Rysunek 3.2: Pasek statusu

### 3.4 Układ wsp. globalnych oraz roboczych

W programie dostępne są dwa układy współrzędnych. Układ współrzędnych globalnych, który jest stały oraz układ wsp. roboczych (lokalnych) który użytkownik może swobodnie definiować.







## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

Współrzędne oraz kąty wskazywane są zawsze w układzie roboczym.

Definicja modelu przechowywana jest zawsze w układzie globalnym co powoduje, że są one niezależne od układu roboczego.

Do edycji układu lokalnego służą następujące funkcje:

|   |  |
|---|--|
|  | Utwórz nowy układ współrzędnych  |
|  | Przesuń układ współrzędnych  |
|  | Obróć układ współrzędnych  |
|  | Przywróć ustawienia domyślne – powoduje definicję ukł. roboczego zgodnie z globalnym |

### 3.5 Zaznaczanie/odznaczenie


Zaznaczanie elementów może odbywać się w jednym z poniższych trybów:

- zaznaczanie wieloelementowe – **LPM** przy braku aktywnej funkcji powoduje rozpoczęcie rysowania prostokąta zaznaczenia, kolejne kliknięcie **LPM** powoduje zaznaczenie elementów. Jeżeli pierwszy wskazany punkt jest na prawo od drugiego to zostają zaznaczone wszystkie elementy które w całości lub tylko we fragmencie zawierają się we wskazanym prostokącie, w przeciwnym przypadku tylko te które zawierają się w nim całkowicie,
- zaznaczanie indywidualne – **LPM** powoduje zaznaczenie elementu pod kursorem myszy.

Zaznaczone elementy zmieniają kolor na czerwony.

Odznaczenia elementów można dokonać jak w przypadku zaznaczenia z wciśniętym klawiszem **SHIFT** lub wciskając przycisk **ESC**.


### 3.6 Grupy prętowe

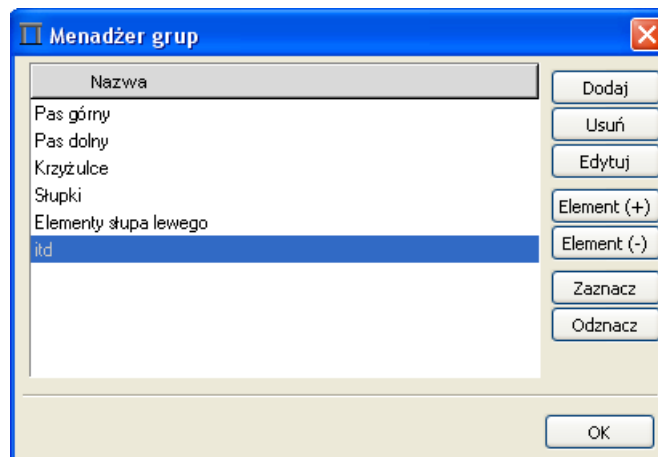
W celu usprawniania zaznaczania/odznaczenia (wyboru prętów dla funkcji) w programie dostępna jest możliwość ich grupowania. Tworzenie/edycja/usuwanie grup odbywa się za pomocą **Menadżera grup prętowych** (ikona  w pasku narzędziowym).

Każdy pręt może zostać przypisany do dowolnej liczby grup.

Aby przypisać elementy do wskazanej grupy należy wybrać **Element (+)**. Aby usunąć elementy ze wskazanej grupy należy wybrać **Element (-)**.

W celu zaznaczenia/odznaczenia elementów z danej grupy należy wybrać grupę oraz nacisnąć **Zaznacz/Odznacz**.









Funkcja **Zaznacz elementy we wspólnych grupach** (ikona  w pasku narzędziowym) umożliwia zaznaczenie wszystkich elementów grupy poprzez wskazanie jednego z prętów, który jest do niej przypisany.



Rysunek 3.3: Menadżer grup prętowych

### 3.7 Narzędzia obsługi projektu

Podstawowe funkcje:

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
|    | Metryka projektu                   |
|    | Menadżer pozycji obliczeniowych    |
|  | Dodaj nową pozycję obliczeniową    |
|  | Usuń aktualną pozycję obliczeniową |
|  | Utwórz nowy projekt                |
|  | Otwórz istniejący projekt          |
|  | Zapisz projekt                     |
|  | Zapisz projekt jako...             |

Każdemu projektowi można przypisać podstawowe dane identyfikacyjne/informacyjne. Służy do tego okno **Dane projektu** (Rysunek 3.4). Dialog umożliwia ponadto wskazanie podstawy do obliczeń kombinatoryki obciążenia.

Rysunek 3.4: Dane projektu

Projekt może zawierać wiele pozycji obliczeniowych. Do ich obsługi dostępny jest **Menadżer pozycji obliczeniowych** (Rysunek 3.5).

|                                     | Nazwa       | Masa/szt [kg] | Ilość | Masa [kg] | Typ     | Opis |
|-------------------------------------|-------------|---------------|-------|-----------|---------|------|
| <input type="checkbox"/>            | 0: Poz. 1.1 | 10132.0       | 1     | 10132.0   | Rama 2D |      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1: Poz. 2.1 | 5238.9        | 1     | 5238.9    | Rama 2D |      |

Rysunek 3.5: Menadżer pozycji obliczeniowych

Projekty przechowywane są w plikach. Jeden plik zawiera całość projektu wraz z profilami.




### 3.8 Węzły

Węzły stanowią podstawowy element definiujący geometrię układu. Każdy element rozpoczyna się i kończy w węźle. Do każdego węzła przypisany jest niepowtarzalny numer.

Węzły tworzone są automatycznie przy definicji elementów, choć istnieje możliwość ich niezależnego definiowania.

Podstawowe funkcje tworzenia/edycji węzłów układu:

|  |                   |
|--|-------------------|
|  | Utwórz nowy węzeł |
|  | Przesuń węzeł     |

|   |                              |
|---|------------------------------|
| <b>23</b>   | Zmień numer węzła            |
|  | Zamień na przegub            |
|  | Zamień na połączenie sztywne |
|  | Usuń węzeł                   |

Uwaga! Węzeł może zostać usunięty tylko wtedy, gdy nie jest powiązany z żadnym prętem lub podporą.

### 3.9 Pręty

Pręty reprezentują elementy skończone modelu obliczeniowego. Dla statyki liniowej i stałego przekroju belki, ze względu na wysoki stopień aproksymacji funkcji kształtu nie ma konieczności zagęszczania elementów na długości rzeczywistej belki. Zagęszczenie jest jednak wymagane w przypadku belki o zmiennym przekroju, statyki nieliniowej oraz problemu własnego (drżania własne oraz stateczność). Program dokonuje zagęszczania automatycznie, a jego poziom można ustalić w menu głównym programu → **Ustawienia** → **Edytuj ustawienia**.

Oś elementu prętowego pokrywa się z fizyczną osią elementu w w środku ciężkości przekroju z uwzględnieniem sztywności materiałów (w przypadku przekrojów zespolonych).

Do każdego pręta przypisany jest niepowtarzalny numer.



Każdy pręt rozpoczyna i kończy się w węźle nazwanym odpowiednio węzłem początkowym oraz końcowym. Kolejność węzłów narzuca spód pręta. Dla prawoskrętnego układu współrzędnych o początku w węźle początkowym i osi X zgodnej z osią pręta, oś Y wskazuje wierzch pręta. Po przeciwnej stronie jest spód pręta.

Do każdego pręta przypisany jest co najmniej jeden przekrój. W przypadku gdy przekrój zmienia się liniowo na długości elementu przypisać należy dwa przekroje: początkowy oraz końcowy.















Ze względu na połączenie z sąsiednimi elementami można wyróżnić cztery typy prętów: obustronnie przegubowo połączony, obustronnie sztywno połączony, połączony przegubowo na początku oraz sztywno na końcu, połączony sztywno na początku oraz przegubowo na końcu.

Ze względu na możliwość przenoszenia sił ściskających i zginających można wyróżnić elementy typu belka oraz ciągnio. Element ciągnowy zostaje wyłączony z układu w przypadku pojawienia się w nim siły ściskającej oraz nie przenosi sił prostopadłych do swojej osi. Element ciągnowy wymaga analizy nieliniowej.

Podstawowe funkcje tworzenia/edycji elementów układu:

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
|  | Rysuj pojedynczy element prętowy |
|  | Rysuj ciąg elementów prętowych   |

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

|   |   |
|---|---|
|    | Rysuj elementy prętowe – prostokąt  |
|    | Importuj geometrię z pliku DXF – obsługuje tylko linie.                         |
|    | Importuj geometrię wprost z AutoCAD-a lub IntelliCAD-a – obsługuje tylko linie. |
|    | Zmień typ elementu: belka lub cięgno  |
|    | Podziel pręt  |
|    | Zmień węzły elementu  |
|    | Przesuń element   |
|    | Obróć element   |
|    | Lustrzane odbicie elementu  |
|    | Skaluj element  |
|   | Kopiuj element  |
|  | Odwróć węzły elementu (odwróć spód)   |
|  | Edytuj właściwości elementu   |
|  | Usuń pręt   |

### 3.10 Podparcie






Podpory definiują ograniczenia kinematyczne układu. W programie dostępne są cztery rodzaje podpór: utwierdzenie, utwierdzenie ślizgowe, podpora przesuwna oraz nieprzesuwna.

Podpora przypisana jest zawsze do węzła.

Dla każdej podpory możliwe jest zdefiniowanie osiadania (wymuszenie przemieszczeń) lub podatności z rozróżnieniem dla poszczególnych kierunków. Dla utwierdzenia oraz podpory nieprzesuwnej wymuszenia oraz podatność definiowane są w układzie globalnym bez względu na kąt obrotu podpory, natomiast dla podpory przesuwniej oraz utwierdzenia ślizgowego definicja odbywa się w układzie lokalnym podpory. Początek układu lokalnego podpory znajduje się w węźle, natomiast oś Y (dla której definiowane są wymuszenia i podatność) pokrywa się z zablokowanym kierunkiem przemieszczenia.

Podstawowe funkcje tworzenia/edycji podpór układu:

|   |                       |
|---|-----------------------|
|  | Definiuj utwierdzenie |
|---|-----------------------|


|   |                                |
|---|--------------------------------|
|  | Definiuj utwierdzenie ślizgowe |
|  | Definiuj podporę nieprzesuwną  |
|  | Definiuj podporę przesuwną     |
|  | Edytuj właściwości podpory     |
|  | Usuń podporę                   |

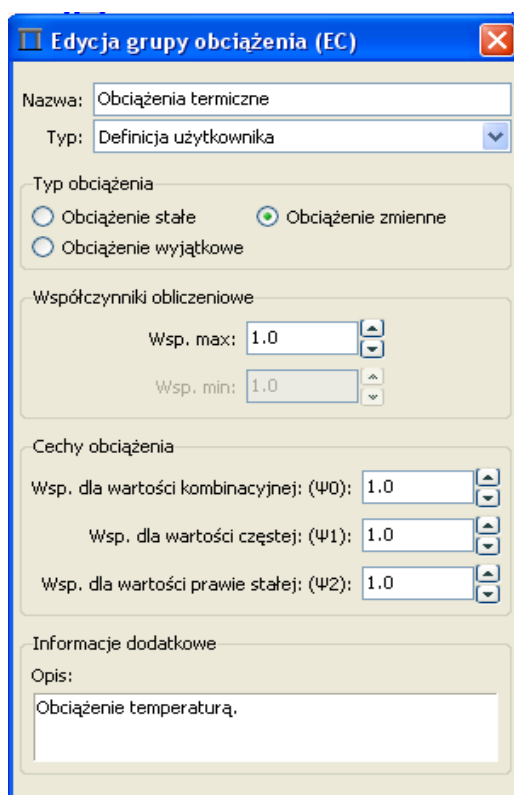
## 3.11 Obciążenia

### 3.11.1 Definicja grup

Grupy organizują obciążenia i umożliwiają tworzenie różnych wariantów schematów obciążenia. Każda grupa ma niepowtarzalny numer.

Ze względu na charakter obciążenia wyróżnia się: obciążenia stałe, zmienne oraz wyjątkowe. Wybrany typ grupy obciążenia jest uwzględniany w kombinatoryce obciążenia.

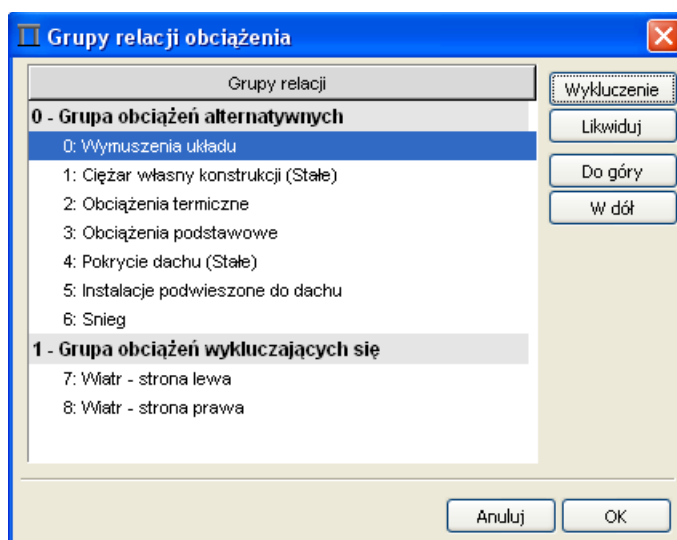
Do tworzenia i edycji grup obciążenia służy menadżer (Rysunek 3.1, element nr 3 lub ikona  w pasku narzędziowym) oraz okno dialogowe cech grupy (Rysunek 3.6).



Rysunek 3.6: Okno dialogowe edycji cech grupy obciążenia. Przykład dla EC.

### 3.11.2 Definicja wykluczeń

Większość informacji niezbędnych dla kombinatoryki obciążenia zawartych jest w definicji grup obciążenia. Elementem niezbędnym do uzupełnienia jest definicja ewentualnych wykluczeń – informacja o tym który obciążenia nie mogą występować razem (np. schemat obciążenia wiatrem z lewej oraz prawej strony). Grupy obciążeń wykluczających się należy zdefiniować w **Menadźerze grup relacji obciążenia** (ikona  $\Sigma$  w pasku narzędziowym).



Rysunek 3.7: Definiowanie wykluczeń dla grup obciążenia

Aby utworzyć nową grupę obciążeń wykluczających się należy zaznaczyć grupy, a następnie wcisnąć przycisk **Wykluczenie**. Aby usunąć wybraną grupę obciążeń wykluczających się należy wskazać jedno z nich, a następnie wcisnąć przycisk **Likwiduj**. Aby przesunąć wybrane grupy należy użyć przycisków **Do góry** oraz **W dół**.

Uwaga! W skład obciążeń wykluczających się nie mogą wchodzić obciążenia stałe.

### 3.11.3 Definicja sił











W programie dostępny jest zestaw typów obciążeń, który obejmuje zakresem wszystkie powszechnie stosowane schematy obciążenia (lista poniżej).

Każda siła przypisana jest do jednej i tylko jednej grupy obciążenia. W trakcie tworzenie siła zostaje przypisana do bieżącej grupy obciążenia (wyświetlana w pasku statusu, zaznaczona w **Menadźerze grup obciążenia**). Zmiana grupy obciążenia może zostać wykonana w oknie dialogowym edycji cech siły.

Siły są zawsze przypisane do prętów.

Podstawowe funkcje tworzenia/edycji obciążenia układu:

|  |                      |
|--|----------------------|
|  | Utwórz siłę skupioną |
|--|----------------------|


|   |   |
|---|---|
|  | Utwórz moment skupiony  |
|  | Utwórz obciążenie rozłożone wzdłuż osi poziomej                           |
|  | Utwórz obciążenie rozłożone wzdłuż osi pionowej                           |
|  | Utwórz obciążenie rozłożone wzdłuż osi pręta                              |
|  | Utwórz obciążenie temperaturą   |
|  | Uwzględnij/pomiń obciążenie ciężarem własnym.                             |
|  | Definicja masy skupionej (tylko dla analizy dynamicznej – drgania własne) |
|  | Edytuj obciążenie   |
|  | Skopiuj obciążenie na inne pręty  |
|  | Usuń obciążenie   |

### 3.11.4 Obciążenie reakcją

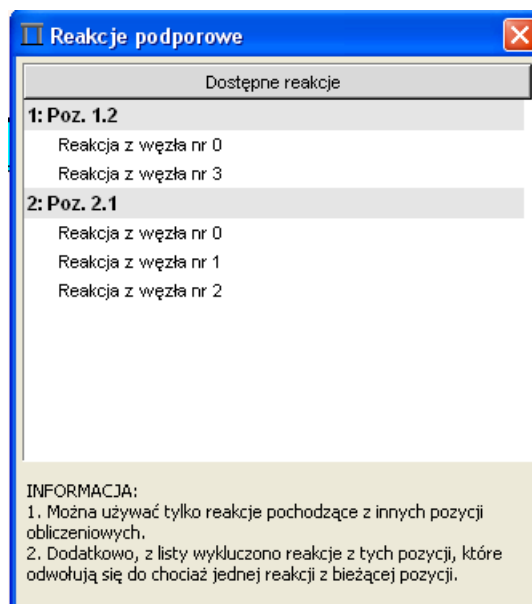
W większości konstrukcji wyodrębnia się elementy (układy płaskie), które obciążają kolejne elementy również podlegające analizie. Klasycznym przykładem jest blacha trapezowa, która następnie obciąża płatwie, a reakcjami z płatwi należy obciążyć rygle układu poprzecznego. Aby uniknąć żmudnego i generującego błędy 'ręcznego' przenoszenia reakcji, w programie umożliwiono obciążenie reakcją z innej pozycji obliczeniowej.

Podpora z której reakcja ma obciążać element musi pochodzić z innej pozycji obliczeniowej, która dodatkowo nie zawiera obciążenia reakcją z bieżącej pozycji obliczeniowej. W projekcie musi istnieć co najmniej jedna pozycja obliczeniowa, gdzie nie użyto obciążenia reakcją.

Obciążenie reakcją ma postać siły skupionej, choć może również obciążać reakcją w kierunku prostopadłym lub momentem podporowym (odpowiednio „ $F_x$ ” oraz „ $M_z$ ”, Rysunek 3.9). Kierunek siły skupionej definiuje kierunek reakcji pionowej („ $F_y$ ”, Rysunek 3.9) zawsze w układzie globalnym (również dla podpory przesuwnej i utwierdzenia ślizgowego). Reakcja pozioma przykładana jest prostopadle do kierunku siły skupionej.

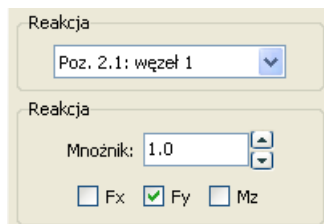
Po wywołaniu funkcji obciążenia reakcją (ikona  w pasku narzędziowym) pojawia się okno dialogowe z prośbą o wybranie pozycji obliczeniowej oraz reakcji (Rysunek 3.8).





Rysunek 3.8: Okno dialogowe definicji obciążenia reakcją

W oknie dialogowym ustawień cech siły (Rysunek 3.9) możliwy jest ponadto wybór którą reakcją chcemy obciążyć oraz jaki mnożnik należy zastosować (przydatne zwłaszcza w przypadku skrajnych płatwi lub skrajnych układów poprzecznych gdzie obciążenie jest mniejsze).



Rysunek 3.9: Opcje obciążenia reakcją


### 3.12 Profile (przekroje i materiały)

Profil stanowi połączenie geometrii przekroju poprzecznego oraz materiału i jest przypisywany do elementów prętowych. W programie możliwe jest definiowanie przekrojów złożonych oraz wielogąłzowych.

Do edycji/tworzenia/usuwania profili służy **Edytor profili złożonych** (Rysunek 3.10).

Zdefiniowane profile skojarzone są z projektem i razem z nim zapisywane/odczytywane do/z jednego pliku.

Przypisanie profili do elementów można wykonać na jeden z poniższych sposobów:

- używając funkcji **Przypisz profil do elementów** w pasku narzędziowym (ikona ) lub w narzędziach **Menadżera profili**.
- edytując cechy elementów, gdzie istnieje możliwość wyboru profilu z listy rozwijanej.

Program wizualizuje aktualnie przypisane profile rzutując ich kontury na płaszczyznę YZ układu

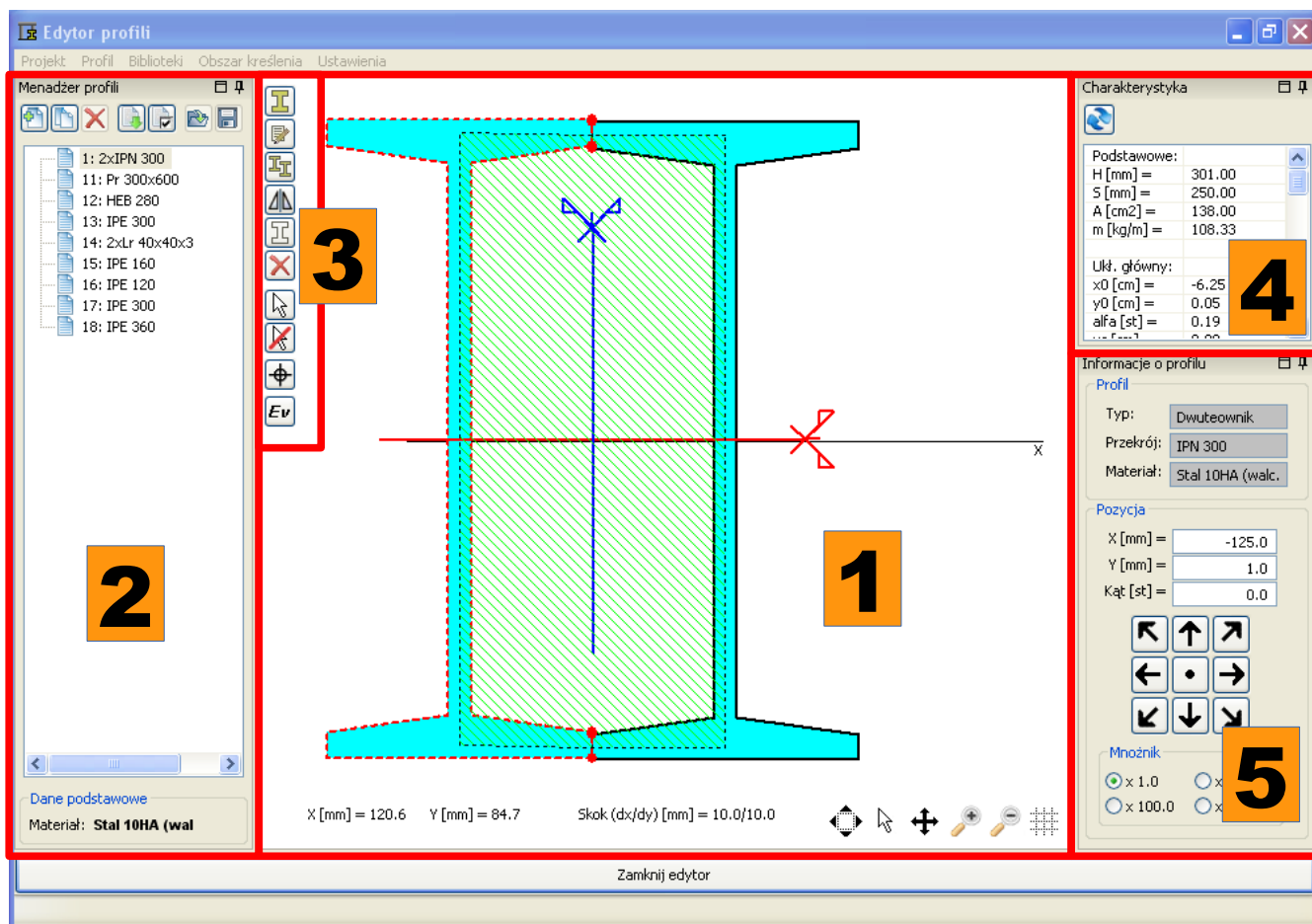
## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

obszaru roboczego edytora profili.

Program zawiera obszerne biblioteki materiałów oraz przekrojów, które można edytować. Istnieją dwa tryby edycji:

- zwykły – (**Edytuj**) zmianie podlegają parametry tylko bieżącego przekroju/materiału; przy ponownym pobraniu przekroju/materiału z bazy cechy wrócą do domyślnych,
- edycja w bazie – (**Edytuj w bazie**) zmiany zostają wprowadzone w bazie i nowe cechy przekroju/materiału będą widoczne przy kolejnym użyciu i dla wszystkich projektów.

Uwaga! Bazy materiałowe oraz przekrojów zostają zapisane w katalogu użytkownika przy pierwszym uruchomieniu programu (<katalog\_użytkownika>/.Soldis/Solsec/data/mbase.mbs oraz <katalog\_użytkownika>/.Soldis/Solsec/data/sbase.sbs odpowiednio dla bazy materiałów oraz przekrojów). Pliki można swobodnie kopiować w tym również między stanowiskami (konieczna jest jednak zgodność wersji).



Rysunek 3.10: Edytor profili złożonych


Podstawowe elementy interfejsu edytora profili:


|   |                |  |
|---|----------------|--|
| 1 | Obszar roboczy | Obszar wizualizujący profile oraz umożliwiający ich zaznaczanie. Obsługa jak dla obszaru kreślenia okna głównego → <SPM> - |
|---|----------------|--|

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT


|   |                        |   |
|---|------------------------|---|
|   |                        | przesuwanie, <b>KM</b> – zoom, 2x <b>SPM</b> – dopasuj widok do zawartości. |
| 2 | Menadżer profili       | Lista aktualnie zdefiniowanych profili w ramach projektu                    |
| 3 | Pasek narzędziowy      | Funkcje dostępne w programie do edycji i tworzenia przekrojów.              |
| 4 | Właściwości przekroju  | Lista cech geometrycznych przekroju aktualizowana na bieżąco.               |
| 5 | Pozycjonowanie profilu | Zestaw narzędzi do definicji pozycji i obrotu profilu.                      |

## 4 Uruchomienie obliczeń

W celu uruchomienia analizy należy przejść do modułu wyniki (ikona  w pasku narzędziowym lub odpowiednia pozycja na liście rozwijanej **Moduły**) i wybrać jedną z następujących opcji:

|  |  |
|--|--|
|   | Statyka liniowa                          |
|   | Statyka nieliniowa                       |
|   | Linie wpływu (statyka liniowa)           |
|   | Linie wpływu (statyka nieliniowa)        |
|   | Stateczność konstrukcji (problem własny) |
|   | Drgania własne (problem własny)          |
|   | Wymiarowanie                             |
|  | Optymalizacja                            |

Program automatycznie wykona obliczenia. W przypadku konieczności podania dodatkowych informacji niezbędnych do przeprowadzenia analizy pojawią się stosowne okna dialogowe. Przed obliczeniami program dokonuje sprawdzenia spójności i poprawności danych, a w przypadku wykrycia błędu zostaje wyświetlony komunikat i analiza zostaje przerwana.

W momencie zakończenia analizy program przechodzi w tryb przeglądania wyników dla którego możliwości modyfikacji konstrukcji są mocno ograniczone. Aby wrócić do edycji układu należy wyjść z trybu wyników (ikona  w pasku narzędziowym) lub **Wyjdź z podglądu wyników** w menu programu.

Uwaga! Analiza typu: Stateczność konstrukcji (problem własny) oraz Drgania własne (problem własny) w przypadku dużej ilości prętów może być czasochłonna, a interfejs użytkownika zostaje zablokowany do momentu jej zakończenia.

## 5 Statyka

### 5.1 Informacje wstępne

Podstawowy moduł obliczeniowy programu, który umożliwia wyznaczenie wszystkich istotnych wartości statycznych układu. Analiza wykonywana jest przy uwzględnieniu zdefiniowanych przypadków obciążenia oraz relacji między nimi. Kombinatoryka obciążenia uwzględnia wytyczne norm polskich oraz eurokodów.

Rozszerzeniem funkcjonalności modułu jest analiza nieliniowa umożliwiająca uwzględnienie efektów drugiego rzędu oraz wyłączanie się z pracy ściskanych cięgien.

Moduł w szczególności umożliwia:


- przy analizowaniu konstrukcji:
  - określenie sił przekrojowych (N, T, M),
  - określenie reakcji podporowych,
  - określenie deformacji układu,
  - określenie naprężeń normalnych (możliwość wyboru naprężeń po wybranej stronie pręta lub wszystkich),
  - uwzględnienie kombinatoryki przypadków obciążenia,
  - uwzględnienie zmiennego przekroju elementu prętowego,
  - uwzględnienie przegubów,
  - uwzględnienie kąta pochylenia podpory, jej osiadania oraz podatności,
  - obliczenia dla wielu pozycji obliczeniowych jednocześnie,
  - przekazywanie reakcji z jednej pozycji obliczeniowej jako obciążenie do drugiej,
- przy przeglądaniu wyników:
  - graficzną prezentację wszystkich wyników,
  - odczytanie wartości we wskazanych punktach układu,
  - utworzenie raportu z wynikami,
  - określenie wykorzystania poszczególnych elementów prętowych i profili ze względu na naprężenia normalne,
  - zaznaczenie miejsc, gdzie naprężenia mają wartość ponad dopuszczalną,
  - zmianę i automatyczne przeliczenie układu dla ustawień grup obciążenia, relacji przypadków obciążenia oraz profili,


## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT


- skalowanie wykresów,
  - wybór elementów dla których mają być pokazywane wyniki,
  - ukrycie/pokazanie wartości/numerów prętów/obciążenia na wykresach,
- przy generowaniu raportu:
- nadanie podstawowych informacji o projekcie (nazwa, autor, opis ...),
  - szczegółowe określenie zakresu informacji z podziałem na schemat układu oraz wyniki,
  - wskazanie elementów dla których ma być generowany raport,
  - ustawienia marginesów, wykresów stylu tabel, czcionki itd,
  - sporządzenie raportu w formacie RTF.

### 5.2 Przeglądanie wyników

Po wejściu w tryb przeglądania wyników domyślnie włączona jest funkcja **Podaj wartości dla pręta**. Wskazanie dowolnego elementu i **LPM** powoduje wyświetlanie wyników szczegółowych. Funkcja zostaje wyłączona w momencie wywołania innej.




Użycie **2xLPM** w momencie gdy kursor myszy znajduje się nad elementem włącza ponownie funkcję **Podaj wartości dla pręta**. Alternatywnie można użyć paska narzędziowego (ikona ).











Włączenie/wyłączenie/zmiana kombinatoryki obciążenia odbywa się za pomocą funkcji **Kombinacje grup obciążenia** (ikona ). Wybór dostępnych kombinacji zależy od przyjętej podstawy tworzenia kombinatoryki (PN, EN-PN, patrz 3.7) oraz typu analizy. Ostatnia pozycja w menu rozwijalnym dostępnym po wybraniu funkcji zawiera opis sposobu tworzenia poszczególnych kombinacji.

W przypadku dużej liczby elementów istnieje możliwość wskazania tych dla których mają być rysowane wykresy → funkcja **Wskaż pręty dla wykresu** (ikona ). Wybór zapamiętywany jest do momentu zrestartowania programu. Powrót do wyświetlania wykresów dla wszystkich prętów możliwy jest poprzez ponowne wywołanie funkcji i wskazanie wszystkich elementów.

W trybie przeglądania wyników dla statyki możliwe są niewielkie korekty układu, w tym: zmiana ustawień grup obciążenia, zmiana ustawień kombinatoryki obciążenia, edycja profili, przypisywanie profili. Każda zmiana powoduje ponownie przeliczenie układu i aktualizację wyświetlanych wyników.


Funkcje przeglądania wyników dla statyki liniowej/nieliniowej:

|   |  |
|---|--|
|  | Rysuj wykresy sił przekrojowych (normalne, tnące oraz momenty zginający) |
|  | Rysuj wykresy naprężeń dla skrajnych włókien profilu                     |
|  | Rysuj wykresy przemieszczeń układu                                       |

|   |  |
|---|--|
|  | Wyświetl/ukryj reakcje   |
|  | Włącz/wyłącz/zmień kombinatorykę   |
|  | Wyświetl wyniki dla pręta  |
|  | Otwórz okno edycji grup obciążenia   |
|  | Otwórz okno edycji wykluczeń   |
|  | Otwórz menadżera profili   |
|  | Skaluj wykres (liczba <1. zmniejszenie; >1. zwiększenie)   |
|  | Wskaż pręty dla których wyświetlane mają być wyniki.   |
|  | Opcje wyświetlania: pokaż/ukryj obciążenie, pokaż/ukryj wartości na wykresach, pokaż/ukryj numery węzłów oraz elementów. |
|  | Generuj raport z obliczeń (patrz 5.3)  |

### 5.3 Generowanie raportu

Program umożliwia wygenerowanie raportu zawierającego najważniejsze elementy dotyczące modelu obliczeniowego oraz wyników. Raport generowany jest jako dokument RTF (Rich Text Format), który obsługiwany jest przez większość edytorów tekstu (MSWord, LibreOffice itd.). Po otwarciu dokumentu można zapisać go innym dowolnym formacie obsługiwanym przez edytor.

Po wywołaniu funkcji **Generuj raport** (ikona  w pasku narzędziowym) pojawia się okno dialogowe (Rysunek 5.1), które umożliwia dokonanie szczegółowego wyboru zawartości raportu w zakresie elementów modelu obliczeniowego i wyników (wraz z ich konfiguracją). W oknie ponadto możliwa jest włączenie/wyłączenie wyświetlania wartości na wykresach (**Dodaj wartości do wykresów**), wskazanie elementów do których ograniczony ma być raport (**Wyniki dla elementów...**) oraz zmiana ustawień stylu (**Ustawienia...**). Wszystkie ustawienia (zawartość, styl) zapamiętywane są w programie.

Raport można zapisać do pliku lub otworzyć w domyślnym edytorze dokumentów RTF (w przypadku problemów należy sprawdzić skojarzenie pliku .rtf w systemie).

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

**Zawartość raportu**

Informacje ogólne

Projekt: Projekt nr 1

Tytuł: Poz. 1.1

Wykonał:

Firma:

**Zakres raportu - schemat układu**

|  | Schemat                             |
|--|-------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Schemat układu   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> Punkty węzłowe   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> Elementy prętowe | <input type="checkbox"/>            |
| <input checked="" type="checkbox"/> Podpory układu   | <input type="checkbox"/>            |
| <input checked="" type="checkbox"/> Obciążenia       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="radio"/> Wszystkie razem     |                                     |
| <input type="radio"/> Osobno dla grup                |                                     |
| <input checked="" type="checkbox"/> Profile          | <input checked="" type="checkbox"/> |

**Zakres raportu - wyniki obliczeń**

|   | Schemat                             |
|---|-------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Wyniki obliczeń   |                                     |
| <input checked="" type="checkbox"/> Siły przekrojowe  |                                     |
| <input checked="" type="checkbox"/> Normalne          | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tnące             | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> Momenty zg.       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> Naprężenia        | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> Reakcje podporowe | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> Przemieszczenia   | <input checked="" type="checkbox"/> |

**Konfiguracja wyników**

- ☒ Wyniki dla bieżącej konfiguracji grup
- ☒ Wyniki dla kombinatoryki
  - ☒ SGN - Kombinacja podstawowa
  - ☐ SGN - Kombinacja podstawowa ( $\Psi_0$ )
  - ☐ SGN - Kombinacja wyjątkowa
  - ☐ SGU - Kombinacja podstawowa
  - ☐ SGU - Kombinacja obciążeń długotrwałych
  - ☐ Wszystkie obciążenia, , war charakt.
  - ☐ Wszystkie obciążenia, war. oblicz.

**Dodatkowe ustawienia**

☐ Dodaj wartości do wykresów ☐ Wyniki dla elementów:

Anuluj  Zapisz (.rtf) Domyślny edytor (.rtf)

Rysunek 5.1: Okno dialogowe zawartości raportu



## 6 Wymiarowanie

### 6.1 Informacje wstępne

Ocena konstrukcji zgodnie z wybranymi warunkami projektowymi. Moduł wykorzystuje tak zwane reguły wymiarowania, które sprawdzają zestaw warunków projektowych dla wskazanego elementu (np. Stal wg PN-90/B-03200). Reguły wymiarowania można swobodnie przypisywać do elementów prętowych oraz węzłów konstrukcji. W module dostępnych jest wiele reguł wymiarowania, które przeprowadzają kompleksową analizę według kryteriów zawartych w wybranej normie. Dodatkowo, dostępny jest zbiór reguł, które nie mają podstawy normowej (siły przekrojowe, reakcje podporowe, itd), jednak są niezwykle przydatne w codziennej pracy projektanta.

Moduł w szczególności umożliwia:


- zarządzanie regułami wymiarowania (tworzenie, przypisywanie, grupowanie, usuwanie),
- współpracę między modulem STATYKA a regułami wymiarowania (import/eksport danych, wyników),
- przypisywanie wielu reguł wymiarowania do jednego elementu, dając tym samym możliwość sprawdzenia warunków z uwzględnieniem wielu norm lub alternatywnych konfiguracji parametrów,
- grupowanie wielu reguł wymiarowania w jedną, powiązaną z konkretną pozycją obliczeniową (przydatne w przypadku pozycji obliczeniowych złożonych z kilku prętów, np. belki wieloprzęsłowe),
- automatyczną aktualizację wyników przy zmianie wybranych parametrów normowych,
- automatyczną aktualizację wyników przy zmianie układu konstrukcyjnego,
- generowanie raportu zawierającego wykaz warunków projektowych wraz z procentowym wyłączeniem dla wybranych reguł wymiarowania,
- odszukanie najbardziej wyłączonego elementu,
- możliwość dodawania własnych reguł projektowania (gotowe przykłady, które należy zmodyfikować do swoich potrzeb),
- określenie warunków projektowych, które muszą być spełnione w procesie optymalizacji.

### 6.2 Reguły wymiarowania


Proces wymiarowania polega na sprawdzeniu warunków projektowych dla elementów prętowych oraz węzłów. Zestaw warunków wraz z oknem dialogowym do konfiguracji parametrów tworzy regułę wymiarowania.

Każda reguła przypisana jest do pręta lub węzła. Do jednego węzła/pręta może być przypisanych wiele reguł.

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT


Do przypisania reguły służy funkcja **Przypisz reguły wymiarowania** (ikona ). Użycie 2xLPM w momencie gdy kursor znajduje się nad elementem powoduje przypisanie domyślnej reguły (bazując na materiale profilu).

Reguły wizualizowane są symbolicznie w postaci poziomego paska z wytyczeniem elementu lub komunikatem błędu. Kolor zależy od poziomu wytyczenia. Symbole umożliwiają zaznaczanie (LPM lub prostokąt zaznaczenia), edycję (2xLPM) oraz usuwanie (klawisz **DEL** gdy reguła jest zaznaczona) reguł.







Każdorazowo zmiana modelu obliczeniowego resetuje wyniki reguł (symbol „??” na pasku reguły). Ponownie przeliczenie umożliwia funkcja **Aktualizuj wyniki wymiarowania** (ikona ). W przypadku dużej ilości reguł proces aktualizacji jest czasochłonny i zaleca się selektywną aktualizację. Po zaznaczeniu elementów i wciśnięciu **PPM** pojawia się menu podręczne z funkcją **Przelicz**. Funkcja wykonuje aktualizację wyników tylko dla wskazanych reguł.




Reguły mogą podlegać grupowaniu. Reguły w ramach jednej grupy posiadają wspólne parametry co oznacza, że edycja jednej z nich powoduje jednocześnie edycję pozostałych. Zgrupowane elementy reprezentowane są przez jeden symbol prezentujący maksymalne wytyczenie dla zgrupowanych reguł. Grupowanie przydatne jest w przypadkach gdy wymiarowaniu podlegają elementy, które finalnie mają mieć ten sam przekrój i materiał (zbrojenie) oraz można przypisać im te same parametry, np.:

- belka wieloprzęsłowa (w tym również pasy kratownicy),
- kolumna słupów o stałym przekroju,
- elementy (słupy, belki) podzielone na pręty w wyniku modelowania,
- seria słupów o tej samej długości wyboczeniowej (np. estakady), itd.

W celu zgrupowania reguł należy je zaznaczyć, a następnie wcisnąć **PPM** i wybrać **Grupuj**. W przypadku przypisania reguły wymiarowania przy użyciu funkcji **Dodaj reguły wymiarowania** (ikona ) dla wielu elementów są one automatycznie grupowane. W celu rozbicia grupy, należy zaznaczyć jej symbol a następnie wcisnąć **PPM** i wybrać **Rozgrupuj**.

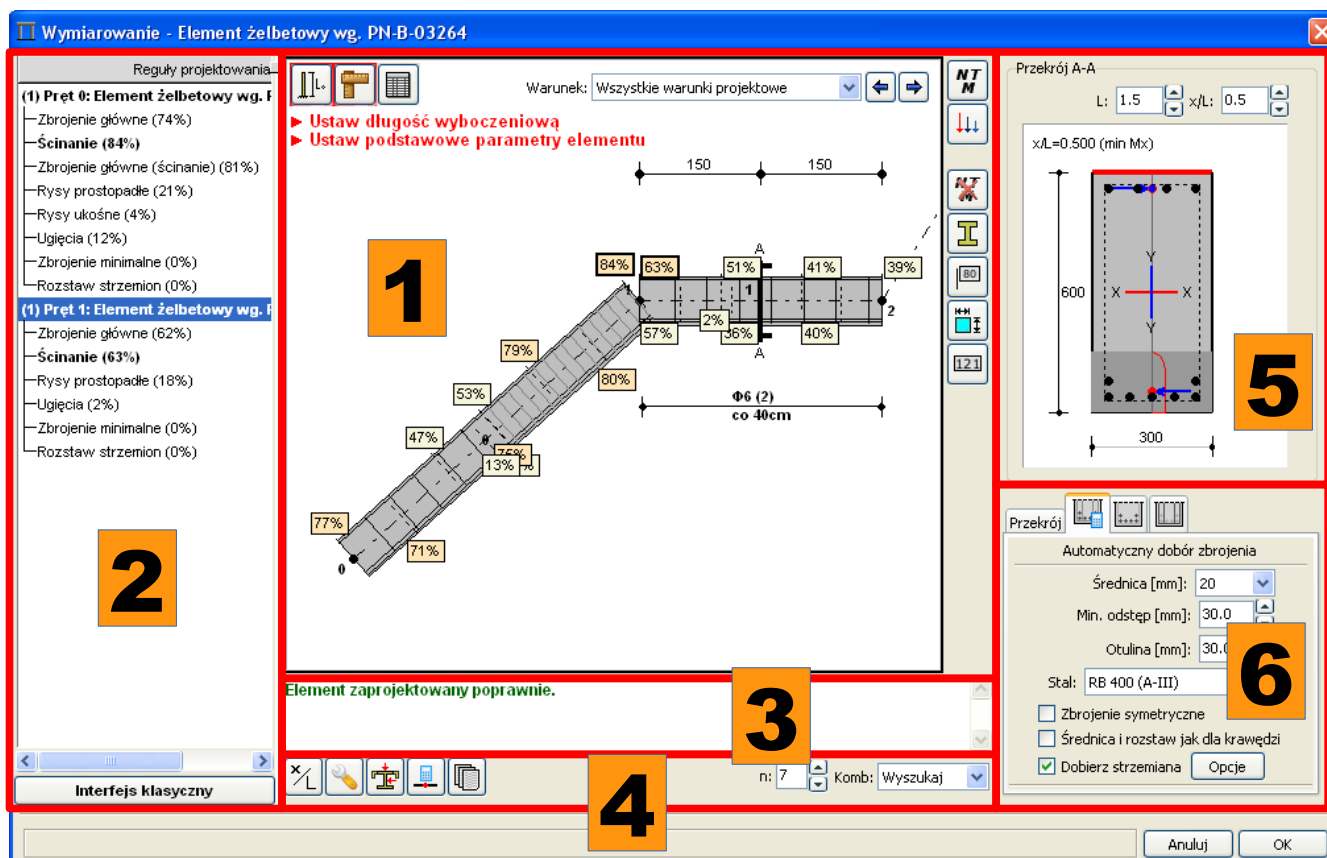
Funkcje dostępne dla wymiarowania:

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
|  | Aktualizuj wyniki wymiarowania      |
|  | Dodaj reguły wymiarowania           |
|  | Usuń reguły wymiarowania            |
|  | Edytuj reguły wymiarowania          |
|  | Wskaż najbardziej wytyczony element |
|  | Otwórz okno edycji grup obciążenia  |

|   |                              |
|---|------------------------------|
|  | Otwórz okno edycji wykluczeń |
|  | Otwórz menadżera profili     |
|  | Generuj raport               |

### 6.2.1 Elementy wspólne okna edycji reguł wymiarowania

Okno edycji reguły wymiarowania ma zbliżoną budowę dla wszystkich reguł wymiarowania. Widok ogólny przedstawia Rysunek 6.1. Opis podstawowych elementów zawarto poniżej.



Rysunek 6.1: Okno edycji reguły wymiarowania (przykład dla „Element żelbetowy”, interfejs typu B)

Podstawowe elementy okna edycji reguły wymiarowania:

|   |                |   |
|---|----------------|---|
| 1 | Obszar roboczy | Zestaw zakładek (interfejs typu A, dla reguł przypisanych do węzłów oraz wybranych reguł dla belek) lub widok wymiarowanego elementu (interfejs typu B, dla belek podlegających wymiarowaniu w wielu rzędnych). Dla interfejsu typu A zakładki zawierają zarówno wyniki jak i kontrolki do edycji parametrów. W przypadku interfejsu typu B zakładki z parametrami wymiarowania znajdują się w lewym górnym rogu, a z wynikami pojawiają się przy wskazaniu warunku na liście |
|---|----------------|---|

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

|   |                            |   |
|---|----------------------------|---|
|   |                            | reguł (najniekorzystniejsza rzędna) lub przy wskazaniu na etykietę dla rzędnej (wyniki dla wskazanej rzędnej).  |
| 2 | Lista reguł                | Lista zawiera aktualne edytowane reguły wraz z wytyczeniem dla poszczególnych warunków projektowych. W przypadku edycji grupy na liście prezentowane są wszystkie reguły z grupy. |
| 3 | Okno komunikatów           | Okno zawiera wszelkie informacje zwrócone przez algorytm obliczeniowy.  |
| 4 | Opcje                      | Zestaw dodatkowych narzędzi, ustawień skomponowany niezależnie dla każdej reguły wymiarowania.  |
| 5 | Widok przekroju            | (Tylko dla reguł przypisanych do prętów) Wizualizacja przekroju dla bieżącej rzędnej. 2xPPM → edycja przekroju.   |
| 6 | Narzędzia edycji przekroju | Zestaw narzędzi edycji przekroju lub cech przekrojowych (na przykład zbrojenie) skomponowany niezależnie dla każdej reguły wymiarowania.  |

### 6.2.2 Element żelbetowy wg PN-B-03264:2002

Projektowanie prętowych elementów żelbetowych wg PN-90-03264:2002. Reguła wymiarowania jest całkowicie zintegrowana z modułami STATYKA oraz WYMIAROWANIE, co zapewnia import wyników obliczeń statycznych oraz wszystkich niezbędnych charakterystyk przekroju oraz materiału. Procedura automatycznie dobiera zbrojenie podłużne i poprzeczne zgodnie z normą PN-90-03264:2002. Weryfikacja dokonywana jest na podstawie wszystkich niezbędnych warunków projektowych SGN i SGU. Wymiarowaniu mogą podlegać wszystkie dostępne w programie przekroje (prostokąt, koło, (dwu)teownik, ceownik, zetownik itd), a zaproponowane zbrojenie może być dowolnie dostosowane do wymagań konstrukcyjnych (pręty odgięte, nieciągłość zbrojenia). Przykład raportu znajduje się w rozdziale 11.1.

Wszelkie oznaczenia oraz nazewnictwo jest zgodnie z normą 6.1.2 PN-B-03264:2002.

Reguła rozpatruje następujące warunki projektowe:

- Zbrojenie główne,
- Zbrojenie główne z uwzględnieniem wzrostu siły przy ścinaniu (odc. 2-ego rodzaju),
- Ścinanie w dwóch kierunkach,
- Rysy prostopadłe,
- Rysy ukośne w dwóch kierunkach,
- Przemieszczenia z uwzględnieniem zarysowania i reologii,
- Zbrojenie minimalne,
- Minimalny rozstaw strzemion,
- Ograniczenie smukłości.

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

Reguła w szczególności umożliwia:

- określenie wyężenia elementu żelbetowego pod względem kryteriów normowych wraz ze szczegółowymi obliczeniami dla poszczególnych punktów oraz kombinacji przypadków obciążenia,
- import wyników statyki, właściwości materiału oraz parametrów przekroju z modułu STATYKA oraz MODEL,
- obliczenia z wykorzystaniem metody ogólnej,
- wizualizację stanu równowagi dla przekroju z zaznaczeniem strefy ściskanej betonu oraz sił wypadkowych,
- wizualizację mimośrod obliczeniowego,
- obliczenia z uwzględnieniem niezamierzonego mimośrod w płaszczyźnie prostopadłej do układu (niezbędne w przypadku słupów),
- wymiarowanie elementów niesymetrycznych lub z niesymetrycznym zbrojeniem,
- wymiarowanie elementów jednogałęziowych o przekrojach: prostokąt, dwuteownik, teownik, koło, rura okrągła oraz prostokątna, ceownik, zetownik, kątownik,
- określenie ugięcia elementu żelbetowego przy uwzględnieniu relaksacji oraz zarysowania; obliczanie ugięcia odbywa się poprzez całkowanie funkcji ugięcia z uwzględnieniem zmiennej sztywności,
- wizualizację ugięcia elementu wraz ze wskazaniem miejsc zarysowania oraz obliczeniowej długości rysy prostopadłej,
- automatyczny dobór zbrojenia podłużnego i poprzecznego z uwzględnieniem wszystkich elementów w grupie; przy automatycznym doborze program ustala zbrojenie na bazie wytycznych użytkownika: preferowana średnica, min odstęp między prętami, min pole zbrojenia, otulina oraz ew. współczynnik korekcyjny,
- automatyczne wyznaczenie współczynników długości obliczeniowej zgodnie z wytycznymi normy,
- graficzną prezentację wyężenia konstrukcji i łatwie przekierowanie do kontekstu wymiarowania, dla którego wyężenie jest największe,
- filtrowanie wyników dla wskazanego kontekstu wymiarowania, kombinacji obciążenia oraz rzędnej,
- określenie ilości punktów i ich współrzędnych dla którym ma być przeprowadzone wymiarowanie,
- określenie sił przekrojowych w płaszczyźnie prostopadłej do ekranu (zginanie dwukierunkowe),
- dwa tryby wymiarowania: tylko bieżący punkt, wszystkie wskazane punkty,

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

- wskazanie kombinacji dla których ma zostać przeprowadzone wymiarowanie (przyspiesza analizę -> przydatne w przypadku optymalizacji),
- wygenerowanie notki obliczeniowej zawierającej najbardziej istotne wyniki wymiarowania (format .rtf -> MSOffice, OpenOffice, itd).

### 6.2.3 Element stalowy wg PN-90/B-03200

Projektowanie prętowych elementów stalowych wg PN-90/B-03200. Reguła wymiarowania jest całkowicie zintegrowana z modułami STATYKA oraz WYMIAROWANIE, co zapewnia automatyczny import wyników obliczeń statycznych oraz wszystkich niezbędnych charakterystyk przekroju oraz materiału. Reguła wymiarowania umożliwia ocenę wyężenia elementu wg normy PN-90/B-03200. Obliczenia wykonywane są dla wszystkich wymaganych warunków projektowych, a w przypadku ich przekroczenia wskazuje miejsce i podaje szczegółowy tok obliczeń. Komponent obsługuje komplet profili dostępnych w katalogach branżowych. Profile mogą być zdefiniowane zarówno jako pojedyncze jak i złożone, otwarte lub zamknięte (również profile klasy czwartej). Przykład raportu znajduje się w rozdziale 11.2.

Wszelkie oznaczenia oraz nazewnictwo jest zgodnie z normą PN-90/B-03200.

Reguła rozpatruje następujące warunki projektowe:

- Napężenia w przekroju,
- Rozciąganie,
- Ściskanie,
- Ścinanie w dwóch kierunkach,
- Stateczność lokalna,
- Zginanie,
- Zginanie ze ściskaniem,
- Zginanie ze ścinaniem,
- Środek pod obciążeniem skupionym,
- Środek w złożonym stanie napężenia,
- Ugięcia,
- Smukłość.

Reguła w szczególności umożliwia:

- określenie wyężenia elementu stalowego pod względem kryteriów normowych wraz ze szczegółowymi obliczeniami dla poszczególnych punktów oraz kombinacji normowych,
- import wyników statyki oraz cech materiałowych i paramterów przekroju z modułu głównego,

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

- wymiarowanie elementów jednogałęziowych, w tym również złożonych oraz ustawionych pod dowolnym kątem,
- wymiarowanie elementów o przekroju otwartym oraz zamkniętym z automatycznym określeniem obszaru zamkniętego wewnątrz profili (również dla przekrojów złożonych),
- wymiarowanie profili zawierających przekroje dostępne w standardowych katalogach (dwuteowniki, teowniki, ceowniki, kątowniki, rury okrągłe, prostokątne, kwadratowe, zetowniki, o przekroju koła),
- wymiarowanie przekrojów klasy czwartej (np. blachownice); uwzględnienie stateczności lokalnej, obciążenia skupionego, stanu złożonego naprężenia,
- automatyczne wyznaczenie współczynników długości obliczeniowej zgodnie z wytycznymi normy,
- automatyczne wyznaczenie momentu krytycznego zgodnie z wytycznymi normy,
- graficzną prezentację wytyżenia konstrukcji i łatwe przekierowanie do kontekstu wymiarowania, dla którego wytyżenie jest największe,
- filtrowanie wyników dla wskazanego kontekstu wymiarowania, kombinacji obciążenia oraz rzędnej,
- określenie ilości punktów i ich współrzędnych dla którym ma być przeprowadzone wymiarowanie,
- określenie sił przekrojowych w płaszczyźnie prostopadłej do ekranu (zginanie dwukierunkowe),
- dwa tryby wymiarowania: tylko bieżący punkt, wszystkie wskazane punkty,
- wskazanie kombinacji dla których ma zostać przeprowadzone wymiarowanie (przyspiesza analizę -> przydatne w przypadku optymalizacji),
- wygenerowanie notki obliczeniowej zawierającej najistotniejsze wyniki wymiarowania (format .rtf -> MSOffice, OpenOffice, itd).

### 6.2.4 Naprężenia dopuszczalne

Projektowanie elementu prętowego na podstawie naprężeń dopuszczalnych. Procedura przeprowadza ocenę wytyżenia elementu stosując podejście naprężeń dopuszczalnych z rozróżnieniem na ściskanie i rozciąganie. Domyślnie wartości graniczne naprężenia odczytywane są z właściwości materiału, jednak mogą one zostać dowolnie zmodyfikowane. Algorytm znajduje zastosowanie w sytuacjach gdy stateczność elementu nie ma wpływu na wymiarowanie.

Reguła w szczególności umożliwia:

- określenie wytyżenia na podstawie analizy naprężeń normalnych dla włókien skrajnych,
- swobodne włączanie/wyłączanie poszczególnych warunków projektowych,

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

- swobodne określenie limitu dla granicznego naprężenia z rozróżnieniem naprężeń ściskających i rozciągających,
- automatyczne pobranie granicy plastyczności z charakterystyk materiałowych przekroju z rozróżnieniem ściskania i rozciągania,
- wybór typu kombinacji przypadków obciążenia dla których zostanie wykonana analiza,
- tabelaryczne zestawienie wyników dla poszczególnych przekrojów, kombinacji i warunków projektowych,
- import wyników statyki oraz cech materiałowych i parametrów przekroju z modułu MODEL,
- graficzną prezentację wyężenia konstrukcji i łatwe przekierowanie do kontekstu wymiarowania, dla którego wyężenie jest największe,
- filtrowanie wyników dla wskazanego kontekstu wymiarowania, kombinacji obciążenia oraz rzędnej,
- dwa tryby wymiarowania: tylko bieżący punkt, wszystkie wskazane punkty,
- określenie ilości punktów i ich współrzędnych dla którym ma być przeprowadzone wymiarowanie,
- wygenerowanie notki obliczeniowej zawierającej najbardziej istotne wyniki wymiarowania (format .rtf ->

### 6.2.5 Przemieszczenia dopuszczalne

Sprawdzenie warunku ugięcia (obrotu). Prosty w obsłudze, a zarazem wyjątkowo przydatny algorytm oceny deformacji elementu/układu, który pozwala na weryfikację przemieszczeń składowych, wypadkowych oraz kątów obrotów dla wybranych punktów na długości pręta i wskazanej kombinacji obciążenia. Procedura znajduje częste zastosowanie przy określaniu ograniczeń projektowych dla zadania optymalizacji.

Reguła w szczególności umożliwia:

- określenie wyężenia na podstawie analizy przemieszczenia kąowego oraz liniowego po kierunku X, Y lub przemieszczenia wypadkowego,
- swobodne włączanie/wyłączanie poszczególnych warunków projektowych,
- swobodne określenie limitu dla granicznego przemieszczenia,
- wybór między przemieszczeniem globalnym, a lokalnym,
- możliwość odczytu przemieszczenia od cięciwy pręta,
- tabelaryczne zestawienie wyników dla poszczególnych przekrojów, kombinacji i warunków projektowych,
- wybór typu kombinacji przypadków obciążenia dla których zostanie wykonana analiza,



## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

- import wyników statyki oraz cech materiałowych i parametrów przekroju z modułu MODEL,
- graficzną prezentację wyężenia konstrukcji i łatwe przekierowanie do kontekstu wymiarowania, dla którego wyężenie jest największe,
- filtrowanie wyników dla wskazanego kontekstu wymiarowania, kombinacji obciążenia oraz rzędnej,
- dwa tryby wymiarowania: tylko bieżący punkt, wszystkie wskazane punkty,
- określenie ilości punktów i ich współrzędnych dla którym ma być przeprowadzone wymiarowanie,
- wygenerowanie notki obliczeniowej zawierającej najbardziej istotne wyniki wymiarowania (format .rtf -> MSOffice, OpenOffice, itd).

### 6.2.6 Siły przekrojowe

Analiza sił przekrojowych w elemencie prętowym. Procedura przeprowadza ocenę wyężenia elementu na podstawie sił przekrojowych ( $N$ ,  $T_x$ ,  $M_y$ ,  $T_y$ ,  $M_x$ ). Nośność elementu może zostać zdefiniowana w zależności od znaku siły. Procedura znajduje zastosowanie każdorazowo, gdy nośność elementu określona jest wprost (np. dane producenta, katalogi) bez podawania szczegółowego toku obliczeń (łącniki, połączenia, ciągnia itd).

Reguła w szczególności umożliwia:

- określenie wyężenia na podstawie analizy sił przekrojowych,
- swobodne włączanie/wyłączanie poszczególnych warunków projektowych,
- swobodne określenie limitu dla sił przekrojowych z rozróżnieniem znaku,
- wybór typu kombinacji przypadków obciążenia dla których zostanie wykonana analiza,
- tabelaryczne zestawienie wyników dla poszczególnych przekrojów, kombinacji i warunków projektowych,
- import wyników statyki oraz cech materiałowych i parametrów przekroju z modułu MODEL,
- graficzną prezentację wyężenia konstrukcji i łatwe przekierowanie do kontekstu wymiarowania, dla którego wyężenie jest największe,
- wskazanie kombinacji dla których ma zostać przeprowadzone wymiarowanie (przyspiesza analizę -> przydatne w przypadku optymalizacji),
- określenie sił przekrojowych w płaszczyźnie prostopadłej do ekranu (zginanie dwukierunkowe),
- filtrowanie wyników dla wskazanego kontekstu wymiarowania, kombinacji obciążenia oraz rzędnej,
- dwa tryby wymiarowania: tylko bieżący punkt, wszystkie wskazane punkty,

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

- określenie ilości punktów i ich współrzędnych dla którym ma być przeprowadzone wymiarowanie,
- wygenerowanie notki obliczeniowej zawierającej najbardziej istotne wyniki wymiarowania (format .rtf -> MSOffice, OpenOffice, itd).

### 6.2.7 Reakcje dopuszczalne

Analiza reakcji podporowych. Bardzo przydatna procedura określająca wyężenie elementów kotwiących oraz podporowych na podstawie reakcji. Najczęstsze zastosowanie obejmuje definicję nośności fundamentów, łożysk oraz kotew. Procedura pozwala na rozróżnienie dopuszczalnej wartości reakcji w zależności od jej znaku, co znajduje praktyczne zastosowanie przy definiowaniu nośności fundamentów z uwzględnieniem ich odrywania oraz braku symetrii.

Reguła w szczególności umożliwia:

- określenie wyężenia na podstawie analizy reakcji podporowych,
- swobodne włączanie/wyłączanie poszczególnych warunków projektowych,
- swobodne określenie limitu dla reakcji podporowych z rozróżnieniem znaku,
- wybór typu kombinacji przypadków obciążenia dla których zostanie wykonana analiza,
- import wyników statyki oraz cech materiałowych i parametrów przekroju z modułu MODEL,
- określenie sił przekrojowych w płaszczyźnie prostopadłej do ekranu (zginanie dwukierunkowe),
- filtrowanie wyników dla wskazanego kontekstu wymiarowania, kombinacji obciążenia oraz rzędnej,
- wygenerowanie notki obliczeniowej zawierającej najbardziej istotne wyniki wymiarowania (format .rtf -> MSOffice, OpenOffice, itd).

### 6.2.8 Własne reguły wymiarowania

Dodawanie własnych procedur obliczeniowych. Środowisko programu umożliwia oprogramowanie dowolnego algorytmu oceny elementu prętowego oraz węzłowego i dodanie go jako nowej reguły wymiarowania. Dostępna jest kompletną dokumentację, która krok po kroku przeprowadza przez proces tworzenie i instalowania. Dodatkowo, kod procedur REAKCJE PODPOROWE, NAPRĘŻENIA DOPUSZCZALNE, PRZEMIESZCZENIA DOPUSZCZALNE i SIŁY PRZEKOJOWE jest otwarty i może służyć jako baza do dalszej implementacji (reguły instalują się domyślnie wraz z programem).


**Jeżeli masz pomysł na nową procedurę lub chciałbyś zlecić napisanie algorytmu wymiarowania dla sprzedawanych przez Ciebie produktów, tak by wszyscy projektanci mieli do niego dostęp - skontaktuj się z nami.**

Pierwsze próby najłatwiej rozpocząć od pracy z przykładową regułą wymiarowania, której instalacja zajmuje 5 min i bardzo łatwo można ją zaadaptować do swoich potrzeb. Dokumentacja wraz z przykładowymi regułami do pobrania na stronie programu.


Dodanie nowego komponentu wymaga umiarkowanej umiejętności programowania w środowisku Python oraz bibliotek Tkinter, Tix, ttk (modyfikacja przykładowego komponentu NIE wymaga dużej wiedzy programistycznej).

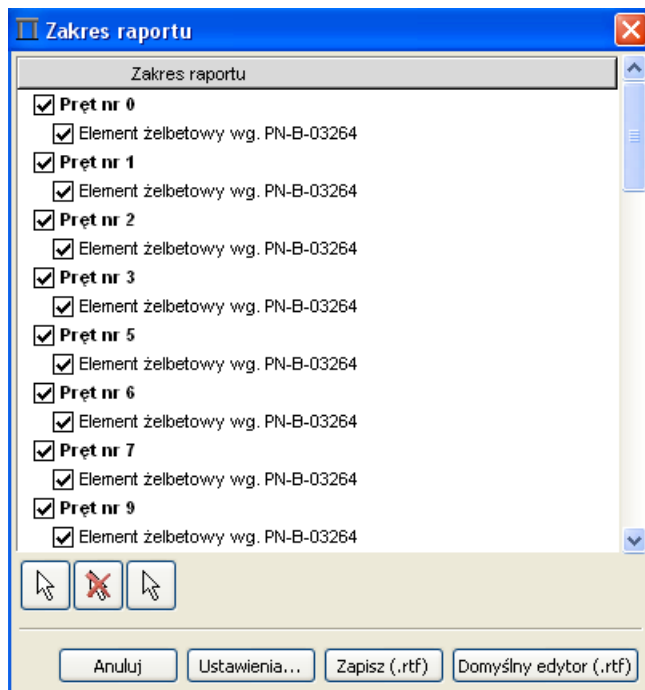
### 6.3 Generowanie raportu

Program umożliwia wygenerowanie raportu zawierającego szczegóły wymiarowania. Raport generowany jest jako dokument RTF (Rich Text Format), który obsługiwany jest przez większość edytorów tekstu (MSWord, LibreOffice itd.). Po otwarciu dokumentu można zapisać go innym dowolnym formacie obsługiwanym przez edytor.

Po wywołaniu funkcji **Generuj raport** (ikona  w pasku narzędziowym) pojawia się okno dialogowe (Rysunek 6.2), które umożliwia dokonanie szczegółowego wyboru zawartości raportu. W oknie ponadto możliwa jest zmiana ustawień stylu (**Ustawienia...**). Ustawienia stylu zapamiętywane są w programie.

Raport można zapisać do pliku lub otworzyć w domyślnym edytorze dokumentów RTF (w przypadku problemów należy sprawdzić skojarzenie pliku .rtf w systemie).

Dla wybranych reguł wymiarowania w oknie edycji znajduje się ikona , która umożliwia wygenerowanie raportu dla edytowanej reguły.



Rysunek 6.2: Okno dialogowe zawartości raportu dla wymiarowania

## 7 Optymalizacja

### 7.1 Informacje wstępne

Automatyczna poprawa wybranych cech układu w celu zmniejszenie masy konstrukcji lub spełnienie warunków projektowych. Moduł wykorzystuje algorytmy optymalizacji, które automatycznie przeszukują wiele alternatywnych rozwiązań. Działanie modułu przypomina proces dobrze znany każdemu projektantowi, który polega na stopniowym ulepszaniu konstrukcji poprzez analizę wyników i wprowadzanie kolejnych zmian do układu. Podstawowa różnica tkwi w fakcie, że jest on całkowicie zautomatyzowany, co pozwala na sprawdzenie dziesiątek, setek, a nawet tysięcy rozwiązań w krótkim czasie bez udziału projektanta. Moduł najczęściej znajduje zastosowanie w sytuacji, gdzie występuje konieczność zmniejszenia masy konstrukcji lub znalezienia takiej konfiguracji profili, która zapewnia spełnienie wszystkich warunków projektowych.






Moduł w szczególności umożliwia:

- w zakresie obliczeń:
  - całkowitą współpracę z modułem STATYKA (obliczenia statyczne) oraz WYMIAROWANIE (określenie stopnia wyężenia konstrukcji),
  - wybór spośród trzech algorytmów wymiarowania,
  - uwzględnienie ograniczeń dla zmiennych projektowych oraz wyężenia konstrukcji,
  - wybór celu jako minimalizację masy konstrukcji,
  - jednoczesna optymalizacja wielu pozycji obliczeniowych,
  - uwzględnienie przekazywania reakcji między pozycjami obliczeniowymi,
- w zakresie definiowania zmiennych projektowych, ograniczeń i celu:
  - przypisanie zmiennych projektowych do zdefiniowanych profili,
  - określenie zmiennych projektowych trzech typów: profil z katalogu, wybrany wymiar danego profilu (np. optymalizacja kształtu blachownicy) oraz parametr ogólny, który może być wykorzystany do zmiany wybranego wymiaru w kilku profilach (np. optymalizacja ramy złożonej z blachownicy przy założeniu takiej samej grubości środnika dla wszystkich profili),
  - optymalizację elementów o zmiennych przekroju na długości,
  - określenie granicznego, akceptowalnego wyężenia konstrukcji (wraz z dopuszczalną tolerancją),
- w zakresie obsługi:
  - podgląd procesu optymalizacji ze szczegółowym wykazem obliczanych konfiguracji zmiennych projektowych, otrzymanej masy konstrukcji oraz maksymalnym wyężeniem układu,


## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

- przebudowa modelu do otrzymanego optymalnego rozwiązania lub dowolnie wybranego z listy przeprowadzonych analiz,
- automatyczne przeszukiwanie otrzymanych rozwiązań i wskazywanie rozwiązania najlepszego,
- wizualizację przypisania zmiennych projektowych w polu widoku schematu.

Funkcje dostępne w module optymalizacja:

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
|  | Monitor procesu optymalizacji   |
|  | Menadżer zmiennych projektowych |
|  | Menadżer grup obciążenia        |
|  | Menadżer relacji obciążenia     |
|  | Menadżer profili                |

### 7.2 Definiowanie zmiennych

Wszystkie zmienne projektowych dotyczą bezpośrednio lub pośrednio przekrojów prętowych. Do definiowania/edycji/usuwania zmiennych służy **Menadżer zmiennych projektowych** (ikona  w pasku narzędziowym). W programie możliwe jest zdefiniowanie zmiennych następującego typu:

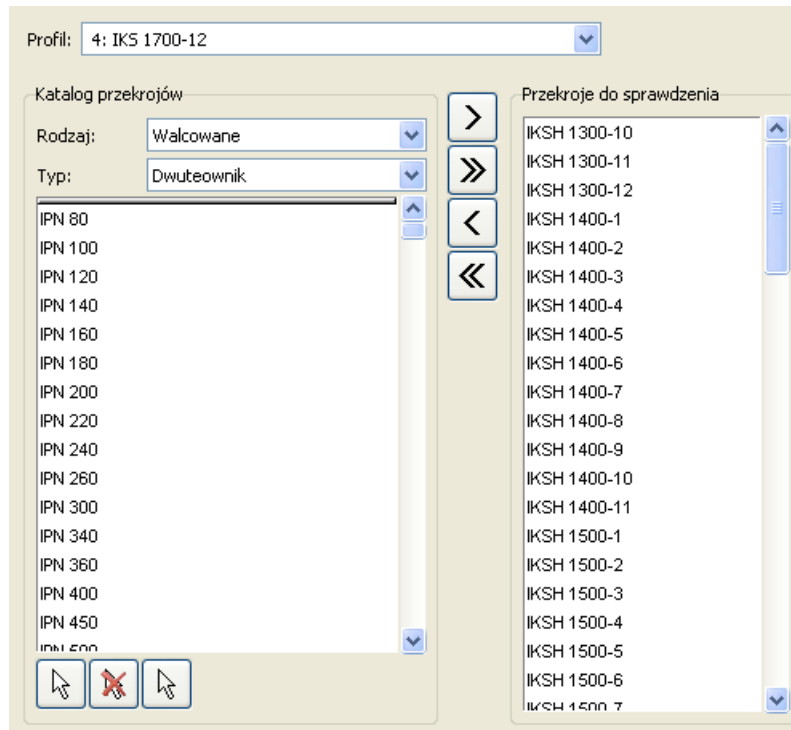
- **Przekrój standardowy** – dobór przekroju z katalogu; zmienną jest indeks przekroju spośród listy wybranych do sprawdzenia (Rysunek 7.1); zaleca się aby przekroje do sprawdzenia były tego samego typu, a ich liczba racjonalnie dobrana; algorytm optymalizacji iteracyjnie podmienia przekrój w profilu wskazanym w liście **Profil** i przeprowadza obliczenia,
- **Przekrój użytkownika** – modyfikacja przekroju poprzez zmianę wybranych wymiarów (Rysunek 7.2); należy wskazać które parametry mają być traktowane jako zmienne, ich zakres oraz skok; zmienna idealnie nadaje się do kształtowania blachownic lub przekrojów nietypowych; wybrane wymiary można powiązać z parametrem (patrz następny typ zmiennej); algorytm optymalizacji iteracyjnie modyfikuje wybrane wymiary w profilu wskazanym w polu **Profil** i przeprowadza obliczenia,.
- **Parametr użytkownika** – wprowadza parametr, który może być wykorzystany w wielu zmiennych projektowych (Rysunek 7.3); 'Parametry użytkownika to niezależne zmienne projektowe które można użyć jako wybrane wymiary przekroju dla zmiennej typu 'Przekrój użytkownika'; zmienna używana jest gdy wybrane cechy przekroju mają być wspólne dla kilku profili (np. taka sama grubość środnika dla dwóch przekrojów definiujących przekrój początkowy i końcowy pręta); algorytm optymalizacji iteracyjnie modyfikuje parametr, którego zmiana wpływa na wszystkie zmienne projektowe gdzie został on użyty, i przeprowadza obliczenia.

Zmienne projektowe wizualizowane są w postaci etykiet przy prętach do których przypisany jest

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

przekrój wskazany przy definicji zmiennej. Brak etykiety przy pręcie oznacza, że jego przekrój nie podlega zmianie w trakcie optymalizacji.

Uwaga! Program pozostawia sprawdzenie poprawności definicji zmiennych użytkownikowi. W szczególności należy upewnić się czy różne zmienne nie modyfikują sprzecznie tego samego przekroju oraz czy wskazane przy definicji zmiennej profile są tymi, które faktycznie przypisane są do prętów w obszarze zainteresowania.



Rysunek 7.1: Definicja zmiennej typu 'Przekrój standardowy'

| Zmienna                                     | Baza   | Min  | Skok | Max   | Parametr                 | Numer |
|---|--------|------|------|-------|--------------------------|-------|
| <input checked="" type="checkbox"/> H [mm]: | 80.0   | 40.0 | 8.0  | 120.0 | <input type="checkbox"/> |       |
| <input checked="" type="checkbox"/> S [mm]: | 42.0   | 21.0 | 4.0  | 63.0  | <input type="checkbox"/> |       |
| <input type="checkbox"/> g [mm]:            | 3.9    | 2.0  | 0.25 | 6.0   | <input type="checkbox"/> |       |
| <input checked="" type="checkbox"/> t [mm]: | 4.5665 | 2.0  | 0.25 | 7.0   | <input type="checkbox"/> |       |
| <input type="checkbox"/> rx [mm]:           | 19.05  | 10.0 | 2.0  | 29.0  | <input type="checkbox"/> |       |
| <input type="checkbox"/> ry [mm]:           | 2.6670 | 1.0  | 0.25 | 4.0   | <input type="checkbox"/> |       |

Rysunek 7.2: Definicja zmiennej typu 'Przekrój użytkownika'

Definicja parametru


Wartość min: 1.0

Skok: 1.0

Wartość max: 10.0

Rysunek 7.3: Definicja zmiennej typu 'Parametr użytkownika'

### 7.3 Konfiguracja i uruchomienie optymalizacji

Konfiguracja oraz uruchamianie/zatrzymanie optymalizacji odbywa się poprzez **Monitor procesu optymalizacji** (Rysunek 7.4, ikona  w pasku narzędziowym). Konfiguracji mogą podlegać następujące parametry:

- wyężenie graniczne – granica dla wskaźnika wyężenia wyrażona jako liczba rzeczywista; wyężenie obliczane jest jako najwyższe wyężenie ze wszystkich reguł projektowania; w przypadku wyężenia powyżej wskazanej wartości, rozwiązanie traktowane będzie jako rozwiązanie niepoprawne, a algorytm podejmie próby redukcji wyężenia kosztem masy.
- siła ograniczeń – zastosowany w programie sposób reakcji na przekroczenie wyężenia umożliwia nieznaczne przekroczenie granicy wskazanej jako wyężenie graniczne; determinacja z jaką algorytm będzie utrzymywał rozwiązanie w obszarze dopuszczalnym wyrażona jest jako siła ograniczeń; im wyższa wartość tym bardziej respektowane będą ograniczenia; zbyt

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

restrykcyjne podejście do ograniczeń bardzo często prowadzi do rozwiązania o większej masie.

- tolerancja – określa jakie przekroczenie wyłączenia granicznego jest w danym problemie akceptowalne; rozwiązania wykraczające poza wskazaną tolerancję traktowane są jako niepoprawne.

Wybór i konfiguracja algorytmu optymalizacji jest możliwa w oknie monitora w zakładce Zaawansowane. W programie dostępne są następujące algorytmy optymalizacji:

- Hooke-Jeevesa – bezgradientowy, iteracyjny algorytm, który potrzebuje niewielką liczbę iteracji, aby znaleźć rozwiązanie optymalne; zalecany jako pierwszy wybór; wada: często zwraca optimum lokalne,
- algorytm genetyczny – technika eksploracyjna, czasochłonna; zalecana w przypadku problemów skomplikowanych o dużej liczbie zmiennych lub gdy algorytm Hooke-Jeevesa nie przyniósł oczekiwanych rezultatów (zwracał optima lokalne),
- HJ+AG – hybrydowa procedura rozpoczynająca od kilku iteracji algorytmem genetycznym, a następnie uruchamiająca z najlepszego punktu algorytm Hooke-Jeevesa; procedura stanowi kompromis między czasem obliczeń, a szansą na znalezienie globalnego optimum.

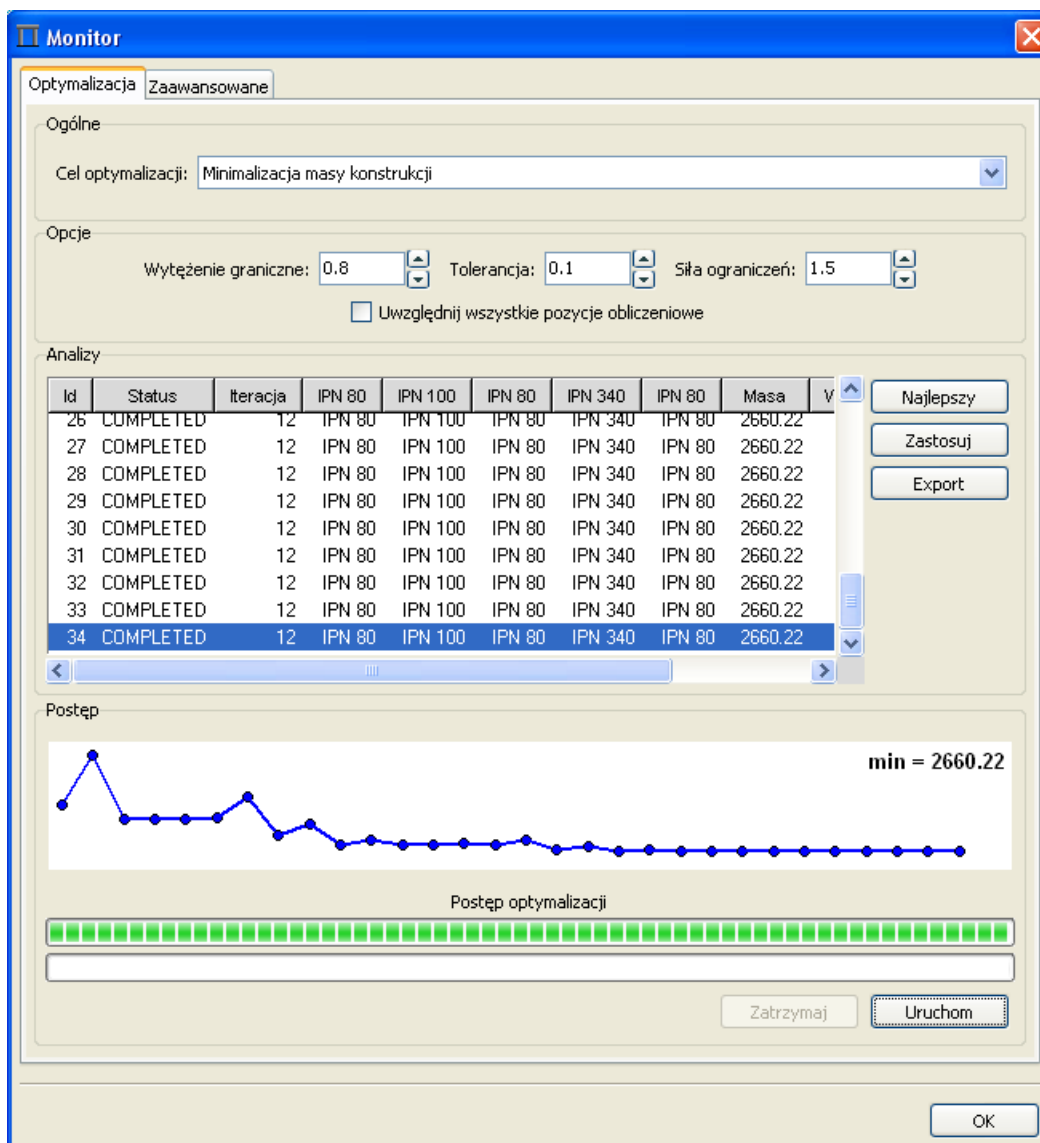
Optymalizacja uruchomiona zostaje po wciśnięciu przycisku **Uruchom**. Do momentu zakończenia/przerwania optymalizacji nie można zamykać monitora procesu. W trakcie optymalizacji w obszarze **Analizy** wyświetlane są wszystkie wykonane próby wraz z konfiguracją zmiennych projektowych, masą oraz wyłączeniem. Dodatkowo wyświetlany jest w postaci wykresu postęp optymalizacji (oś pionowa symbolizuje masę). Czerwone punkty oznaczają rozwiązania przekraczające wyłączenie graniczne poza akceptowalną tolerancję. W prawym górnym rogu wyświetlana jest najniższa masa dla konstrukcji o akceptowalnym wyłączeniu.

Po zakończeniu analizy program automatycznie zaznacza najlepsze rozwiązanie na liście. Wciśnięcie przycisku **Zastosuj** w polu **Analizy** powoduje przebudowę modelu dla konfiguracji zmiennych dla zaznaczonego rekordu.

Uwaga! Algorytmy optymalizacji realizują proces który w pewnym zakresie jest stochastyczny i mogą zwracać różne wyniki przy kilkukrotnym uruchomieniu. Optymalizację należy przeprowadzić kilkukrotnie i wybrać wynik najlepszy.



## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT



Rysunek 7.4: Monitor procesu optymalizacji

## 8 Linie wpływu

### 8.1 Informacje wstępne



Wyznaczenie linii wpływu sił przekrojowych i naprężeń. Generowanie linii wpływu jest konieczne w przypadku obciążeń, które mogą zmieniać swoje położenie. Moduł pozwala na bardzo łatwe i wygodne tworzenie linii wpływu dla dowolnego przekroju i obszaru dopuszczalnego położenia siły. Wyniki prezentowane są dla wszystkich sił przekrojowych oraz naprężeń w formie graficznej z możliwością odczytu wartości w dowolnym punkcie układu.

Rozszerzeniem funkcjonalności modułu jest możliwość wygenerowania linii wpływu z uwzględnieniem efektów drugiego rzędu oraz wyłączania się z pracy ściskanych cięgien.

Moduł w szczególności umożliwia:

- w zakresie obliczeń:
  - wyznaczenie linii wpływu dla sił przekrojowych (N, T, M) oraz naprężeń,
  - wybór siły skupionej lub momentu skupionego,
  - ustalenie rozpatrywanego przekroju w dowolnym punkcie konstrukcji,
  - wybór prętów po których może poruszać się siła,
- w zakresie obsługi przeglądania wyników:
  - wygodną definicję zadania - w całości w jednym oknie,
  - możliwość zwiększenia/zmniejszenia dokładności obliczeń (znaczące przyśpieszenie rozwiązywania problemu),
  - wizualizację wyników (wykresy) z zaznaczeniem rozpatrywanego przekroju i prętów po których porusza się siła,
  - odczyt wyników w dowolnym punkcie konstrukcji,
  - przeskalowanie wykresów.


### 8.2 Definicja zadania

W momencie wyboru analizy typu 'Linia wpływu' (ikona  lub  w pasu narzędziowym) pojawia się okno dialogowe umożliwiające definicję podstawowych parametrów zadania:

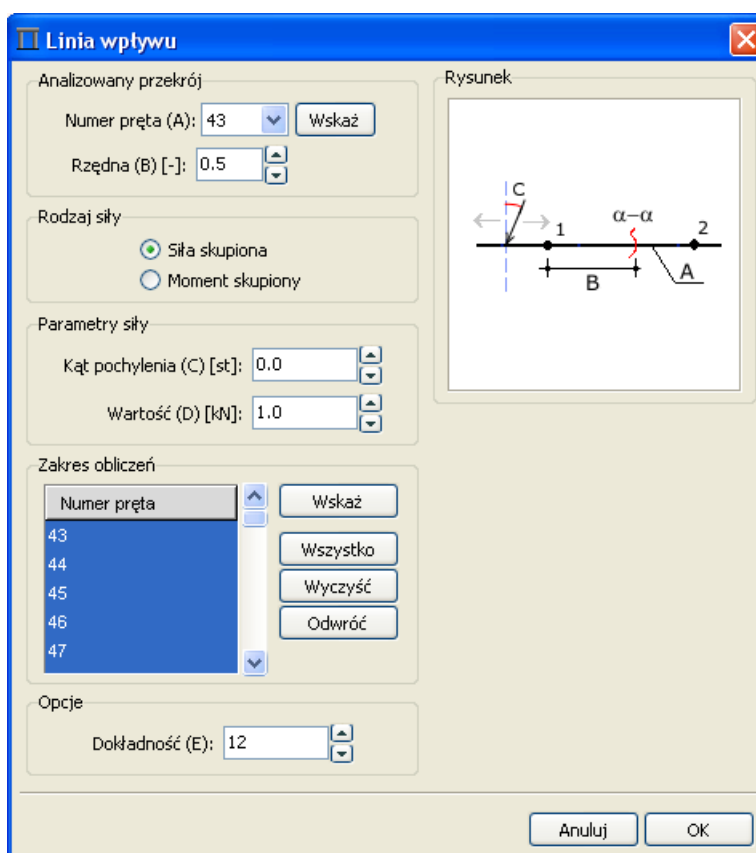
- analizowany przekrój – wskazanie numeru pręta (można wskazać pręt w obszarze roboczym, przycisk **Wskaż**) oraz rzędnej przekroju dla której ma być sporządzona linia wpływu,
- rodzaj siły – definicja rodzaju obciążenia; program umożliwia sporządzenie linii wpływu zarówno dla siły skupionej jak i momentu skupionego,
- parametry siły – podstawowe cechy obciążenia; program umożliwia sporządzenie linii wpływu dla siły/momentu o dowolnej wartości oraz, w przypadku siły skupionej, dla dowolnego

pochylenia,

- zakres obliczeń – oznacza pręty po których może poruszać się siła; w przypadku analizy liniowej domyślnie zaznaczone są wszystkie elementy, w przypadku analizy nieliniowej należy wybrać zakres samodzielnie (istnieje możliwość wskazania zakresu w obszarze roboczym, przycisk **Wskaż**),
- dokładność – oznacza ilość punktów dla w których przyłożona zostanie siła, aby sporządzić wykres linii wpływu; w przypadku analizy nieliniowej, ze względu na czasochłonność obliczeń, zaleca się znaczące ograniczenie dokładności.

Aby zmienić konfigurację zadania należy wybrać **Wprowadź dane dla linii wpływu** (ikona ). Funkcja wywoła ponownie opisanę powyżej okno konfiguracji.

Uwaga! Przy sporządzaniu linii wpływu wszystkie pozostałe obciążenia (w tym również ciężar własny) są ignorowane.



Rysunek 8.1: Definicja zadania dla linii wpływu

### 8.3 Przeglądanie wyników









Dostępne są dwie formy prezentacji wyników: wykresy oraz wyświetlanie wartości dla wskazanego punktu. W celu utworzenia wykresu należy wywołać jedną z dostępnych w pasku narzędziowym funkcji (patrz tabela poniżej). Wykres można skalować przy użyciu funkcji **Zmień skalę wykresu**. Aby odczytać wyniki dla rzędnej należy wybrać funkcję **Pobierz wartość w punkcie**, a następnie wskazać

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

pręt i rzędną.

Przy wejściu w tryb przeglądania wyników domyślnie uruchamiana jest funkcja **Pobierz wartość w punkcie**. Jej ponowne wywołanie jest również możliwe poprzez użycie **2xLPM** gdy kursor znajduje się nad prętem.

Funkcje dostępne w module linia wpływu:

|   |  |
|---|--|
|  | Wprowadź dane dla linii wpływu                         |
|  | Linia wpływu dla sił normalnych                        |
|  | Linia wpływu dla sił tnących                           |
|  | Linia wpływu dla momentów zginających                  |
|  | Linia wpływu dla naprężeń w dolnych włóknach przekroju |
|  | Linia wpływu dla naprężeń w górnych włóknach przekroju |
|  | Pobierz wartość w punkcie                              |
|  | Zmień skalę wykresu                                    |

## 9 Stateczność (problem własny)

### 9.1 Informacje wstępne

Wyznaczenie obciążenia krytycznego i postaci utraty stateczności. Moduł jest niezwykle przydatny w konstrukcjach zagrożonych utratą stateczności. Pozwala określić obciążenie krytyczne dla dowolnej geometrii, warunków podparcia oraz obciążenia układu. Siła krytyczna może zostać ponadto użyta do wyznaczenia współczynników długości wyboczeniowej. Wyniki prezentowane są w formie graficznej z możliwością odczytu wartości w poszczególnych punktach.

Moduł stateczność (problem własny) w szczególności umożliwia:

- w zakresie obliczeń:
  - określenie mnożnika krytycznego dla aktualnie zdefiniowanego obciążenia,
  - określenie postaci utraty stateczności,
- w zakresie przeglądania wyników:
  - wizualizację trzydziestu pierwszych postaci utraty stateczności (przeglądanie sekwencyjne lub wybór po numerze),
  - odczyt unormowanego wektora przemieszczenia dla poszczególnych punktów konstrukcji,
  - lustrzane odbicie postaci utraty stateczności.

### 9.2 Definicja zadania

Uwaga! Przy obliczaniu stateczności wszystkie obciążenia (w tym również ciężar własny) są uwzględniane.

Uwaga! Przy obliczaniu stateczności nie można stosować obciążenia reakcjami.

Uwaga! Przy obliczaniu stateczności nie można stosować wymuszania dla węzłów.






### 9.3 Przeglądanie wyników

Dostępne są dwie formy prezentacji wyników: wykresy prezentujące postać utraty stateczności (ew. drgań własnych) oraz wyświetlanie wartości uogólnionego przemieszczenia dla wskazanego punktu. W celu utworzenia wykresu należy wywołać jedną z dostępnych w pasku narzędziowym funkcji (patrz tabela poniżej). Aby odczytać wyniki dla rzędnej należy wybrać funkcję **Pobierz wartość w punkcie**, a następnie wskazać pręt i rzędną.

Przy wejściu w tryb przeglądania wyników domyślnie uruchamiana jest funkcja **Pobierz wartość w punkcie**. Jej ponowne wywołanie jest również możliwe poprzez użycie 2xLPM gdy kursor znajduje się nad prętem.

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

Funkcje dostępne w module linia wpływu:

|   |   |
|---|---|
|  | Pokaż następną postać   |
|  | Pokaż wskazaną postać (możliwość wyboru pierwszych trzydziestu) |
|  | Pokaż poprzednią postać   |
|  | Pobierz wartość w punkcie                                       |
|  | Odwróć wykres   |

## 10 Dynamika (drgania własne)

### 10.1 Informacje wstępne

Określenie częstości i postaci drgań własnych. Znajomość charakterystyki dynamicznej układu jest kluczowa w przypadku drgań generowanych przez wentylatory lub inne urządzenia przemysłowe. Modyfikacja (strojenie) konstrukcji w celu zwiększenia różnicy między częstością wymuszenia, a częstością drgań własnych jest niezbędnym etapem projektowania, który może zostać wykonany w tym module.

Moduł w szczególności umożliwia:

- w zakresie obliczeń:
  - określenie częstości drgań własnych dla aktualnie zdefiniowanego układu,
  - określenie postaci drgań własnych,
- w zakresie przeglądania wyników:
  - wizualizację trzydziestu pierwszych częstości drgań własnych (przeglądanie sekwencyjne lub wybór po numerze),
  - odczyt unormowanego wektora przemieszczenia dla poszczególnych punktów konstrukcji,
  - lustrzane odbicie postaci drgań własnych.

### 10.2 Definicja zadania

Uwaga! Przy obliczaniu drgań własnych nie można stosować wymuszania dla węzłów.

Uwaga! Przy obliczaniu drgań własnych uwzględniane są tylko obciążenia typu 'Masa skupiona' (patrz 3.11.3).

### 10.3 Przeglądanie wyników

Analogicznie jak dla stateczności (patrz 9.3).

## 11 Przykłady raportów dla reguł wymiarowania

### 11.1 Przykład raportu dla „Element żelbetowy wg PN-B-03264:2002”

#### Informacje o elemencie

Nazwa/Opis: element nr 5 (belka) - Brak opisu elementu.

Węzły: 23 (x=6.000m, y=18.000m); 9 (x=18.000m, y=18.000m)

Profil: Pr 350x900 (Beton C30/37)

#### Zbrojenie podłużne (RB 400 (A-III))

Krawędź 1 - 12 $\phi$ 28; od L1=0.00m do L2=12.00m

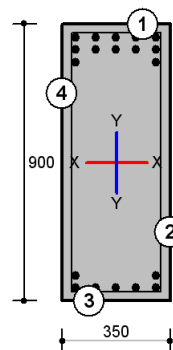
Krawędź 3 - 7 $\phi$ 28; od L1=0.00m do L2=12.00m

#### Strzemiona (St0S-b (A-0))

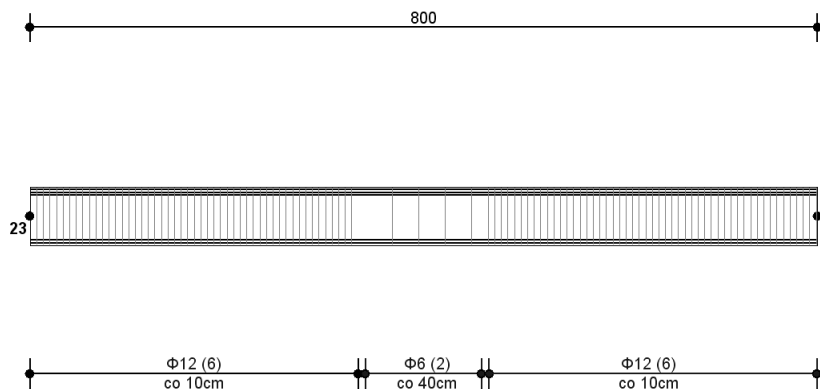
Odcinek 1 od x1/L=0.00 do x2/L=0.42: (Y-Y) 6 $\phi$ 12 (X-X) 2 $\phi$ 6 co 10cm

Odcinek 2 od x1/L=0.43 do x2/L=0.58: (Y-Y) 2 $\phi$ 6 (X-X) 2 $\phi$ 6 co 40cm

Odcinek 3 od x1/L=0.57 do x2/L=1.00: (Y-Y) 6 $\phi$ 12 (X-X) 2 $\phi$ 6 co 10cm



#### Widok elementu



**Całkowite wyężenie elementu: 92%**

Zbrojenie główne: 86 %

Ścinanie: 92 %



## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

Zbrojenie główne (ściananie): 90 %

Rysy prostopadłe: 32 %

Rysy ukośne: 8 %

Smukłość: 0 %

Ugięcia: 32 %

Zbrojenie minimalne: 0 %

Rozstaw strzemion: 0 %

### Wyniki w punktach charakterystycznych

| Nr | Rzędna | Obwiednia | Warunek                      | Wyteżenie |
|----|--------|-----------|------------------------------|-----------|
| 0  | 0.000  | min Mx    | Zbrojenie główne (ściananie) | 90.1 %    |
| 1  | 0.000  | min Ty    | Ściananie                    | 24.1 %    |
| 2  | 0.000  | max N     | Zbrojenie główne (ściananie) | 75.5 %    |
| 3  | 0.000  | max Ty    | Zbrojenie główne (ściananie) | 90.1 %    |
| 4  | 0.000  | min N     | Zbrojenie główne (ściananie) | 50.0 %    |
| 5  | 0.000  | max Mx    | Ściananie                    | 24.1 %    |
| 6  | 0.167  | min Mx    | Ściananie                    | 55.7 %    |
| 7  | 0.167  | min Ty    | Ściananie                    | 55.5 %    |
| 8  | 0.167  | max N     | Ściananie                    | 44.2 %    |
| 9  | 0.167  | max Ty    | Ściananie                    | 55.8 %    |
| 10 | 0.167  | min N     | Ściananie                    | 70.2 %    |
| 11 | 0.167  | max Mx    | Ściananie                    | 55.5 %    |
| 12 | 0.333  | min Mx    | Ściananie                    | 51.7 %    |
| 13 | 0.333  | min Ty    | Ściananie                    | 24.3 %    |
| 14 | 0.333  | max N     | Ściananie                    | 85.0 %    |
| 15 | 0.333  | max Ty    | Zbrojenie główne (ściananie) | 38.7 %    |
| 16 | 0.333  | min N     | Ściananie                    | 54.5 %    |
| 17 | 0.333  | max Mx    | Ściananie                    | 78.2 %    |
| 18 | 0.500  | min Mx    | Ściananie                    | 24.8 %    |
| 19 | 0.500  | min Ty    | Zbrojenie główne             | 26.1 %    |
| 20 | 0.500  | max N     | Zbrojenie główne             | 60.1 %    |
| 21 | 0.500  | max Ty    | Ściananie                    | 31.4 %    |
| 22 | 0.500  | min N     | Ściananie                    | 24.0 %    |
| 23 | 0.500  | max Mx    | Zbrojenie główne             | 60.4 %    |
| 24 | 0.667  | min Mx    | Ściananie                    | 38.2 %    |
| 25 | 0.667  | min Ty    | Ściananie                    | 92.0 %    |
| 26 | 0.667  | max N     | Ściananie                    | 85.0 %    |
| 27 | 0.667  | max Ty    | Zbrojenie główne             | 25.7 %    |
| 28 | 0.667  | min N     | Zbrojenie główne             | 21.5 %    |
| 29 | 0.667  | max Mx    | Zbrojenie główne             | 54.2 %    |
| 30 | 0.833  | min Mx    | Ściananie                    | 48.7 %    |
| 31 | 0.833  | min Ty    | Ściananie                    | 49.2 %    |

|    |       |        |                             |        |
|----|-------|--------|-----------------------------|--------|
| 32 | 0.833 | max N  | Ścinanie                    | 44.2 % |
| 33 | 0.833 | max Ty | Ścinanie                    | 30.9 % |
| 34 | 0.833 | min N  | Ścinanie                    | 36.9 % |
| 35 | 0.833 | max Mx | Ścinanie                    | 30.8 % |
| 36 | 1.000 | min Mx | Zbrojenie główne (ścinanie) | 82.1 % |
| 37 | 1.000 | min Ty | Zbrojenie główne (ścinanie) | 79.8 % |
| 38 | 1.000 | max N  | Zbrojenie główne (ścinanie) | 75.5 % |
| 39 | 1.000 | max Ty | Ścinanie                    | 91.3 % |
| 40 | 1.000 | min N  | Ścinanie                    | 19.6 % |
| 41 | 1.000 | max Mx | Ścinanie                    | 91.2 % |
| 42 | 0.480 | max v  | Ugięcia                     | 32.1 % |

## Wyniki szczegółowe

### Zbrojenie minimalne

Zbrojenie minimalne dla elementu rozciąganego:

$$A_{s1,min} = 0.002 bh = 0.002 \cdot 35.0 \cdot 90.0 = 6.3 \text{ cm}^2 < 43.1 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2,min} = 0.002 bh = 0.002 \cdot 35.0 \cdot 90.0 = 6.3 \text{ cm}^2 < 73.9 \text{ cm}^2$$

Minimalne (sumaryczne) pole zbrojenia dla elementu ściskanego:

$$A_{s,min} = 0.15 \frac{N_{sd}}{f_{yd}} = 0.15 \frac{34.0}{35.0} = 0.1 \text{ cm}^2 < 117.0 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0.003 A_c = 0.003 \cdot 31.5 = 9.5 \text{ cm}^2 < 117.0 \text{ cm}^2$$

Minimalne (sumaryczne) pole zbrojenia ze względu na rysy:

$$A_{s,min} = k_c k_f f_{ct,eff} \frac{A_{ct}}{\sigma_{s,lim}} = \frac{0.4 \cdot 1.0 \cdot 0.29 \cdot 1575.0}{16.0} = 11.4 \text{ cm}^2 < 43.1 \text{ cm}^2 = A_{s1}$$

### Długość wyboczeniowa

Współczynniki długości wyboczeniowej przyjęto wg Tablicy C.1.

Klasyfikacja: Słupy w wielokondygnacyjnych budynkach szkieletowych ze stropami o konstrukcji monolitycznej lub zespolonej - budynki, w których siły poziome przenoszone są przez szkielet o węzłach sztywnych z tym, że szerokość budynku jest nie mniejsza niż 1/3 jego wysokości, liczba naw jest nie mniejsza od dwóch, a sztywność rygla (w obydwu kierunkach) jest mniejsza niż sztywność słupów (rysunek C. 1b PN-B-03264).

Przyjęto:  $\beta_x = 1.000$   $\beta_y = 1.000$  oraz  $l_{col} = 12.000 \text{ m}$

### Mimośród początkowy i wpływ smukłości

Przekrój:  $x/L = 0.000$ ,  $L = 0.00 \text{ m}$ ; Kombinacja: min Mx

Kierunek Y - Y

Mimośród niezamierzony:

$$e_{a,y} = \max \left[ \frac{l_{col}}{600} \left( 1 + \frac{1}{n} \right), \frac{h}{30}, 10.0 \right] = \max \left[ \frac{12.0}{600} \left( 1 + \frac{1}{1} \right), \frac{900.0}{30}, 10.0 \right] = 40.0 \text{ mm}$$

Minimalny moment zginający:  $M_{Sd,x,min} = e_{a,y} \cdot N_{Sd,max} = 0.040 \cdot 73.222 = 2.9 \text{ kNm}$

Mimośród konstrukcyjny:

$$e_{e,y} = \left| \frac{M_{Sd}}{N_{Sd}} \right| = \left| \frac{-1703.6 \cdot 10^3}{-15.8} \right| = 107816.2 \text{ mm}$$

Siła krytyczna:

$$N_{crit,y} = \frac{9}{l_0^2} \left[ \frac{E_{cm} I_c}{2 k_{lt}} \left( \frac{0.11}{0.1 + \frac{e_0}{h}} + 0.1 \right) + E_s I_s \right]$$

$$N_{crit,y} = \frac{9}{12000^2} \left[ \frac{32000 \cdot 21262500000}{2 \cdot 2.000} \left( \frac{0.11}{0.1 + 99999.00} + 0.1 \right) + 200000 \cdot 1723246458 \right] = 22604 \text{ kN}$$

gdzie przyjęto:

$$- k_{lt} = 1 + 0.5 \frac{N_{sd,lt}}{N_{Sd}} \cdot \varphi(\infty, t_0) = 1 + 0.5 \cdot 1.000 \cdot 2.000 = 2.000$$

$$- e_0/h = \max \left( \frac{e_0}{h}, 0.5 - 0.01 \frac{l_0}{h} - 0.01 f_{cd}, 0.05 \right) = \max(99999.00, 0.17, 0.05) = 99999.00$$

Mimośród całkowity z uwzględnieniem wpływu smukłości:

$$e_{tot,y} = \frac{1}{1 - \frac{N_{Sd}}{N_{crit,y}}} (e_{a,y} + e_{e,y}) = \frac{1}{1 - \frac{15.8}{22603.7}} (40.0 + 107816.2) = 107931.7 \text{ mm}$$

Moment obliczeniowy z ew. uwzględnieniem wpływu smukłości:

$$M_{Sd,x} = |N| \cdot e_{tot,y} \cdot \text{sign}(M_{Sd,x}) = |-15.8| \cdot 107.932 \cdot \text{sign}(-1703.6) = -1705.4 \text{ kNm}$$

### Zbrojenie główne (85.6 %)

Przekrój:  $x/L=0.000$ ,  $L=0.00\text{m}$ ; Kombinacja: *min Mx*

Dane:  $\alpha_{cc}=0.85$ ,  $x_{eff}=38.9\text{cm}$ ,  $a_1=7.0\text{cm}$ ,  $d=82.2\text{cm}$

Nośność przy ściskaniu/rozciąganiu:

$$\min N_{Rd} = -3541.3 \text{ kN} < -15.8 \text{ kN} = N_{Sd}$$

$$\max N_{Rd} = 787.9 \text{ kN} > -15.8 \text{ kN} = N_{Sd}$$

Nośność przy zginaniu:

$$M_{Rd} = 1991.9 \text{ kNm} > 1705.4 \text{ kNm} = M_{Sd}$$

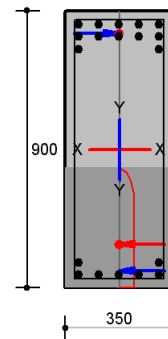
Odkształcenia:

$$\epsilon_{s1} = -0.00169 > -0.0100$$

$$\epsilon_{cu} = 0.00142 < 0.0035$$

$$\epsilon_c = 0.00002 < 0.0020$$

$x/L=0.000$  (min Mx)



### Zbrojenie główne (ściananie) (90.1 %)

Przekrój:  $x/L=0.000$ ,  $L=0.00\text{m}$ ; Kombinacja: *max Ty*

Siły przekrojowe:  $N_{Sd} = -25.2 \text{ kN}$ ,  $M_{Sd} = 1672.2 \text{ kNm}$ ,  $V_{Sd} = 713.4 \text{ kN}$

Przyrost siły w zbrojeniu głównym:  $\Delta F_{td} = 0.5 V_{Sd} \cot \theta = 0.5 \cdot 713.4 \cdot 1.000 = 356.7 \text{ kN}$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:  $F_{td} = \epsilon_{s1} A_{s1} E_s = 0.00154 \cdot 73.89 \cdot 20000.0 = 2280.9 \text{ kN}$

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

Maksymalna siła w zbr. rozciągany na długości elementu:  $\max F_{td} = 2330.1 \text{ kN}$

Warunek nośności:  $\min(F_{td} + \Delta F_{td}, \max F_{td}) = 2330.1 \text{ kN} < 2586.2 \text{ kN} = A_{sl} f_{yd} = 73.89 \cdot 35.0$

### Ścinanie (92.0 %)

Przekrój:  $x/L=0.667$ ,  $L=8.00\text{m}$ ; Kombinacja:  $\min T_y$

Weryfikacja zbrojenia strzemionami dla siły tnącej: Y-Y

Pochylenie betonowych krzyżulców:  $\cot \theta = 1.000$

Nośność obliczeniowa ze względu na rozciąganie betonowych krzyżulców:

$$V_{Rd1} = [0.35 k f_{ctd} (1.2 + 40 \rho_L) + 0.15 \sigma_{cp}] b_w d$$

$$V_{Rd1} = [0.35 \cdot 1.000 \cdot 0.13 (1.2 + 40 \cdot 0.01458) + 0.15 \cdot 0.007] \cdot 35.0 \cdot 84.5 = 248.6 \text{ kN}$$

$$V_{Rd1} = 248.6 \text{ kN} > 228.7 \text{ kN} = V \rightarrow \text{odcinek pierwszego rodzaju}$$

gdzie przyjęto:

–  $k = 1.000$  (do podpory doprowadzono więcej niż 50% rozciąganego zbrojenia)

$$\rho_L = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{43.10}{35.0 \cdot 84.5} = 0.01458$$

Nośność obliczeniowa ze względu na ściskanie betonowych krzyżulców:

$$V_{Rd2} = 0.5 v f_{cd} b_w z = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 2.00 \cdot 35.0 \cdot 75.1 = 1388.4 \text{ kN}$$

gdzie przyjęto:

$$v = 0.6 \left(1 - f_{ck}/250\right) = 0.6 \left(1 - 30.0/250\right) = 0.528$$

Korekta ze względu na siłę ściskającą:

$$V_{Rd2, red.} = \alpha_c V_{Rd2} \rightarrow \alpha_c (\sigma_{cp}) = \alpha_c (0.073) = 1.004 \text{ MPa} \rightarrow V_{Rd2, red.} = 1393.5 \text{ kN}$$

Warunki nośności:

$$V_{Rd1} = 248.6 \text{ kN} > 228.7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd2} = 1393.5 \text{ kN} > 228.7 \text{ kN}$$

### Rysy prostopadłe (31.9 %)

Przekrój:  $x/L=0.500$ ,  $L=6.00\text{m}$ ; Kombinacja:  $\max M_x$

Średni rozstaw rys:

$$S_{rm} = 50 + 0.25 k_1 k_2 \frac{\varphi}{\rho_r} = 50 + 0.25 \cdot 0.800 \cdot 0.500 \frac{28.0}{0.0925} = 80.3 \text{ mm}$$

gdzie przyjęto:

–  $k_1 = 0.800$  (pręty żebrowane),  $k_2 = 0.500$  (ściskanie lub/i zginanie),

– efektywny stopień zbrojenia:  $\rho_r = A_s / A_{ct, eff} = 43.1 / 466.2 = 0.0925$

Średnie odkształcenie zbrojenia rozciąganego:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[ 1 - \beta_1 \beta_2 \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] = \frac{188.0}{200000.0} \left( 1 - 1.000 \cdot 1.000 \cdot 0.234^2 \right) = 0.000889$$

gdzie przyjęto:

–  $\beta_1 = 1.000$  (pręty żebrowane),  $\beta_2 = 1.000$  (jednokrotne obciążenie krótkotrwale),

$$\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} = \frac{N_{cr}}{N_{Sd}} = \frac{f_{ctm}}{e/W_c \mp 1/A_c} \frac{1}{N_{Sd}} = \frac{2900.0}{44.1212/0.0489 \mp 1/0.3200} \frac{1}{13.7} = 0.234$$

Obliczeniowa szerokość rys prostopadłych do osi elementu:

$$w_k = \beta s_{rm} \epsilon_{sm} = 1.3 \cdot 80.3 \cdot 0.000889 = 0.10 \text{ mm} < 0.30 \text{ mm} = w_{k, lim.}$$

gdzie przyjęto:

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

- $\beta = 1.3$  (najmniejszy wymiar większy od 300 i mniejszy od 800 mm - wartość interpolowana),

### Rysy ukośne (7.8 %)

Przekrój:  $x/L=1.000$ ,  $L=12.00m$ ; Kombinacja: *min Ty*

Obliczenie rys ukośnych dla siły tnącej: Y-Y

$$\text{Napężenia tnące: } \tau = \frac{V_{sd}}{b_w d} = \frac{524.5}{35.0 \cdot 82.6} = 0.181 \frac{kN}{cm^2} = 1.814 MPa$$

$$\text{Stopień zbrojenia strzemionami: } \rho_w = \frac{A_{swl}}{s_1 b_w} = \frac{6.8}{10.0 \cdot 35.0} = 0.01939$$

$$\text{Współczynnik } \lambda : \lambda = \frac{\eta \varphi}{3 \rho_w} = \frac{1.0 \cdot 12.0}{3 \cdot 0.01939} = 206.3$$

gdzie przyjęto:

- $\eta = 1.0$  (pręty gładkie)

Obliczeniowa szerokość rys ukośnych:

$$w_k = \frac{4 \tau^2 \lambda}{\rho_w E_s f_{ck}} = \frac{4 \cdot 1.814^2 \cdot 206.3}{0.01939 \cdot 200000.0 \cdot 30.0} = 0.02 mm < 0.30 mm = w_{k,lim.}$$

### Ugięcia (32.1 %)

Przekrój:  $x/L=0.480$ ,  $L=5.76m$ ; Kombinacja: *max v*

Obciążenia: tylko część długotrwała; schemat statyczny elementu: nieokreślony

$$\text{Efektywny moduł sprężystości betonu (6.1): } E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = \frac{32000.0}{1 + 2.000} = 10666.7 MPa$$

Maksymalne ugięcie uzyskano poprzez całkowanie równania linii ugięcia belki z uwzględnieniem pełzania, zarysowania i rzeczywistego rozkładu zbrojenia oraz przebiegu momentów.

Warunek projektowy (kierunek Y-Y):  $a = 19.2 mm < 60.0 mm = a_{lim.}$

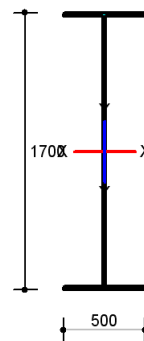
## 11.2 Przykład raportu dla „Element stalowy wg PN-90/B-03200”

### Informacje o elemencie

Nazwa/Opis: element nr 24 (belka) - Brak opisu elementu.

Węzły: 16 (x=6.000m, y=30.000m); 2 (x=18.000m, y=30.000m)

Profil: IKS 1700-12 (Stal St3S)



### Wyniki dla elementu

Całkowite wyężenie elementu: 88%

Napężenia: 51 %

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

Stateczność lokalna: 51 %

Rozciąganie: 1 %

Ściskanie: 15 %

Zginanie: 77 %

Zginanie ze ściskaniem: 88 %

Zginanie ze ścinaniem: 57 %

Ścinanie: 47 %

Środek pod obciążeniem skupionym: 0 %

Środek w złożonym stanie naprężenia: 52 %

Smukłość: 0 %

Stan granicznej użyteczności: 4 %

### Wyniki w punktach charakterystycznych

| Nr | Rzędna | Obwiednia | Warunek                      | Wyężenie |
|----|--------|-----------|------------------------------|----------|
| 0  | 0.000  | min Mx    | Zginanie                     | 76.8 %   |
| 1  | 0.000  | ext M     | Zginanie ze ściskaniem       | 87.7 %   |
| 2  | 0.000  | ext U     | Stan granicznej użyteczności | 0.0 %    |
| 3  | 0.000  | min Ty    | Ścinanie                     | 11.4 %   |
| 4  | 0.000  | max N     | Zginanie                     | 63.4 %   |
| 5  | 0.000  | max Ty    | Zginanie                     | 76.1 %   |
| 6  | 0.000  | min N     | Ścinanie                     | 26.9 %   |
| 7  | 0.000  | max Mx    | Ściskanie                    | 12.3 %   |
| 8  | 0.250  | min Mx    | Zginanie                     | 30.4 %   |
| 9  | 0.250  | ext M     | Zginanie ze ściskaniem       | 87.7 %   |
| 10 | 0.250  | ext U     | Stan granicznej użyteczności | 3.3 %    |
| 11 | 0.250  | min Ty    | Zginanie ze ścinaniem        | 10.8 %   |
| 12 | 0.250  | max N     | Zginanie                     | 28.5 %   |
| 13 | 0.250  | max Ty    | Ścinanie                     | 33.8 %   |
| 14 | 0.250  | min N     | Zginanie ze ścinaniem        | 21.2 %   |
| 15 | 0.250  | max Mx    | Zginanie ze ścinaniem        | 21.6 %   |
| 16 | 0.500  | min Mx    | Ścinanie                     | 19.1 %   |
| 17 | 0.500  | ext M     | Zginanie ze ściskaniem       | 87.7 %   |
| 18 | 0.500  | ext U     | Stan granicznej użyteczności | 3.8 %    |
| 19 | 0.500  | min Ty    | Zginanie ze ścinaniem        | 14.5 %   |
| 20 | 0.500  | max N     | Ścinanie                     | 19.1 %   |
| 21 | 0.500  | max Ty    | Ścinanie                     | 20.4 %   |
| 22 | 0.500  | min N     | Stateczność lokalna          | 24.0 %   |
| 23 | 0.500  | max Mx    | Stateczność lokalna          | 24.4 %   |
| 24 | 0.750  | min Mx    | Ścinanie                     | 7.6 %    |
| 25 | 0.750  | ext M     | Zginanie ze ściskaniem       | 87.7 %   |
| 26 | 0.750  | ext U     | Stan granicznej użyteczności | 2.6 %    |
| 27 | 0.750  | min Ty    | Ścinanie                     | 14.7 %   |

## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

|    |       |        |                              |        |
|----|-------|--------|------------------------------|--------|
| 28 | 0.750 | max N  | Zginanie                     | 17.9 % |
| 29 | 0.750 | max Ty | Zginanie                     | 19.2 % |
| 30 | 0.750 | min N  | Zginanie ze ścinaniem        | 21.2 % |
| 31 | 0.750 | max Mx | Zginanie                     | 26.6 % |
| 32 | 1.000 | min Mx | Ścinanie                     | 28.2 % |
| 33 | 1.000 | ext M  | Zginanie ze ściskaniem       | 87.7 % |
| 34 | 1.000 | ext U  | Stan granicznej użyteczności | 0.0 %  |
| 35 | 1.000 | min Ty | Ścinanie                     | 28.2 % |
| 36 | 1.000 | max N  | Zginanie                     | 29.2 % |
| 37 | 1.000 | max Ty | Zginanie                     | 31.9 % |
| 38 | 1.000 | min N  | Ścinanie                     | 26.9 % |
| 39 | 1.000 | max Mx | Zginanie                     | 34.6 % |

### Wyniki szczegółowe

#### Naprężenia (51.2 %)

Przekrój:  $x/L=0.000$ ,  $L=0.00m$ ; Kombinacja: *min Mx*

Wskaźnik osłabienia (4.1.2, Tablica 5):

$$\text{rozciąganie: } \psi_{ot} = \frac{\min(A_{t\psi}, A_t)}{A_t} = \frac{\min(58.56, 78.08)}{58.56} = 1.000$$

$$\text{ściskanie: } \psi_{oc} = 1$$

$$\text{ścinanie: } \psi_{ov} = \frac{A_{vn}}{A_v} \cdot \frac{0.8R_m}{R_e} = \frac{198.24}{198.24} \cdot \frac{0.8 \cdot 375.0}{225.0} = 1.000$$

Warunek nośności (4.1.2, Tablica 5):

$$\text{rozciąganie: } \sigma_{et} = \frac{\bar{\sigma}}{\psi_{ot}} + \Delta\sigma = \frac{91.8}{1.000} + 0.0 = 91.8 \text{ MPa} < 205.0 \text{ MPa} = f_d$$

$$\text{ściskanie: } \sigma_{ec} = \frac{\bar{\sigma}}{\psi_{oc}} + \Delta\sigma = \frac{91.8}{1.000} + 0.0 = 91.8 \text{ MPa} < 205.0 \text{ MPa} = f_d$$

$$\text{ścinanie: } \tau_e = \frac{\bar{\tau}}{\psi_{ov}} = \frac{29.3}{1.000} = 29.3 \text{ MPa} < 118.9 \text{ MPa} = 0.58 \cdot f_d$$

$$\text{złożony stan: } \sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_e^2} = \sqrt{91.8^2 + 3 \cdot 29.3^2} = 104.9 \text{ MPa} < 205.0 \text{ MPa} = f_d$$

#### Rozciąganie (0.8 %)

Przekrój:  $x/L=1.000$ ,  $L=12.00m$ ; Kombinacja: *max N*

Pole przekroju:  $A_{brutto} = 438.24 \text{ cm}^2$

Oslabienie otworami na łączniki - pole sprowadzone (4.1.2d):

$$A_{\psi} = \min\left(A_{brutto}, A_n \frac{0.8R_m}{R_e}\right) = \min\left(438.24, 438.24 \frac{0.8 \cdot 375.0}{225.0}\right) = 438.24 \text{ cm}^2$$

Przyjęto do obliczeń:  $A = A_{\psi} = 438.24 \text{ cm}^2$

Nośność elementu rozciąganego (4.3.2):

$$N_{Rt} = A f_d = 438.24 \cdot 20.5 = 8983.9 > 73.74 = N$$

### Stateczność lokalna (51.3 %)

Przekrój:  $x/L=0.000$ ,  $L=0.00m$ ; Kombinacja: *min Mx*, (Środek)

$$\text{Smukłość względna ścianki: } \bar{\lambda}_p = \frac{b}{t} \cdot \frac{K}{56} \sqrt{\frac{f_d}{215}} = \frac{1652.0}{12.0} \cdot \frac{0.396}{56} \sqrt{\frac{205.0}{215}} = 0.951$$

$$\text{Wsp. niestateczności miejscowej (Tablica 9 oraz 4.2.2.2): } \varphi_p(\bar{\lambda}_p) = \varphi_p(0.951) = 0.833$$

Warunek stateczności ścianki w jednoosiowym stanie naprężenia (4.2.2.1c):

$$\frac{\sigma_c}{\varphi_p f_d} = \frac{0.8}{0.833 \cdot 205.0} = 0.51 < 1.0$$

### Długość wybozeniowa

Współczynniki długości wybozeniowej przyjęto na podstawie załącznika Z1:

$$\text{– w pł. układu: } \kappa_1 = 0.300 \quad \kappa_2 = 0.300 \quad \kappa_v = 0.000 \quad \rightarrow \quad \mu_x = 0.593 \quad \text{oraz} \quad l_{o,x} = 12.0 \text{ m}$$

$$\text{– w pł. układu: } \kappa_1 = 1.000 \quad \kappa_2 = 1.000 \quad \kappa_v = 0.000 \quad \rightarrow \quad \mu_y = 0.997 \quad \text{oraz} \quad l_{o,y} = 12.0 \text{ m}$$

$$\text{Wybozenie skrętne: } \mu_\omega = 1.000 \quad \text{oraz} \quad l_{o,\omega} = 12.0 \text{ m}$$

### Ściskanie (15.0 %)

Przekrój:  $x/L=0.000$ ,  $L=0.00m$ ; Kombinacja: *min N*

Oslabienie otworami na łączniki - pole sprowadzone (4.1.2d):

$$A = A_\psi = \min \left( A_{brutto}, A_n \frac{0.8 R_m}{R_e} \right) = \min \left( 438.2, 438.2 \frac{0.8 \cdot 375.0}{225.0} \right) = 438.2 \text{ cm}^2$$

$$\text{Wsp. redukcijny nośności wg 4.2.2.3: } \Psi_N = \varphi_p = 0.197$$

$$\text{Nośność obliczeniowa przekroju: } N_{Rc} = \Psi_N A f_d = 0.197 \cdot 438.2 \cdot 20.5 = 1770.4 \text{ kN}$$

Siły krytyczne przy ściskaniu osiowym:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 E J_x}{(\mu_x l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 2136348.8 \text{ cm}^4}{(0.593 \cdot 12.0 \text{ m})^2} = 853599.0 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E J_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 50023.8 \text{ cm}^4}{(0.997 \cdot 12.0 \text{ m})^2} = 7070.9 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{1}{i_s^2} \left[ \frac{\pi^2 E J_\omega}{(\mu_\omega l)^2} + G J_T \right]$$

$$N_{cr,z} = \frac{1}{70.6^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 351122000.0 \text{ cm}^6}{(1.000 \cdot 12.0 \text{ m})^2} + 78846.2 \text{ MPa} \cdot 556.0 \text{ cm}^4 \right] = 10767.3 \text{ kN}$$

$$N_{cr,yz} = \frac{(N_y + N_z) - \sqrt{(N_y + N_z)^2 - 4 N_y N_z (1 - \mu_y^2 / i_s^2)}}{2 (1 - \mu_y^2 / i_s^2)} = \frac{(N_y + N_z) - \sqrt{R}}{2 (1 - \mu_y^2 / i_s^2)}$$

$$R = (7070.9 + 10767.3)^2 - 4 \cdot 7070.9 \cdot 10767.3 (1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 70.633^2) = 13662932.2 \text{ kN}$$

$$N_{cr,yz} = \frac{(7070.9 + 10767.3) - \sqrt{13662932.2}}{2 (1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 70.633^2)} = 7070.9 \text{ kN}$$

Współczynniki wybozeniowe (Tablica 11):



## Podręcznik użytkownika programu Soldis PROJEKTANT

$$\begin{aligned}\bar{\lambda}_x &= 1.15 \sqrt{N_{Rc} / N_{cr,x}} = 1770.4 / 853599.0 = 0.052 \rightarrow \text{krzywa 'b' } \rightarrow \varphi_x(\bar{\lambda}_x) = 1.000 \quad (\text{giętne x-x}) \\ \bar{\lambda}_y &= 1.15 \sqrt{N_{Rc} / N_{cr,y}} = 1770.4 / 7070.9 = 0.575 \rightarrow \text{krzywa 'c' } \rightarrow \varphi_y(\bar{\lambda}_y) = 0.822 \quad (\text{giętne y-y}) \\ \bar{\lambda}_z &= 1.15 \sqrt{N_{Rc} / N_{cr,z}} = 1770.4 / 10767.3 = 0.466 \rightarrow \text{krzywa 'c' } \rightarrow \varphi_z(\bar{\lambda}_z) = 0.883 \quad (\text{skrętne}) \\ \bar{\lambda}_{yz} &= 1.15 \sqrt{N_{Rc} / N_{cr,yz}} = 1770.4 / 7070.9 = 0.575 \rightarrow \text{krzywa 'c' } \rightarrow \varphi_{yz}(\bar{\lambda}_{yz}) = 0.822 \quad (\text{giętno-skrętne})\end{aligned}$$

Przyjęto do obliczeń:  $\varphi = \min(\varphi_i) = 0.822$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$\varphi N_{Rc} = 0.822 \cdot 1770.4 = 1455.0 \text{ kN} > 217.8 \text{ kN} = N$$

### Ścinanie (47.3 %)

*Przekrój: x/L=0.000, L=0.00m; Kombinacja: max Ty*

Przekrój czynny przy ścinaniu:  $A_{v,y} = 198.2 \text{ cm}^2 \quad A_{v,x} = 234.2 \text{ cm}^2$

Wsp. niestateczności przy ścinaniu:

$$\varphi_{pv,y} = \min(1.0, 1/\bar{\lambda}_{p,y}) = \min(1.0, 1/1.920) = 0.521$$

$$\varphi_{pv,x} = \min(1.0, 1/\bar{\lambda}_{p,x}) = \min(1.0, 1/1.000) = 1.000$$

Warunek nośności przy ścinaniu:

$$V_{R,y} = 0.58 \varphi_{pv,y} A_{v,y} f_d = 0.58 \cdot 0.521 \cdot 198.2 \cdot 205.0 = 1227.4 \text{ kN} > 580.8 \text{ kN}$$

$$V_{R,x} = 0.58 \varphi_{pv,x} A_{v,x} f_d = 0.58 \cdot 1.000 \cdot 234.2 \cdot 205.0 = 2785.1 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

### Zwichrzenie

Smukłość względna przy zwichrzeniu:  $\bar{\lambda}_L = 1.15 \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}} = 1.15 \sqrt{\frac{4258.0}{6163.1}} = 0.956$

Współczynnik zwichrzenia wg tab. 11, krzywa a:  $\varphi_L(\bar{\lambda}_L) = 0.738$

### Zginanie (76.8 %)

*Przekrój: x/L=0.000, L=0.00m; Kombinacja: min Mx*

Wsp. redukcyjny nośności wg 4.2.2.3:  $\Psi_{M,x} = \varphi_{p,x} = 0.826 \quad \Psi_{M,y} = \varphi_{p,y} = 1.000$

Nośność obliczeniowa przekroju (klasa 4):

$$M_{R,x} = \Psi_{M,x} W_x f_d = 0.826 \cdot 25133.5 \text{ cm}^3 \cdot 205.0 \text{ MPa} = 4258.0 \text{ kNm}$$

$$M_{R,y} = \Psi_{M,y} W_y f_d = 1.000 \cdot 2001.0 \text{ cm}^3 \cdot 205.0 \text{ MPa} = 410.2 \text{ kNm}$$

Wpływ ścinania (4.5.2d,  $V_y = 580.8 \text{ kN} > 368.2 \text{ kN} = 0.3 V_{R,y} = V_0$ ):

$$M_{R,x,v} = M_{R,x} \left[ 1.0 - \frac{I_{x,(v)}}{I_x} \left( \frac{V_y}{V_{R,y}} \right) \right] = QMR_x Q \left[ 1.0 - \frac{QI_{xv}Q}{QI_xQ} \left( \frac{580.8}{QVR_yQ} \right)^2 \right] = QMR_{xv} Q \text{ kNm}$$

Przyjęto do obliczeń:  $M_{R,x} = 4056.9 \text{ kNm} \quad M_{R,y} = 410.2 \text{ kNm}$

Wsp. zwichrzenia:  $\lambda_L = 1.15 \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}} = 1.15 \sqrt{\frac{4258.0}{6163.1}} = 0.956 \rightarrow \text{Tab. 11} \rightarrow \varphi_L(\lambda_L) = 0.738$

Nośność elementu zginanego lub zginanego i rozciąganego (4.5.6):

$$\frac{N_t}{N_{Rt}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{35.6}{8983.9} + \frac{2287.0}{0.738 \cdot 4056.9} + \frac{0.0}{410.2} = 0.77 < 1.0$$

### Zginanie ze ścinaniem (56.8 %)

*Przekrój: x/L=0.000, L=0.00m; Kombinacja: min Mx*

Nośność przekroju zginanego z uwzględnieniem ścinania (4.5.2d):

$$M_{Ry,v} = M_{R,y} \left[ 1.0 - \frac{I_{y,(v)}}{I_y} \left( \frac{V_x}{V_{R,x}} \right) \right] = 410.2 \left[ 1.0 - \frac{12005.2}{50023.8} \left( \frac{0.0}{2785.1} \right)^2 \right] = 410.2 \text{ kNm}$$

Nośność elementu zginanego dwukierunkowo i ścinanego (4.5.6):

$$\frac{N}{N_{Rt}} + \frac{M_x}{M_{Rx,v}} + \frac{M_y}{M_{Ry,v}} = \frac{35.6}{8983.9} + \frac{2287.0}{4056.9} + \frac{0.0}{410.2} = 0.57 < 1.0$$

$$V_{Ry,N} = V_{R,y} \sqrt{1 - (N_t/N_{Rt})^2} = 1227.4 \sqrt{1 - (35.6/8983.9)^2} = 1227.4 \text{ kN} > 580.8 \text{ kN}$$

$$V_{Rx,N} = V_{R,x} \sqrt{1 - (N_t/N_{Rt})^2} = 2785.1 \sqrt{1 - (35.6/8983.9)^2} = 2785.1 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

### Zginanie ze ściskaniem (87.7 %)

Zredukowane momenty zginające:

$$\beta_x M_{x,max} = 1.000 \cdot 2287.0 = 2287.0 \text{ kNm}$$

$$\beta_y M_{y,max} = 1.000 \cdot 0.0 = 0.0 \text{ kNm}$$

Składnik poprawkowy:

$$\Delta_x = \min \left( 0.1, 1.25 \varphi_x \lambda_x^2 \frac{\beta_x M_{x,max}}{M_{Rx}} \frac{N}{N_{Rc}} \right) = \min \left( 0.1, 1.25 \cdot 1.000 \cdot 0.052^2 \frac{2287.0}{4258.0} \frac{217.8}{1770.4} \right) = 0.000$$

$$\Delta_y = \min \left( 0.1, 1.25 \varphi_y \lambda_y^2 \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{Ry}} \frac{N}{N_{Rc}} \right) = \min \left( 0.1, 1.25 \cdot 0.822 \cdot 0.575^2 \frac{0.0}{410.2} \frac{217.8}{1770.4} \right) = 0.000$$

Nośność (stateczność) elementów ściskanych i zginanych:

$$\frac{N}{\varphi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{Ry}} = \frac{217.8}{1.000 \cdot 1770.4} + \frac{2287.0}{0.74 \cdot 4258.0} + \frac{0.0}{410.2} = 0.851 < 1.000 = 1.0 - \Delta_x$$

$$\frac{N}{\varphi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{Ry}} = \frac{217.8}{0.822 \cdot 1770.4} + \frac{0.0}{0.74 \cdot 4258.0} + \frac{0.0}{410.2} = 0.877 < 1.000 = 1.0 - \Delta_y$$

### Środek w złożonym stanie naprężenia (51.8 %)

Przekrój:  $x/L=0.000$ ,  $L=0.00\text{m}$ ; Kombinacja: *min Mx*

Obc. Środka:  $N_w=16.1\text{kN}$   $M_w=482.6\text{kNm}$   $V=580.8\text{kN}$

Nośność obli. środka przy ściskaniu i zginaniu:  $N_{Rw}=800.9\text{kN}$   $M_{Rw}=924.7\text{kNm}$

Nośność obli. środka obc. siłą skupioną:  $P_{Rc}=0.0\text{kN}$

$$\left( \frac{N_w}{N_{Rw}} + \frac{M_w}{M_{Rw}} + \frac{P}{P_{Rc}} \right)^2 - 3 \varphi_p \left( \frac{N_w}{N_{Rw}} + \frac{M_w}{M_{Rw}} \right) \frac{P}{P_{Rc}} + \left( \frac{V}{V_R} \right)^2 = R$$

$$R = \left( \frac{16.1}{800.9} + \frac{482.6}{924.7} + \frac{0.0}{0.0} \right)^2 - 3 \cdot 0.833 \left( \frac{16.1}{800.9} + \frac{482.6}{924.7} \right) \frac{0.0}{0.0} + \left( \frac{580.8}{1227.4} \right)^2 = 0.5 < 1.0$$

### Stan granicznej użyteczności (3.8 %)

Przekrój:  $x/L=0.500$ ,  $L=6.00\text{m}$ ; Kombinacja: *ext U*

Przemieszczenie w kierunku Y-Y (płaszczyzna układu):  $u_y = 1.3 \text{ mm} < 34.3 \text{ mm} = u_{y,lim}$

Przem. w kierunku X-X (prostopadle do pł. układu):  $u_x = 0.0 \text{ mm} < 34.3 \text{ mm} = u_{x,lim}$