



**STAL-3D**

WERSJA 3. X

**WYMIAROWANIE  
PRĘTÓW KONSTRUKCJI STALOWYCH  
WG PN-90/B-03200  
pod kontrolą programu RM-3D**

INSTRUKCJA UŻYTKOWANIA



**BIURO KOMPUTEROWEGO  
WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA**

OPOLE - CZERWIEC 2016



## SPIS TREŚCI

<b>I. UWAGI OGÓLNE .....</b>	<b>I-1</b>
WPROWADZENIE.....	I-1
PRZEZNACZENIE MODUŁU STAL-3D.....	I-2
PODSTAWOWE CECHY UŻYTKOWE MODUŁU STAL-3D .....	I-3
INSTALACJA MODUŁU W KOMPUTERZE .....	I-4
MERYTORYCZNY ZAKRES WYMIAROWANIA .....	I-4
<b>II. ZASADY UŻYTKOWANIA.....</b>	<b>II-1</b>
URUCHOMIENIE MODUŁU .....	II-1
STRATEGIA WYMIAROWANIA.....	II-4
<i>Wymiarowanie pojedynczego pręta .....</i>	<i>II-4</i>
<i>Wymiarowanie grupy prętów .....</i>	<i>II-6</i>
KONTEKSTY WYMIAROWANIA .....	II-11
<i>Przekrój.....</i>	<i>II-11</i>
<i>Długości wyboczeniowe .....</i>	<i>II-12</i>
<i>Łączniki .....</i>	<i>II-16</i>
<i>Zwichrzenie .....</i>	<i>II-17</i>
<i>Stan graniczny nośności - stateczność miejscowa.....</i>	<i>II-20</i>
<i>Naprężenia .....</i>	<i>II-21</i>
<i>Warunek (32).....</i>	<i>II-22</i>
<i>Ściskanie (39).....</i>	<i>II-23</i>
<i>Ścinanie.....</i>	<i>II-25</i>
<i>Zginanie (54).....</i>	<i>II-26</i>
<i>Zginanie ze ścinaniem (55) .....</i>	<i>II-27</i>
<i>Ściskanie ze zginaniem (58) .....</i>	<i>II-28</i>
<i>Środek pod obc. skup. (98).....</i>	<i>II-30</i>
<i>Środek w stanie złoż. (24) .....</i>	<i>II-32</i>
<i>Nośność łączników .....</i>	<i>II-33</i>
<i>Stan graniczny użytkowania .....</i>	<i>II-34</i>
<b>III. TWORZENIE DOKUMENTACJI WYMIAROWANIA - WYDRUKI.....</b>	<b>III-1</b>
UWAGI OGÓLNE .....	III-1
TWORZENIE DOKUMENTU .....	III-2
<b>IV. WSKAZÓWKI DOTYCZĄCE WYMIAROWANIA .....</b>	<b>IV-1</b>
PRĘTY O ZMIENNYM PRZEKROJU (PRĘTY NIEPRYZMATYCZNE) .....	IV-1
PRĘTY O PRZEKROJACH Z Kształowników giętych.....	IV-3



## I. UWAGI OGÓLNE

---

### **Wprowadzenie**

---

Niniejsze opracowanie zawiera podstawowe informacje na temat użytkowania modułu o skrótowej nazwie **STAL-3D** (wersja 2.x-), będącego jednym ze składników pakietu programów do analizy statycznej i kinematycznej oraz wymiarowania przestrzennych konstrukcji prętowych, a opracowanego przez **Biuro Komputerowego Wspomagania Projektowania "CADSiS"**.

Instrukcja nie zawiera szczegółowych opisów korzystania z interfejsu ekranowego (przyciski, okna dialogowe, pola edycyjne, listy i td.), służącego do sterowania programem oraz operowania jego poszczególnymi opcjami i funkcjami ponieważ zagadnienia te są wyjaśnione w podręcznikach i książkach poświęconych eksploracji systemu Windows, a więc są zgodne z konwencjami jakie obowiązują w użytkowaniu zdecydowanej większości aplikacji działających pod systemem Windows.

Przy opracowaniu niniejszej instrukcji położono akcent na opis idei realizacyjnej modułu oraz wyjaśnieniu kluczowych kwestii związanych z zadawaniem danych i interpretacją wyników obliczeń w ramach wymiarowania prętów konstrukcji stalowych.

**STAL-3D** jest następcą znanego i chętnie użytkowanego od kilkunastu lat modułu RM-STAL zintegrowanego z programem RM-WIN do analizy płaskich konstrukcji prętowych. Doświadczenie własne uzyskane przy rozwijaniu modułu RM-STAL oraz liczne sugestie zgłoszone przez jego użytkowników stworzyło podstawę idei realizacyjnej modułu **STAL-3D**.

Przy opracowaniu modułu dołożono wiele starań, aby zachować wszystkie walory modułu RM-STAL, wzbogacając go o aspekty wynikające ze specyfiki konstrukcji przestrzennych. Dzięki temu użytkownicy znający ten moduł dla płaskiej wersji pakietu RM z łatwością przyswoją sobie jego nową formę zarówno w zakresie interfejsu jaki i tworzenia dokumentów zwłaszcza, że wiele opcji i funkcji zostało uproszczonych.

Informacje podane w niniejszej instrukcji dotyczą:

- ✓ **przeznaczenia modułu STAL-3D**
- ✓ **podstawowych cech użytkowych modułu**
- ✓ **instalacji modułu w komputerze**
- ✓ **merytorycznego zakresu wymiarowania**
- ✓ **zasad użytkowania modułu**
- ✓ **tworzenia dokumentacji zadania**
- ✓ **wskazówek na temat wymiarowania**
- ✓ **przykładów**

Większość informacji zawartych w niniejszej instrukcji jest dostępna również poprzez system pomocy dla programu **RM-3D**. Sposób korzystanie z tego systemu pomocy jest typowy dla aplikacji środowiska Windows.

Przy opracowaniu instrukcji przyjęto założenie, że użytkownik posiada wystarczającą wiedzę i doświadczenie w zakresie obliczeń statycznych oraz projektowania konstrukcji stalowych. Dlatego używana w instrukcji terminologia, oznaczenia i pojęcia dotyczące tej tematyki nie są bliżej wyjaśniane. W przypadku jakichkolwiek wątpliwości z tym związanych, należy sięgnąć do odpowiedniej literatury fachowej.

Moduł **STAL-3D** nie jest samodzielną aplikacją systemu Windows, a więc nie może być użytkowany autonomicznie. Jego użytkowanie odbywa się pod kontrolą programu głównego RM-3D.

### **Przeznaczenie modułu STAL-3D**

---

Moduł **STAL-3D** przeznaczony jest do wymiarowania prętów przestrzennych konstrukcji stalowych ściśle wg postanowień i zaleceń normy **PN-90/B-03200 - Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie**, a zakres wymiarowania jest sprecyzowany w dalszej części instrukcji.

Moduł **STAL-3D** jest zintegrowanym składnikiem pakietu programów oznaczonych skrótową nazwą RM3D przeznaczonych do analizy statyczno-kinematycznej oraz wymiarowania przestrzennych konstrukcji prętowych o dowolnym schemacie statycznym.

Integralność modułu **STAL-3D** z programem głównym RM-3D polega na tym, że wyniki analizy statycznej i kinematycznej - dokonywanej przez program RM-3D - dla poszczególnych prętów przekazywane są do modułu w celu sprawdzania normowych warunków stanów granicznych nośności i użytkowania. Oznacza to, że moduł **STAL-3D** nie może być użytkowany jako program autonomiczny. Każda zmiana danych związanych z wymiarowaniem - a mająca wpływ na pracę statyczną całej konstrukcji - np. zmiana przekroju rozmiaru lub kształtu przekroju - powoduje warunkowe (rozstrzygane przez użytkownika) wykonanie analizy statyczno-kinematycznej oraz uaktualnienie wyników obliczeń dla wszystkich warunków wymiarowania prętów stalowych konstrukcji.

Procesem wymiarowania w module **STAL-3D** objęte są tylko pręty, przekrojom których przypisany został materiał z grupy "Stal", a przekroje te spełniają odpowiednie warunki kształtu, pozwalające na określenie ich klas. W przeciwnym razie wymiarowanie pręta za pomocą modułu **STAL-3D** nie będzie możliwe. Jeśli natomiast przekrój pręta odpowiada warunkom innego modułu (innej normy) wymiarowania - będącego pakietu RM3D - to nastąpi jego automatyczne załadowanie i wykonanie obliczeń wg tego modułu.

W przypadku wymiarowania grupy prętów konstrukcji mieszanej, czyli składającej się z prętów o różnych rodzajach materiałów, użytkownik musi dokonać wyboru modułu, który ma być użyty do wykonania analizy związanej z wymiarowaniem.

---

---

**Podstawowe cechy użytkowe modułu STAL-3D**

---

Moduł **STAL-3D** nie jest samodzielnym programem komputerowym, a więc nie może być uruchamiany bezpośrednio w systemie Windows. Jest on ładowany do pamięci komputera i uruchamiany przez program główny RM-3D.

Działanie modułu polega na interakcji z programem głównym RM-3D co oznacza, że program główny przekazuje wszystkie potrzebne dane (pochodzące z analizy statycznej i kinematycznej) do wymiarowania pręta modułowi **STAL-3D** oraz interakcyjnie wykonuje obliczenia statyczne na żądanie modułu, a wynikające z dokonywanych zmian w procesie wymiarowania, mających wpływ na pracę statyczną i kinematyczną konstrukcji.

Do podstawowych cech użytkowych modułu **STAL-3D** należą:

- ✓ *pełna zgodność z wymaganiami i zaleceniami normy PN-90/B-03200,*
- ✓ *wymiarowanie prętów dowolnie złożonych przekrojów jednogalęziowych,*
- ✓ *wymiarowania prętów o przekrojach wielogalęziowych o różnej konfiguracji i rodzaju kształtowników gałęzi,*
- ✓ *automatyczne określanie niektórych aspektów normowych wynikających ze stanu sił przekrojowych w przecie oraz typu jego przekroju,*
- ✓ *automatyczne wskazywanie najbardziej miarodajnego warunku nośności pręta dla "ręcznej" (określanej przez użytkownika) kombinacji grup obciążeń,*
- ✓ *automatyczne wskazywanie najbardziej miarodajnej kombinacji grup obciążeń z punktu widzenia określonego warunku nośności pręta, czyli określanie globalnego stopnia wykorzystania nośności pręta na gruncie wszystkich możliwych i realnych kombinacji grup obciążeń,*
- ✓ *wizualne sygnalizowanie przekroczenia warunków nośności pręta,*
- ✓ *łatwa lokalizacja pręta o najniekorzystniejszym warunku nośności,*
- ✓ *indywidualne i grupowe zadawanie danych wymiarowania*
- ✓ *prostotę posługiwania się jego opcjami i funkcjami,*
- ✓ *graficzną wizualizację danych i wyników obliczeń,*
- ✓ *generowanie tabeli warunków normowych wraz z diagramem stopni wykorzystania nośności prętów konstrukcji z możliwością selekcjonowania i sortowania wg wskazanego klucza,*
- ✓ *całkowitą swobodę tworzenia dokumentacji graficzno-tekstowej dzięki korzystaniu z gotowych arkuszy, opracowanych w konwencji obliczeń ręcznych, automatycznie przesyłanych do zaawansowanych edytorów tekstu (WordPad, MS Word, MS Works, StarOffice, OpenOffice).*

Dzięki tym cechom oraz przyjaznemu interfejsowi moduł **STAL-3D** jest wyjątkowo sprawnym i efektywnym narzędziem warsztatu projektanta konstrukcji w zakresie wymiarowania prętów stalowych konstrukcji przestrzennych, zwłaszcza w przypadku, gdy geometryczna forma konstrukcji uniemożliwia racjonalne wyodrębnienie płaskich schematów prętowych do analizy statyczno-kinematycznej oraz wymiarowania za pomocą narzędzi (metod i programów) 2D.

## **Instalacja modułu w komputerze**

---

Wszystkie potrzebne do instalacji składniki pakietu są dostarczane na płycie kompaktowej, którą należy włożyć do czytnika CD (lub nagrywarki CD) i czekać na wykonanie przez Windows funkcji "autostart". Jeśli z jakiegoś powodu to nie nastąpi, to należy bezpośrednio z CD uruchomić instalator **setup3d.exe**.

Jeśli instalacja dotyczy uaktualnienia (nowej wersji) pakietu RM3D, to zalecane jest dokonanie w pierwszej kolejności deinstalacji poprzedniej (starszej) wersji tego pakietu za pomocą deinstalatora **uninsxxx.exe**, który jest rejestrowany w systemie Windows i umieszczony w folderze docelowym pakietu RM3D wraz z jego plikami.

Instalacja modułu w zasobach komputera dokonywana jest przez instalator pakietu RM-3D (wraz z programem głównym pakietu) i nie wymaga wykonywania dodatkowych zabiegów. Jedynie w trakcie instalacji należy zadbać, aby był zaznaczony odpowiedni składnik pakietu na liście okna instalatora.

Po pomyślnym dokonaniu instalacji katalog docelowy pakietu powinien zawierać plik **rm\_st90.dll** stanowiący bibliotekę procedur i funkcji realizujących proces wymiarowania prętów stalowej konstrukcji przestrzennej. Oprócz tego do podkatalogu **ARKUSZE** kopiowane są pliki szablonów dokumentów w formacie RTF, które służą jako wzorce do tworzenia dokumentacji wymiarowania.

Ponieważ programy pakietu RM-3D są zabezpieczone sprzętowo przed nieuprawnionym kopiowaniem, to w trakcie ich instalacji w komputerze dokonywana jest również rejestracja sterownika kluczy sprzętowych. Ta operacja polega - między innymi - na dokonywaniu odpowiednich wpisów do rejestru systemu Windows, a więc w tym czasie musi on być dostępny, czyli użytkownik komputera powinien mieć uprawnienia administratora. Ponieważ niektóre programy antywirusowe blokują dostęp do rejestru systemu, to na czas instalacji programów pakietu RM-3D wskazane jest ich zamknięcie.

## **Merytoryczny zakres wymiarowania**

---

Przedmiotem procesu wymiarowania dokonywanego przy pomocy modułu **STAL-3D** jest dowolny pręt lub grupa prętów przestrzennej konstrukcji stalowej (wykreowanej w trybie Schemat programu RM-3D) o przekrojach jedno- lub wielogłęziowym, o stałych lub liniowo zmiennych wzdłuż osi pręta wymiarach, któremu został przypisany materiał z grupy "stal". Oznacza to, że przedmiotem wymiarowania mogą być pręty o następujących typach przekrojów:

- ✓ przekroje **składane jednokształtownikowe** wszystkich typów możliwych do zadeklarowania w programie RM-3D,
  - ✓ przekroje **wielogłęziowe** zadeklarowane jako "stalowe - wielogłęziowe",
-



- ✓ przekroje **składane wielokształtownikowe** zbudowane z wielu kształtowników połączonych ze sobą spawami, z wyjątkiem przekrojów zawierających rurę okrągłą,
- ✓ przekroje **wielomaterialowe**, jeśli tzw. *materiałem podstawowym* przekroju jest "stal",
- ✓ przekroje zawierające otwory wprowadzane w trybie definiowania przekroju programu RM-3D.

Dla przekrojów składających się z kilku kształtowników wykonanych z różnych gatunków stali, przyjmowany jest jeden rodzaj stali określony przez *materiał podstawowy* przekroju.

Podczas wymiarowania prętów stalowych kształty będące otworami oraz te, którym przypisano inny materiał niż "stal", są pomijane.

W dalszej części niniejszej instrukcji pod pojęciem przekroju **jednogałęziowego** należy rozumieć, oprócz przekrojów składających się z jednego kształtownika (tzw. składane *jednokształtownikowe*), również przekroje składające się z wielu kształtowników (tzw. składane *wielokształtownikowe*), w których wszystkie kształtowniki są ze sobą połączone spawami. Aby przekroje składane *wielokształtownikowe* mogłyby być dopuszczone do wymiarowania, muszą one spełniać następujące warunki:

- ✓ Nie mogą zawierać żadnego pojedynczego kształtownika, który nie jest połączony co najmniej jednym spawem z pozostałymi kształtownikami przekroju.
- ✓ Nie mogą zawierać kształtowników typu "rura okrągła" i "trójkąt" ponieważ dla tego typu kształtowników norma nie precyzuje sposobu określania smukłości ścianek, co jest konieczne dla ustalenia klasy przekroju.
- ✓ Poszczególne kształtowniki nie mogą się wzajemnie przenikać swoimi powierzchniami.

W przeciwnym razie wymiarowanie pręta nie będzie możliwe.

Dla osiągnięcia właściwego powiązania poszczególnych kształtowników w jednogałęziowym przekroju *wielokształtownikowym* należy posłużyć funkcjami trybu deklarowania przekroju składanego (opcja: Przekroje-Lista Przekrojów...-Edytuj... programu głównego RM-3D).

W tym celu - dla precyzyjnego wzajemnego konfigurowania kształtowników - zaleca się operowanie lokalnym układem odniesienia, znacznikiem punktów konturu kształtownika aktywnego oraz współrzędnymi tego znacznika w układzie lokalnym.

Szczegółowy opis kreowania listy przekrojów jest zawarty w instrukcji użytkownika programu głównego RM-3D.

Podstawą wszelkich obliczeń związanych z wymiarowaniem pręta są:

- ✓ charakterystyka przekroju pręta określana w programie głównym,
- ✓ schemat i geometria pręta oraz jego uwarunkowanie kinematyczne wynikające z jego powiązania z innymi prętami konstrukcji, określane w trybie Schemat programu głównego,

- ✓ wyniki obliczeń statycznych dla obliczeniowych i charakterystycznych wartości obciążeń dostarczanych przez program główny dla kombinacji aktywnych (włączonych do obliczeń) grup obciążeń,
- ✓ wzory i wyrażenia wynikające wprost z postanowień i zaleceń normy PN-90/B-03200.

Zasada działania modułu **STAL-3D** polega na operowaniu tzw. *kontekstami wymiarowania* - właściwymi dla konkretnej sytuacji statycznej i kinematycznej pręta.

Każdy z *kontekstów* odnosi się do konkretnego punktu normy, a jego nazwa robocza nawiązuje do tytułu odpowiadającego mu punktowi normy.

Poniżej wymieniono nazwy wszystkich *kontekstów wymiarowania*, którymi operuje moduł **STAL-3D** w procesie wymiarowania prętów stalowych:

- ✓ **Przekrój**
- ✓ **Długości wyboczeniowe**
- ✓ **Łączniki** (dla prętów o przekrojach wielogąłkowych)
- ✓ **Zwichrzenie**
- ✓ **Stan graniczny nośności, a w nim:**
  - **Stateczność miejscowa (9)**
  - **Naprężenia (Tab. 5)**
  - **Warunek (32)**
  - **Ściskanie (39)**
  - **Ścinanie**
  - **Zginanie (54)**
  - **Zginanie ze ścinaniem (55)**
  - **Ściskanie ze zginaniem (58)**
  - **Środek pod obciążeniem skupionym (98)**
  - **Środek w stanie złożonym (24)**
  - **Nośność łączników** (dla prętów o przekrojach wielogąłkowych)
- ✓ **Stan graniczny użytkowania**

Lista *kontekstów* jest ustalana przez moduł **STAL-3D** automatycznie i nie wszystkie *konteksty wymiarowania* są wykazywane na tej liście, lecz tylko te, które są merytorycznie właściwe dla wymiarowanego pręta, a wynikające z jego stanu pracy statycznej, uwarunkowań kinematycznych, kształtu i charakterystyki geometrycznej przekroju.

Większość *kontekstów wymiarowania* jest dodatkowo opatrzona numerem wzoru związanego z konkretnym warunkiem określonym w normie oraz ewentualnie literałem kombinacji grup obciążeń, dla której został dany *kontekst* ustalony - przy obliczeniach dokonywanych dla obwiedni sił przekrojowych.

Obliczenia wykonywane przez moduł **STAL-3D** nie obejmują takich elementów konstrukcji jak: połączenia, wzmocnienia przekrojów (żebra), styki i oparcia oraz zagadnień związanych ze zmęczeniem materiału i dynamiki konstrukcji.

---

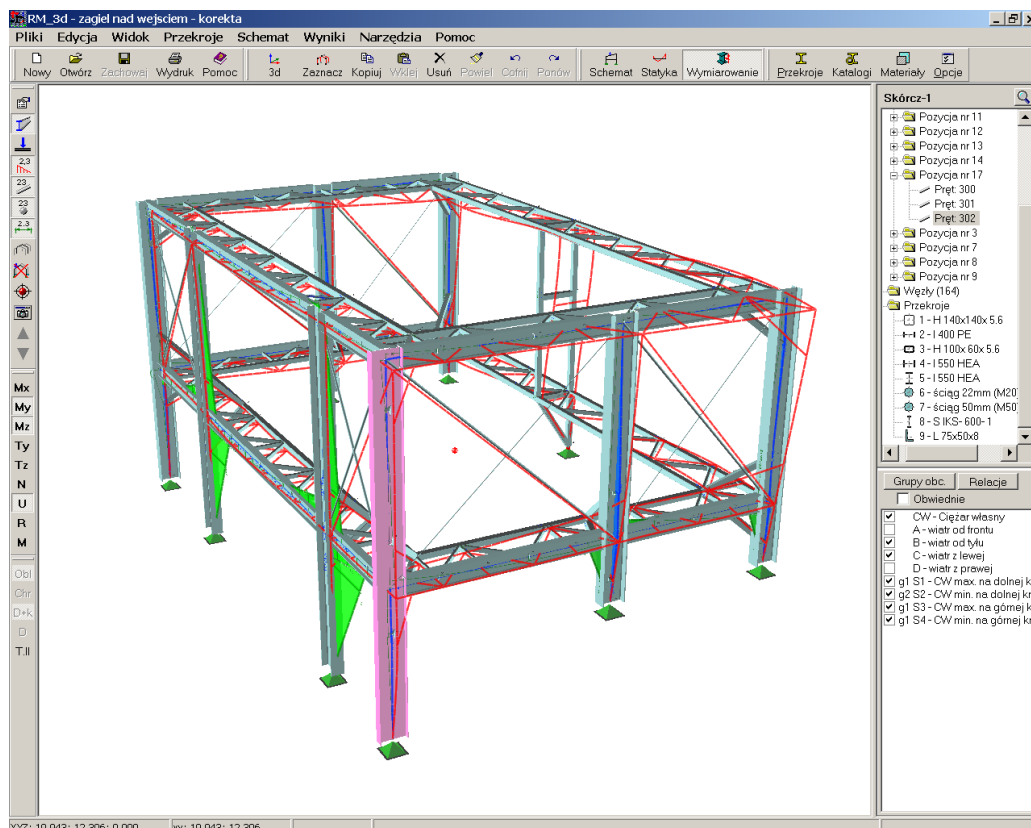
## II. ZASADY UŻYTKOWANIA

Użytkowanie modułu **STAL-3D** do wymiarowania prętów stalowych opiera się na podobnych zasadach jakie obowiązują w innych trybach działania programu głównego RM-3D. Wszelkie operacje związane z procesem wymiarowania prętów konstrukcji wykonywane są w trybie Wymiarowanie programu głównego, a więc dotyczy to również wymiarowania prętów stalowych.

### Uruchomienie modułu

Moduł **STAL-3D** jest uruchamiany w trybie Wymiarowanie programu głównego, a dostępny jest wówczas, gdy możliwe jest wykonanie obliczeń dla modelu konstrukcji przestrzennej, czyli wówczas, gdy model ten jest poprawnie wykreowany pod względem statycznym i kinematycznym.

Po wykreowaniu modelu konstrukcji, tzn. jego geometrii, listy przekrojów i obciążeń, można przejść do wymiarowania poszczególnych prętów. W tym celu należy wybrać z menu głównego programu RM-3D opcję Wyniki/Wymiarowanie lub użyć skrótu Wymiarowanie paska skrótów.



Rys. 1

Jeśli model konstrukcji jest poprawnie wykreowany, a analiza statyczna modelu nie została wcześniej wykonana, to program główny podejmuje akcję wykonania analizy statyczno-kinematycznej.

Analiza może być wykonywana zarówno dla aktualnej (pojedynczej) kombinacji aktywnych grup obciążeń (czyli włączonych na liście panelu Grupy obciążeń) jak i dla tzw. obwiedni wielkości statycznych i kinematycznych będących wynikiem automatycznej kombinatoryki grup obciążeń (patrz: instrukcja użytkownika programu głównego RM-3D). Zależy to od stanu włącznika Obwiednie ulokowanego na panelu Grupy obciążeń.

Po wykonaniu analizy statyczno-kinematycznej następuje przejście w *tryb wymiarowania*. Wówczas w *oknie sceny* (Rys. 1) wyświetlany jest schemat konstrukcji (realistyczny lub kinematyczny) wraz z wykresami (włączonych na pasku narzędzi) wielkości statycznych (sił przekrojowych) lub kinematycznych (przemieszczeń). Jeśli przed uruchomieniem *trybu wymiarowania* został włączony włącznik Obwiednie, to wyświetlane na modelu konstrukcji wykresy są obwiedniami włączonych sił przekrojowych.

Wymiarowanie prętów stalowych przy użyciu modułu **STAL-3D** bazuje na wynikach analizy statyczno-kinematycznej przeprowadzonej dla obliczeniowych oraz charakterystycznych wartości obciążeń (*wartości obliczeniowe* - dla wszystkich warunków stanu granicznego nośności, *wartości charakterystyczne* - dla warunków stanu granicznego użytkowania). Oznacza to, że obliczenia przeprowadzane są niezależnie od stanu włączników pozycji **Obliczeniowe** i **Obc. długotrwałe** opcji menu **Wyniki** - które są niedostępne - a wykresy sił przekrojowych wyświetlanych w *oknie sceny* odpowiadają obciążeniom obliczeniowym.

Oprócz standardowych funkcji paska narzędzi - dostępnych z poziomu okna roboczego opcji, takich jak:



akcja włączania / wyłączania widoku konstrukcji.



akcja włączania i gaszenia numeracji prętów.



akcja włączania i gaszenia numeracji węzłów.



akcja włączania i gaszenia widoku obciążeń.



akcja włączania i gaszenia wartości liczbowych obciążeń.



akcja włączania i gaszenia linii wymiarowych.



akcja kopiowania zawartości okna *sceny* do schowka.



akcja zwiększania skali symboli graficznych *sceny*:



akcja zmniejszania skali symboli graficznych *sceny*:




akcja automatycznego umieszczania widoku modelu całej konstrukcji lub jej wyselekcjonowanego fragmentu w środku okna *sceny*,



akcja ukrywania i ukazywania części modelu konstrukcji.

udostępniane są przyciski związane z *trybem wymiarowania*, a w niej:


-  akcja "ukryj schemat", czyli wyświetlanie schematu modelu konstrukcji w stylu "draft" dla wyeksponowania wykresów sił przekrojowych i ugięć.
- Mx** wyświetlanie / gaszenie wykresu momentów skręcających
- My** wyświetlanie / gaszenie wykresu momentów zginających w płaszczyźnie  $xz$  pręta
- Mz** wyświetlanie / gaszenie wykresu momentów zginających w płaszczyźnie  $xy$  pręta
- Ty** wyświetlanie / gaszenie wykresu sił poprzecznych w płaszczyźnie  $xy$  pręta
- Tz** wyświetlanie / gaszenie wykresu sił poprzecznych w płaszczyźnie  $xz$  pręta
- N** wyświetlanie / gaszenie wykresu sił normalnych (osiowych) pręta
- U** wyświetlanie / gaszenie wykresu ugięć pręta
- R** wyświetlanie / gaszenie wektorów reakcji podpór
- T.II** włączenie / wyłączenie opcji analizy statycznej wg teorii II-go rzędu.

Przyciski **Obl**, **Chr**, **D**, **D+k** w trybie wymiarowania nie są aktywne ponieważ moduł **STAL-3D** autonomicznie i automatycznie zarządza funkcjami związanymi z tymi przyciskami w sposób właściwy dla poszczególnych normowych warunków stanów granicznych.

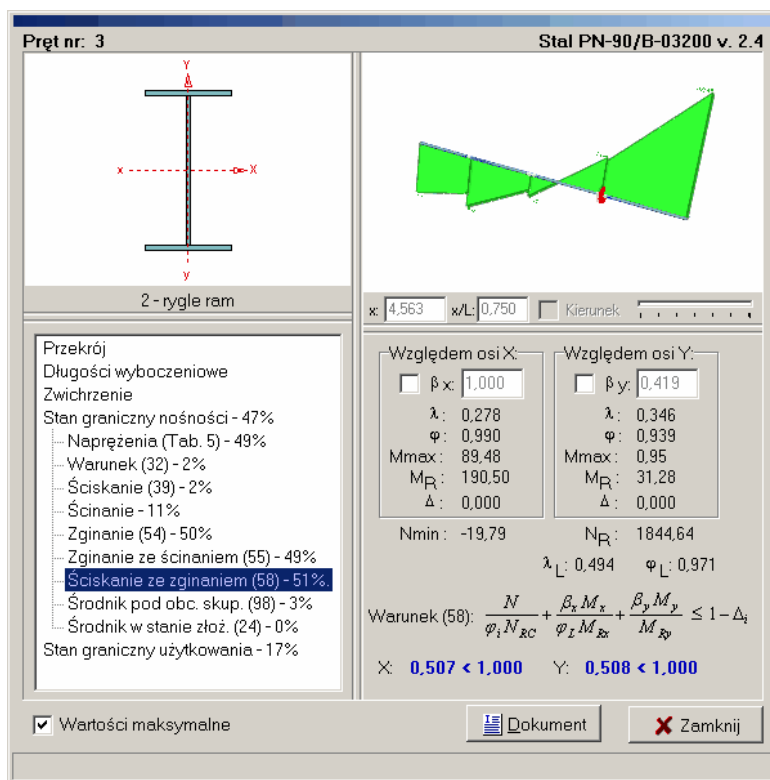
## Strategia wymiarowania

Proces wymiarowania prętów konstrukcji stalowych sprowadza się do interaktywnego zadawania parametrów wymiarowania i sprawdzania warunków stanów granicznych tych prętów. Czynność ta może być dokonywana zarówno w odniesieniu do pojedynczego (dowolnie wybranego) pręta jaki i odpowiednio wyselekcjonowanej grupy prętów oraz dla konkretnej (pojedynczej) kombinacji grup obciążeń jak i dla obwiedni sił przekrojowych i przemieszczeń.

### Wymiarowanie pojedynczego pręta

Odbywa się w *oknie właściwości wymiarowania* (Rys. 2), które pojawia się na tle *okna sceny* po podwójnym kliknięciu na zamierzonym pręcie modelu konstrukcji lub przez wskazanie (zaznaczenie) pręta i włączenie przycisku  paska narzędzi.

Otwarcie okna nie będzie możliwe jeśli przypisany przekrój przydzielony do pręta nie spełnia warunków normowych, a przypisany mu materiał jest inny niż "stal", a zamiast tego pojawi się odpowiedni komunikat informujący o przyczynie braku dostępu do modułu **STAL-3D**.



Rys. 2

Elementy *okna właściwości wymiarowania*:

**Okno przekroju** (ulokowane w lewej górnej części *okna właściwości wymiarowania*) służące do wyświetlania skalowanego rysunku przekroju przypisanego do wymiarowanego pręta.

Akcja podwójnego kliknięcia w obszarze tego okna powoduje otwarcie okna Przekrój (patrz: instrukcja użytkownika do programu RM-3D), co umożliwia dokonanie zamierzonej zmiany przekroju.

Należy przy tym mieć na uwadze to, że dokonane zmiany przekroju (kształtu, wymiarów, materiału) będą dotyczyły wszystkich prętów, którym ten przekrój został przypisany.

Oprócz tego, po uaktywnieniu *okna przekroju* (kliknięciu w jego obszarze) i użyciu klawisza [F9], istnieje możliwość:

- ✓ zwiększania skali rysunku, co polega na "ogarnięciu" prostokątem selekcji zamierzonego fragmentu rysunku,
- ✓ przesuwania rysunku przekroju w obrębie okna za pomocą suwaków, które pojawiają się w sytuacji, gdy rysunek nie mieści w całości w obszarze okna,
- ✓ centrowanie rysunku w oknie, co polega na użyciu kombinacji klawiszy [Ctrl]+[F9].

W zależności od kontekstu wymiarowania (wskazanego na liście kontekstów) rysunek może zawierać (oprócz konturu przekroju) dodatkowe elementy graficzne właściwe dla danego kontekstu, np. ścianki w kontekstach *ścinanie* lub *stateczność miejscowa*.

**Okno schematu pręta** (ulokowane w prawej górnej części *okna właściwości wymiarowania*) zawierające schematyczny rysunek pręta wraz z wykresami włączonych wielkości statycznych. *Okno schematu pręta* ma podobne właściwości do *okna sceny* modelu konstrukcji, a więc ukazany w nim pręt może być poddany operacjom zbliżania, oddalania, przesuwania itd., co stwarza dostęp do wszystkich szczegółów schematu. Ponadto, na osi pręta ukazany jest tzw. *znacznik przekroju* w postaci czerwonego krążka określający położenie przekroju pręta, któremu odpowiadają wyznaczane przez program warunki stanów granicznych. Położenie *znacznika przekroju* może być zmieniane za pomocą:

- ✓ operacji przeciągania, co polega na zbliżeniu kursora myszy do znacznika, uchwyceniu go i przeciągnięciu (ruchem myszki) na zamierzoną pozycję,
- ✓ przesuwaniu suwaka umieszczonego pod *oknem schematu pręta*,
- ✓ zadania bezpośredniej wartości liczbowej w polu edycyjnym x: lub x/L: określającej położenie znacznika na osi pręta.

Wymienione wyżej polecenia nie są możliwe jeśli włączony jest włącznik Wartości ekstremalne, ponieważ w takiej sytuacji program automatycznie określa położenia *znacznika przekroju*, wskazując pozycje, dla których relacja danego warunku stanu granicznego jest najniekorzystniejsza.

**Lista kontekstów wymiarowania** (ulokowana w lewej dolnej części *okna właściwości wymiarowania*), której elementami są tytuły *kontekstów wymiarowania*. Pozycje odpowiadające poszczególnym warunkom stanów granicznych są z prawej strony opatrzone liczbami (wyrażonymi w procentach) określającymi

stopień wykorzystania danego warunku stanu granicznego. Operowanie *listą kontekstów wymiarowania* sprowadza się na wskazywaniu konkretnej pozycji kursorem myszy, a towarzyszy temu ukazanie odpowiedniej grupy kontrolki w *oknie kontekstów wymiarowania*.

W przypadku włączenia włącznika Obwiednie na panelu Grupy obciążeń, relacje dla poszczególnych *kontekstów wymiarowania* są określane na podstawie obwiedni wielkości przekrojowych, a do nazwy każdego *kontekstu wymiarowania* dodawany literał kombinacji grup obciążeń, dla której - odpowiadająca temu kontekstowi relacja - jest najbardziej niekorzystna. Jednocześnie w dolnej części **okna właściwości wymiarowania** pojawia się przycisk wypełniony literałem kombinacji grup obciążeń identyczny z tym, który jest dołączony do nazwy wybranego (zaznaczonego) *kontekstu wymiarowania* na **liście kontekstów**. Użycie tego przycisku spowoduje automatyczne wygenerowanie (włączenie i wyłączenie włączników przy grupach obciążeń na panelu Grup obciążeń), tzw. kombinacji "ręcznej", zgodnej z w/w literałem kombinacji grup obciążeń.

**Okno kontekstów wymiarowania** (ulożone w prawej dolnej części **okna właściwości wymiarowania**), w którym ukazują się elementy sterowania (formanty) służące do zadawania parametrów wymiarowania oraz pola tekstowe do wyświetlania wyników procesu wymiarowania. Zawartość tego okna jest ściśle powiązana z *kontekstem wymiarowania* wskazanym na **liście kontekstów**, a rola poszczególnych elementów jest opisana w dalszej części instrukcji.


**Przycisk Dokument** służy do otwarcia **okna podglądu dokumentu** (w formacie RTF) pozwalającego na zapoznanie się ze szczegółami obliczeń (wzory, podstawienia, wyniki) związanych z poszczególnymi *kontekstami wymiarowania*.

**Włącznik** Wartości maksymalne pozwala na włączenie opcji obliczeń z automatycznym wyznaczeniem najbardziej niekorzystnych relacji dla poszczególnych warunków stanów granicznych. Włączenie tego włącznika powoduje, że program automatycznie określa miejsce ekstremum aktywnego *kontekstu wymiarowania* na osi pręta, czyli dokonuje odpowiedniego ustawienia znacznika przekroju na modelu pręta w **oknie schematu pręta**.

---

### **Wymiarowanie grupy prętów**

---

Odbywa się w **oknie właściwości wymiarowania zbiorczego** (Rys. 3), które pojawia się po włączeniu przycisku  paska narzędzi w sytuacji, gdy wcześniej dokonano selekcji grupy prętów modelu konstrukcji za pomocą operacji opisanych w instrukcji użytkownika programu głównego.

Elementy sterowania oraz pola informacyjne **okna właściwości wymiarowania zbiorczego** są ujęte w dwóch zakładkach:

**Zakładka Dane** (Rys. 3) grupuje wszystkie kontrolki służące do grupowego określania parametrów wymiarowania, a ułożone w sekcjach kojarzących się z poszczególnymi *kontekstami wymiarowania*. Sekcje te zawierają pola edycyjne, włączniki i przełączniki oraz przyciski, za pomocą których możliwe jest bezpośrednio zadawanie wartości lub stanów parametrów wymia-

---



rowania wyselekcjonowanej grupy prętów. Puste pole edycyjne lub nieokreślony stan włączników lub przełączników oznacza, że wielkości lub stany parametrów wymiarowania - odpowiadające tym kontrolkom - różnią się dla poszczególnych prętów grupy. W przeciwnym razie - wartość w danym (nie pustym) polu jest jednakowa dla wszystkich prętów.

Rys. 3

Korzystanie z tej zakładki polega na zadawaniu wartości w polach edycyjnych oraz nadawanie zamierzonych stanów włączników i przełączników w poszczególnych sekcjach zakładki. Wartości i stany niektórych kontrolki mogą nie mieć wpływu na wyniki obliczeń dla prętów, dla których odpowiadające im ustawienia nie mają znaczenia (np. ustawianie stanu wymiarowania wg warunku stateczności miejscowej dla prętów o przekrojach klasy innej niż 4).

**Zakładka Wyniki** (Rys. 4) zawiera tabelę, której wiersze odpowiadają poszczególnym prętom grupy. Poszczególne kolumny tabeli obejmują:

- Nr - numer porządkowy pręta wyświetlany również na widoku modelu konstrukcji,
- Grupa - nazwa grupy, do której należy pręt,
- Przek. - nazwa przekroju przypisanego do pręta,

- Warunek** - nazwa warunku stanu granicznego (opatrzone numerem wzoru normy), który decyduje o stopniu wykorzystania cech wytrzymałościowych pręta z punktu widzenia wymagań normy,
- Wyk.** - liczba będąca lewą stroną relacji warunku stanu granicznego, a określająca stopień wykorzystania cech wytrzymałościowych pręta z punktu widzenia decydującego warunku stanu granicznego. Obok tej kolumny - po prawej stronie - generowany jest diagram słupkowy oddający geometryczny obraz stanu grupy prętów wobec wymagań normy. Czerwony kolor słupka oznacza, że decydujący warunek stanu granicznego dla odpowiadającego mu pręta jest przekroczony, a stowarzyszona z nim liczba (po lewej stronie) jest większa od jeden. Należy pamiętać, że tak przedstawiony obraz wymiarowania grupy prętów odpowiada aktualnej kombinacji aktywnych *grup obciążeń*. Aby uzyskać obraz wymiarowania dla innej kombinacji obciążeń należy odpowiednio posłużyć się *panelem grup obciążeń* lub przełączyć tryb wymiarowania na obwiednie przez włączenie włącznika Obwiednie na panelu Grup obciążeń.
- Obc.** - literał kombinacji grup obciążeń, dla której decydujący warunek stanu granicznego jest najbardziej niekorzystny dla pręta.  
Ta kolumna tabeli pojawia się w sytuacji, gdy wymiarowanie modelu konstrukcji odbywa się na podstawie obwiedni (włączony włącznik Obwiednie na panelu Grup obciążeń).

Nr	Grupa	Przek.	Warunek	Wyk.
305	Pozycja nr 3	4 - I 550 HEA	Napężenia (Tab.5)	0.882
273	Pozycja nr 7	1 - H 140x140x 5.6	Napężenia (Tab.5)	0.885
197	d1_rama wiatrowa_3D.rmt	3 - H 100x 60x 5.6	Zginanie (54)	0.890
86	d1_rama wiatrowa_3D.rmt	3 - H 100x 60x 5.6	Środek pod obc. skup. ...	0.897
198	d1_rama wiatrowa_3D.rmt	1 - H 140x140x 5.6	Zginanie (54)	0.910
49	d1_rama wiatrowa_3D.rmt	2 - I 400 PE	Napężenia (Tab.5)	0.918
152	d1_rama wiatrowa_3D.rmt	3 - H 100x 60x 5.6	Zginanie (54)	0.934
190	d1_rama wiatrowa_3D.rmt	3 - H 100x 60x 5.6	Zginanie (54)	0.939
68	d1_rama wiatrowa_3D.rmt	1 - H 140x140x 5.6	Zginanie (54)	0.958
306	Pozycja nr 3	5 - I 550 HEA	Napężenia (Tab.5)	0.958
307	Pozycja nr 3	5 - I 550 HEA	Napężenia (Tab.5)	0.978
48	d1_rama wiatrowa_3D.rmt	2 - I 400 PE	Napężenia (Tab.5)	1.015
286	Pozycja nr 9	1 - H 140x140x 5.6	Środek pod obc. skup. ...	1.029
262	d1_rama elewacyjna_3D.rmt	7 - ściąg 50mm (M50)	Napężenia (Tab.5)	1.109
1	d1_rama wiatrowa_3D.rmt	2 - I 400 PE	Środek pod obc. skup. ...	1.121
189	d1_rama wiatrowa_3D.rmt	1 - H 140x140x 5.6	Napężenia (Tab.5)	1.199
153	d1_rama wiatrowa_3D.rmt	1 - H 140x140x 5.6	Napężenia (Tab.5)	1.265
40	d1_rama wiatrowa_3D.rmt	2 - I 400 PE	Zginanie (54)	1.273
37	d1_rama wiatrowa_3D.rmt	2 - I 400 PE	Środek pod obc. skup. ...	1.277
302	Pozycja nr 17	8 - S IKS- 600-1	Zginanie (54)	1.879

Rys. 4

Poszczególne nagłówki tabeli stanowią przyciski, które służą do sortowania listy wg odpowiadającego im kluczy, a konkretnie:

**Nr** - wg numeru pręta, od najmniejszego do największego,

- Grupa** - alfabetyczne wg pierwszych liter nazw grup prętów,  
**Przek.** - wg numeru przypisanego przekroju,  
**Warunek** - alfabetyczne wg pierwszych liter nazw warunków normowych,  
**Wyk.** - wg stopnia wykorzystania prętów z punktu widzenia decydującego warunku stanu granicznego.

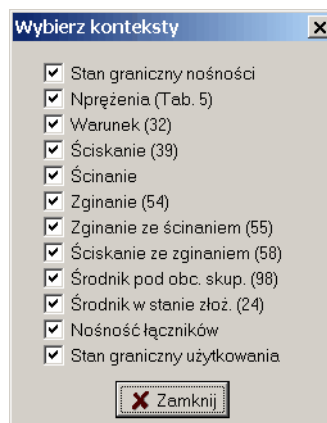
Za pomocą myszki (w połączeniu z klawiszami [Shift] i [Ctrl]) poszczególne wiersze tabeli mogą być wyselekcjonowane (podświetlane) w sposób typowy dla formatów typu "lista". Daje to możliwość zawężenia listy prętów i skupienie się nad nimi w procesie wymiarowania.

Podwójne kliknięcie na zamierzonej pozycji tabeli (odpowiadającej konkretnemu prętowi modelu konstrukcji) spowoduje otwarcie *okna właściwości wymiarowania* dla pojedynczego pręta (patrz: wyżej), co pozwala na skupienie się nad szczegółowymi danymi i wynikami obliczeń dla wybranego z tabeli pręta w trakcie analizy przeprowadzanej dla grupy prętów.

Z zakładką Wyniki związane są:

**Włącznik** Wskaż pręt, którego włączenie sprawia, że po każdym kliknięciu na zamierzonej pozycji tabeli model konstrukcji jest przesuwany w *oknie sceny* w taki sposób, że pręt odpowiadający wskazanej pozycji tabeli jest umieszczany w *centrum sceny*, co ułatwia lokalizację tego pręta na widoku modelu konstrukcji.

**Przycisk** Dokument, którego użycie spowoduje wyświetlenie *okna podglądu dokumentu* zawierającego wygenerowany przez program dokument zbiorczy dla wybranych prętów. W wersji skróconej dokument zawiera tabelę wyświetlaną w zakładce Wyniki, natomiast w wersji pełnej - dodatkowe tabele zawierające wyniki obliczeń dla wszystkich warunków normowych stanów granicznych wybranej grupy prętów.



Rys. 5

**Przycisk** Konteksty, którego użycie spowoduje wyświetlenie okna Wybierz konteksty, (Rys. 5), pozwalające - za pomocą włączników - zawęzić analizę, związaną z wymiarowaniem, do wybranych kontekstów wymiarowania. Może to być przydatne w sytuacji, gdy z jakichś względów określony kontekst wymiarowania

może być zignorowany, np. *kontekst zwichrzenia* dla grupy prętów, które w rzeczywistości są całkowicie zabezpieczone przed zwichrzeniem (np. sztywnym pokryciem).

**Przycisk Wybierz**, którego użycie spowoduje zredukowanie tabeli wyników wymiarowania do grupy prętów uprzednio zaznaczonych (podświetlonych). Jeśli np. wcześniej zostały zaznaczone pozycje tabeli, w których decydujące warunki stanów granicznych są przekroczone, a następnie został użyty przycisk Wybierz, to tabela zostanie zredukowana do tej grupy prętów, co pozwala na skupienie się nad wymiarowaniem tych prętów.

---

## Konteksty wymiarowania

### Przekrój

Wymiary:	h=300,0 g=8,0 s=160,0 t=12,0
Charakterystyka:	J <sub>xg</sub> =9368,9 J <sub>yg</sub> =820,4 A=60,48 i <sub>x</sub> =12,4 i <sub>y</sub> =3,7 J <sub>w</sub> =169869,3 J <sub>t</sub> =23,3 i <sub>s</sub> =13,0
Wytrzymałości:	t≤16 fd = 305 16<t≤30 fd = 295 30<t≤40 fd = 285 t>40 fd = 285

Rys. 6

**Odniesienie:** Nie związany z normą.

**Komentarz:** Ten *kontekst wymiarowania* obejmuje wielkości ściśle związane z charakterystyką geometryczną i wytrzymałościową oraz materiałową przekroju pręta, przekazywaną do modułu **STAL-3D** przez program główny RM-3D i ma charakter wyłącznie informacyjny.

W przypadku pręta o przekroju zmiennym wzdłuż osi, wyświetlana w *oknie kontekstów* (Rys. 6) charakterystyka odpowiada przekrojowi wynikającemu z położenia znacznika przekroju *okna schematu pręta*.

W oznaczeniu głównych osi centralnych przekroju *x-X*, *y-Y* obowiązuje zasada, że osią *x-X* jest zawsze oś większego momentu bezwładności.

**Zakres:** Wszystkie przypadki.

**Elementy sterowania:** Brak.

**Uwagi:** Przy definiowaniu oraz ewentualnych zmianach wymiarów przekroju pręta należy unikać deklarowania zbyt smukłych ścianek, tzn. takich, dla których smukłość względna  $\bar{\lambda}_p > 3,0$ , a więc wykraczająca poza zakres stosowalności krzywych normowych dla współczynników niestateczności miejscowej. W przypadku gdy to ograniczenie nie jest spełnione - na ekranie monitora będzie pojawiał się permanentnie stosowny komunikat ostrzegawczy, a wyniki obliczeń dla poszczególnych kontekstów wymiarowania mogą być niewiarygodne.

## Długości wyboczeniowe

Dla osi X		Dla osi Y	
$\kappa_a$ :	0,468	$\kappa_a$ :	0,300
$\kappa_b$ :	0,668	$\kappa_b$ :	0,300
$\kappa_v$ :	1,000	$\kappa_v$ :	0,000
$\mu$ :	1,604	$\mu$ :	0,592
$L_0$ :	1,520 m	$L_0$ :	1,520 m
$L_w$ :	2,438	$L_w$ :	0,900
<input checked="" type="checkbox"/>	przesuwany	<input checked="" type="checkbox"/>	przesuwany
Podatności		Podatności	
<input checked="" type="radio"/> wg PN		<input checked="" type="radio"/> wg PN	
<input type="radio"/> wg mechaniki		<input type="radio"/> wg mechaniki	
<input type="radio"/> zadane		<input type="radio"/> zadane	

Rys. 7

**Odniesienie:** Punkt 4.4. - Elementy ściskane, Rozdz. 2 - Załącznik 1

**Komentarz:** Służy do określania współczynników długości wyboczeniowych pręta w związku z koniecznością wyznaczania smukłości względnej pręta dla wyboczenia giętnego oraz dla wyboczenia giętno-skrętnego (p. 4.4.3. normy) dla potrzeb warunku normy **Ściskanie ze zginaniem (58)**. Współczynniki długości wyboczeniowych dla wyboczenia giętnego pręta są wyznaczane na podstawie tzw. stopni podatności węzłów na obroty oraz na przechyły pręta w obu jego płaszczyznach głównych (rozdziały 1. i 2. Załącznika 1 normy).

Możliwe są trzy sposoby określania stopni podatności węzłów dla wyboczenia w obu płaszczyznach głównych pręta ( $\kappa_a$  - węzła A,  $\kappa_b$  - węzła B,  $\kappa_v$  - na przechył pręta).

- wg PN** - ściśle wg ustaleń zawartych w rozdziale 2 Załącznika 1 normy - zalecany w przypadkach, gdy uwarunkowania pręta w pełni odpowiadają przypadkom opisanym w normie.
- wg mechaniki** - zgodny z klasyczną teorią stateczności pręta przy wyboczeniu giętnym. W tym przypadku współczynniki podatności węzłów wyznaczane są na podstawie rzeczywistych sztywności węzłów pręta.

Metoda ta jest zalecana w sytuacji, gdy uwarunkowania pręta wykraczają poza przypadki opisane w normie lub gdy w szczególnej sytuacji zalecenia normy są zbyt rygorystyczne, a rzeczywista forma utraty stateczności pręta nie odpowiada sytuacji przyjętej w normie.

- zadane** - polegający na bezpośrednim zadaniu przez użytkownika wartości stopni podatności pręta, obliczonych we własnym zakresie.

Przy wyznaczaniu współczynników podatności pręta na obroty węzłów **wg PN** program uwzględnia sposoby łączenia prętów węzle oraz warunki na przeciwległych (tzw. dalekich) końcach. Pozostaje jeszcze do rozstrzygnięcia kwestia kinematycznego

uwarunkowania pręta na przechył w danej płaszczyźnie głównej. Norma rozróżnia tylko dwie sytuacje uwarunkowania kinematycznego pręta:

- ✓ pręt pracujący w układzie przesuwным,
- ✓ pręt pracujący w układzie nieprzesuwным,

a rozstrzygnięcie o tym pozostawia projektantowi, odwołując się do zasad mechaniki budowli. Problem polega na tym, że wyłącznie na podstawie geometrii schematu statycznego konstrukcji, a więc uwarunkowań kinematycznych pręta, nie można jednoznacznie przesądzić o wrażliwości pręta na przechył i zazwyczaj tą kwestię traktuje się intuicyjnie i zakłada się, że jeśli węzły (końce) pręta mają potencjalną zdolność do wzajemnego przesunięcia w poprzek jego osi, to pracuje on w układzie przesuwным. Nie zawsze takie przyjęcie jest słuszne, bowiem np. w ramie prostokątnej, której słupy są o wyraźnie zróżnicowanej sztywności w płaszczyźnie możliwego wybożenia, słup o mniejszej sztywności może okazać się nieprzesuwным, a drugi przesuwным mimo, że potencjalnie (bez analizy zagadnienia Euler'a) oba słupy należałoby traktować jako przesuwne. Reasumując, o tym czy pręt jest przesuwny nie decyduje jego potencjalna zdolność do wzajemnego przesunięcia jego końców w poprzek jego osi lecz konstrukcyjna wrażliwość na przechył.

W module **STAL-3D** rozstrzygnięcie o tym, czy pręt w danej płaszczyźnie głównej jest wrażliwy na przechył (układ *przesuwny*) odbywa się poprzez wyznaczenie stopnia podatności pręta na przechył w tej płaszczyźnie na podstawie różnicy przemieszczeń końców *A* i *B* pręta liczonych w poprzek jego osi. Na tej podstawie przyjmowana jest podatność  $\kappa_v=1$  - dla układów przesuwnych i  $\kappa_v=0$  - dla nieprzesuwnych. Ponadto, dla umożliwienia ingerencji użytkownika w to zagadnienie, wprowadzono przełączniki przesuwne.

Powyższe uwagi nie dotyczą wyznaczania współczynników podatności węzłów **wg mechaniki**. W tym sposobie podatności węzłów na obroty w płaszczyznach głównych pręta wykonywana jest pełna analiza kinematyczna pręta polegająca na rozwiązaniu zagadnienia Euler'a dla tego pręta uwzględniająca całościowy kontekst pracy statycznej i kinematycznej pręta. Poza oczywistym walorem merytorycznym, sposób ten ma jednak istotny mankament użytkowy, który szczególnie zaznacza się przy dużej liczbie prętów i węzłów w modelu konstrukcji, ze względu na znaczną czasochłonność obliczeń związanych z tą analizą. Dlatego nie jest wskazane deklarowanie tego sposobu w odniesieniu do prętów, których uwarunkowania kinematyczne odpowiadają założeniom przyjętym w PN, bowiem w takich przypadkach oba sposoby dają zbliżone wyniki.

Przy bezpośrednim zadawaniu (sposób: **zadane**) wartości stopni podatności w danej płaszczyźnie głównej muszą się zawierać w granicach od **0** do **1**, co wynika z ich definicji, a mianowicie:

$$\kappa = \frac{K_c}{K_c + K_o} \quad - \text{ dla stopni podatności węzłów, gdzie}$$

$K_c$  = (moment bezwładności przekroju / długość obliczeniowa pręta) jest sztywnością pręta, a  $K_o$  jest sztywnością zamocowania pręta na obrót węzła oraz

$$\kappa_v = \frac{K_c}{K_c + K_v} \quad - \text{ dla stopnia podatności na przesuw, gdzie } K_v$$

jest sztywnością zamocowania pręta na przesuw.

Jeśli pręt nie ma oporu na obrót w węźle (przegub), a więc  $K_o=0$  lub na przesuw (obustronnie przegubowy), a więc  $K_v=0$ , to wartości stopni podatności są równe **1**, natomiast gdy pręt jest całkowicie zamocowany w węźle (sztywne zamocowanie), a więc  $K_o=\infty$  lub nieprzesuwany (węzły pręta nieprzesuwne, a więc  $K_v=\infty$ ), to stopnie podatności są równe **0**.

Na podstawie stopni podatności węzłów w obu płaszczyznach głównych wyznaczane są współczynniki długości wyboczeniowych  $\mu$  jako rozwiązania zagadnienia wyboczenia pręta podpartego sprężystości o zadanych wartościach podatności sprężyn. Metoda ta jest w pełni zgodna z diagramami zawartymi na Rys. Z1-3 normy dla  $\kappa_v=1$  i  $\kappa_v=0$ .

Współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega$  oraz obliczeniowa długość pręta  $L_\omega$  dla wyboczenia skrętnego nie są przez moduł **STAL-3D** wyznaczane, a więc muszą być bezpośrednio podane przez użytkownika na podstawie odrębnej analizy. Domyślnie współczynnik długości wyboczeniowej dla wyboczenia skrętnego  $\mu_\omega$  jest równy **1**, a długość obliczeniowa w tym względzie jest równa długości teoretycznej pręta, jak dla wyboczenia giętnego (czyli równa odległości między węzłami pręta). Szczegóły na ten temat są podane w opisie kontekstu **Zwichrzenie**.

**Zakres:**

Pręty, w których występuje ściskająca siła osiowa.

**Elementy sterowania:**

*Edycyjne pola liczbowe* w sekcjach Dla osi X i Dla osi Y (Rys. 7):

$\kappa_a$ : - stopień podatności pręta na obrót węzła A,

$\kappa_b$ : - stopień podatności pręta na obrót węzła B,

$\kappa_v$ : - stopień podatności pręta na przesuw,

$L_o$ : - długość obliczeniowa pręta,

dla wyboczenia giętnego pręta odpowiednio w obu jego płaszczyznach głównych, tj. sekcja Dla osi X - dla wybocze-



nia w płaszczyźnie  $y$ - $Y$  i sekcja Dla osi  $Y$  - dla wyboczenia w płaszczyźnie  $x$ - $X$ .

Pola te są dostępne jedynie po wybraniu sposobu wyznaczania podatności jako **zadane**.

**Włączniki wyboru** w sekcjach Dla osi  $X$  i Dla osi  $Y$ : **przesuwany**, pozwalające na ingerencję w kwestię rozstrzygnięcia o przesuwności pręta. Możliwe są trzy stany włączników:

1. włączony i z wypełnieniem w kolorze szarym (ustawienie domyślne), co oznacza, że program rozstrzyga o przesuwności pręta automatycznie i po wartości współczynnika  $\mu$  rozpoznaje się wrażliwość pręta na przechył. Jeśli  $\mu \leq 1$  - pręt nie jest wrażliwy na przechył (nieprzesuwany). W przeciwnym razie - przesuwany,
2. włączony z wypełnieniem w kolorze tła okna właściwości ekranu systemu Windows (najczęściej biały), co oznacza, że pręt będzie traktowany w obliczeniach jako przesuwany,  $\mu > 1$ ,
3. wyłączony z wypełnieniem w kolorze tła okna właściwości ekranu systemu Windows (najczęściej biały), co oznacza, że pręt będzie traktowany w obliczeniach jako nieprzesuwany,  $\mu > 1$ .

W sposobach wyznaczania podatności **wg mechaniki** oraz jako **zadane** włączniki te (z oczywistych względów) nie są dostępne.

**Przełączniki wyboru** w sekcjach Dla osi  $X$  i Dla osi  $Y$ :

- wg PN** - dla obliczeń stopni podatności węzłów dla wyboczenia pręta w płaszczyznach głównych pręta wg wymagań i zaleceń normy PN-90/B-03200 (Załącznik 1).
- wg mechaniki** - dla obliczeń stopni podatności dla rzeczywistych sztywności pręta na obroty w węzłach i przechyły wg zasad mechaniki budowli,
- zadane** - dla obliczeń współczynnika długości wyboczeniowej dla zadanych przez użytkownika stopni podatności węzłów pręta oraz jego podatności na przechyły.

#### Uwagi:

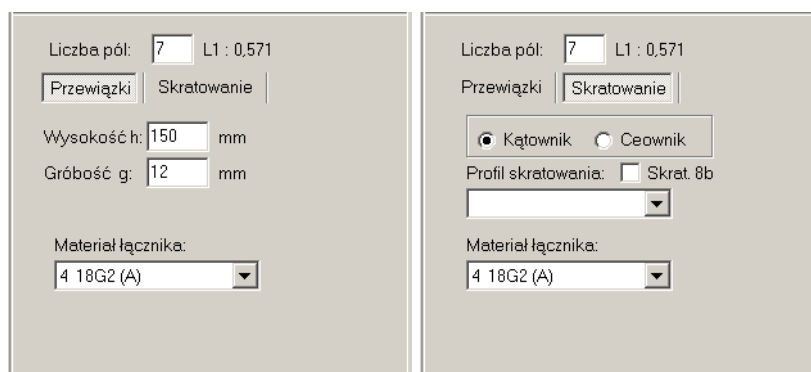
Jednym z kluczowych zamysłów koncepcji realizacyjnej pakietu **RM3D** jest traktowanie pręta jako elementu konstrukcyjnego, co prowadzi do sytuacji, w której pojedynczy pręt (jako element konstrukcji) - oprócz węzłów końcowych  $A$  i  $B$  - może mieć również podparcia pośrednie (tzw. *węzły warunkowe* - patrz: instrukcja użytkownika do programu RM-3D). Ponadto pręt może mieć praktycznie dowolną zmienność przekroju poprzecznego wzdłuż jego osi. Te możliwości znajdują swoje odzwierciedlenie również w kontekście **długości wyboczeniowej** w taki sposób, że cały pręt (element konstrukcyjny) jest automatycznie dzielo-

ny na sekcje wynikające z podparć pośrednich i zmienności przekroju, a wartości stopni podatności są wyznaczane dla każdego segmentu oddzielnie. A na to, której sekcji pręta odpowiadają wyświetlane wartości stopni podatności, długości obliczeniowych oraz współczynników długości wybozeniowych, ma wpływ położenie *znacznika przekroju* w *oknie schematu pręta*, a konkretnie - w której sekcji znajduje się ten znacznik. Wyjątek stanowi sytuacja, gdy w *oknie wymiarowania* włączony jest włącznik *Wartości ekstremalne*, bowiem wtedy wyświetlane są wartości dla sekcji, której warunek *Ściskanie ze zginaniem (58)* jest najniekorzystniejszy.

---

## Łączniki

---



Rys. 8

**Odniesienie:** Punkt 4.7.

**Komentarz:** Grupuje kontrolki do zadawania danych odnoszących się do elementów łączących (przewiązki lub skratowania) gałęzie prętów o typowych przekrojach wielogałęziowych. Dla większości przekrojów wielogałęziowych możliwy jest wybór typu łącznika i w zależności od tego wyboru (przewiązki lub skratowania) należy określić jego wymiary (w przypadku przewiązek) lub katalogowy rozmiar kształtownika (w przypadku skratowania) oraz wymiar określający ich rozmieszczenie wzdłuż pręta.

**Zakres:** Pręty o typowych (generowanych) przekrojach wielogałęziowych.

**Elementy sterowania:** *Pole edycyjne* Liczba pól: do zadawania liczby sekcji, na które łączniki dzielą pręt. Obok tego pola informacyjnie wyświetlana jest teoretyczna długość sekcji wynikająca z podziału długości pręta przez liczbę pól.

---

**Grupa przelączników wyboru: Przewiązki/Skratowanie**, przy pomocy których dokonuje się wyboru rodzaju łącznika gałęzi przekroju.

Z **przelącznikiem Przewiązki** związane są liczbowe **polo edycyjne** określające:

**b:** - szerokość przewiązki,

**g:** - grubość przewiązki,

Z **przelącznikiem Skratowanie** związane są:

**Grupa przelączników wyboru: Kątownik/Ceownik** do wskazania profilu elementów skratowania.

**Lista** nominałów wybranego rodzaju profilu

Dodatkowo, przy wyborze łączników jako skratowanie, udostępniany jest przelącznik wyboru **Skrat. 8b**, dla wskazania, że chodzi o skratowanie odpowiadające schematowi *b*) na Rys.8 normy. Dodatkowo przyjęto, że skratowania mają zawsze pręty poziome.

**Lista wyboru** Materiał łącznika: do określenia gatunku stali, z której mają być wykonane łączniki.

**Uwagi:**

Parametry związane z tym kontekstem są określane na etapie kreowania modelu konstrukcji w trybie Schemat programu RM-3D w zakładce *Kształt okna właściwości pręta*. (patrz: instrukcja użytkownika programu RM-3D - Kreowanie modelu konstrukcji / właściwości prętów).

---

**Zwicherungie**

---

Lo: 1,520 m

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwicherungiem.

$\mu$ : 1,000   $\beta$  x: 1,000

Tablica Z1-2		
A1:	A2:	B:
0,610	0,530	1,140

Współrzędna punktu przyłożenia obc.:  
a: 0 mm

Ncr.z: 9757,3      Ncr.y: 20493,1  
**Mcr: 2765,0**

**Rys. 9**

**Odniesienie:** Punkty 4.5.3., 4.5.4. oraz punkty 3.2. i 3.3 Załącznika 1.

**Komentarz:** Pozwala na wyspecyfikowanie wielkości potrzebnych do wyznaczenia momentu krytycznego przy zwicherungiu, które są wykorzystywane przy sprawdzaniu warunku nośności (stateczności) przy zginaniu.

Wielkości krytyczne są wyznaczane ze wzorów (Z1-4) do (Z1-9) na podstawie współczynników długości wyboczeniowych określonych w kontekście *Długości wyboczeniowe* oraz wielkości tablicowych  $A_1$ ,  $A_2$  i  $B$ , określających schemat pręta na zwichrzenie, które użytkownik powinien zadać, posługując się Tabelicą Z1-2. Ponadto, można dodatkowo określić współrzędną punktu przyłożenia obciążenia  $a_o$  względem środka ciężkości przekroju, co ma wpływ na wartość momentu krytycznego. Wielkość ta jest zawsze związana z kierunkiem osi  $y$ - $Y$ , czyli z osią mniejszego momentu bezwładności. Oznacza to, że znak wartości  $a_o$  należy przyjmować tak jak dla współrzędnej  $y$  punktu przyłożenia obciążenia.

Domyślnie wielkości, o których tu mowa, są wyzerowane, co oznacza, że pręt jest zabezpieczony przed zwichrzeniem, czyli smukłość względna na zwichrzenie jest równa zero, a obciążenia przyłożone są do osi geometrycznej pręta. Dla dwuteowników walcowanych norma określa stosunkowo proste kryterium (p.4.5.1c), które zwalnia z konieczności uwzględnienia wrażliwości pręta na zwichrzenie jeśli zachowany jest odpowiedni rozstaw stężeń (wzór 40). W takich przypadkach - w kontekście zwichrzenie - wyświetlana jest relacja warunku określona w/w wzorem.

*Okno kontekstów wymiarowania* (Rys. 9) zawiera następujące pola informacji:

- $N_{cr,z}$  - siła krytyczna dla wyboczenia skrętnego,
- $N_{cr,y}$  - siła krytyczna dla wyboczenia giętnego w płaszczyźnie mniejszego momentu bezwładności,
- $M_{cr}$  - obliczony moment krytyczny dla wyboczenia giętno-skrętnego, który - w przypadku zerowej smukłości - jest liczbą nieskończoną, którą na ekranie reprezentuje symbol INF, co oznacza, że moment krytyczny ma wartość nieskończoną, a więc wpływ zwichrzenia nie jest uwzględniany.
- $\bar{\lambda}_L$  - smukłość względna pręta na zwichrzenie,

**Zakres:** Pręty o monosymetrycznych przekrojach jednoślazowych otwartych, zginane w płaszczyźnie większego momentu bezwładności przekroju.

**Elementy sterowania:** *Edycyjne pola liczbowe* dla:

- $L_{0\omega}$  - długość obliczeniowa pręta na zwichrzenie, której wartość domyślna jest równa długości geometrycznej pręta (lub *sekcji pręta* - w przypadku występowania podparć pośrednich).

- $\mu\omega$  - współczynnik długości wyboczeniowej dla wyboczenia giętno-skrętnego, którego wartość należy ustalać odrębnie wg zasad mechaniki budowli odnoszących się do zagadnień niestateczności giętno-skrętnej. Dla prostych przypadków prętów zginanych wartości tego współczynnika zawarte są w tablicy Tablica Z1-2 normy.
- $\beta_x$  - współczynnik momentu dla zginania momentem  $M_x$  zależny od rozkładu momentów zginających w płaszczyźnie zwiczenia, określane w *kontekście nośność przy ściskaniu ze zginaniem*, Program automatycznie ustala wartość tego współczynnika na podstawie charakteru rozkładu momentów zginających w danej *sekcji pręta*, ale - po włączeniu włącznika obok pola edycyjnego związanego z tą wielkością - jego wartość może być zmieniona przez użytkownika.
- A1,A2,B - wielkości tablicowe (Tablica Z1-2) zależne od schematu pręta na zwiczenie,
- a0 - współrzędna środka przyłożenia obciążenia względem środka ciężkości przekroju, a odmierzana na osi y-Y przekroju pręta,

**Przycisk** Tablica Z1-2

umożliwia ustalenie wielkości **A1**, **A2** i **B** dla normowych przypadków schematu i obciążenia pręta na podstawie tablicy zawartej w załączniku 1 normy (Tablica Z1-2). Po naciśnięciu tego przycisku na ekranie wyświetlane jest okno, w którym można dokonać wyboru odpowiedniej pozycji tablicy Z1-2. Zaakceptowanie wyboru przy pomocy przycisku **OK** powoduje przeniesienie wielkości **A1**, **A2** i **B** do kontekstu wymiarowania *zwiczenie*.

W PN lista przypadków - dla których podane są wartości tych współczynników - jest bardzo skromna, ale normy zagraniczne (np. DIN) podają nieco szerszą listę schematów dla obliczania momentów krytycznych.

Jeżeli z tablicy Z1-2 wybrany zostanie przypadek momentów stałych lub zmiennych liniowo, wówczas będzie następowała automatyczna aktualizacja wielkości A1, A2 i B na podstawie współczynnika  $\beta$  przy każdej zmianie rozkładu momentów zginających. Uwaga ta nie dotyczy pozostałych przypadków zwiczenia oraz sytuacji, gdy którakolwiek z wielkości A1, A2 i B zostanie zmieniona ręcznie.

## Stan graniczny nośności - stateczność miejscowa

Klasa przekroju: 4

Rozstaw żeber [mm]:

a: 6083    b1: 0

Wymiarowanie w stanie:

krytycznym     $\psi_0$ : 0,505    1

nadkrytycznym     $\psi_x$ : 1,000    1

nadkryt. ogranicz.     $\psi_y$ : 1,000    3

Warunek (9):  $\frac{\sigma_c}{\varphi_y f_d} = 0,247 < 1$

Siły przekrojowe:

N: 5,4	Mx: 61,8	Ty: 26,9
Ms: 0,0	My: 0,6	Tx: 1,9

Rys. 10

**Odniesienie:** Zagadnienia związane z punktem 4.2. normy.

**Komentarz:** Dotyczy określenia współczynników redukcji nośności przekroju klasy 4. W oknie kontekstów wymiarowania (Rys. 10) wyświetlane są wartości dotyczące:

- warunku (9) stateczności ścianki w jednoosiowym stanie naprężenia,
- współczynników redukcji nośności:  $\psi_0$  - na ściskanie,  $\psi_x$ ,  $\psi_y$  - na zginanie w obu kierunkach ze wskazaniem numeru ścianki (widocznej na rysunku w oknie rysunku przekroju), dla której został dany współczynnik

**Zakres:** Tylko pręty o jednogałęziowym przekroju klasy 4.

### Elementy

**sterowania:** *Edycyjne pola liczbowe:*

- a: - rozstaw poprzecznych żeber usztywniających środniki przekroju,
- b1: - dostępne jedynie do przekrojów dwuteowych (walcowanych i spawanych) i określa położenie usztywnień (zeber) podłużnych środnika względem górnej półki przekroju. Wartość zero lub większa od wysokości środnika oznacza brak usztywnień podłużnych.

**Grupa przełączników wyboru** do deklarowania trybu dla jakiego stanu pracy przekroju mają być wyznaczone współczynniki redukcji nośności:

- krytycznym,
- nadkrytycznym,
- nadkrytycznym ograniczonym.

Dla przekrojów, w których występują wyłącznie ścianki jednostronnie umocowane grupa przełączników jest nieaktywna, a włączony jest tylko przełącznik odpowiadający wymiarowaniu w stanie **krytycznym** (np. teowniki, kątowniki).

**Uwagi:**

Rysunek przekroju przedstawiany w *oknie rysunku przekroju* jest w tym kontekście wymiarowania uzupełniony o widok ponumerowanych prostokątnych ścianek przekroju wydzielonych pod kątem warunku (9) normy. Ma to na celu umożliwienie łatwej identyfikacji ścianki, dla której warunek jest najbardziej niekorzystny. Warunek (9) ma charakter lokalny (stateczność miejscowa), a więc relacja tego warunku zależy od położenia *znacznika przekroju*. Aby wyświetlić tą relację jako ekstremalną - należy włączyć włącznik Wartości ekstremalne. Wówczas program sprawdzi warunek na wszystkich segmentach wymiarowanego pręta i ustawi *znacznik przekroju* w środku segmentu, dla którego relacja warunku (9) jest najniekorzystniejsza.

***Naprężenia***

Otwory powiększone  
 Położenie [m]: 0,6,083  
 Osłabienia [cm<sup>2</sup>]  

A <sub>0</sub>	Ścianka
0,00	1
0,00	2
0,00	3

 A: 61,0 cm<sup>2</sup>  
 ψ<sub>ot</sub>: 1,000  
 ψ<sub>oc</sub>: 1,000  
 σ<sub>e</sub> = 79,3 < 305 = fd  
 Ścinanie:  
 Oś Y: Av: 22,6 ψ<sub>ov</sub>: 1,000 τ<sub>e</sub>: 11,9  
 Oś X: Av: 38,4 ψ<sub>ov</sub>: 1,000 τ<sub>e</sub>: 0,5  
 τ<sub>e</sub>: 11,9 < 176,9 = fd  
 $\sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_e^2} = 79,3 < 305 = fd$

**Rys. 11**

**Odniesienie:** Punkt 4.1. - Złożony stan naprężenia i osłabienia elementu otworami na łączniki

**Komentarz:** Obejmuje aspekt wymiarowania związany z ewentualnymi osłabieniami przekroju otworami na łączniki, w powiązaniu z warunkiem dla złożonego stanu naprężenia (Tabela 5 - poz. 4). Oprócz elementów sterowania, *okno kontekstów wymiarowania* (Rys. 11) zawiera następujące informacje:

**A** - pole powierzchni przekroju brutto,

ψ<sub>oc</sub> - wskaźnik osłabienia przekroju przy ściskaniu,

ψ<sub>ot</sub> - wskaźnik osłabienia przekroju przy ścinaniu,

σ<sub>e</sub> - wartość maksymalnego naprężenia normalnego w przekroju w powiązaniu z warunkami nośności zawartymi w Tabeli 5 (poz. 1 i 2),

A<sub>v</sub> - pola powierzchni czynnego przekroju brutto na ścinanie odpowiednio w kierunkach X i Y,

$\psi_{ov}$  - wskaźniki osłabienia przekroju na ścinanie odpowiednio w kierunkach  $X$  i  $Y$ ,

$\tau_e$  - wartości naprężeń stycznych z uwzględnieniem osłabień odpowiednio w kierunkach  $X$  i  $Y$  oraz ostateczny warunek nośności na ścinanie (Tabela 5 - poz. 3)

Relację warunku nośności przekroju osłabionego w złożonym stanie naprężenia (Tabela 5 - poz.4).

**Zakres:**

Wszystkie przypadki.

**Elementy sterowania:**

Elementami sterowania są:

**Przełącznik** Otwory powiększone - dla wyboru opcji zastosowania wskaźnika osłabienia przekroju  $\psi_{oc}$  -w przypadku występowania otworów powiększonych w strefie ściskanej elementu.

**Pole edycyjne** Położenie[m]: - pozwala określić miejsca występowania osłabień przekroju. Miejsca te określa się w postaci ciągu (sekwencji) współrzędnych oddzielonych odstępami liczonych od węzła  $A$  wzdłuż osi pręta. Program domyślnie przyjmuje, że osłabienia występują w przekroju początkowym i końcowym pręta.

**Lista** Osłabienia[cm<sup>2</sup>] - zawiera listę ścianek przekroju, na których mogą występować otwory. W celu zadania osłabienia występującego na wybranej ściance należy wskazać kursorem pozycję listy związaną z tą ścianką, następnie drugi raz kliknąć w polu  $A_0$  i wprowadzić wartość pola powierzchni (w cm<sup>2</sup>), otworów przypadających na wybraną ściankę.

---

**Warunek (32)**

---

Sprawdzone pole przekroju:

A:	41,83	cm <sup>2</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	Połączenie mimośrod.
A $\psi$ :	38,03	cm <sup>2</sup>	<input type="checkbox"/>	Jeden łącznik

Warunek nośności (31,32):

N: -27,4      N<sub>Rt</sub>: 817,7

$$\frac{N}{N_{Rt}} = 0,034 < 1$$

**Rys. 12**

**Odniesienie:** Punkt 4.3. - Elementy rozciągane.

**Komentarz:** Odnosi się do wszystkich prętów (niezależnie od ich stanu wytrzymałościowego, a więc również ściskanych) w związku z punktem 4.4.1b. normy. Przy sprawdzaniu warunku nośności

---



pręta na rozciąganie uwzględniane są deklaracje dokonane w kontekście *Naprężenia*. Przy czym dla prętów nie rozciąganych osłabienia otworami są brane pod uwagę tylko wówczas, gdy został włączony przełącznik *Otwory powiększone*.

*Okno kontekstów wymiarowania* (Rys. 12) zawiera:

**A** - pole przekroju pręta brutto,

**A<sub>ψ</sub>** - sprowadzone pole przekroju,

**N** - wartość siły osiowej w działającej w przekroju pręta.

**N<sub>Rt</sub>** - nośność pręta na rozciąganie.

Relację warunku (31) lub (32).

**Zakres:**

Wszystkie przypadki.

**Elementy**

**sterowania:**

**Przełącznik** Połączenie mimośrodowe - dla wyboru opcji połączenia mimośrodowego pręta.

**Przełącznik** Jeden łącznik - dla wyboru wariantu liczby łączników (jeden lub więcej) - pod warunkiem włączenia przełącznika Połączenie mimośrodowe.

Oba przełączniki dotyczą połączeń mimośrodowych tylko przekrojów typu: ceownik, teownik lub kątownik (p.4.3.1b. normy).

### Ściskanie (39)

Oś X:		Oś Y:	
Iw:	1,543	Iw:	1,363
λ:	6,615	λ:	35,600
λ' ψ:	0,051	λ' ψ:	0,276
Ncr:	337012,946	Ncr:	11635,086

Staceczność skrętna: Ncr: 34032,602

Krzywe wyboczeniowe:

X:  Y:   zadane

λ' ψ: 0,276 φ: 0,964  wyżarzanie

N: -283,4 ψ: 0,423 N<sub>RC</sub>: 662,807

$\frac{N}{\varphi N_{cr}} = 0.444 < 1$

Rys. 13

**Odniesienie:** Punkt 4.4.5. - Nośność (stateczność) elementów ściskanych.

**Komentarz:** Ten *kontekst wymiarowania* dotyczy warunku (39) nośności elementu (pręta) na ściskanie, którego stateczność analizowana jest w aspekcie wyboczenia:

- ✓ giętnego w obu kierunkach - dla wszystkich typów przekrojów,
- ✓ skrętnego - dla otwartych przekrojów jedno gałęziowych,
- ✓ giętno-skrętnego - dla przekrojów ceowych, kątownikowych i teowych.

Przy czym do warunku nośności brany jest najniekorzystniejszy przypadek wyboczenia.

W oknie kontekstów wymiarowania (Rys. 13) wyświetlane są:

$lw$  - długości wyboczeniowe pręta,

$\lambda$  - smukłości pręta,

$\bar{\lambda}\psi$  - smukłości względne pręta,

$N_{cr}$  - siły krytyczne,

$N_{cr,z}$  - siła krytyczna,

w obu płaszczyznach głównych pręta, tzn. - w kierunkach  $x$ - $X$  (Sekcja Oś  $X$ ) i  $y$ - $Y$  (Sekcja Oś  $Y$ ).

oraz

$\psi$  - współczynnik redukcji nośności przekroju przy ścisaniu (dla przekrojów klasy 1,2,3  $\psi = 1$ )

$\varphi$  - minimalna wartość współczynnika niestateczności ogólnej,

$N_{Rc}$  - nośność obliczeniowa przekroju przy osiowym ścisaniu,

$N$  - wartość siły osiowej działającej w przekroju wskazywanym przez znacznik przekroju w oknie schematu pręta,

Relacja warunku nośności pręta na ścisanie.

#### Zakres:

Pręty, w których działa ścisająca siła osiowa.

#### Elementy

#### sterowania:

**Listy wyboru** Krzywe wyboczeniowe - umożliwiają dobór krzywych niestateczności ogólnej (odpowiednio w płaszczyznach wyboczenia  $x$ - $X$  i  $y$ - $Y$ ) w sytuacji gdy ustalone przez program krzywe nie odpowiadają warunkom analizowanego zadania.

Konieczność doboru krzywych przez użytkownika może mieć miejsce w przypadku wymiarowania tzw. przekrojów **jednogałęziowych składanych** z kilku kształtowników, dla których program domyślnie przyjmuje krzywe niekorzystne "c". Wynika to z tego, że program nie dokonuje identyfikacji kształtu przekroju składanego, np. program nie rozpozna faktu, że użytkownik "złożył" dwuteownik z pojedynczych blach. Dlatego przy tworzeniu listy przekrojów należy unikać "składania" przekrojów typowych, a więc takich, które mogą być dekladowane jako jednokształtownikowe.

Domyślnie, listy te nie są aktywne i w celu ich uaktywnienia należy włączyć włącznik Zadane.

**Przełącznik** wyżarzanie - określa sposób doboru krzywych niestateczności ogólnej dla spawanych przekrojów skrzynkowych i dwuteowych.

---

---

**Ścinanie**

---

Dla osi Y:		Dla osi X:	
$\varphi_{pv}$ : 0,938		$\varphi_{pv}$ : 1,000	
$A_v$ : 22,56	cm <sup>2</sup>	$A_v$ : 34,56	cm <sup>2</sup>
$V$ : 104,1	kN	$V$ : 0,2	kN
$V_R$ : 374,3	kN	$V_R$ : 611,4	kN
$V/V_R = 0,278 < 1$		$V/V_R = 0,000 < 1$	

**Rys. 14**

**Odniesienie:** Punkt 4.2.3.

**Komentarz:** W tym kontekście wymiarowania sprawdzana jest nośność pręta wynikającą z nośności ścianek ścinanych jego przekroju. *Okno kontekstów wymiarowania* (Rys. 14) zawiera dwie sekcje grupujące pola informacyjne wielkości liczbowych związanych z tym warunkiem wymiarowania oraz relacje warunków na ścinanie w obu płaszczyznach głównych przekroju, a mianowicie:

- $\varphi_{pv}$  - współczynniki niestateczności przy ścinaniu w obu płaszczyznach głównych wyznaczone na podstawie względnych smukłości ścianek czynnych na ścinanie,
- $A_v$  - pola przekrojów czynnych przy ścinaniu (Tablica 7),
- $V_R$  - nośność przekroju na ścinanie w obu kierunkach,
- $V$  - siły poprzeczne działające w przekroju w obu kierunkach.

**Zakres:** Pręty o przekrojach wyszczególnionych w Tablicy 7, w których działa siła poprzeczna.

**Elementy sterowania:** Brak.

**Zginanie (54)**

Względem osi X:	Względem osi Y:
$\psi$ : 1,000	$\psi$ : 1,000
M: -182,6	M: -0,3
$M_R$ : 261,0	$M_R$ : 31,3
N: -85,2	$N_R$ : 938,9
<input type="checkbox"/> $\lambda_L$ : 0,000	<input type="checkbox"/> Spawanie zmech.
$\varphi_L$ : 1,000	
$\frac{N}{N_R} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = 0,801 < 1$	

**Rys. 15****Odniesienie:** Punkt 4.6.2.

**Komentarz:** Ten *kontekst wymiarowania* łączy się bezpośrednio z warunkiem nośności (54) i ma również ścisły związek z *kontekstem Zwichrzenie*. Jeśli warunki statyczne i kinematyczne pręta nie odpowiadają żadnemu przypadkowi określone w normie, to uwzględnienie zwichrzenia może być dokonane w tym kontekście przez bezpośrednie podanie wartości smukłości względnej przy zwichrzeniu otrzymanej na drodze odrębnej analizy.

*Okno kontekstów wymiarowania* (Rys. 15) zawiera :

$\psi$  - współczynniki redukcji nośności przekroju na zginanie -  
-dla przekrojów klasy 3 i 4,

$\alpha_p$  - współczynniki redukcji nośności przekroju na zginanie -  
-dla przekrojów klasy 3 i 4,

$M_R$  - nośności przekroju na zginanie,

$M$  - wartości momentów zginających w przekroju wskazywanym przez znacznik przekroju pręta,

$N_R$  - nośność przekroju na ściskanie,

$N$  - wartość siły osiowej w przekroju wskazywanym przez znacznik przekroju pręta,

$\varphi_L$  - współczynnik zwichrzenia,

Relację warunku nośności (54).

**Zakres:** Pręty zginane.

**Elementy**

**sterowania:** *Edycyjne pole liczbowe*  $\lambda_L$ : dla zadania wartości smukłości względnej na zwichrzenie,

*Przełącznik wyboru Spawanie zmech.*, od którego zależy wybór krzywej niestateczności (krzywa „a” lub „a<sub>0</sub>”), a jest dostępny tylko dla przekrojów spawanych.

**Uwaga:** Włączenie włącznika Wartości maksymalne *okna wymiarowania* powoduje wyszukanie przekroju pręta, dla którego warunek nośności *kontekstu* jest najniekorzystniejszy.

### Zginanie ze ścinaniem (55)

W płaszczyźnie Y:		W płaszczyźnie X:	
M:	-182,6	M:	-0,3
M <sub>R</sub> :	261,0	M <sub>R</sub> :	31,3
M <sub>R,V</sub> :	261,0	M <sub>R,V</sub> :	31,3
V:	104,1	V:	0,2
V <sub>R</sub> :	374,3	V <sub>R</sub> :	611,4
V <sub>o</sub> :	112,3	V <sub>o</sub> :	183,4
V <sub>R,N</sub> :	372,7	V <sub>R,N</sub> :	608,8
V / V <sub>R,N</sub> =		V / V <sub>R,N</sub> =	

Warunek (55): N: -85,2      N<sub>R</sub>: 938,9

$$\frac{N}{N_R} + \frac{M_x}{M_{R,x}} + \frac{M_y}{M_{R,y}} = 0,801 < 1$$

Rys. 16

**Odniesienie:** Punkt 4.5.6.

**Komentarz:** Obejmuje obliczenia związane ze sprawdzaniem warunków nośności określonych wzorami (55) i (56).

*Okno kontekstów wymiarowania* (Rys. 16) zawiera dwie sekcje grupujące pola liczbowe podstawowych parametrów wymiarowania, mających wpływ na relację tego warunku wymiarowania - w obu płaszczyznach głównych przekroju pręta, a mianowicie:

- M** - wartości momentów zginających działających w przekroju,
- M<sub>R</sub>** - nośności obliczeniowe przekroju na zginanie,
- M<sub>R,V</sub>** - zredukowane nośności obliczeniowe przekroju na zginanie z uwzględnieniem działania siły poprzecznej,
- V** - wartości sił poprzecznych w przekroju pręta w obu kierunkach,
- V<sub>R</sub>** - nośności obliczeniowe przekroju na ścinanie,
- V<sub>o</sub>** - wartości odniesienia dla sił poprzecznych, powyżej których uwzględniana jest redukcja nośności obliczeniowej przekroju na zginanie,
- V<sub>R,N</sub>** - nośności obliczeniowe przekroju na ścinanie z udziałem siły osiowej,
- N<sub>R</sub>** - nośność obliczeniowa przekroju na ściskanie lub rozciąganie,
- N** - wartość siły osiowej działającej w przekroju pręta,

Relacja warunku (55) oraz relacje warunku (56).

**Zakres:** Pręty zginane, w których działa siła poprzeczna.

**Elementy sterowania:** Brak.

**Uwaga:** Włączenie włącznika Wartości maksymalne *okna wymiarowania* powoduje wyszukanie przekroju pręta, dla którego warunek nośności *kontekstu* jest najniekorzystniejszy.

### Ściskanie ze zginaniem (58)

Względem osi X:		Względem osi Y:	
<input type="checkbox"/> $\beta_x$ :	1,000	<input type="checkbox"/> $\beta_y$ :	0,660
$\lambda$ :	0,145	$\lambda$ :	0,247
$\varphi$ :	0,999	$\varphi$ :	0,972
Mmax:	182,6	Mmax:	0,3
$M_R$ :	261,0	$M_R$ :	31,3
$\Delta$ :	0,002	$\Delta$ :	0,000
Nmin:	-85,2	$N_R$ :	938,9
		$\lambda_L$ :	0,000
		$\varphi_L$ :	1,000
Warunek (58): $\frac{N}{\varphi_t N_{RC}} + \frac{\beta_x M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{\beta_y M_y}{M_{Ry}} \leq 1 - \Delta_t$			
X:	0,798 < 0,998	Y:	0,800 < 1,000

Rys. 17

**Odniesienie:** Punkt 4.6.

**Komentarz:** Łączy się bezpośrednio z warunkiem nośności (58), który jest sprawdzany w obu płaszczyznach głównych przekroju. Współczynniki momentów zginających  $\beta_x$  i  $\beta_y$  są wyznaczone przez program na podstawie rozkładu momentów zginających w obu płaszczyznach, według zasad określonych w Tabeli 12, ale - jeśli tego wymaga szczególna sytuacja - to mogą być one przez użytkownika zmienione. Sposób wyznaczania współczynników  $\beta$  jest zależny od warunków połączenia pręta w węzłach (pręt zamocowany; pręt o warunkach przesuwnych). Warunki te są określone poprzez współczynniki podatności węzłów, które wyznaczane są w kontekście **Długości wyboczeniowe**.

Część informacyjna *okna kontekstów wymiarowania* (Rys. 17) zawiera:

$\bar{\lambda}$  - smukłości względne dla wyboczenia giętnego,

$\varphi$  - współczynniki stateczności ogólnej (na wyboczenie),

**Mmax** - maksymalne momenty zginające wyznaczone na podstawie ich rozkładów wzdłuż osi pręta,

**MR** - nośności przekroju na zginanie w obu kierunkach,

$\Delta$  - składniki poprawkowe warunków nośności,

w obu płaszczyznach głównych przekroju pręta oraz:

**NR** - nośność przekroju na ściskanie,

$\bar{\lambda}_L$  - smukłość względna przy zwichrzeniu, ustalana w *kontekście zwichrzenie* lub zadawana bezpośrednio w *kontekście Zginanie (54)*,

$\Phi_L$  - współczynnik zwichrzenia,

Relacje warunków nośności kontekstu dla obu płaszczyzn głównych przekroju.

**Zakres:** Pręty zginane przy udziale siły ściskającej.

**Elementy**

**sterowania:** *Edycyjne pola liczbowe* dla podania wartości współczynników momentów  $\beta_x$  i  $\beta_y$  (jeśli ich wartości obliczone automatycznie przez program nie odpowiadają szczególnym warunkom pracy pręta). Aby przywrócić automatyczny tryb wyznaczania wartości tych współczynników, należy wyłączyć włączniki sąsiadujące z polami edycyjnymi tych współczynników.

**Uwagi:**

Włączenie włącznika Wartości maksymalne *okna wymiarowania* powoduje wyszukanie segmentu pręta, dla którego warunek nośności *kontekstu* jest najniekorzystniejszy.

W przypadku wymiarowania prętów z opcją analizy statycznej wg teorii II-go rzędu warunek ten nie jest sprawdzany ponieważ miarodajnym staje się wówczas warunek (54), zwłaszcza w przypadku prętów o przekrojach zmiennych.

Wyszukiwanie przekroju (przy włączonym włączniku Wartości maksymalne) - w tym przypadku - nie dotyczy bezpośrednio wprost relacji warunku 58 normy, ponieważ warunek ten ma charakter globalny, lecz polega na ustaleniu nośności przekroju na zginanie w sytuacji, gdy rozkład momentów zginających jest dwuznakowy, a przekrój pręta ma różną nośność dla momentów dodatnich i ujemnych, co może mieć miejsce w przypadku przekroju klasy 4. Niestety, norma nie określa jednoznacznie jak w takich przypadkach należy ustalać nośność przekroju na zginanie. W związku z tym przyjęto zasadę, że w przypadku jednoznakowego rozkładu momentów zginających nośność przekroju wyznaczana jest odpowiednio do znaku momentu, natomiast w przypadku rozkładu dwuznakowego - dla znaku dającego bardziej niekorzystną relację warunku (58).

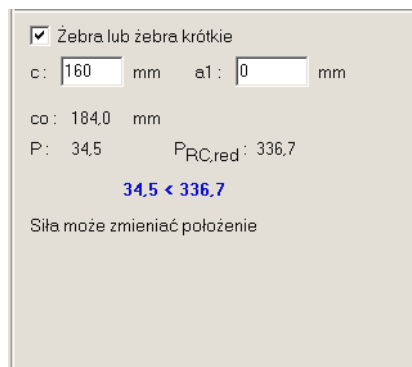
Osobnym zagadnieniem jest sprawdzanie tego warunku dla prętów o przekroju zmiennym wzdłuż ich osi ponieważ norma w żaden sposób nie wskazuje jak do sprawdzenia tego warunku należy przyjmować nośność przekroju. W programie dopuszczono możliwość wskazania przekroju, dla którego ma być ustalona wartość  $M_R$ , co pozostaje w gestii użytkownika. Należy tu podkreślić, że w powszechnej opinii znawców problematyki stateczności ogólnej konstrukcji, warunek (58) normy jest w takich

sytuacjach dalece niemiarodajny i właściwie nie powinien być stosowany.

---

### Środek pod obc. skup. (98)

---



Żebra lub żebra krótkie  
c: 160 mm a1: 0 mm  
co: 184,0 mm  
P: 34,5 P<sub>RC,red</sub>: 336,7  
**34,5 < 336,7**  
Siła może zmieniać położenie

Rys. 18

**Odniesienie:** Punkt 4.2.4. dla przekrojów spawanych lub punkt 6.4.1. dla elementów walcowanych.

**Komentarz:** Dotyczy sprawdzenia warunku nośności środka przekroju obciążonego siłą skupioną. Sprawdzeniu tego warunku towarzyszy przeszukanie obciążeń w celu ustalenia najniekorzystniejszej działającej siły skupionej. Jeśli pręt nie jest obciążony żadną siłą skupioną, to do warunku nośności brane są poprzeczne siły przywęzłowe. Dodatkowo należy określić szerokość  $c$  na jakiej rozłożona jest siła skupiona. Dla pręta o spawanym przekroju dwuteowym można również określić odstęp między żebrami krótkimi  $a_1$  (przy zadeklarowanych żebrach pionowych).

Dla ustrojów typu belka ciągła jako przywęzłowe siły skupione działające w płaszczyźnie ustroju, zamiast siły poprzecznej, brana jest reakcja podporowa. Zachodzi to, gdy spełnione są następujące warunki:

- ✓ w danym węźle rozpatrywany pręt połączony jest tylko z jednym prętem,
- ✓ pręt sąsiedni jest współliniowy z rozpatrywanym i posiada tą samą orientację,
- ✓ pręt sąsiedni ma przekrój o tym samym numerze co pręt rozpatrywany,
- ✓ jedna z głównych osi bezwładności przekroju leży w płaszczyźnie ustroju,
- ✓ węzeł jest podparty.

Powyższe warunki badane są oddzielnie dla obu węzłów pręta.

---



Dla przekrojów zawierających więcej niż jeden środnik, rozdział siły skupionej na poszczególne środniki odbywa się na podstawie ich grubości oraz ich orientacji względem kierunku działania siły. Dla końców pręta obciążonego w dwóch płaszczyznach, zamiast reakcji w węzłach pręta, do obliczeń brana jest ich wypadkowa, a rozdział siły skupionej zależy od orientacji środników względem tej wypadkowej.

Część informacyjna *okna kontekstów wymiarowania* (Rys. 18) zawiera:

- CO** - szerokość na jaką rozkłada się obciążenie skupione działające na środnik,
- P** - wartość siły skupionej, która jest ustalana przez program poprzez przeszukiwanie sił skupionych przypisanych do pręta w trybie **Schemat** programu głównego RM-3D oraz przywęzłowych sił poprzecznych.
- P<sub>rc,red</sub>** - zredukowana nośność środnika pod obciążeniem skupionym,

Relację warunku nośności środnika pod obciążeniem skupionym.

**Zakres:** Pręty o przekrojach posiadających środnik i obciążonych siłami skupionymi.

**Elementy sterowania:** *Edycyjne pola liczbowe:*

- c** - długość linii rozkładu obciążenia skupionego działającego na zewnętrznej powierzchni przekroju,
- a1** - odległość między żebrami lub żebrami krótkimi (jeśli takie są projektowane) - domyślnie wielkość ta jest równa zero, co oznacza, że nie ma żeber krótkich.

**Przełącznik** Żebra lub żebra krótkie określa, czy w miejscu działania siły skupionej występują żebra. Jeżeli przełącznik jest zaznaczony, to wartość siły skupionej jest wyzerowana.

**Uwaga:** Przy włączonym włączniku Wartości maksymalne program wyszukuje punkt przyłożenia obciążenia skupionego, dla którego warunek nośności *kontekstu* jest najniekorzystniejszy. Jeśli na pręcie nie zadano obciążeń skupionych, to brane są pod uwagę przywęzłowe siły poprzeczne w pręcie,

**Środnik w stanie złoż. (24)**

$\varphi_p$ : 1,000  
 $N_w$ : -31,5       $N_{Rw}$ : 347,6  
 $M_w$ : 28,4       $M_{Rw}$ : 43,1  
 $P$ : 0,0       $P_R$ : 336,7  
 $V$ : 104,1       $V_R$ : 374,3

Warunek (24) dla środnika nr. 1

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

**0,637 < 1**

**Rys. 19**

**Odniesienie:** Punkt 4.2.5.

**Komentarz:** Obejmuje zagadnienie stateczności środnika w złożonym stanie naprężenia, co polega na sprawdzeniu warunku (24).

Część informacyjna *okna kontekstów wymiarowania* (Rys. 19) zawiera:

- $\varphi_p$  - współczynnik niestateczności środnika wyznaczony na podstawie jego smukłości względnej,
- $N_w$  - część siły podłużnej przypadającej na środnik,
- $N_{Rw}$  - nośność obliczeniowa środnika przy ściskaniu,
- $M_w$  - część momentu zginającego w przekroju przypadającego na środnik,
- $M_{Rw}$  - nośność obliczeniowa środnika na zginanie,
- $P$  - wartość obciążenia skupionego (jeśli działa w danym przekroju),
- $P_R$  - nośność obliczeniowa środnika obciążonego siłą skupioną,
- $V$  - wartość siły poprzecznej w przekroju,
- $V_R$  - nośność obliczeniowa przekroju przy ścinaniu siłą poprzeczną,

Relację warunku (24) nośności środnika w złożonym stanie naprężenia.

**Zakres:** Pręty o dwuteowym przekroju spawanym klasy 4.

**Elementy sterowania:** Brak.

**Uwagi:** Przy włączonym włączniku Wartości maksymalne program wyszukuje przekrój pręta, w którym relacja warunku nośności środnika w złożonym stanie naprężenia (24) jest najniekorzystniejsza.

Jeśli w przekroju występuje większa liczba środników, to relacja warunku (24) odnosi się do tego środnika, dla którego ten warunek jest najniekorzystniejszy. Środniki są wyróżniane na rysunku przekroju, a numer środnika, którego dotyczy relacja, jest wyświetlany powyżej relacji.

### Nośność łączników

Nośność przewiązek:		Nośność krzyżulców skratowania:	
W płaszczyźnie Y:		W płaszczyźnie X:	
Q : 59,9	Q : 14,6	A : 7,10	N <sub>RC</sub> : 216,5
M <sub>Q</sub> : 8,6	M <sub>Q</sub> : 2,1	W płaszczyźnie Y:	W płaszczyźnie X:
V <sub>Q</sub> : 48,1	V <sub>Q</sub> : 26,7	Q : 56,5	Q : 14,6
M <sub>R</sub> : 9,7	M <sub>R</sub> : 9,7	N : 53,4	N : 27,7
V <sub>R</sub> : 202,0	V <sub>R</sub> : 202,0	λ : 59,56	λ : 52,41
M <sub>Q</sub> /M <sub>R</sub> = 0,884 < 1	M <sub>Q</sub> /M <sub>R</sub> = 0,215 < 1	λ' : 0,845	λ' : 0,743
V <sub>Q</sub> /V <sub>R</sub> = 0,238 < 1	V <sub>Q</sub> /V <sub>R</sub> = 0,132 < 1	φ : 0,653	φ : 0,717
τ / α f <sub>d</sub> = 0,636 < 1	τ / α f <sub>d</sub> = 0,186 < 1	$\frac{N}{\varphi N_{Rk}} = 0,378 < 1$	$\frac{N}{\varphi N_{Rk}} = 0,178 < 1$
		τ <sub>f</sub> / α <sub>  </sub> f <sub>td</sub> = 0,641 < 1	τ <sub>f</sub> / α <sub>  </sub> f <sub>td</sub> = 0,143 < 1

Rys. 20

**Odniesienie:** Punkt 4.7.3. - dla przewiązek oraz 4.4.5. - dla skratowań.

**Komentarz:** W zależności od zadeklarowanego (we właściwościach pręta trybu Schemat programu głównego RM-3D - zakładka Kształt) typu łączników (przewiązki lub skratowania) sprawdzane są relacje wyznaczonych sił w łącznikach do ich nośności, przy czym o nośności przewiązek decydują moment zginający i siła poprzeczna, natomiast w prętach skratowania - ściskająca siła osiowa wyznaczana na podstawie obliczeniowej siły poprzecznej działającej w pręcie.

Część informacyjna *okna kontekstów wymiarowania* zawiera:

Dla przewiązek:

- Q** - obliczeniowa siła poprzeczna,
- M<sub>Q</sub>** - moment zginający w przewiązce,
- V<sub>Q</sub>** - siła poprzeczna w przewiązce,
- M<sub>R</sub>** - nośność obliczeniowa przewiązki przy zginaniu,
- V<sub>R</sub>** - nośność obliczeniowa przewiązki przy ścinaniu,

Relacje warunków nośności przewiązek na zginanie i ścinanie oraz nośności spoin pachwinowych łączących przewiązki z gałęziami.

Dla skratowań:

- A** - pole przekroju krzyżulca skratowania,
- N<sub>RC</sub>** - nośność obliczeniowa krzyżulców skratowania,
- Q** - obliczeniowa siła poprzeczna,

$N$  - wartość ściskającej siły osiowej w krzyżulcu skratowania,  
 $\lambda$  - smukłość krzyżulca skratowania,  
 $\bar{\lambda}$  - smukłość względna krzyżulca skratowania,  
 $\varphi$  - współczynnik wyboczeniowy dla krzyżulca skratowania,  
 Relacje warunków nośności krzyżulców skratowania na ściskanie w obu płaszczyznach oraz nośności spoin łączących krzyżulce z gałęziami.

**Zakres:** Pręty o typowych (generowanych) przekrojach wielogałęziowych.

**Elementy sterowania:** Brak.

**Uwagi:** Przy włączonym włączniku Wartości maksymalne następuje ulokowanie *znacznika przekroju* w przekroju, w którym relacje warunków nośności dla łączników byłyby najniekorzystniejsze. Długości spoin pachwinowych łączących przewiązki lub krzyżulce przyjęto przy założeniu, że łączniki (przewiązka lub kształtownik skratowań) zachodzą na gałęzie na długość co najmniej 2/3 potencjalnego odcinka przylegania łącznika do gałęzi. Natomiast grubości spoin przyjmowane są o największej dopuszczalnej przez normę wielkości, która wynika z grubości ścianek łączonych elementów (łącznika i gałęzi).

### Stan graniczny użytkowania

Rys. 21

**Odniesienie:** Punkt 3.3.

**Komentarz:** Służy do sprawdzania warunków stanu granicznego użytkowania w zakresie wygięć pręta i przemieszczeń poziomych węzłów. Przemieszczenia służące do sprawdzania warunków SGU wyznaczone są zawsze wg teorii I-go rzędu dla charakterystycznych wartości obciążeń.

Część informacyjna *okna kontekstów wymiarowania* (Rys. 21) zawiera:

W sekcjach Ugięcia Y: i Ugięcia Z:

- a** - największe wygięcie lub przemieszczenie osi pręta,
- agr** - graniczna wartość ugięcia pręta, która zależy od zadanego ograniczenia przy pomocy listy wyboru,

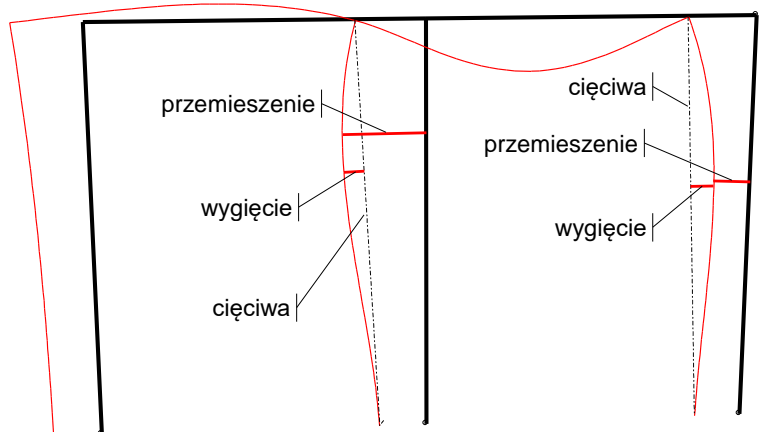
Relacje warunków stanu granicznego użytkowania w obu płaszczyznach głównych przekroju pręta,

W sekcji Przemieszczenia poziome:

- h** - wysokość poziomu jednego z dwóch węzłów *A* lub *B*, dla którego jest większa wartość stosunku  $u/h$ . Wysokość ta liczona jest jako różnica wysokości miarodajnego węzła pręta (dla którego przemieszczenie poziome jest największe) i zadawanej wysokości  $h_0$ ,
- U** - przemieszczenie poziome węzła, dla którego wyznaczono wysokość  $h$ ,
- Ugr** - graniczna wartość przemieszczenia poziomego węzła, wynikająca z wybranego ograniczenia z listy wyboru wielkości ograniczenia.

### Elementy sterowania:

**Włącznik** Liczone od cięciwy pręta, który służy do przełączania sposobu wyznaczania relacji SGU dla wymiarowanego pręta. Przy włączonym włączniku lewa strona relacji jest stosunkiem maksymalnej strzałki wygięcia pręta - odmierzanej od tzw. cięciwy - do teoretycznej długości pręta. W przeciwnym razie (przy wyłączonym włączniku) lewa strona relacji jest stosunkiem maksymalnego przemieszczenia osi pręta do *długości odniesienia*  $L$  (Rys. 22).



Rys. 22

W sekcjach Ugięcia Y: i Ugięcia Z:

**Listy wyboru** służące do zadawania ograniczenia warunku SGU jako ułamek *długości odniesienia*  $L$ .

**Pola edycyjne L** do zadawania wielkości tzw. *długości odniesienia*, które jest dostępne tylko przy wyłączonym włączniku Liczone od cięciwy pręta.

W sekcji Przemieszczenia poziome:

**Listy wyboru** służące do zadawania ograniczenia warunku SGU dla przemieszczeń poziomych jako ułamka *wysokości odniesienia* h.

**Pole edycyjne ho** służące do określania wysokości względnej, od której ma być wyznaczana wysokość miarodajnego węzła pręta.

**Zakres:** Wszystkie przypadki.

---

### III. TWORZENIE DOKUMENTACJI WYMIAROWANIA - WYDRUKI

#### Uwagi ogólne

Konceptę tworzenia dokumentacji wymiarowania prętów konstrukcji oparto na idei generowania pamięciowych plików tekstowo-graficznych w formacie RTF (ang. Rich Text Format), a ich podglądu dokonuje się w standardowym **oknie podglądu dokumentu** Podgląd wyników, (Rys. 23), które jest otwierane za pomocą przycisku Dokument *okienka właściwości wymiarowania* trybu Wymiarowanie.

**Nośność (stateczność) pręta ściskanego i zginanego:**  
 Składnik poprawkowy:  
 - dla zginania względem osi X:  
 $M_{x\max} = 89,48 \text{ kNm} \quad \beta_x = 1,000$   
 $\Delta_x = 1,25 \varphi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x\max}}{M_{Fcr}} \frac{N}{N_{cr}} = 1,25 \times 0,990 \times 0,278^2 \times \frac{1,000 \times 8,9E+01 \times 19,66}{190,50 \times 1844,64} = 0,000$   
 $\Delta_x = 0,000$   
 - dla zginania względem osi Y:  
 $M_{y\max} = 0,95 \text{ kNm} \quad \beta_y = 0,419$   
 $\Delta_y = 1,25 \varphi_y \bar{\lambda}_y^2 \frac{\beta_y M_{y\max}}{M_{Fcr}} \frac{N}{N_{cr}} = 1,25 \times 0,939 \times 0,346^2 \times \frac{0,419 \times 9,5E-01 \times 19,66}{31,28 \times 1844,64} = 0,000$   
 $\Delta_y = 0,000$   
 Warunki nośności (58):  
 - dla wyoboczenia względem osi X:  
 $\frac{N}{\varphi N_{cr}} + \frac{\beta_x M_{x\max}}{\varphi_x M_{Fcr}} + \frac{\beta_y M_{y\max}}{M_{Fy}} = \frac{19,66}{0,990 \times 1844,64} + \frac{1,000 \times 89,48}{0,971 \times 190,50} + \frac{0,419 \times 0,95}{31,28} = 0,507 < 1,000 = 1 - \Delta_x$   
 - dla wyoboczenia względem osi Y:  
 $\frac{N}{\varphi N_{cr}} + \frac{\beta_x M_{x\max}}{\varphi_x M_{Fcr}} + \frac{\beta_y M_{y\max}}{M_{Fy}} = \frac{19,66}{0,939 \times 1844,64} + \frac{1,000 \times 89,48}{0,971 \times 190,50} + \frac{0,419 \times 0,95}{31,28} = 0,508 < 1,000 = 1 - \Delta_y$   
**Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:**  
 $x_a = 1,523; \quad x_b = 4,560$   
 Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $c = 100,0 \text{ mm}$   
 $k_c = (15 + 25 \frac{c_0}{b_w}) \sqrt{\frac{b_f 215}{t_w f_d}} = (15 + 25 \frac{124,0/276,0}{8,0}) \times \sqrt{\frac{12,0 \times 215}{8,0 \times 305}} = 26,974$   
 $k_c \leq c_0 / t_w = 124,0 / 8,0 = 15,500$   
 Przyjęto  $k_c = 15,500$   
 Warunek dodatkowy:  
 $k_c \leq 20 \sqrt{\frac{215}{f_d}} = 20 \times \sqrt{\frac{215}{305}} = 16,792$   
 Siła może zmieniać położenie na przecięcie.  
 Naprężenia ściskające w środniku wynoszą  $\sigma_c = 68,86 \text{ MPa}$ . Współczynnik redukcji nośności wynosi:  
 $\eta_c = 1,25 - 0,5 \sigma_c / f_d = 1,25 - 0,5 \times 68,86 / 305 = 1,000$   
 Nośność środnika na siłę skupioną:  
 $P_{R,c} = k_c k_w^2 \eta_c f_d = 15,500 \times (8,0)^2 \times 1,000 \times 305 \times 10^{-3} = 302,56 \text{ kN}$

Rys. 23


Okno to jest wyposażone w następujące elementy sterowania (kontrolki):

**Okno podglądu dokumentu**, w którym ukazuje się tekst dokumentu wraz z rysunkami. Do przeglądania dokumentu służą standardowe operacje ekranowe do poruszania się po tekście, dokonywane przy pomocy klawiatury i myszki, a pozwalające na:


- ✓ przewijanie tekstu w przód i w tył (↓, ↑, PgUp, PgDn),
- ✓ zaznaczanie całości (Ctrl+A) lub fragmentu dokumentu,
- ✓ umieszczanie zaznaczonego fragmentu w schowku (Ctrl+Ins) z zamiarem jego importu do innych aplikacji systemu Windows.


**Lista rozwijalna** Skala, która służy do skalowania tekstu i rysunków dokumentu w oknie jego podglądu.


**Włącznik** Skrót, którego włączenie sprawia, że dokument wymiarowania ma formę skróconą, czyli jego zawartość jest zredukowana do najistotniejszych aspektów wymiarowania (bez komentarzy, wyjaśnień i rysunków).

**Przycisk** , który służy do bezpośredniego wydruku dokumentu na drukarce lub innym urządzeniu drukującym. Jego użycie powoduje wyświetlenie systemowego okna dialogowego Drukowanie wyposażonego w kontrolki do ustawiania właściwości urządzenia drukującego. Alternatywą tego przycisku jest kombinacja klawiszy Ctrl+P.

Wydruk bezpośredni ma skromną formę typograficzną i należy go raczej traktować jako konieczność zwłaszcza, gdy nie ma zainstalowanego w komputerze zaawansowanego edytora tekstu, zdolnego do importu plików w formacie RTF.

**Przycisk** , który służy do wywołania systemowego okna Ustawienia strony, w którym można określić podstawowe parametry typograficzne strony (marginesy, orientację, rozmiar papieru) przed dokonaniem wydruku bezpośredniego.

**Przycisk** , który służy do bezpośredniego umieszczenia całego tekstu dokumentu w schowku systemowym. Ta operacja jest użyteczna, gdy użytkownik nie dysponuje edytorem MS Word. Bowiem umieszczenie w schowku dokumentu pozwala na zaimportowanie go do posiadanego edytora tekstu.

**Przycisk** , który służy do bezpośredniego umieszczenia całego tekstu dokumentu w aktywnym dokumencie edytora MS Word. W sytuacji, gdy nie jest on załadowany do pamięci komputera, następuje jego automatyczne uruchomienie, otwarcie nowego dokumentu i wklejenie tekstu do tego dokumentu.

## **Tworzenie dokumentu**

---

Tworzenie dokumentacji wymiarowania jest całkowicie swobodne i może być dokonywane w dwóch formach:

- ✓ Tekstowo-graficzna - dla pojedynczego pręta, generowana w konwencji obliczeń prowadzonych ręcznie (komentarze, wzory, podstawienia, rysunki) i może być o dwóch stopniach szczegółowości - pełnej i skróconej.
- ✓ Tabelaryczna - dla grupy prętów, generowana jako zestaw tabel zawierających podstawowe dane i wyniki wymiarowania dla poszczególnych prętów grupy. Ta forma ma również dwa stopnie szczegółowości.

Pierwsza forma (tekstowo-graficzna) dokumentu jest dostępna z poziomu *okna właściwości wymiarowania* dla pojedynczego pręta, a więc wywołanego przy zaznaczonym jednym pręcie na modelu konstrukcji. Podgląd dokumentu wymiarowania oraz jego wydruk lub eksport zapewnia przycisk Dokument tego okna. Poniżej przedstawiono przykład takiego dokumentu (w obu stopniach szczegółowości) dla słupa wielogłęziowego ramy portalowej, jednonawowej hali stalowej stanowiącej przykład do instrukcji użytkownika programu głównego RM-3D.

*Przykład dokumentu szczegółowego w formie pełnej:*

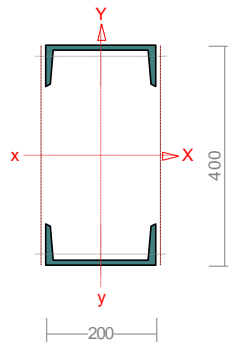
---



**Pręt nr 8**

Zadanie: Przykład hali stalowej.rm3

Przekrój: 1 - słupy ram



Wymiary przekroju:

 $h=200,0$   $s=75,0$   $g=8,8$   $t=11,5$   $r=11,5$   $e_x=20,1$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

 $J_xg=21138,4$   $J_yg=3820,0$   $A=64,40$   $i_x=18,1$   $i_y=7,7$ .Materiał: **St3S (X,Y,V,W)**. Wytrzymałość  **$f_d=215$  MPa** dla  **$g=11,5$** .**Długości wybozeniowe pręta:**

- przy wybozeniu w płaszczyźnie X przyjęto :

 $\chi_1 = 0,929$ ,  $\chi_2 = 0,800$  węzły przesuwne  $\Rightarrow \mu = 0,764$  dla  $l_o = 4,000$ 

$$l_w = 0,764 \times 4,000 = 3,056 \text{ m}$$

- przy wybozeniu w płaszczyźnie Y przyjęto :

 $\chi_1 = 0,930$ ,  $\chi_2 = 0,800$  węzły przesuwne  $\Rightarrow \mu = 0,763$  dla  $l_o = 4,000$ 

$$l_w = 0,763 \times 4,000 = 3,052 \text{ m}$$

**Siły krytyczne:**

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 21138,4}{3,056^2} 10^{-2} = 45795,1 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 3820,0}{3,052^2} 10^{-2} = 8297,5 \text{ kN}$$

**Połączenie gałęzi:**Przyjęto, że gałęzie połączone są przewiązkami o szerokości  $b = 150,0$  mm i grubości  $g = 12,0$  mm w odstępach  $l_1 = 571,4$  mm, wykonanymi ze stali St3S (X,Y,V,W).

Smukłość gałęzi:

$$\lambda_v = \lambda_1 = l_1 / i_1 = 571,4 / 21,4 = 26,70$$

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \times \sqrt{215 / 215} = 84,00$$

**Współczynniki redukcji nośności:**Współczynnik niestateczności dla ścianki przy ściskaniu wynosi  $\varphi_p = 1,000$ . Współczynnik niestateczności gałęzi wynosi:

$$\bar{\lambda} = \lambda_1 / \lambda_p = 26,70 / 84,00 = 0,318 \Rightarrow \varphi_1 = 0,950$$

W związku z tym współczynniki redukcji nośności wynoszą:

- dla zginana względem osi X:  $\psi_x = 0,950$ - dla zginana względem osi Y:  $\psi_y = 1,000$ - dla ściskania:  $\psi_o = 0,950$ **Smukłość zastępcza pręta:**

- dla wybozenia w płaszczyźnie prostopadłej do osi X

$$\lambda = l_{wx} / i_x = 3056,0 / 181,2 = 16,87$$

$$\lambda_m = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_v^2} \text{ m} / 2 = \sqrt{16,87^2 + 26,70^2 \times 2/2} = 31,584$$

$$\bar{\lambda}_m = \frac{\lambda_m}{\lambda_p} \sqrt{\psi_o} = \frac{31,58}{84,00} \times \sqrt{0,950} = 0,366$$

**Stateczność lokalna.** $x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,000$ .Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **4**. Rozstaw poprzecznych usztywnień ścianki  $a = 4000,0$  mm. Warunek stateczności ścianki dla ścianki najbardziej narażonej na jej utratę (9):

$$\sigma_c / \varphi_p f_d = \mathbf{1,115 > 1}$$

Przyjęto, że przekrój wymiarowany będzie w stanie **krytycznym**.

Współczynniki redukcji nośności przekroju:

- dla zginana względem osi X:  $\psi_x = \varphi_p = 0,950$ - dla zginana względem osi Y:  $\psi_y = \varphi_p = 1,000$ - dla ściskania:  $\psi_o = \varphi_p = 0,950$

**Naprężenia (Osłabienia otworami):**

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,000$ .

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 199,1 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -239,9 \text{ MPa}$ .

Naprężenia:

- normalne:  $\sigma = -20,4$   $\Delta\sigma = 219,5 \text{ MPa}$   $\psi_{oc} = 1,000$
- ścinanie wzdłuż osi Y:  $A_v = 30,5 \text{ cm}^2$   $\tau = 18,0 \text{ MPa}$   $\psi_{ov} = 1,000$
- ścinanie wzdłuż osi X:  $A_v = 35,2 \text{ cm}^2$   $\tau = 0,0 \text{ MPa}$   $\psi_{ov} = 1,000$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 20,4 / 1,000 + 219,5 = \mathbf{239,9 > 215} \text{ MPa}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 18,0 / 1,000 = \mathbf{18,0 < 124,7} = 0,58 \times 215 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ex} = \tau / \psi_{ov} = 0,0 / 1,000 = \mathbf{0,0 < 124,7} = 0,58 \times 215 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_e^2} = \sqrt{239,8^2 + 3 \times 18,0^2} = \mathbf{241,8 > 215} \text{ MPa}$$

**Nośność elementów rozciąganych:**

$x_a = 4,000$ ;  $x_b = 0,000$ .

Siała osiowa:  $N = -133,7 \text{ kN}$ .

Pole powierzchni przekroju:  $A = 64,40 \text{ cm}^2$ .

Nośność przekroju na rozciąganie:  $N_{Rt} = A f_d = 64,40 \times 215 \times 10^{-1} = 1384,6 \text{ kN}$ .

Warunek nośności (31):

$$N = \mathbf{133,7 < 1384,6} = N_{Rt}$$

**Nośność przekroju na ściskanie:**

$x_a = 4,000$ ;  $x_b = 0,000$ :

$$N_{Rc} = \psi A f_d = 0,950 \times 64,4 \times 215 \times 10^{-1} = 1315,4 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wybożeniowych:

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \times \sqrt{215 / 215} = 84,00$$

- dla wybożenia prostopadłego do osi X:

$$\bar{\lambda} = \lambda_m = 0,366 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,976$$

- dla wybożenia prostopadłego do osi Y:

$$\lambda_y = l_{wy} / i_y = 3052,0 / 77,0 = 39,63$$

$$\bar{\lambda} = \lambda_y / \lambda_p = 39,63 / 84,00 = 0,472 \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,881$$

Przyjęto:  $\varphi = \varphi_{\min} = 0,881$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{Rc}} = \frac{133,7}{0,881 \times 1315,4} = \mathbf{0,115 < 1}$$

**Nośność przekroju na ścinanie:**

$x_a = 4,000$ ;  $x_b = 0,000$ .

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 \varphi_{pv} A_v f_d = 0,58 \times 1,000 \times 27,4 \times 215 \times 10^{-1} = 341,8 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,3 V_R = 102,5 \text{ kN}$$

- wzdłuż osi X

$$V_R = 0,58 \varphi_{pv} A_v f_d = 0,58 \times 1,000 \times 35,2 \times 215 \times 10^{-1} = 438,9 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,3 V_R = 131,7 \text{ kN}$$

Warunki nośności:

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } V = \mathbf{60,3 < 341,8} = V_R$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi X: } V = \mathbf{0,2 < 438,9} = V_R$$

**Nośność przekroju na zginanie:**

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,000$ .

- względem osi X

$$M_R = \psi W_c f_d = 0,950 \times 1056,9 \times 215 \times 10^{-3} = 215,9 \text{ kNm}$$

- względem osi Y

$$M_R = \psi W_c f_d = 1,000 \times 382,0 \times 215 \times 10^{-3} = 82,1 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 0,000$  wynosi  $\varphi_L = 1,000$

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{131,5}{1315,4} + \frac{230,1}{1,000 \times 215,9} + \frac{0,7}{82,1} = \mathbf{1,174 > 1}$$

**Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:**

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,000$ .

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 54,7 < 102,5 = V_0$

$M_{R,V} = M_R = 215,9$  kNm

- dla zginania względem osi Y:  $V_x = 0,2 < 131,7 = V_0$

$M_{R,V} = M_R = 82,1$  kNm

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{M_{R_x,V}} + \frac{M_y}{M_{R_y,V}} = \frac{131,5}{1315,4} + \frac{230,1}{215,9} + \frac{0,7}{82,1} = \mathbf{1,174 > 1}$$

**Nośność (stateczność) pręta ściskanego i zginanego:**

Składnik poprawkowy:

- dla zginania względem osi X:

$$M_{x \max} = 230,1 \text{ kNm} \quad \beta_x = 1,000$$

$$\Delta_x = 1,25 \varphi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x \max}}{M_{Rx}} \frac{N}{N_{Rc}} = 1,25 \times 0,976 \times 0,366^2 \times \frac{1,000 \times 230,1 \times 131,5}{215,9 \times 1315,4} = 0,018$$

$$\Delta_x = 0,018$$

- dla zginania względem osi Y:

$$M_{y \max} = 0,7 \text{ kNm} \quad \beta_y = 0,550$$

$$\Delta_y = 1,25 \varphi_y \bar{\lambda}_y^2 \frac{\beta_y M_{y \max}}{M_{Ry}} \frac{N}{N_{Rc}} = 1,25 \times 0,881 \times 0,472^2 \times \frac{0,550 \times 0,7 \times 131,5}{82,1 \times 1315,4} = 0,000$$

$$\Delta_y = 0,000$$

Warunki nośności (58):

- dla wyboczenia względem osi X:

$$\frac{N}{\varphi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{M_{Ry}} = \frac{131,5}{0,976 \times 1315,4} + \frac{1,000 \times 230,1}{1,000 \times 215,9} + \frac{0,550 \times 0,7}{82,1} = \mathbf{1,175 > 0,982} = 1 - 0,018 = 1 - \Delta_x$$

- dla wyboczenia względem osi Y:

$$\frac{N}{\varphi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{M_{Ry}} = \frac{131,5}{0,881 \times 1315,4} + \frac{1,000 \times 230,1}{1,000 \times 215,9} + \frac{0,550 \times 0,7}{82,1} = \mathbf{1,186 > 1,000} = 1 - 0,000 = 1 - \Delta_y$$

**Złożony stan środka**

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,000$ .

Siły przekrojowe przypadające na środek i nośności środka:

$$\begin{array}{ll} N_w = -316,2 & N_{Rw} = 291,4 \text{ kN} \\ M_w = 0,0 & M_{Rw} = 7,5 \text{ kNm} \\ V = 0,2 & V_R = 438,9 \text{ kN} \\ P = -0,1 & P_{Rc} = 153,2 \text{ kN} \end{array}$$

Współczynnik niestateczności ścianki wynosi:  $\varphi_p = 1,000$ .

Warunek nośności środka:

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

$$\left( \frac{316,2}{291,4} + \frac{0,0}{7,5} + \frac{0,1}{153,2} \right)^2 - 3 \times 1,000 \times \left( \frac{316,2}{291,4} + \frac{0,0}{7,5} \right) \times \frac{0,1}{153,2} + \left( \frac{0,2}{438,9} \right)^2 = \mathbf{1,191 > 1}$$

**Nośność przewiązek:**

$x_a = 4,000$ ;  $x_b = 0,000$ .

Przewiązki prostopadłe do osi Y:

$$Q = 1,2 \quad V = 1,2 \times 0,2 = 0,2 \text{ kN}$$

$$Q \geq 0,012 A f_d = 0,012 \times 64,40 \times 215 \times 10^{-1} = 16,6 \text{ kN}$$

Przyjęto  $Q = 16,6 \text{ kN}$

$$V_Q = \frac{Q l_1}{n(m-1)a} = \frac{16,6 \times 0,571}{2 \times (2-1) \times 0,000} = 0,0 \text{ kN} \quad M_Q = \frac{Q l_1}{m n} = \frac{16,6 \times 0,6}{2 \times 2} = 0,0 \text{ kNm}$$

$$V_R = 0,58 \varphi_{pv} A_v f_d = 0,58 \times 1,000 \times 0,9 \times 150,0 \times 12,0 \times 215 \times 10^{-3} = 202,0 \text{ kN}$$

$$M_R = W f_d = 12,0 \times 150,0^2 / 6 \times 215 \times 10^{-6} = 9,7 \text{ kNm}$$

$$V_Q = 0,0 < 202,0 = V_R \quad M_Q = 0,0 < 9,7 = M_R$$

### Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 4,8 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 350 = 4000 / 350 = 11,4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 4,8 < 11,4 = a_{\text{gr}}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 0,1 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 350 = 4000 / 350 = 11,4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,1 < 11,4 = a_{\text{gr}}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 4,8 < 11,4 = a_{\text{gr}}$$

*Przykład dokumentu szczegółowego w formie skróconej:*

### Pręt nr 8

Zadanie: Przykład hali stalowej.rm3 Przekrój: 1 - słupy ram

**Klasa przekroju: 4.**

#### Naprężenia (Osłabienia otworami):

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 20,4 / 1,000 + 219,5 = 239,9 > 215 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 18,0 / 1,000 = 18,0 < 124,7 = 0,58 \times 215 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ex} = \tau / \psi_{ov} = 0,0 / 1,000 = 0,0 < 124,7 = 0,58 \times 215 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_e^2} = \sqrt{239,8^2 + 3 \times 18,0^2} = 241,8 > 215 \text{ MPa}$$

#### Nośność elementów rozciąganych:

$$N = 133,7 < 1384,6 = N_{Rt}$$

#### Nośność przekroju na ściskanie:

$$\frac{N}{\varphi N_{Rc}} = \frac{133,7}{0,881 \times 1315,4} = 0,115 < 1$$

#### Nośność przekroju na ścinanie:

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } V = 60,3 < 341,8 = V_R$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi X: } V = 0,2 < 438,9 = V_R$$

#### Nośność przekroju na zginanie:

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{131,5}{1315,4} + \frac{230,1}{1,000 \times 215,9} + \frac{0,7}{82,1} = 1,174 > 1$$

#### Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{M_{Rx, V}} + \frac{M_y}{M_{Ry, V}} = \frac{131,5}{1315,4} + \frac{230,1}{215,9} + \frac{0,7}{82,1} = 1,174 > 1$$

#### Nośność (stateczność) pręta ściskanego i zginanego:

- dla wyboczenia względem osi X:

$$\frac{N}{\varphi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{M_{Ry}} = \frac{131,5}{0,976 \times 1315,4} + \frac{1,000 \times 230,1}{1,000 \times 215,9} + \frac{0,550 \times 0,7}{82,1} = 1,175 > 0,982 = 1 - 0,018 = 1 - \Delta_x$$

- dla wyboczenia względem osi Y:

$$\frac{N}{\varphi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{M_{Ry}} = \frac{131,5}{0,881 \times 1315,4} + \frac{1,000 \times 230,1}{1,000 \times 215,9} + \frac{0,550 \times 0,7}{82,1} = 1,186 > 1,000 = 1 - 0,000 = 1 - \Delta_y$$

#### Złożony stan środnika

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

$$\left(\frac{316,2}{291,4} + \frac{0,0}{7,5} + \frac{0,1}{153,2}\right)^2 - 3 \times 1,000 \times \left(\frac{316,2}{291,4} + \frac{0,0}{7,5}\right) \times \frac{0,1}{153,2} + \left(\frac{0,2}{438,9}\right)^2 = \mathbf{1,191 > 1}$$

**Stan graniczny użytkowania:**

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = \mathbf{4,8} < \mathbf{11,4} = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = \mathbf{0,1} < \mathbf{11,4} = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = \mathbf{4,8} < \mathbf{11,4} = a_{gr}$$

Druga forma (tabelaryczna) jest dostępna z poziomu *okna właściwości wymiarowania* dla uprzednio zaznaczonej grupy prętów. Podgląd dokumentu wymiarowania oraz jego wydruk lub eksport zapewnia przycisk Dokument tego okna. Poniżej przedstawiono przykład takiego dokumentu (w obu stopniach szczegółowości) dla prętów ramy portalowej, jednonawowej hali stalowej stanowiącej przykład do instrukcji użytkowania programu głównego RM-3D.

*Przykład dokumentu tabelarycznego w formie pełnej:***Wyniki wymiarowania wg PN-90/B-03200**

Nazwa pliku: Przykład hali stalowej.rm3

Obciążenia: CW Sn St Wl

Nr pręta:	Grupa:	Przekrój:	Warunek decydujący:	Nośność:
5	Rama-2	1 - słupy ram	Ściskanie ze zginaniem (58)	<b>1,014</b>
6	Rama-2	2 - rygle ram	Zginanie (54)	0,825
7	Rama-2	2 - rygle ram	Zginanie (54)	0,963
8	Rama-2	1 - słupy ram	Ściskanie ze zginaniem (58)	<b>1,196</b>

Obciążenia: CW Sn St Wl

Nr pręta:	SGN:	Naprężenia:	Warunek (32):	Ściskanie (39):	Ścinanie:	Zginanie (54):	Zginanie (55):
5	0,949	0,960	0,091	0,109	0,160	0,999	0,999
6	0,761	0,782	0,047	0,100	0,282	0,825	0,825
7	0,893	0,918	0,048	0,101	0,298	0,963	0,963
8	<b>1,115</b>	<b>1,125</b>	0,097	0,115	0,177	<b>1,174</b>	<b>1,174</b>

Obciążenia: CW Sn St Wl

Nr pręta:	Ściskanie ze zgin. (58):	Środek pod obc. skup.:	Środek w stanie złoż.:	Nośność łączników:	SGU:
5	<b>1,014</b>	0,000	0,862	0,971	0,334
6	0,814	0,102	0,593		0,421
7	0,951	0,103	0,800		0,334
8	<b>1,196</b>	0,000	<b>1,191</b>	<b>1,069</b>	0,416

*Przykład dokumentu tabelarycznego w formie skróconej:***Wyniki wymiarowania wg PN-90/B-03200**

Nazwa pliku: Przykład hali stalowej.rm3

Obciążenia: CW Sn St Wl

Nr pręta:	Grupa:	Przekrój:	Warunek decydujący:	Nośność:
5	Rama-2	1 - słupy ram	Ściskanie ze zginaniem (58)	<b>1,014</b>
6	Rama-2	2 - rygle ram	Zginanie (54)	0,825
7	Rama-2	2 - rygle ram	Zginanie (54)	0,963
8	Rama-2	1 - słupy ram	Ściskanie ze zginaniem (58)	<b>1,196</b>



#### IV. WSKAZÓWKI DOTYCZĄCE WYMIAROWANIA

W tej części instrukcji omówione zostaną wybrane aspekty wymiarowania konstrukcji stalowych przy użyciu modułu **STAL-3D**.

##### ***Pręty o zmiennym przekroju (pręty niepryzmatyczne)***

W programie głównym pakietu RM-3D istnieje możliwość deklarowania prętów o liniowo zmieniających się wzdłuż pręta wymiarach przekroju (patrz: instrukcja użytkownika RM-3D) oraz dokonywania obliczeń statycznych dla takich prętów. **Ponieważ ściskane pręty o zmiennym przekroju nie mogą być wymiarowane na podstawie PN-90/B-03200**, poniżej przedstawiona zostanie propozycja algorytmu (uzupełnienie algorytmu normowego) umożliwiającego sprawdzanie stateczności takich prętów.

Propozycja ta polega na sprawdzeniu stateczności technicznej pręta na bazie obliczeń wg teorii II rzędu w połączeniu z jawnym określeniem imperfekcji pręta. Została ona opracowana na podstawie literatury opisującej zagadnienia stateczności prętów ściskanych [1], [2].

Autorzy cytowanej literatury są zgodni, że sprawdzanie stateczności prętów niepryzmatycznych metodą współczynnika wyboczeniowego jest niedopuszczalne, a jedyną możliwą metodą jest analiza oparta na teorii II rzędu.

W związku z tym proponuje się sprawdzanie stateczności prętów ściskanych o zmiennym przekroju na podstawie następującego warunku:

$$\frac{N(x)}{N_{Rc}(x)} + \frac{M_y(x)}{M_{yR}(x)} + \frac{M_z(x)}{M_{zR}(x)} \leq 1$$

w którym:

$N(x), M_y(x), M_z(x)$  - siła osiowa i momenty zginające w płaszczyznach głównych przekroju o współrzędnej  $x$ , wyznaczone wg teorii II-go rzędu z uwzględnieniem imperfekcji geometrycznych,

$N_{Rc}(x), M_{yR}(x), M_{zR}(x)$  - nośność na ściskanie i na zginanie przekroju w płaszczyznach głównych przekroju o współrzędnej  $x$ .

Powyższy warunek odpowiada warunkowi (54) normy dla  $\varphi_L = 1$ .

Podstawowe znaczenie dla oceny stateczności wg proponowanej metody mają wartości imperfekcji geometrycznych, które uwzględniają oprócz odchyłek od prostoliniowości pręta i jego wstępnego przechyłu, również naprężenia spawalnicze oraz naprężenia resztkowe powstałe w procesie walcowania. Wszystkie te imperfekcje uwzględniane są w postaci zastępczych imperfekcji geometrycznych jako wstępne wygięcie osi pręta oraz jako wstępne pochylenie pręta. Imperfekcje w postaci pochylenia pręta, mają znaczenie dla układów przesuwnych i można je przyjmować zgodnie z **PN-90/B-03200** p. 5.4.2.

Ponieważ polska norma nie określa wartości imperfekcji w postaci wygięcia pręta, konieczne jest odwołanie się do norm europejskich oraz do propozycji polskiego dokumentu krajowego NAD-PN. Poniżej przedstawiony sposób przyjmowania wartości tej imperfekcji zaczerpnięto z pracy [2] oraz normy DIN 18800 T.2 [3]:

Wartość wstępnej strzałki wygięcia ( $f_o$ ) można ustalać następująco:

Krzywa wybocheniowa	wg EC3	wg NAD-PN	wg DIN 18800 T.2
$a$	$0,21 (\bar{\lambda} - 0,2) k$	$0,17 \bar{\lambda} k$	$l_w / 500$
$b$	$0,34 (\bar{\lambda} - 0,2) k$	$0,28 \bar{\lambda} k$	$l_w / 250$
$c$	$0,49 (\bar{\lambda} - 0,2) k$	$0,39 \bar{\lambda} k$	$l_w / 200$
$d$	$0,76 (\bar{\lambda} - 0,2) k$	$0,61 \bar{\lambda} k$	$l_w / 140$

gdzie:

$k = W/A$  - promień rdzenia przekroju wyrażonym jako stosunek wskaźnika wytrzymałości przekroju ( $W$ ) do jego pola powierzchni ( $A$ ),

$\bar{\lambda}$  - smukłość względna pręta,

$l_w$  - długość wybocheniowa pręta.

Powyższa tabela zawiera wartości  $f_o$  dla czterech krzywych wybocheniowych używanych w normach europejskich. Krzywe te - na postawie DIN 18800 T.2. - dobierane są podobnie jak w PN-90/B-03200, z następującymi różnicami:

- ✓ dla spawanych przekrojów skrzynkowych, gdy smukłości blach prostopadłych do kierunku wybożenia  $h/t < 30$ , przyjmuje się krzywą „c”,
- ✓ dla dwuteowników walcowanych, gdy  $t > 40$  dla wybożenia w obu kierunkach przyjmuje się krzywą „d”
- ✓ dla dwuteowników spawanych, gdy  $t > 40$  dla wybożenia względem osi  $x$  przyjmuje się krzywą „c”, a względem osi  $y$  - krzywą „d”.

W związku z tym w celu sprawdzenia stateczności niepryzmatycznego pręta ściskanego lub ściskanego i zginanego przy użyciu pakietu RM-3D i **STAL-3D** należy:

1. Wykreować model konstrukcji w programie RM-3D, tzn. określić schemat statyczny układu, jego obciążenia oraz przekroje prętów.
2. Zadać wartości imperfekcji geometrycznych w *okienku właściwości prętów* trybu Schemat programu RM-3D dla poszczególnych prętów układu w obu płaszczyznach głównych przekroju pręta. Wartości imperfekcji dla poszczególnych prętów należy zadawać w postaci bezwzględnej (bez znaków) ponieważ program RM-3D określa je w trakcie analizy wg teorii II-go rzędu tak, aby rozkład imperfekcji był zgodny z przewidywaną formą utraty stateczności układu, tzn. tak, aby ich wpływ na interakcję pomiędzy siłami osiowymi i momentami zginającymi był najniekorzystniejszy.

Na przykład przyjmując wartość wstępnego wygięcia pręta wg DIN 18800, dla wspornika o długości do 5 m wg krzywej wybocheniowej „b”, otrzyma się:



$$f_0/L = \mu/250 = 0,008$$

$$w_0/L = 1/200 = 0,005$$

3. Włączyć obliczenia wg teorii II rzędu (opcja Wyniki / Teoria II rzędu).
4. Przejść do trybu Wymiarowanie, wybrać pręt o zmiennym przekroju i wywołać moduł wymiarowania.
5. Wybrać kontekst wymiarowania **Zginanie (54)** i włączyć włącznik Wartości maksymalne, co spowoduje ustalenie położenia przekroju, dla którego warunek (54) jest najniekorzystniejszy. Jeżeli warunek (54) jest spełniony we wszystkich przekrojach pręta, można przyjąć, że stateczność pręta niepryzmatycznego jest zachowana.

*Nie należy uwzględniać plastycznej rezerwy nośności przekroju na zginanie dla przekrojów klasy 1 i 2, ponieważ przedstawiona powyżej metoda analizy nie dotyczy zagadnienia stateczności poza sprężystej pręta. W związku z tym włącznik Obciążenia statyczne powinien być wyłączony.*

Należy zauważyć, że przedstawiony sposób sprawdzania stateczności prętów pozwala na uwzględnianie wpływu wrażliwości na wyboczenie w obu płaszczyznach głównych pręta.

#### *Literatura:*

- [1] Stanisław Weiss, Marian Giżejowski: Stateczność konstrukcji metalowych. Arkady Warszawa 1991.
- [2] Zbigniew Mendera: Częściowe współczynniki bezpieczeństwa i modele obliczeniowe konstrukcji stalowych na tle Eurokodu 3. Inżynieria i Budownictwo. Nr 11/95 s.577-582.
- [3] DIN 18800 Teil 2. Stahlbauten. Stabilitätsfälle. Knicken von Stäben und Stabwerken.

### **Pręty o przekrojach z kształtników giętych**

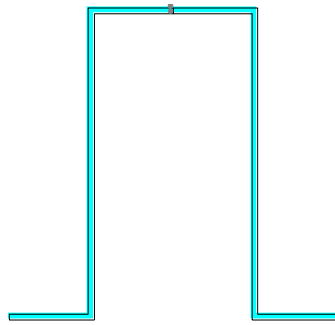
Mimo, że opcja Przekroje programu głównego RM-3D, służąca do kreowania przekrojów prętów zadania, zawiera jedynie katalogi standardowych kształtników giętych, to - dzięki rozszerzeniu zakresu wymiarowania na tzw. jednogalęziowe przekroje składane z wielu kształtników - możliwe jest również wymiarowanie prętów o niestandardowych przekrojach giętych.

W takich przypadkach należy posługiwać się dostępnymi w opcji Przekroje odpowiednimi typami giętych kształtników standardowych oraz kształtników o wymiarach deklarowanych przez użytkownika. Na przykład tzw. kątowniki trójgięte można wykreować przez odpowiednie złożenie dwóch kątowników.

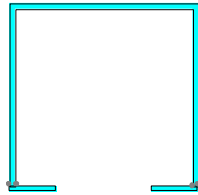
Przy "składaniu" przekroju giętego należy pamiętać o zapewnieniu ciągłości poszczególnych elementów składowych (kształtników) tak, aby całość stanowiła przekrój jednogalęziowy.

Chociaż koncepcja składania przekroju z pojedynczych blach (prostokątów) wydaje się tu najbardziej naturalna, to użycie innych kształtników (jeśli jest to w konkretnym przypadku możliwe) znacznie ułatwia kreowanie zamierzonego przekroju oraz ułatwia procedurom obliczeniowym modułu identyfikację

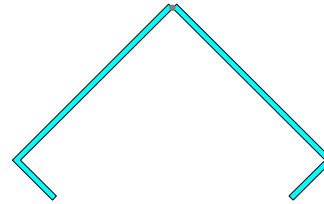
przekroju oraz wyznaczanie charakterystyki geometrycznej i wytrzymałościowej. Poniżej pokazano sposoby modelowania przekrojów giętych.



Dwa zetowniki



Ceownik + dwie blachy



Dwa kątowniki