

EuroStal

podręcznik użytkownika

Podręcznik do programu EuroStal

06.02.2018

1 SPIS TREŚCI

1	<i>Spis treści</i>	1
2	<i>Wiadomości ogólne</i>	4
2.1	Opis ogólny i wymagania programu	4
2.2	Wymiarowanie wg PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3	4
2.3	Wybór prętów do sprawdzania nośności	5
2.4	Typy przekrojów prętów	6
2.5	Stan graniczny użytkowania	6
2.6	Wywołanie sprawdzenia nośności	6
3	<i>Sprawdzenie nośności przekroju</i>	8
3.1	Reguły ogólne	8
3.2	Zmiana przekroju pręta	9
3.3	Wybór gatunku stali	9
3.4	Parametry typu elementu	10
3.4.1	Ściskanie	10
3.4.2	Rozciąganie	11
3.4.3	Żebra poprzeczne	12
3.4.4	Zwichrzenie	13
3.5	Punkty sprawdzania nośności	16
3.6	Wyniki sprawdzania nośności	17
3.7	Pełny raport wymiarowania	18
3.7.1	Przykładowy raport z wymiarowania	18

Wydawca

ArCADiasoft Chudzik sp. j.
ul. Sienkiewicza 85/87
90-057 Łódź
www.arcadiasoft.pl

Prawa autorskie

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

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

Pomimo tego nie można całkowicie wykluczyć wystąpienia błędów.

Pragniemy w związku z tym zwrócić uwagę na to, że nie możemy udzielić gwarancji, jak również ponosić prawnej odpowiedzialności za wynikłe stąd skutki.

Za podanie nam ewentualnych błędów będziemy wdzięczni.

2 WIADOMOŚCI OGÓLNE

2.1 OPIS OGÓLNY I WYMAGANIA PROGRAMU

Moduł wymiarujący *EuroStal* przeznaczony jest do wymiarowania przestrzennych prętowych konstrukcji stalowych wg „*PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: czerwiec 2006*” w programie *R3D3/R2D2*, w złożonym stanie naprężenia, z pominięciem wpływu momentu skręcającego na nośność pręta. Program jest wykonany w postaci zintegrowanej instalacji, wbudowanej w program do obliczeń statycznych *R3D3/R2D2*, który do działania wymaga odrębnej licencji. Aktualnie *R3D3-Rama 3D* i *R2D2-Rama 2D* mogą pracować w dwóch konfiguracjach:

- Osobno jako program tylko do obliczeń statycznych (wówczas moduł *EuroStal* działa jedynie w wersji demo) – wymagana licencja na *R3D3 (R2D2)*.
- W połączeniu z modułem *EuroStal* jako program do obliczeń statycznych i wymiarowania elementów stalowych - wymagana licencja na *R3D3 (R2D2)* i *EuroStal*.

Do poprawnego i pełnego działania modułu *EuroStal* wymagana jest obecność w systemie programu do edycji lub przeglądania plików raportów (format RTF) w postaci np. *MS Word* (od wersji 2003) lub *MS Word Viewer*.

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

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

Metoda sprawdzania naprężeń sprężystych jako warunku wstępnego do wymiarowania może być zawodna w przypadku wymiarowania konstrukcji stalowych wg Eurokodu, całkowicie zabezpieczonych przed utratą stateczności. Spowodowane jest to tym że do liczenia naprężeń sprężystych wykorzystywane są sprężyste charakterystyki przekroju, a przy wymiarowaniu przekrojów stalowych klasy 1 i 2 wg Eurokodu wykorzystywane są plastyczne wskaźniki wytrzymałości, przeważnie większe niż wskaźniki sprężyste tego samego przekroju.

Opisane powyżej działania są warunkiem koniecznym spełnienia warunków nośności, natomiast warunkiem ostatecznym jest dokładne sprawdzenie nośności w module wymiarującym *EuroStal*.

2.2 WYMIAROWANIE WG PN-EN 1993-1-1 EUROKOD 3

Aktualnie wprowadzona norma „*PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: czerwiec 2006*” w znaczącym stopniu zmienia procedurę wymiarowania podstawowych elementów stalowych w stosunku do normy: **PN-90/B03200**. Zmiany obejmują praktycznie wszystkie aspekty projektowania konstrukcji stalowych. Poniżej przedstawiono w dużym skrócie zasadnicze zmiany:

W normie *Eurokod 3* zmienione zostały oznaczenia stosowanych gatunków stali. Współcześnie produkowane stale są wyrabiane zgodnie ze zmienionymi normami hutniczymi. Nie ma jednoznacznego przejścia ze „starych” gatunków stali na nowe. Przy projektowaniu elementu stalowego projektantowi wystarczy znajomość granicy plastyczności lub wytrzymałości na rozciąganie (w przypadku elementów rozciąganych). Dopiero przy tworzeniu dokumentacji technicznej niezbędne jest wskazanie gatunku stali według nowych oznaczeń. W przypadku najczęściej stosowanych „starych” oznaczeń można wskazać następujące nowe odpowiedniki: St3S - S235JR; St4W, St4S - S275JR; 18G2A - S355J0.

W normie *Eurokod 3* analizę I rzędu bez uwzględnienia imperfekcji można stosować w przypadku układów niewrażliwych na efekty II rzędu (warunek poniżej), a także (zgodnie z załącznikiem krajowym) jednokondygnacyjnych układów przechyłowych.

Wiadomości ogólne

Kryterium stosowalności analizy pierwszego rzędu w przypadku analizy sprężystej jest zapisane następująco:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10$$

gdzie: α_{cr} - mnożnik obciążenia krytycznego w stosunku do obciążeń obliczeniowych, odpowiadający niestateczności sprężystej układu,

F_{cr} - obciążenie krytyczne odpowiadające globalnej formie niestateczności sprężystej i początkowej sztywności sprężystej układu,

F_{Ed} - obciążenie obliczeniowe działające na konstrukcję.

Przy określaniu klasy przekroju niektóre maksymalne stosunki szerokości do grubości części ściskanych zostały zmienione. W przypadku elementów ściskanych mimośrodowo graniczna smukłość ścianki musi być wyznaczona dla rozkładu naprężeń powstającego przy rozpatrywanej kombinacji obciążeń. Ponadto w nowej normie nie określa się klasy przekroju przy ścinaniu, przy czym bada się wrażliwość środników na niestateczność przy ścinaniu.

W **Eurokodzie** zmieniono wzór na smukłość pręta przy wyboczeniu oraz wszystkie krzywe wyboczenia. Każdej krzywej przypisano parametr imperfekcji α . Tak jak w całym **Eurokodzie** i tu występują inne oznaczenia poszczególnych parametrów w stosunku do dotychczasowych.

Zmieniono wzór na smukłość pręta przy zwichrzeniu oraz wszystkie krzywe zwichrzenia. Wprowadzono inne przyporządkowanie krzywych do różnych poszczególnych przekrojów poprzecznych. Rozróznilo *przypadek ogólny* (najbardziej zachowawczy), *przypadek szczególny dla dwuteowników i ich spawanych odpowiedników* (uzyskuje się podwyższoną nośność elementu) oraz *uproszczoną ocenę zwichrzenia belek w budynkach*.

Aby uzyskać nośność elementu, nośność przekroju traktuje się współczynnikami wyboczenia czy zwichrzenia, o ile zachodzi zjawisko niestateczności. W przypadku tylko ściskania czy tylko zginania nie ma większej różnicy

w metodologii. Zapisy **Eurokodu** w niczym nie przypominają starej normy polskiej, gdy występuje interakcja zginania z siłą podłużną czy zginania ze ścinaniem, wreszcie zginania ze ścinaniem i siłą podłużną. Odmienne podejście dotyczy zarówno obliczania nośności przekroju, jak i elementu. Szczególnie rozbudowany jest sposób obliczania współczynników interakcji przy ocenie nośności elementu zginanego z siłą podłużną.

Metoda stanu krytycznego i nadkrytycznego występuje w starej normie w przypadku przekrojów klasy 4 wrażliwych na niestateczność miejscową. Wyboczenie ścianki ściskanej następuje przy naprężeniu niższym niż granica plastyczności. W metodzie stanu krytycznego uznaje się to za wyczerpanie nośności, w rzeczywistości ścianka wykazuje nośność nadkrytyczną, przy czym zmienia się rozkład naprężeń normalnych w przekroju, co uwzględnia się w obliczeniach stosując charakterystyki efektywne. W tym zakresie pojęcie stanu krytycznego miejscowego nie występuje w **Eurokodzie**, a jedynie stan nadkrytyczny przekrojów klasy 4. Zagadnienia z tym związane zawarto w **PN-EN 1993-1-5**. Przez stan krytyczny rozumie się w **Eurokodzie PN-EN 1993-1-1** wyboczenie czy zwichrzenie elementu.

Uwaga:

Ze względu na inne podejście do częściowych współczynników bezpieczeństwa po stronie obciążeń i wytrzymałości materiału w normach PN i PN-EN, nie wolno w ramach jednego projektu stosować jednocześnie do wymiarowania prętów i elementów normy PN i PN-EN. Zawsze powinien być stosowany albo zestaw norm PN, albo zestaw PN-EN. Inne podejście w tym zakresie może prowadzić do przeszacowania nośności liczonej konstrukcji.

2.3 WYBÓR PRĘTÓW DO SPRAWDZANIA NOŚNOŚCI

Sprawdzenie nośności można przeprowadzić dla wybranego elementu ramy w programie **R3D3 (R2D2)** po wykonaniu obliczeń statycznych liczonego układu. Elementem tym może być:

- pojedynczy pręt zdefiniowany w ramie,
- element złożony z grupy prętów.

Wybór pojedynczego pręta następuje poprzez jego podświetlenie lewym klawiszem myszy.

Element złożony z kilku prętów tworzymy zaznaczając pręty lewym klawiszem myszy przy wciśniętym klawiszu **SHIFT**. Element złożony można stworzyć tylko z kilku kolejnych, współliniowych prętów o tym samym przekroju lub z kilku prętów połączonych kolejno ze sobą, dla których kąt załamania między kolejnymi prętami nie różni się o więcej niż 5 stopni. Ostatnia opcja pozwala na wymiarowanie łuków jako pojedynczego elementu, pod warunkiem że kolejne pręty łuku spełniają warunek opisany powyżej.

Wiadomości ogólne

Sprawdzanie nośności elementu odbywa się dla obwiedni sił wewnętrznych określonych w głównych centralnych osiach bezwładności przekroju.

2.4 TYPY PRZEKROJÓW PRĘTÓW

Program sprawdza nośność dla następujących typów przekrojów prętów:

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

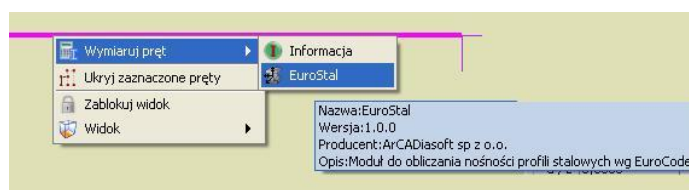
W przypadku gdy w programie statycznym wybraliśmy profil dwuteowy walcowany, połówkę dwuteownika walcowanego lub teownik walcowany i w edytorze programu statycznego zostały zmienione jego wymiary, sytuacja taka będzie rozpoznana przez program przy próbie wymiarowania. Wówczas użytkownik zostanie powiadomiony, że wymiary profilu zostały zmienione i spytany czy chce ten profil wymiarować jako spawany. W przypadku potwierdzenia może dojść do niezgodnej charakterystyk profilu w programie statycznym i wymiarującym (przy wymiarowaniu nie będą uwzględniane wyokrąglenia). Natomiast jeśli użytkownik nie potwierdzi wymiarowania jako profilu spawanego, wówczas, w zależności od przyjętych wymiarów przekroju, wymiarowanie może być obciążone błędem wynikającym z niezgodności klasy dla profilu walcowanego.

2.5 STAN GRANICZNY UŻYTKOWANIA

Podczas wymiarowania, dla sprawdzanego elementu ustalana jest maksymalna obwiednia przemieszczeń i oddzielnie obwiednia ugięć względnych dla obciążeń charakterystycznych, osobno dla każdego kierunku. Następnie na tej podstawie ustalana jest wspólna lista grup dla przemieszczenia z obu kierunków dla wszystkich obwiedni przemieszczeń i liczone jest u_{fin} jako suma geometryczna przemieszczeń z obu kierunków. Ze wszystkich policzonych tak wartości u_{fin} , dla wszystkich punktów elementu, wybierana jest do sprawdzenia wartość ekstremalna. Obwiednia przemieszczeń i ugięć względnych wykonywana jest dla układu lokalnego pręta, ale końcowe wartości i składowe przemieszczenia podane w raporcie przeliczane są na układ osi głównych pręta, co, w przypadku gdy oba te układy nie pokrywają się, prowadzi do sytuacji, w której nie ma możliwości bezpośredniego porównania wartości przemieszczeń otrzymanych w statyce i otrzymanych w raporcie z wymiarowania. Na końcu wartość tak otrzymanego maksymalnego ugięcia względnego lub przemieszczenia porównywana jest z ugięciem dopuszczalnym, określonym przez użytkownika w parametrach typu elementu.

2.6 WYWOŁANIE SPRAWDZENIA NOŚNOŚCI

Po obliczeniu statyki układu i zaznaczeniu wymiarowanego elementu naciskamy prawy klawisz myszki i wywołujemy poniższe menu kontekstowe:



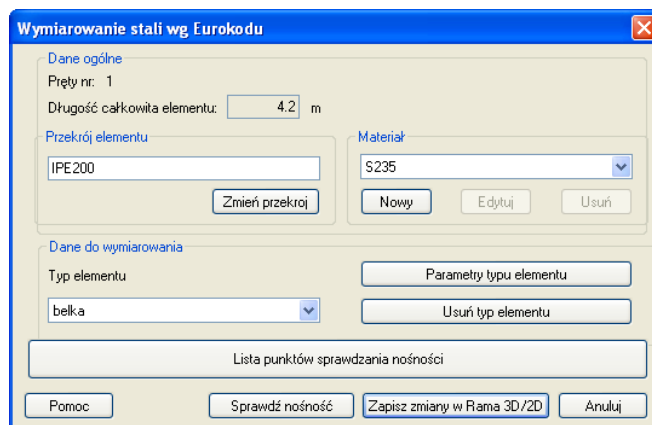
Rys. 1.1 Wywołanie modułu *EuroStal*

Wywołanie funkcji wymiarującej możliwe jest w programie statycznym tylko wówczas, gdy program przełączony jest w tryb analizy wyników (zakładka **Wyniki**).

Wybierając opcję ***EuroStal***, wywołujemy sprawdzanie nośności wybranego elementu wg ***PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3***. W przypadku próby wymiarowania przekroju lub materiału, którego program nie jest w stanie zwymiarować tym modułem, wyświetlany jest odpowiedni komunikat. Program wymiaruje profile stalowe wykonane ze stali: S235; S275; S355; S420; S450; 460 lub z innej stali o parametrach zdefiniowanych przez użytkownika. Dla gatunków stali zdefiniowanych w programie uwzględniana jest redukcja wytrzymałości związana z grubością wymiarowanego elementu. Natomiast dla gatunku zdefiniowanego przez użytkownika, należy samodzielnie podać wytrzymałość stali z uwzględnieniem ewentualnej redukcji wytrzymałości ze względu na grubość wymiarowanego elementu.

3 SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI PRZEKROJU

Wybierając z menu opcję *EuroStal*, wywołujemy okno pośrednie *Ustawienie obliczeń do wymiarowania* (w którym wybieramy, na co ma być przeprowadzone wymiarowanie), a następnie okno dialogowe *Wymiarowanie stali wg Eurokodu*, pozwalające zdefiniować dodatkowe parametry wymagane przy sprawdzaniu nośności.



Rys. 2.1 Okno główne modułu *EuroStal*

Okno posiada następujące grupy danych:

- Dane ogólne
- Dane do wymiarowania
- Lista punktów sprawdzania nośności

W danych ogólnych wyświetlane są w oknie u góry nieedytowalne pola, podające numery wymiarowanych prętów tworzących element, oraz całkowita długość elementu. Po lewej stronie okna znajdują się dane dotyczące przekroju elementu, a po prawej gatunku stali przyjętego do wymiarowania. Przekrój przyjęty do wymiarowania pobierany jest z danych programu statycznego, natomiast gatunek stali przyjmowany jest na wstępie domyślnie jako S235.

Na wstępie należy pamiętać, że zmiana przekroju wymiarowanego pręta w stosunku do przekroju przyjętego w programie statycznym, dla układów statycznie niewyznaczalnych będzie prowadziła do zmiany wielkości rzeczywistych sił wewnętrznych i przemieszczeń w prętach. Dlatego po wstępnej analizie należy ponownie przeliczyć statykę układu, zwłaszcza przy znacznej zmianie sztywności pręta. Do tego celu przewidziany jest w programie przycisk *Zapisz zmiany w Rama 3D/2D*, znajdujący się w dole okna jw. Jego wciśnięcie po zmianie przekroju wymiarowanego pręta spowoduje odpowiednią zmianę w module statycznym. W przypadku wymiarowania elementu złożonego zmiana ta będzie dotyczyła wszystkich prętów składających się na element.

3.1 REGULY OGÓLNE

Zgodnie z regułami zawartymi w normie *PN-EN 1993-1-1* program wymiarujący sprawdza oddzielnie nośność poszczególnych przekrojów elementu, uwzględniając tylko stateczność lokalną przekroju i powtórnie uwzględniając stateczność globalną elementu.

W ramach sprawdzania nośności przekroju określone są:

- Nośność na rozciąganie
- Nośność na ściskanie
- Nośność na zginanie
- Nośność na ścinanie
- Nośność na zginanie ze ścinaniem
- Nośność na zginanie z siłą podłużną
- Nośność na zginanie ze ścinaniem i siłą podłużną

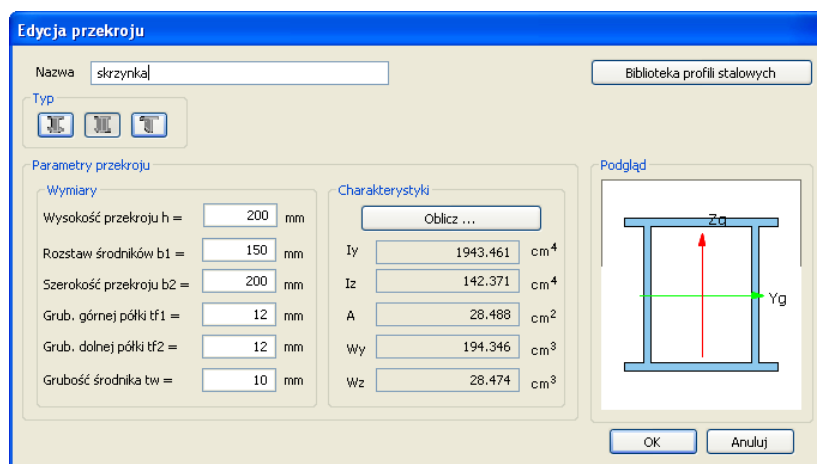
Przy sprawdzaniu stateczności globalnej elementu określone są:

Sprawdzenie nośności przekroju

- Nośność na wyboczenie elementów ściskanych
- Nośność na zwichrzenie elementów zginanych
- Interakcyjna nośność elementów zginanych i ściskanych.

3.2 ZMIANA PRZEKROJU PRĘTA

Naciskając przycisk *Edycja przekroju*, wywołujemy okno dialogowe własności geometrycznych pręta.



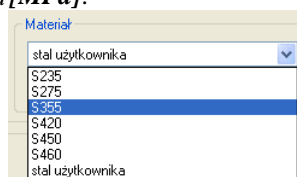
Rys. 2.2 Okno Edycja przekroju

Zmiany przekroju pręta można dokonać poprzez wybór jednej z trzech ikon oznaczających: *Dwuteownik spawany*, *przekrój skrzynkowy spawany*, *teownik spawany* lub naciskając ikonę *Biblioteka profili stalowych*.

- *Biblioteka profili stalowych* pozwala wybrać jeden ze standardowych przekrojów z załączonych tablic. Biblioteka ta jest spójną bazą profili stalowych, wykorzystywaną w programie *Rama 3D/2D*.
- *Spawane przekroje definiowane* - należy podać wymiary i, naciskając przycisk *Oblicz*, policzyć charakterystyki przekroju.

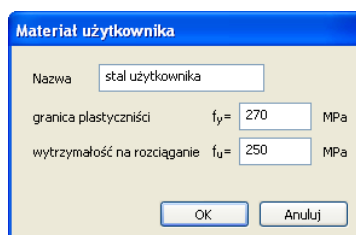
3.3 WYBÓR GATUNKU STALI

Okno „*Gatunek stali*” - pozwala zdefiniować własny gatunek stali, dla której należy podać: granicę plastyczności f_y [MPa] i wytrzymałość na rozciąganie f_u [MPa].



Rys. 2.3 Okno wyboru gatunku stali

Wybierając opcję *Nowy* lub *Edytuj*, użytkownik ma możliwość zdefiniowania, a następnie edycji własnego gatunku stali:



Rys. 2.4 Okno definicji i edycji gatunku stali użytkownika

Opcja *Usuń* gatunek stali dostępna jest jedynie dla wcześniej zdefiniowanych gatunków użytkownika. W programie nie można usunąć predefiniowanych gatunków stali.

3.4 PARAMETRY TYPU ELEMENTU

W oknie dialogowym *Wymiarowanie stali* wybieramy z listy *Typ elementu* i przypisujemy go do wymiarowanego pręta. *Typ elementu* – jest to zbiór dodatkowych cech i własności przypisanych do pręta, które będą wpływać na jego wymiarowanie. Może to być typ istniejący wybrany z listy, którego własności można poznać, wybierając przycisk *Parametry typu elementu*. Nie można zmienić własności istniejącego predefiniowanego typu elementu, można natomiast zmienić mu nazwę i własności i w ten sposób na jego miejsce zdefiniować nowy typ elementu. Każdy nowy typ elementu musi posiadać swoją unikalną nazwę, po której będzie identyfikowany podczas wymiarowania.

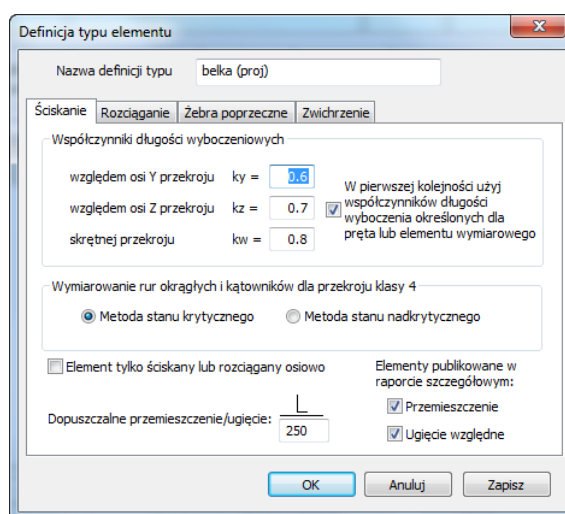
Aby zdefiniować własności nowego typu elementu, po wybraniu opcji *Parametry typu elementu* nadajemy nową nazwę typu elementu. Okno *Definicja typu elementu* składa się z czterech zakładek, pozwalających zdefiniować poszczególne parametry wymiarowania: *Ściskanie*, *Rozciąganie*, *Żebra poprzeczne*, *Zwichrzenie*.

Otwieranie odpowiedniego okna zakładek uzyskuje się przez naciśnięcie odpowiedniej zakładki na górnym pasku.

Nawiasy klamrowe używane poniżej oznaczają, że parametr bądź wielkość w nich zawarta jest:

- [...] jednostką, w jakiej podawana jest poszczególna wielkość,
- <...> parametrem opcjonalnym, tj. takim, który w pewnych sytuacjach może nie występować.

3.4.1 Ściskanie



Rys. 2.5 Zakładka Ściskanie

W zakładce *Ściskanie* podawane są podstawowe dane wymagane przy sprawdzaniu nośności pręta przy ściskaniu:

Nazwa typu elementu

Zapisujemy dowolną nazwę różną od już istniejących typów elementów.

Współczynniki długości wyboczeniowych

Wartości współczynników wyboczeniowych:

- k_y dla wyboczenia względem osi y przekroju,
- k_z dla wyboczenia względem osi z przekroju , {>0}
- k_w dla wyboczenia skrętnego przekroju,

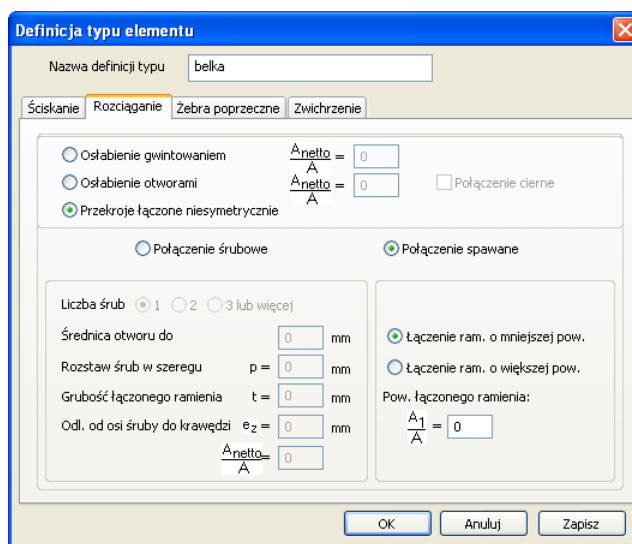
Znacznik: W pierwszej kolejności użyj współ.

Zaznaczenie znacznika oznacza, że jeśli dla wymiarowanego pręta lub elementu wymiarowego zdefiniowano w ich własnościach współ. dług. wyboczenia to będą one użyte w pierwszej kolejności a jeśli ich

Sprawdzenie nośności przekroju

dług. wybozc. określonych dla pręta lub el. wymiarowego	nie zdefiniowano program użyje powyższych współczynników z definicji typu wymiarowania.	
Metoda stanu krytycznego	Opcja określająca sposób wymiarowania rur okrągłych dla przekrojów klasy 4.	< >
Metoda stanu nadkrytycznego	Opcja określająca sposób wymiarowania rur okrągłych dla przekrojów klasy 4.	< >
Element tylko ściskany lub rozciągany osiowo	Parametr eliminujący z wymiarowania wszystkie siły wewnętrzne poza ściskaniem i rozciąganiem, przewidziany przeważnie do wymiarowania prętów typu ciągnio.	< >
Dopuszczalne ugięcie elementu	Parametr określający, jaką częścią długości elementu liczonego może być ugięcie dopuszczalne.	{> 0}
Elementy publikowane w raporcie szczegółowym	W definicji typu wymiarowania umieszczono dwa znaczniki wyboru określające jakie elementy (przemieszczenie, ugięcie względne) będą publikowane w raporcie szczegółowym.	< >

3.4.2 Rozciąganie



Rys. 2.6 Zakładka Rozciąganie

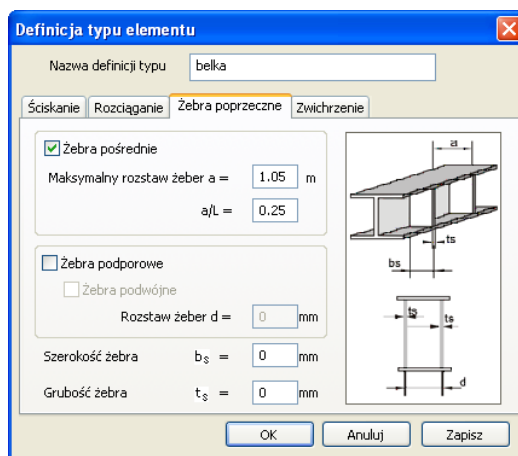
W zakładce **Rozciąganie** podawane są podstawowe dane wymagane przy sprawdzaniu nośności pręta na rozciąganie.

Oslabienie gwintowaniem	Opcja wykorzystywana dla prętów o przekroju okrągłym. Podajemy stosunek wartości przekroju netto do wartości przekroju brutto pręta.	{0.0 < A_{netto} / A_{brutto} < 1.0}
Oslabienie otworami	Dla przekroju osłabionego otworami podajemy stosunek wartości przekroju netto do wartości przekroju brutto pręta.	{0.0 < A_{netto} / A_{brutto} < 1.0}
Przekroje łączone niesymetrycznie	Opcja dotycząca prętów rozciąganych łączonych jednym ramieniem.	< >
Połączenia śrubowe	Opcja połączenia pręta w węzle na śruby.	< >
Liczba śrub	Liczba śrub w styku: <ul style="list-style-type: none"> • 1- jedna śruba, • 2- dwie śruby, • 3- trzy lub więcej śrub. 	{>0}

Sprawdzenie nośności przekroju

Średnica śrub	[mm]	Średnica śrub w styku.	{>0.0}
Rozstaw śrub w szeregu	[mm]	Odległości między osiami śrub w jednym szeregu.	{>0.0}
Grubość łączonego ramienia	[mm]	Grubość łączonego ramienia pręta.	{>0.0}
Od. od śruby do krawędzi	[mm]	Odległość od osi śruby do krawędzi pręta równoległej do kierunku obciążenia.	{> 0}.
$A_{netto}/A =$		Stosunek wartości przekroju netto do wartości przekroju brutto pręta w połączeniu śrubowym pręta.	{ $0.0 < A_{netto}/A_{brutto} < 1.0$ }
Połączenia spawane		Opcja połączenia pręta w węźle.	< >
Łączenie ram. o mniejszej pow.	[cm ²]	W przypadku połączenia niesymetrycznego przypadek połączenia ramieniem o mniejszej powierzchni.	< >
Łączenie ram. o większej pow.	[cm ²]	W przypadku połączenia niesymetrycznego przypadek połączenia ramieniem o większej powierzchni.	< >
$A_1/A =$		Stosunek wartości przekroju łączonego ramienia do całkowitej wartości przekroju pręta	{ $0.0 < A_1/A < 1.0$ }

3.4.3 Żebra poprzeczne

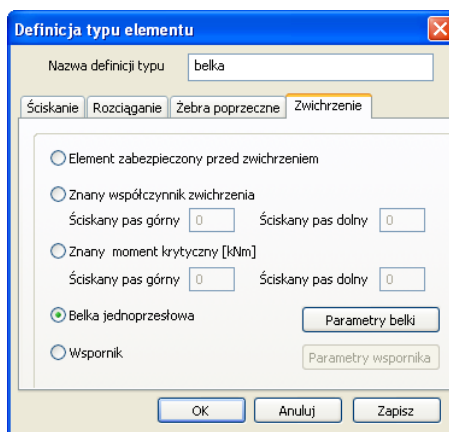


Rys. 2.7 Zakładka Żebra poprzeczne

W zakładce *Żebra poprzeczne* podawane są podstawowe dane dotyczące żebier pośrednich i podporowych pręta.

Żebra pośrednie		Opcja pozwalająca zadawać wymagane parametry dotyczące żebier pośrednich.	< >
Maksymalny rozstaw żebier a =	[m]	Osiowy rozstaw żebier poprzecznych w pręcie	{ $0.0 < a < L$ }
Maksymalny rozstaw żebier a/L =		Proporcja osiowego rozstawu żebier poprzecznych do całkowitej długości pręta.	{ $0.0 < a/L < 1.0$ }
Żebra podporowe		Opcja pozwalająca zadawać żebra podporowe.	< >
Żebra podwójne		Opcja pozwalająca zadawać na podporze żebra podwójne.	< >
Rozstaw żebier d =	[mm]	W przypadku istnienia żebier podwójnych na podporze, ich rozstaw osiowy.	{ $d > 0.0$ }
Szerokość żebra bs =	[mm]	Szerokość żebra jednostronnego. Powinna być tak dobrana, aby żebro nie wystawało poza obrys przekroju. Wielkość ta obowiązuje zarówno dla żebier pośrednich, jak i podporowych.	{ $b_s > 0.0$ }
Grubość żebra ts =	[mm]	Grubość żebra jednostronnego. Wielkość ta obowiązuje zarówno dla żebier pośrednich, jak i podporowych.	{ $t_s > 0.0$ }

3.4.4 Zwichrzenie

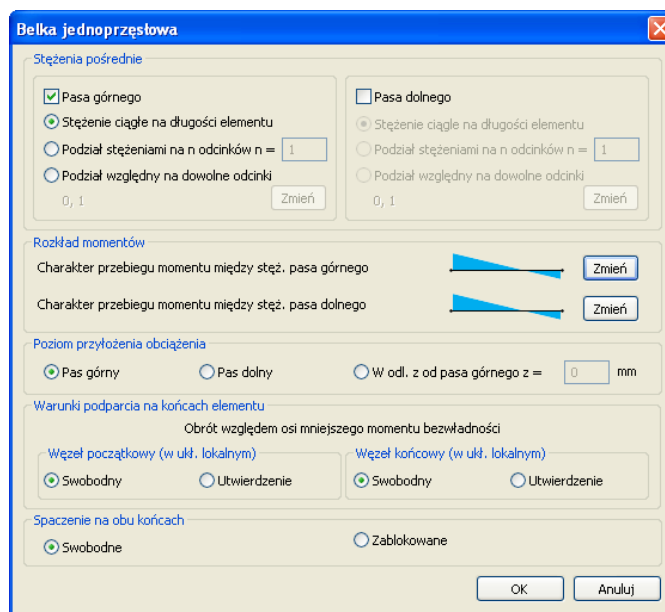


Rys. 2.8 Zakładka Zwichrzenie

W zakładce *Zwichrzenie* podawane są podstawowe dane związane ze zwichrzeniem pręta.

Element zabezpieczony przed zwichrzeniem	<p>Opcja określająca, czy belka jest zabezpieczona przed zwichrzeniem. Po zaznaczeniu tej opcji współczynnik zwichrzenia jest równy jeden.</p> <p>Po zaznaczeniu tej opcji można podać znane współczynniki zwichrzenia:</p>	< >
Znany współczynnik zwichrzenia	<ul style="list-style-type: none"> • Dla ściskanego pasa górnego, • Dla ściskanego pasa dolnego. <p>Za pas górny jest uważany pas leżący po dodatniej stronie osi „z” lokalnego układu współrzędnych w pręcie.</p> <p>Po zaznaczeniu tej opcji można podać znane z innych obliczeń wartości momentów krytycznych:</p>	{0.0<...< 1.0}
Znany moment krytyczny [kNm]	<ul style="list-style-type: none"> • Dla ściskanego pasa górnego, • Dla ściskanego pasa dolnego. <p>Za pas górny jest uważany pas leżący po dodatniej stronie osi „z” lokalnego układu współrzędnych w pręcie.</p>	{...> 0.0}
Belka jednoprzęsłowa	<p>Po wyborze tej opcji należy otworzyć zakładkę <i>Parametry belki</i>.</p>	< >
Wspornik	<p>Po wyborze tej opcji należy otworzyć zakładkę <i>Parametry wspornika</i>.</p>	< >

3.4.4.1 Parametry belki



Rys. 2.9 Parametry belki

W zakładce *Parametry belki* podawane są podstawowe dane wymagane przy określaniu nośności belki jednoprzęsłowej na zwichrzenia. We wszystkich opcjach za pas górny jest uważany pas leżący po dodatniej stronie osi „z” lokalnego układu współrzędnych w przęcie.

Stężenia pośrednie pasa górnego

Opcja pozwalająca wybrać jeden z trzech rodzajów stężenia pośredniego pasa górnego:

- Stężenie ciągłe na całej długości belki,
- Podział stężeniami na n odcinków. Długość pręta zostaje podzielona miejscami stężeń na „n” równych odcinków,
- Podział względny na dowolne odcinki. Stężenia pasa górnego mogą występować w dowolnych punktach na długości pręta. Należy podać kolejno, od węzła początkowego, współrzędne bezwymiarowe miejsc występowania stężeń pasa górnego.

< >

Stężenia pośrednie pasa dolnego

Opcja pozwalająca wybrać jeden z trzech rodzajów stężenia pośredniego pasa dolnego:

- Stężenie ciągłe na całej długości belki,
- Podział stężeniami na n odcinków. Długość pręta zostaje podzielona miejscami stężeń na „n” równych odcinków,
- Podział względny na dowolne odcinki. Stężenia pasa dolnego mogą występować w dowolnych punktach na długości pręta. Należy podać kolejno, od węzła początkowego, współrzędne bezwymiarowe miejsc występowania stężeń pasa dolnego.

< >

Rozkład momentów

Opcja pozwalająca wybrać jedną z postaci przebiegu momentów zginających pomiędzy stężeniami:

- Pasa górnego,
- Pasa dolnego.

< >



Rys. 2.10 Lista dostępnych wariantów przebiegu momentów zginających

Poziom przyłożenia obciążenia [mm]

Opcja pozwalająca wybrać miejsce przyłożenia obciążenia poprzecznego na wysokości przekroju pręta:

- Na poziomie pasa górnego, {z > 0}
- Na poziomie pasa dolnego,
- W odległości $z = \dots$ [mm] od poziomu pasa górnego.

Warunki podparcia na końcach elementu

Warunki dotyczące możliwości obrotu przekroju pręta względem mniejszej osi bezwładności przekroju.
 Obrót węzła początkowego elementu (w układzie lokalnym):

- Swobodny, < >
- Utwierdzenie.

Spaczenie na obu końcach

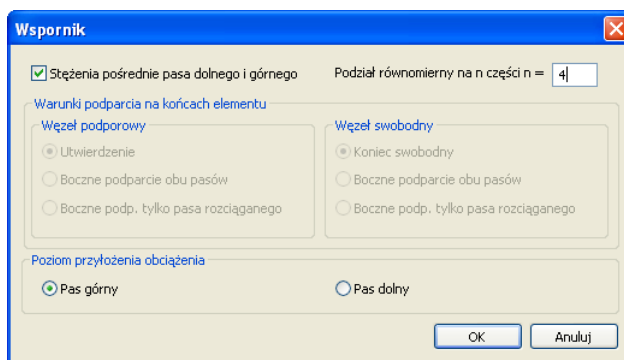
Obrót węzła końcowego elementu (w układzie lokalnym):

- Swobodny,
- Utwierdzenie.

Opcja pozwalająca określić możliwość spaczenia przekroju na obu końcach elementu:

- Swobodne, < >
- Zablokowane.

Parametry wspornika



Rys. 2.11 Parametry wspornika

W zakładce *Parametry wspornika* podawane są podstawowe dane wymagane przy określaniu nośności wspornika na zwichrzenia. We wszystkich opcjach za pas górny jest uważany pas leżący po dodatniej stronie osi „z” lokalnego układu współrzędnych w pręcie.

Stężenia pośrednie pasa dolnego i górnego

Opcja pozwalająca wybrać możliwość występowania stężeń dla wspornika. Stężenia muszą występować w tych samych punktach zarówno dla pasa dolnego jak i górnego.
 Podział równomierny na „n”: części pozwala określić na ile równych odcinków stężenia dzieli długość pręta.

Warunki podparcia na końcach elementu

Opcja określająca warunki podparcia na końcach elementu.
 Węzeł podporowy:

- Utwierdzenie,
- Boczne podparcie obu pasów,
- Boczne podparcie tylko pasa rozciąganego.

Sprawdzenie nośności przekroju

Węzeł swobodny:

- Utwierdzenie,
- Boczne podparcie obu pasów,
- Boczne podparcie tylko pasa rozciąganego.

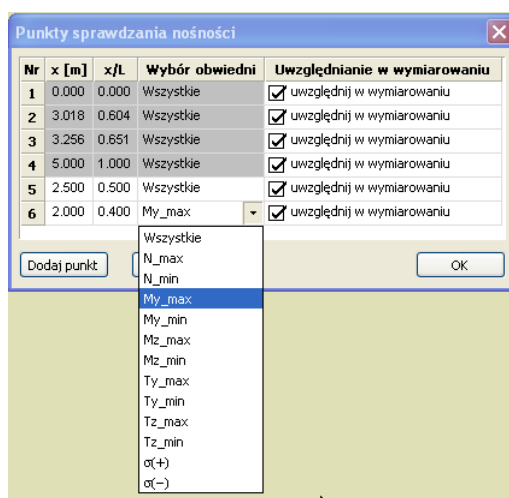
Poziom przyłożenia obciążenia [mm]

Opcja pozwalająca wybrać miejsce przyłożenia obciążenia poprzecznego na wysokości przekroju pręta:

- Na poziomie pasa górnego,
- Na poziomie pasa dolnego.

3.5 PUNKTY SPRAWDZANIA NOŚNOŚCI

Program domyślnie sprawdza nośność elementu dla sił wewnętrznych określonych w punktach charakterystycznych (ekstrema sił wewnętrznych, miejsca przyłożenia sił itp.). Współrzędne tych punktów można odczytać w zakładce *Punkty sprawdzania nośności*.



Rys. 2.12 Okno wyboru punktów sprawdzania nośności

Naciskając przycisk **Dodaj punkt**, możemy dodać punkt o dowolnej współrzędnej na długość elementu. Nowy punkt na elemencie definiujemy przez podanie odległości x [m] lub odległości względnej x/L z przedziału $<0,1>$. Podświetlając dowolny dodany punkt w tabeli i naciskając ikonę **Usuń punkt**, usuwamy dodany punkt z analizy sprawdzania nośności. Usuwanie punktów dotyczy jedynie tych, które zostały wprowadzone przez użytkownika. Zaznaczenie odpowiedniego znacznika dla danego punktu w kolumnie **Uwzględnianie przy wymiarowaniu** powoduje, że punkt ten będzie uwzględniony przy wymiarowaniu elementu. Domyślnie dla punktu dodanego przez użytkownika wymiarowania wykonywane są z uwzględnieniem wszystkich występujących w tym punkcie obwiedni. Jednak w kolumnie **Wybór obwiedni** użytkownik może zdecydować o wymiarowaniu tylko dla jednej, wybranej obwiedni. Opcja ta dostępna jest jedynie dla punktów wybranych przez użytkownika i pozwala na wymiarowanie w danym punkcie najgorszego przypadku ze wszystkich dostępnych obwiedni lub dla jednej wybranej przez użytkownika. W przypadku gdy chcemy wykonać sprawdzenie w jednym punkcie ale dla kilku określonych obwiedni, należy kilka razy dodać ten sam punkt i dla każdego z nich wybrać inną obwiednię (nie wybieramy sprawdzenia wszystkich obwiedni w jednym punkcie, gdyż wówczas będą wybrane jedynie sprawdzenia najgorsze).

W przypadku gdy dla tego samego punktu zestawy sił, dla których będą wykonywane sprawdzenia, pokrywają się, program automatycznie usunie zdublowane wyniki sprawdzeń. W przypadku gdy dla tego samego punktu wybranego przez użytkownika ustawione będzie sprawdzenie dla wszystkich obwiedni, a następnie dodany zostanie ten sam punkt z ustawioną jedną wybraną obwiednią – program wykona dla tego punktu jedynie sprawdzenie jak dla wszystkich obwiedni (tylko dla najbardziej niekorzystnych sprawdzeń). W związku z tym nie poleca się jednoczesnego wyboru, w tej samej lokalizacji, sprawdzenia wszystkich obwiedni i jednej wybranej (taki wybór może prowadzić do niejednoznaczności wyników).

3.6 WYNIKI SPRAWDZANIA NOŚNOŚCI

Wybranie ikony **Sprawdź nośność** wywołuje sprawdzenie nośności elementu dla sił wewnętrznych w wybranych przez użytkownika punktach.

Liczbę punktów w których występuje edycja wyników sprawdzania nośności określa użytkownik poprzez zaznaczenie opcji:

- **Wyświetl wartości ekstremalne dla całego elementu** - Wybór tej opcji wyświetla wyniki tylko w punktach dla całego elementu, w których występuje ekstremalne wykorzystanie nośności.
- **Wyświetl wartości ekstremalne dla wszystkich punktów** – Wybór tej opcji wyświetla wyniki dla wszystkich wcześniej wybranych punktów.

Wyniki sprawdzenia nośności

Wyświetl wartości ekstremalne dla całego elementu
 Wyświetl wartości ekstremalne dla wszystkich punktów

Nośność elementu

x [m]	N [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]	Ty [kN]	Tz [kN]	Sprawdzenie nośności:		
						N	M	N + M
<input checked="" type="checkbox"/> 0.000	-500.00	12.75	0.00	0.00	6.88	-	-	4.588
<input checked="" type="checkbox"/> 3.400	-500.00	-10.63	0.00	0.00	-3.13	-	-	4.613

Nośność przekroju

x [m]	N [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]	Ty [kN]	Tz [kN]	Sprawdzenie nośności:		
						N + M	V	M(N, V)
<input checked="" type="checkbox"/> 0.000	-500.00	12.75	0.00	0.00	6.88	1.006	0.041	0.816
<input checked="" type="checkbox"/> 3.400	-500.00	-10.63	0.00	0.00	-3.13	0.963	0.019	0.680

Zmień przekrój Utwórz pełny raport OK

Rys. 2.13 Okno sprawdzania nośności

Siły wewnętrzne podane w zakładce **Wyniki nośności** są odniesione do głównych centralnych osi bezwładności przekroju.

Nośność elementu w każdym wybranym przekroju dla sił wewnętrznych występujących w tym punkcie jest sprawdzana dwukrotnie. Wyniki są wyświetlane w tablicach:

- 1) **Nośność elementu** – Warunki nośności są określane z uwzględnieniem stateczności globalnej elementu (współczynniki wyoboczenia, zwichrzenia).

Stopień wykorzystania nośności elementu jest podany dla trzech przypadków:

- **N** – nośność pręta tylko ściskanego z uwzględnieniem stateczności globalnej elementu
- **M** – nośność pręta zginanego z uwzględnieniem wpływu zwichrzenia
- **N+M** – nośność pręta ściskanego i zginanego z uwzględnieniem stateczności globalnej i współczynników interakcji

- 2) **Nośność przekroju** - Warunki nośności są określane bez uwzględniania stateczności globalnej elementu. Nośność przekroju jest określana zarówno dla czystych stanów obciążenia (rozciąganie, ściskanie, zginanie, ścinanie), jak i dla złożonych stanów obciążenia (zginanie ze ścinaniem, zginanie z siłą podłużną, zginanie ze ścinaniem i siłą podłużną).

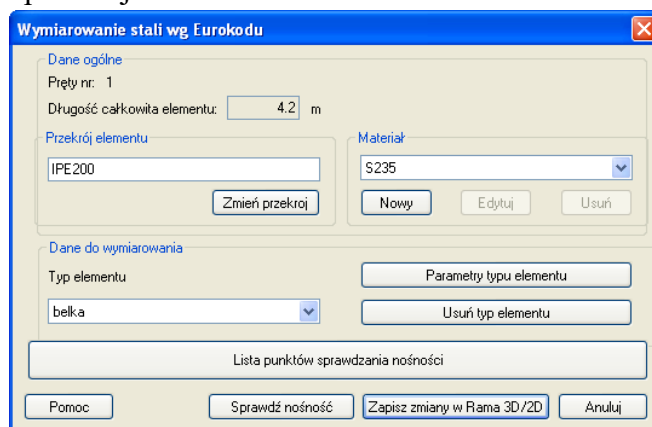
Stopień wykorzystania nośności elementu jest podany dla trzech przypadków:

- **N+M** - nośność pręta zginanego ukośnie z siłą podłużną
- **V** – nośność pręta na ścinanie
- **M(N,V)** – nośność pręta z uwzględnianiem zginania ze ścinaniem, zginania z siłą podłużną, zginania ze ścinaniem i siłą podłużną.

Wybranie przycisku **Zmień przekrój** wywołuje okno dialogowe **Edycja przekroju** i pozwala zmienić przekrój wymiarowanego pręta.

Wybór przycisku **Utwórz pełny raport** powoduje wygenerowanie pełnego raportu z przebiegu obliczeń sprawdzania nośności pręta w formacie **RTF**

Wybranie ikony **OK** powoduje powrót do okna dialogowego **Wymiarowanie stali**.



Rys. 2.14 Okno główne modułu EuroStal

Naciskając przycisk *Zapisz zmiany w Rama 3D/2D*, możemy zapisać wprowadzone zmiany przekroju pręta(ów) w projekcie rama *R3D3 (R2D2)*. Wówczas projekt wymaga ponownego przeliczenia statyki.

3.7 PEŁNY RAPORT WYMIAROWANIA

Pełny raport zawiera większość pośrednich wyników potrzebnych do określenia nośności pręta. Pełny raport jest tworzony tylko dla punktów zaznaczonych w oknie dialogowym *Wyniki sprawdzenia nośności*, przez wybór przycisku *Utwórz pełny raport*.

3.7.1 Przykładowy raport z wymiarowania

Raport wymiarowania stali wg PN-EN 1993-1-1 do programu Rama3D/2D:

Wszystkie obliczenia są wykonywane w osiach głównych. W dalszych oznaczeniach zmiennych w raporcie oś *Y* oznacza oś główną *Y_g*, a oś *Z* oznacza oś główną *Z_g*.

Geometria:

	Nazwa profilu:	Blachownica 600	
	Długość pręta:	L = 6.00 m	
	Gatunek stali:	S235	
	Granica plastyczności:	$f_y = 235.00 \text{ MPa}$	
	Pole przekroju:	A = 124.80 cm ²	
	Momenty bezwładności:	$J_y = 79014.40 \text{ cm}^4$	$J_z = 2669.06 \text{ cm}^4$
	Wskaźniki wytrzymałości:	$W_y = 2633.81 \text{ cm}^3$	$W_z = 266.91 \text{ cm}^3$
	Momenty bezwładności na skręcanie:	$I_t = 111.68 \text{ cm}^4$	

Element prosty, nr pręta: 13

Punkt nr: 0 na pręcie, położenie: 0.00 m

Wartości sił wewnętrznych w punkcie w układzie osi głównych:

$$N = -0.08 \text{ kN}$$

$$T_y = V_y = -5.10 \text{ kN}$$

$$T_z = V_z = 69.28 \text{ kN}$$

Sprawdzenie nośności przekroju

$$M_y = 79.25 \text{ kNm}$$

$$M_z = 5.73 \text{ kNm}$$

Klasa przekroju na ściskanie:

Klasa ścianek
pasów = 1

Klasa ścianek
środnika = 4

Klasa przekroju
na ściskanie = 4

Klasa przekroju na zginanie względem osi y:

Klasa pasów = 1

Klasa środnika = 1

Klasa przekroju
na zginanie y-y = 1

Klasa przekroju na zginanie względem osi z:

Klasa pasów = 1

Klasa przekroju
na zginanie z-z = 1

Smukłość względna ścianek:

Środnika: 1.23.

Przekrój efektywny:

$$A_{ef} = 109.88 \text{ [cm}^2 \text{]}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{ef} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{109.88 \cdot 235}{1.0} = 2582.14 \text{ [kN]}$$

Mimośrodność przekrojów:

$$e_{N_y} = 0.00 \text{ [m]}$$

$$e_{N_z} = 0.00 \text{ [m]}$$

Dodatkowe momenty:

$$\Delta M_y = 0.00 \text{ [kNm]}$$

$$\Delta M_z = 0.00 \text{ [kNm]}$$

Nośność na czyste zginanie względem osi y:

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2947.20 \cdot 10^{-6} \cdot 235.00}{1.00} = 692.59 \text{ [kNm]}$$

Udział pasów w nośności na zginanie

$$M_{f,Rd} = 545.20 \text{ [kNm]}$$

Nośność na czyste zginanie względem osi z:

$$M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{408.96 \cdot 10^{-6} \cdot 235.00}{1.00} = 96.11 \text{ [kNm]}$$

Nośność na ścinanie wzdłuż osi z:

Przekrój czynny przy ścinaniu

$$A_v = 5376.00 \text{ [mm}^2 \text{]}$$

Nośność na ścinanie

$$V_{Cz,Rd} = 729.40 \text{ [kN]}$$

Nośność na ścinanie wzdłuż osi y:

Przekrój czynny przy ścinaniu

$$A_v = 8000.00 \left[\text{mm}^2 \right]$$

Nośność na ścinanie

$$V_{C_{y,Rd}} = 1085.42 \left[\text{kN} \right]$$

Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej:

$$M_{N,y,Rd} = 692.59 \left[\text{kNm} \right]$$

$$M_{N,z,Rd} = 96.11 \left[\text{kNm} \right]$$

Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi y:

$$M_{V_y,Rd} = M_{C_{y,Rd}} \cdot \rho \cdot \left(M_{C_{y,Rd}} - M_{f,Rd,y} \right) = 692.59 - 1.00 \cdot \left(692.59 - 545.20 \right) = 545.20 \left[\text{kNm} \right]$$

Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi z:

$$M_{V_z,Rd} = 96.11 \left[\text{kNm} \right]$$

Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej i tnącej:

$$M_{N,V,Rd,y} = 545.20 \left[\text{kNm} \right]$$

$$M_{N,V,Rd,z} = 96.11 \left[\text{kNm} \right]$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_y}{M_{C_{y,Rd}}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_z}{M_{C_{z,Rd}}} = \frac{0.08}{2582.14} + \frac{79.25}{692.59} + \frac{5.73}{96.11} = 0.17$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{C_{y,Rd}}} = \frac{5.10}{1085.42} = 0.00$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{C_{z,Rd}}} = \frac{69.28}{729.40} = 0.09$$

$$\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{C_{y,Rd}}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{C_{z,Rd}}} = \frac{79.25}{692.59} + \frac{5.73}{96.11} = 0.17$$

$$\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{Vy}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{Vz}} = \frac{79.25}{545.20} + \frac{5.73}{96.11} = 0.20$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{Ny}} \right)^2 + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{Nz}} \right)^2 = \left(\frac{79.25}{692.59} \right)^2 + \left(\frac{5.73}{96.11} \right)^2 = 0.02$$

$$\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{NV,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{NV,Rd,z}} = \frac{79.25}{545.20} + \frac{5.73}{96.11} = 0.20$$

Długości krytyczne:

$$L_{cr,y} = 3.60 \left[\text{m} \right]$$

$$L_{cr,z} = 4.20 \left[\text{m} \right]$$

Siły krytyczne:

Sprawdzenie nośności przekroju

$$N_{cr,y} = 126363.10 \text{ [kN]}$$

$$N_{cr,z} = 3136.02 \text{ [kN]}$$

Smukłości względne:

$$\lambda_y = 0.14$$

$$\lambda_z = 0.91$$

Współczynniki wybożenia:

$$\chi_y = 1.00$$

$$\chi_z = 0.66$$

$$\chi_{\min} = 0.66$$

Współczynnik zwichrzenia przy ściskającym pasie górnym:

$$\chi_{LT,g} = 1.00$$

Współczynnik zwichrzenia przy ściskającym pasie dolnym:

$$\chi_{LT,d} = 1.00$$

Współczynniki interakcji:

$$k_{yy} = 0.60$$

$$k_{yz} = 0.90$$

$$k_{zy} = 1.00$$

$$k_{zz} = 0.90$$

Stopień wykorzystania nośności elementu:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} \cdot \chi_y \cdot \gamma_{M1} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi M_{y,Rk}} \cdot \gamma_{M1} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \cdot \gamma_{M1} = \frac{0.08}{1.00 \cdot 2582.14} \cdot 1.00 +$$

$$0.60 \cdot \frac{79.25}{1.00 \cdot 618.95} \cdot 1.00 + 0.90 \cdot \frac{5.73}{62.72} \cdot 1.00 = 0.16$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} \cdot \chi_z \cdot \gamma_{M1} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi M_{y,Rk}} \cdot \gamma_{M1} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \cdot \gamma_{M1} = \frac{0.08}{0.66 \cdot 2582.14} \cdot 1.00 +$$

$$1.00 \cdot \frac{79.25}{1.00 \cdot 618.95} \cdot 1.00 + 0.90 \cdot \frac{5.73}{62.72} \cdot 1.00 = 0.21$$

Element prosty, nr pręta: 13**Punkt nr: 1 na przecie, położenie: 0.00 m**

Wartości sił wewnętrznych w punkcie w układzie osi głównych:

$$N = -0.20 \text{ kN}$$

$$T_y = V_y = -4.84 \text{ kN}$$

$$T_z = V_z = 69.39 \text{ kN}$$

$$M_y = 79.58 \text{ kNm}$$

$$M_z = 4.81 \text{ kNm}$$

Klasa przekroju na ściskanie:

Klasa ścianek pasów = 1

Klasa ścianek średnika = 4

Klasa przekroju na ściskanie = 4

Klasa przekroju na zginanie względem osi y:

Klasa pasów = 1

Klasa średnika = 1

Klasa przekroju na zginanie y-y = 1

Klasa przekroju na zginanie względem osi z:

Klasa pasów = 1

Klasa przekroju na zginanie z-z = 1

Smukłość względna ścianek:

Średnika: 1.23.

Przekrój efektywny:

$$A_{\text{eff}} = 109.88 \text{ [cm}^2 \text{]}$$

$$N_{e,Rd} = \frac{A_{\text{eff}} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{109.88 \cdot 235}{1.0} = 2582.14 \text{ [kN]}$$

Mimośrodki przekrojów:

$$e_{N_y} = 0.00 \text{ [m]}$$

$$e_{N_z} = 0.00 \text{ [m]}$$

Dodatkowe momenty:

$$\Delta M_y = 0.00 \text{ [kNm]}$$

$$\Delta M_z = 0.00 \text{ [kNm]}$$

Nośność na czyste zginanie względem osi y:

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2947.20 \cdot 10^{-6} \cdot 235.00}{1.00} = 692.59 \text{ [kNm]}$$

Udział pasów w nośności na zginanie

$$M_{f,Rd} = 545.20 \text{ [kNm]}$$

Nośność na czyste zginanie względem osi z:

$$M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{408.96 \cdot 10^{-6} \cdot 235.00}{1.00} = 96.11 \text{ [kNm]}$$

Nośność na ścinanie wzdłuż osi z:

Przekrój czynny przy ścinaniu

$$A_v = 5376.00 \text{ [mm}^2 \text{]}$$

Nośność na ścinanie

$$V_{Cz,Rd} = 729.40 \text{ [kN]}$$

Nośność na ścinanie wzdłuż osi y:

Przekrój czynny przy ścinaniu

$$A_v = 8000.00 \text{ [mm}^2 \text{]}$$

Nośność na ścinanie

$$V_{Cy,Rd} = 1085.42 \text{ [kN]}$$

Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej:

$$M_{N,y,Rd} = 692.59 \text{ [kNm]}$$

$$M_{N,z,Rd} = 96.11 \text{ [kNm]}$$

Sprawdzenie nośności przekroju

Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi y:

$$M_{V_y, Rd} = M_{C_y, Rd} - \rho \cdot (M_{C_y, Rd} - M_{f, Rd, y}) = 692.59 - 1.00 \cdot (692.59 - 545.20) = 545.20 \text{ [kNm]}$$

Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi z:

$$M_{V_z, Rd} = 96.11 \text{ [kNm]}$$

Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej i tnącej:

$$M_{N, V, Rd, y} = 545.20 \text{ [kNm]}$$

$$M_{N, V, Rd, z} = 96.11 \text{ [kNm]}$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c, Rd}} + \frac{M_{y, Ed} + \Delta M_y}{M_{C_y, Rd}} + \frac{M_{z, Ed} + \Delta M_z}{M_{C_z, Rd}} = \frac{0.20}{2582.14} + \frac{79.58}{692.59} + \frac{4.81}{96.11} = 0.17$$

$$\frac{V_{y, Ed}}{V_{C_y, Rd}} = \frac{4.84}{1085.42} = 0.00$$

$$\frac{V_{z, Ed}}{V_{C_z, Rd}} = \frac{69.39}{729.40} = 0.10$$

$$\frac{M_{y, Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{C_y, Rd}} + \frac{M_{z, Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{C_z, Rd}} = \frac{79.58}{692.59} + \frac{4.81}{96.11} = 0.16$$

$$\frac{M_{y, Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{Vy}} + \frac{M_{z, Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{Vz}} = \frac{79.58}{545.20} + \frac{4.81}{96.11} = 0.20$$

$$\left(\frac{M_{y, Ed}}{M_{Ny}} \right)^2 + \left(\frac{M_{z, Ed}}{M_{Nz}} \right)^2 = \left(\frac{79.58}{692.59} \right)^2 + \left(\frac{4.81}{96.11} \right)^2 = 0.02$$

$$\frac{M_{y, Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{NV, Rd, y}} + \frac{M_{z, Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{NV, Rd, z}} = \frac{79.58}{545.20} + \frac{4.81}{96.11} = 0.20$$

Długości krytyczne:

$$L_{cr, y} = 3.60 \text{ [m]}$$

$$L_{cr, z} = 4.20 \text{ [m]}$$

Siły krytyczne:

$$N_{cr, y} = 126363.10 \text{ [kN]}$$

$$N_{cr, z} = 3136.02 \text{ [kN]}$$

Smukłości względne:

$$\lambda_y = 0.14$$

$$\lambda_z = 0.91$$

Współczynniki wyboczenia:

$$\chi_y = 1.00$$

$$\chi_z = 0.66$$

$$\chi_{\min} = 0.66$$

Współczynnik zwężenia przy ściskanym pasie górnym:

$$\chi_{LT, g} = 1.00$$

Współczynnik zwężenia przy ściskanym pasie dolnym:

$$\chi_{LT,d} = 1.00$$

Współczynniki interakcji:

$$k_{yy} = 0.60$$

$$k_{yz} = 0.90$$

$$k_{zy} = 1.00$$

$$k_{zz} = 0.90$$

Stopień wykorzystania nośności elementu:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk} \cdot \chi_y} \cdot \gamma_{M1} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi M_{y,Rk}} \cdot \gamma_{M1} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \cdot \gamma_{M1} = \frac{0.20}{1.00 \cdot 2582.14} \cdot 1.00 +$$
$$0.60 \cdot \frac{79.58}{1.00 \cdot 618.95} \cdot 1.00 + 0.90 \cdot \frac{4.81}{62.72} \cdot 1.00 = 0.15$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk} \cdot \chi_z} \cdot \gamma_{M1} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi M_{y,Rk}} \cdot \gamma_{M1} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \cdot \gamma_{M1} = \frac{0.20}{0.66 \cdot 2582.14} \cdot 1.00 +$$
$$1.00 \cdot \frac{79.58}{1.00 \cdot 618.95} \cdot 1.00 + 0.90 \cdot \frac{4.81}{62.72} \cdot 1.00 = 0.20$$

Element prosty, nr pręta: 13

Punkt nr: 2 na przecie, położenie: 3.00 m

Wartości sił wewnętrznych w punkcie w układzie osi głównych:

$$N = 0.38 \text{ kN}$$

$$T_y = V_y = -0.33 \text{ kN}$$

$$T_z = V_z = 7.72 \text{ kN}$$

$$M_y = -55.20 \text{ kNm}$$

$$M_z = -2.98 \text{ kNm}$$

Klasa przekroju na ściskanie:

Klasa ścianek
pasów = 1

Klasa ścianek
średnika = 4

Klasa przekroju
na ściskanie = 4

Klasa przekroju na zginanie względem osi y:

Klasa pasów = 1

Klasa średnika = 1

Klasa przekroju
na zginanie y-y = 1

Klasa przekroju na zginanie względem osi z:

Klasa pasów = 1

Klasa przekroju
na zginanie z-z = 1

Nośność przekroju na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = 2932.80 \text{ [kN]}$$

Nośność na czyste zginanie względem osi y:

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2947.20 \cdot 10^{-6} \cdot 235.00}{1.00} = 692.59 \text{ [kNm]}$$

Udział pasów w nośności na zginanie

$$M_{f,Rd} = 545.20 \text{ [kNm]}$$

Nośność na czyste zginanie względem osi z:

$$M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{408.96 \cdot 10^{-6} \cdot 235.00}{1.00} = 96.11 \text{ [kNm]}$$

Nośność na ścinanie wzdłuż osi z:

Przekrój czynny przy ścinaniu

$$A_v = 5376.00 \text{ [mm}^2 \text{]}$$

Nośność na ścinanie

$$V_{Cz,Rd} = 729.40 \text{ [kN]}$$

Nośność na ścinanie wzdłuż osi y:

Przekrój czynny przy ścinaniu

$$A_v = 8000.00 \text{ [mm}^2 \text{]}$$

Nośność na ścinanie

$$V_{Cy,Rd} = 1085.42 \text{ [kN]}$$

Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej:

$$M_{N,y,Rd} = 692.59 \text{ [kNm]}$$

$$M_{N,z,Rd} = 96.11 \text{ [kNm]}$$

Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi y:

$$M_{Vy,Rd} = M_{Cy,Rd} - \rho \cdot (M_{Cy,Rd} - M_{f,Rd,y}) = 692.59 - 1.00 \cdot (692.59 - 545.20) = 545.20 \text{ [kNm]}$$

Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi z:

$$M_{Vz,Rd} = 96.11 \text{ [kNm]}$$

Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej i tnącej:

$$M_{N,V,Rd,y} = 545.20 \text{ [kNm]}$$

$$M_{N,V,Rd,z} = 96.11 \text{ [kNm]}$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{Cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{Cz,Rd}} = \frac{0.38}{2932.80} + \frac{55.20}{692.59} + \frac{2.98}{96.11} = 0.11$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{Cy,Rd}} = \frac{0.33}{1085.42} = 0.00$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{Cz,Rd}} = \frac{7.72}{729.40} = 0.01$$

$$\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{Cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{Cz,Rd}} = \frac{55.20}{692.59} + \frac{2.98}{96.11} = 0.11$$

$$\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{Vy}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{Vz}} = \frac{55.20}{545.20} + \frac{2.98}{96.11} = 0.13$$

Sprawdzenie nośności przekroju

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{Ny}}\right)^2 + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{Nz}}\right)^2 = \left(\frac{55,20}{692,59}\right)^2 + \left(\frac{2,98}{96,11}\right)^2 = 0,01$$

$$\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{Ny,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{Nz,Rd,z}} = \frac{55,20}{545,20} + \frac{2,98}{96,11} = 0,13$$

Współczynnik zwichrzenia przy ściskany pasie górnym:

$$\chi_{LT,g} = 1,00$$

Współczynnik zwichrzenia przy ściskany pasie dolnym:

$$\chi_{LT,d} = 1,00$$

Współczynniki interakcji:

$$k_{yy} = 1,00$$

$$k_{yz} = 1,00$$

$$k_{zy} = 1,00$$

$$k_{zz} = 1,00$$

Stopień wykorzystania nośności elementu:

$$\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} \cdot \gamma_{M1} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \cdot \gamma_{M1} = \frac{55,20}{1,00 \cdot 618,95} \cdot 1,00 + \frac{2,98}{62,72} \cdot 1,00 = 0,14$$

Wyniki obwiedni przemieszczeń:

Położenie: x = 2.76 [m]

Lista grup obciążeń:

Nazwa grupy obciążeń:

Ciężar własny Obc.Stałe Grupa 12 Wiatr z prawej

Grupa 9 Grupa 21 Grupa 11 Grupa 8

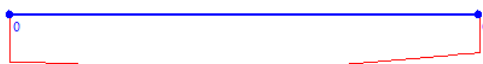
Grupa 24 Grupa 23 Grupa 7 Grupa 22

Grupa 6 Grupa 15 Grupa 5 Grupa 14

Grupa 18 Grupa 1

$$u_y = \sum u(i)_y = 0,000 + 0,000 + 0,006 + (-0,717) + (-0,006) + (-0,002) + 0,006 + (-0,006) + (-0,000) + (-0,000) + (-0,001) + 0,000 + (-0,000) + (-0,001) + (-0,002) + (-0,000) + (-0,000) + (-0,001) = 0,723 [cm]$$

Wykres przemieszczeń w kierunku Y:



$$u_z = \sum u(i)_z = (-0,011) + (-0,074) + 0,000 + 0,004 + (-0,003) + 0,000 + 0,000 + (-0,005) + 0,000 + (-0,000) + 0,001 + 0,023 + 0,000 + 0,000 + 0,000 + (-0,000) + 0,000 + 0,001 = -0,063 [cm]$$

Wykres przemieszczeń w kierunku Z:



Sprawdzenie nośności przekroju

$$u_{max} = \sqrt{u_y^2 + u_z^2} = \sqrt{0.723^2 + (-0.063)^2} = 0.73 \leq 2.400 [cm]$$

Wyniki ugięcia względnego:

Położenie: $x = 3.12 [m]$

Lista grup obciążeń:

Nazwa grupy obciążeń:

Ciężar własny	Obc.Stałe	Grupa 13	Wiatr z lewej
Grupa 9	Grupa 20	Grupa 8	Grupa 19
Grupa 23	Grupa 3	Grupa 14	Grupa 2
Grupa 17	Grupa 16	Śnieg	Wiatr z prawej

Wykres przemieszczeń dla zestawu grup obciążeń tworzących ugięcie względne w kierunku Y:



Wykres przemieszczeń dla zestawu grup obciążeń tworzących ugięcie względne w kierunku Z:



$$u_b = \sqrt{u_{by}^2 + u_{bz}^2} = \sqrt{0.580^2 + (-0.082)^2} = 0.586 [cm]$$

$$\Delta u_y = u_y - u_{by} = 0.141 - 0.580 = -0.151 [cm]$$

$$\Delta u_z = u_z - u_{bz} = (-0.195) - (-0.082) = 0.112 [cm]$$

$$\Delta u_{max} = \sqrt{\Delta u_y^2 + \Delta u_z^2} = \sqrt{(-0.151)^2 + 0.112^2} = 0.188 \leq 2.400 [cm]$$

Różnica przemieszczeń węzła początkowego i końcowego:

$$\Delta d = |d_n - d_0| = |0.062 - 0.105| = 0.043 [cm]$$