

Moduł

Belka stalowa

Eurokod

PN-EN

Spis treści

405.	BELKA STALOWA EUROKOD PN-EN	3
405.1.	WIADOMOŚCI OGÓLNE.....	3
405.1.1.	<i>Opis programu</i>	3
405.1.2.	<i>Zakres programu</i>	3
405.1.3.	<i>Typy przekrojów</i>	3
405.1.4.	<i>Materiały</i>	3
405.1.5.	<i>Podstawowe informacje dotyczące normy EN 1993-1-1 Eurokod 3</i>	4
405.2.	OPIS PODSTAWOWYCH FUNKCJI PROGRAMU	5
405.2.1.	<i>Obliczenia statyczne</i>	5
405.2.2.	<i>Sprawdzanie nośności na zginanie</i>	5
405.2.3.	<i>Sprawdzanie nośności na ścinanie</i>	5
405.2.4.	<i>Ugięcia</i>	6
405.2.5.	<i>Zmiany przekroju</i>	6
405.2.6.	<i>Wprowadzenie danych</i>	6
405.3.	UTWORZENIE NOWEGO PROJEKTU BELKI	6
405.3.1.	<i>Zakładka „Geometria”</i>	7
405.3.2.	<i>Zakładka „Grupy obciążeń”</i>	8
405.3.3.	<i>Kombinacje obciążeń</i>	8
405.3.4.	<i>Zakładka „Obciążenia”</i>	9
405.3.5.	<i>Zakładka „Nośność”</i>	10
405.3.6.	<i>Żebra poprzeczne</i>	11
405.3.7.	<i>Zwicherung</i>	12
405.3.7.1.	<i>Parametry zwicherungowe belki jednoprzęsłowej</i>	13
405.3.7.2.	<i>Parametry wspornika</i>	15
405.4.	PULPIT GRAFICZNY PROGRAMU	16
405.4.1.	<i>Okno 3D</i>	17
405.4.2.	<i>Drzewo projektu</i>	17
405.5.	OBLICZENIA BELKI	18
405.6.	WYNIKI	18
405.7.	PRZYKŁADOWY RAPORT	19

405. Belka stalowa Eurokod PN-EN

405.1. Wiadomości ogólne

405.1.1. Opis programu

Program „Belka stalowa Eurokod PN-EN” przeznaczony jest do obliczeń statycznych i sprawdzania nośności stalowych belek ciągłych. Program oblicza siły przekrojowe w belce wykorzystując model metody przemieszczeń w ujęciu macierzowym. W wyniku analizy statycznej otrzymujemy obwiednie sił przekrojowych (momentów i sił tnących) uwzględniającą pełną kombinatorykę dla wszystkich grup obciążeń (z relacjami typu wykluczenie lub występowanie łączne). Algorytm sprawdzania nośności belek wykonany został w oparciu o normę PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: czerwiec 2006. „Projektowanie konstrukcji stalowych”. Warunki nośności są sprawdzane dla każdego przęsła belki dla następujących warunków:

- dla wielkości przekrojowych odpowiadających miejscu występowania maksymalnego momentu zginającego z obwiedni momentów gnących,
- dla wielkości przekrojowych odpowiadających miejscu występowania minimalnego momentu zginającego z obwiedni momentów gnących,
- sprawdzenie nośności przekroju na ścinanie ekstremalną siłą poprzeczną w danym przęśle,
- dla stanu granicznego użytkowania podane jest ekstremalne ugięcie sprężyste dla przęsła

405.1.2. Zakres programu

Program oblicza belki ciągłe o praktycznie dowolnej liczbie przęseł (max 100). Dla każdego przęsła w 121 punktach obliczane są ekstremalne wartości sił przekrojowych i na podstawie tych wartości są określane ekstremalne wartości momentów zginających i sił tnących służące sprawdzaniu nośności w każdym przęśle.

405.1.3. Typy przekrojów

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

Przyjęty przekrój belki musi być stały pomiędzy podporami.

405.1.4. Materiały

Rodzaje stali:

- S235
- S275
- S355
- S420
- S450
- S460

Obliczenia można również wykonać dla dowolnego innego rodzaju stali o znanej wytrzymałości obliczeniowej fy.

405.1.5. Podstawowe informacje dotyczące normy 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 wystarcza 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.

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. Rozróżniono *przypadek ogólny* (najbardziej zachowawczy), *przypadek szczególnie 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.

405.2. Opis podstawowych funkcji programu

405.2.1. Obliczania statyczne

Program oblicza statykę belki ciągłej macierzową metodą przemieszczeń z uwzględnieniem pełnej kombinatoryki po grupach obciążeń. Wyniki mogą być podane dla poszczególnych grup obciążeń oraz dla kombinacji grup obciążeń. W drugim przypadku podawana jest obwiednia sił tnących i momentów w poszczególnych punktach belki. Dla każdej grupy obciążeń należy określić charakter obciążenia (stałe lub zmienne) oraz zdefiniować współczynniki obciążenia. W przypadku obciążania belki wielkościami obliczeniowymi oba współczynniki obciążenia powinny mieć wartość „1” (ustawienie domyślne). Wyniki w postaci ekstremalnych sił przekrojowych i wartości sił im odpowiadających, podawane są w programie dla obciążeń obliczeniowych (z uwzględnieniem podanych współczynników obciążenia), natomiast dla obliczenia ekstremalnych wartości ugięć są przyjmowane wartości charakterystyczne.

405.2.2. Sprawdzanie nośności na zginanie

Algorytm sprawdzania nośności belki na zginanie opracowano w oparciu o normę PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: czerwiec 2006. „Projektowanie konstrukcji stalowych”. Program sprawdza warunki nośności dla każdego przęsła belki z uwzględnieniem możliwości zwichrzenia belki. W przypadku belki z wymuszoną osią obrotu należy podać odległość pomiędzy punktem przecięcia śladu płaszczyzny stężenia z osią środka, a pasem górnym belki.

- dla momentów maksymalnych z uwzględnieniem warunków podparcia pasa górnego i odległości przyłożenia obciążenia od pasa górnego. Równocześnie jest sprawdzany warunek nośności z uwzględnieniem odpowiadającej siły poprzecznej,
- dla momentów minimalnych z uwzględnieniem warunków podparcia pasa dolnego i odległości przyłożenia obciążenia od pasa górnego. Równocześnie jest sprawdzany warunek nośności z uwzględnieniem odpowiadającej siły poprzecznej.

W celu określenia współczynnika zwichrzenia użytkownik musi podać na końcach przęsła warunki brzegowe w kierunku prostopadłym do płaszczyzny obciążenia, oraz sposób obciążenia pręta.

405.2.3. Sprawdzanie nośności na ścinanie

Nośność przęsła belki na ścinanie jest sprawdzana w miejscu występowania ekstremalnej siły poprzecznej.

405.2.4. Ugięcia

Program dla wybranej przez użytkownika kombinacji grup obciążeń oblicza wielkość ugięcia dla każdego przęsła belki. Ugięcie liczone jest w stanie sprężystym dla wartości charakterystycznych obciążeń. Ekstremalna wartość ugięcia jest porównywana z wartością dopuszczalną podaną przez użytkownika.

405.2.5. Zmiany przekroju

Program belka umożliwia wprowadzanie zmian przekroju dla poszczególnych przęseł belki. Własność ta uwzględniana jest w obliczeniach statycznych oraz wymiarowaniu. Przy zmianie przekroju należy pamiętać, że położenie osi belki nie ulega zmianie. Przy dużych zmianach wysokości przekroju może to spowodować pewne błędy w obliczeniach statycznych.

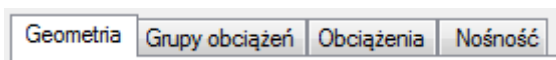
405.2.6. Wprowadzenie danych

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

- [...] jednostką, w jakiej podawana jest poszczególne wielkość,
- <...> parametrem opcjonalnym, tj. takim, który w pewnych sytuacjach może nie występować,
- {...} zakresem, w jakim występuje dana wielkość

405.3. Utworzenie nowego projektu belki

Wprowadzenie nowego projektu belki rozpoczynamy od uaktywnienia w pasku narzędziowym górnego menu ekranu opcji **Elementy - Nowy element**. Następnie w oknie dialogowym **Nowy element** zaznaczamy jako typ elementu – Belka stalowa, nadajemy jej oznaczenie (pozycję lub nazwę) i zatwierdzamy wybór kliknięciem przycisku OK. Po uruchomieniu modułu „Belka stalowa PN-EN” pojawia się okno **Belka stalowa PN-EN** z widocznymi czterema kolejnymi zakładkami:



Otwieranie okna zakładek (formularzy) można wykonać przez naciśnięcie odpowiedniej ikony na pulpicie:



Ikona wywołująca lub ukrywająca okno zakładek (formularzy).

405.3.1. Zakładka „Geometria”

	długość	podpora lewa	podpora prawa	przekrój
1	5.000	przegub nieprzesuwny	przegub przesuwny	HE 100 A
2	5.000	przegub przesuwny	przegub przesuwny	HE 100 A30
3	5.000	przegub przesuwny	przegub przesuwny	HE 100 Anowy
4	5.000	przegub przesuwny	przegub przesuwny	HE 100 A

W zakładce „Geometria” podawane są podstawowe dane dotyczące kształtu belki.

Numer:	[-]	Generowany automatycznie kolejny numer przęsła.	{kolejna liczba całkowita}
Długość:	[m]	Długość kolejnego przęsła belki.	{Długość > 0}
Podpora lewa:	[-]	Wybór rodzaju lewej podpory przęsła:	{podpora przesuwna, podpora nieprzesuwna, <zamocowanie,> <podpora teleskopowa,> <wolny koniec>}
Podpora prawa:	[-]	Wybór rodzaju prawej podpory przęsła	(typy podpór jak dla lewej podpory)
Przekrój		Wybór typu przekroju dla danego przęsła	Typ przekroju (np. IPE100)
Dodaj:		Opcja dodaje kolejne przęsło.	
Usuń:		Opcja usuwa zaznaczone przęsło.	

Opcje podpory ujęte w nawiasy <...> mogą występować jedynie na podporze lewej pierwszego przęsła i na prawej ostatniego przęsła.

W przypadku gdy chcemy dodać typ przekroju stawiamy kursorem nad kolumną **przekrój** i naciskamy prawy klawisz myszy. Pojawia się wówczas Biblioteka profili stalowych pozwalająca wybrać nowy profil.

405.3.2. Zakładka „Grupy obciążeń”

	grupa	typ obciążenia	współ. obc. min	współ. obc. max
1	Grupa 1	stałe	1.000	1.350
2	Grupa 2	zmienne	0.000	1.000
3	Grupa 3	zmienne	0.000	1.000
4	Grupa 5	zmienne	0.000	1.000

W tej zakładce definiowane są poszczególne grupy obciążeń.

Grupa obciążeń – jest to zespół wspólnie występujących obciążeń (mogą być różnego rodzaju – np. skupione i ciągłe), mających jednakowy charakter działania (stały lub zmienny) i do których przypisane są takie same współczynniki obciążenia.

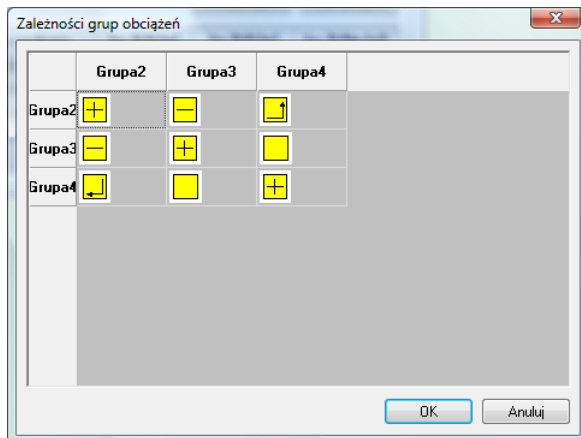
Grupa:	[-]	Nazwa kolejnej grupy obciążenia (np. obciążenia stałe, obc. śniegiem itp.).	
Typ obciążenia:	[-]	Przypisany grupie charakter działania obciążenia.	{stały; zmienny}
Współ. obc.-max	[-]	Maksymalny współczynnik obciążenia.	
Współ. obc.-min	[-]	Minimalny współczynnik obciążenia.	

Domyślnie wartości współczynników obciążenia wynoszą 1.0.

405.3.3. Kombinacje obciążeń



Wywołanie ikony **Zależności grup obciążeń** – pozwala na ustalenie relacji między grupami obciążeń zmiennych potrzebnymi do obliczeń obwodni sił wewnętrznych.

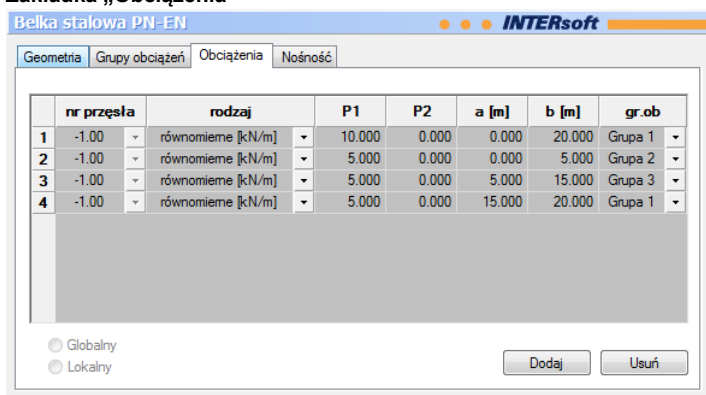


Po wprowadzeniu wszystkich obciążeń i grup obciążeń, program w wyniku obliczeń statycznych tworzy obwiednię M ; T (momentów i sił tnących), przy czym domyślnie przyjmuje że wszystkie obciążenia stałe występują zawsze, natomiast wszystkie obciążenia zmienne są niezależne od siebie. Chcąc zmienić relacje między grupami obciążeń zmiennych musimy wywołać okno dialogowe **Definicje zależności obciążeń** wciskając ikonkę **Zależności grup obciążeń**. W górnej części okna w wierszu i kolumnie wypisane są wszystkie grupy obciążeń zmiennych a na przecięciu każdego wiersza i kolumny (z wyjątkiem przekątnej) znajduje się pole edycyjne umożliwiające wprowadzenie właściwej relacji między grupami. Program umożliwia wprowadzenie następujących relacji grup obciążenia zmiennego:

- Brak relacji.
- Obciążenia występują razem.
- Obciążenia wykluczają się.
- Obciążenia w wierszu występują gdy występują obciążenia w kolumnie.
- Obciążenia w kolumnie występują gdy występują obciążenia w wierszu.

Przy wpisywaniu relacji między grupami obciążeń program na bieżąco sprawdza poprawność logiczną zapisu.

405.3.4. Zakładka „Obciążenia”



W programie przewidziano dwie podstawowe metody wprowadzania obciążeń:

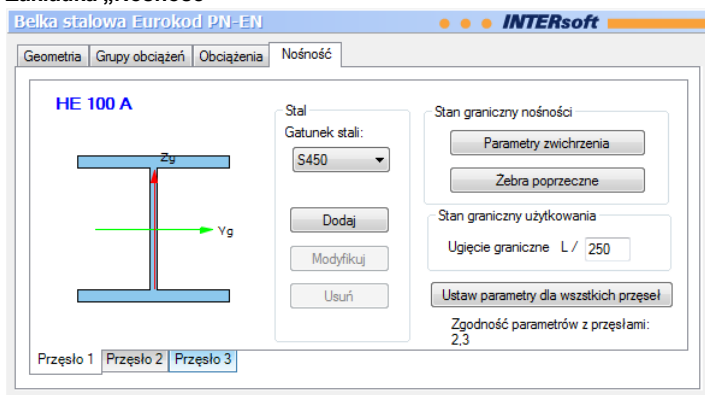
- w układzie lokalnym (dla danego przęsła)
- w układzie globalnym (dla całej belki)

Przy czym dla obciążeń wprowadzonych w układzie globalnym całej belki, przy zmianie układu na lokalny obciążenia są automatycznie przeliczane na obciążenia przęsłowe (lokalne) i nie ma już powrotu do ich zapisu globalnego. Wyboru układu współrzędnych dokonujemy przez jego zaznaczenie w dolnej części zakładki.

Numer:	[-]	Kolejny numer obciążenia utworzony automatycznie.	{kolejna liczba całkowita}
<Nr przęsła:>	[-]	Wybierany z listy numer przęsła (opcja aktywna jedynie w układzie lokalnym).	{stały; zmienny}
Rodzaj:	[-]	Rodzaj obciążenia na belce.	{trapezowe, równomierne, siła skupiona, moment skupiony}
P1:	[kN]	Wartość siły skupionej.	{dodatnia w dół}
P1:	[kN/m]	Wartość obciążenia równomiernego.	{dodatnie w dół}
P1, P2:	[kN/m]	Wartości obciążenia trapezowego.	{moment gnący dodatni}
P1:	[kNm]	Wartość momentu skupionego.	zgodnie ze wskazówkami zegara}
a, b:	[m]	Współrzędne położenia poszczególnych sił odpowiednio w układzie globalnym lub lokalnym.	{a > 0} {b > 0}
Gr. ob.	[-]	Przypisanie obciążenia do odpowiedniej wcześniej zdefiniowanej grupy obciążeń.	
Dodaj:		Opcja dodaje kolejne obciążenie.	
Usuń:		Opcja usuwa zaznaczone obciążenie.	

Obciążenie ciężarem własnym program może uwzględnić automatycznie po zaznaczeniu odpowiedniej opcji w zakładce raporty.

405.3.5. Zakładka „Nośność”



W zakładce podane są podstawowe parametry do wymiarowania przęsła.

Nr przęsła	[-]	Nr przęsła dla którego dane z zakładki są aktualne	
Gatunek stali	[-]	Wybierane z listy oznaczenie klasy stali PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: czerwiec 2006.	{ S235; S275; S355; S420; S450; S460}
Parametry zwichrzenia	[-]	Przycisk pozwalający na zdefiniowanie parametrów zwichrzenia belki.	
Żebra poprzeczne	[-]	Przycisk pozwalający na zdefiniowanie żebier w belce. Parametr określający maksymalną wielkość ugięcia w stosunku do rozpiętości belki	
Ugięcie graniczne	[-]	Przycisk kopiujący wszystkie parametry (poza profilem) danego przęsła na pozostałe przęsła	
Uzgodnij parametry	[-]		

405.3.6. Żebra poprzeczne

Żebra poprzeczne

Żebra pośrednie

Maksymalny rozstaw żebier a = m

a/L =

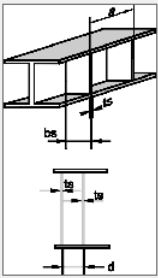
Żebra podporowe

Żebra podwójne

Rozstaw żebier d = mm

Szerokość żebier b_s = mm

Grubość żebier t_s = mm



OK Anuluj

W oknie **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 $b_s =$	[mm]	Szerokość żebra jednostronnego. Powinna być tak dobrana, aby żebro nie wystawało poza obrys przekroju. Wielkość ta obowiązuje zarówno dla żeber pośrednich jak i podporowych	{ $b_s > 0.0$ }
Grubość żebra $t_s =$	[mm]	Grubość żebra jednostronnego. Wielkość ta obowiązuje zarówno dla żeber pośrednich jak i podporowych	{ $t_s > 0.0$ }

405.3.7. Zwichrzenie

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

Element zabezpieczony przed zwichrzeniem		Opcja określająca czy belka jest zabezpieczona przed zwichrzeniem. Po zaznaczeniu tej opcji współczynnik zwichrzenia jest równy jeden.	< >
Znany współczynnik zwichrzenia		Po zaznaczeniu tej opcji można podać znane współczynniki zwichrzenia: Dla ściskanego pasa górnego, Dla ściskanego pasa dolnego. Za pas górny jest uważany pas leżący po dodatniej stronie osi „z” lokalnego układu współrzędnych w pręcie.	{ $0.0 < \dots < 1.0$ }
Znany moment krytyczny	[kNm]	Po zaznaczeniu tej opcji można podać znane z innych obliczeń wartości momentów krytycznych: Dla ściskanego pasa górnego, Dla ściskanego pasa dolnego. Za pas górny jest uważany pas leżący po dodatniej stronie osi „z” lokalnego układu współrzędnych w pręcie.	{ $\dots > 0.0$ }
Belka jednoprzęsłowa		Po wyborze tej opcji należy otworzyć zakładkę Parametry belki.	< >
Wspornik		Po wyborze tej opcji należy otworzyć zakładkę Parametry wspornika.	< >

405.3.7.1. Parametry zwichrzeniowe belki jednoprzęsłowej

W oknie **Parametry belki jednoprzęsłowej** 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.

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

- Stężenie ciągle 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 górnego

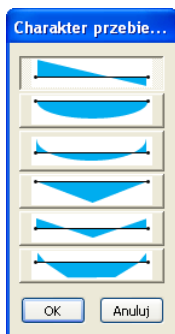
Opcja pozwalająca wybrać jeden z trzech rodzajów stężenia pośredniego pasa dolnego:

- Stężenie ciągle 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 < >

Stężenia pośrednie pasa dolnego

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.

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. < >

Obrót węzła końcowego elementu (w układzie lokalnym):

- Swobodny,
- Utwierdzenie.

Spaczenie na obu końcach

Opcja pozwalająca określić możliwość spaczenia przekroju na obu końcach elementu:

- swobodne, < >
- zablokowane.

405.3.7.2. 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 przęcie.

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 dzielą długość pręta.

Warunki podparcia na końcach elementu

Opcja określająca warunki podparcia na końcach elementu. Węzeł podporowy:

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

Węzeł swobodny:

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

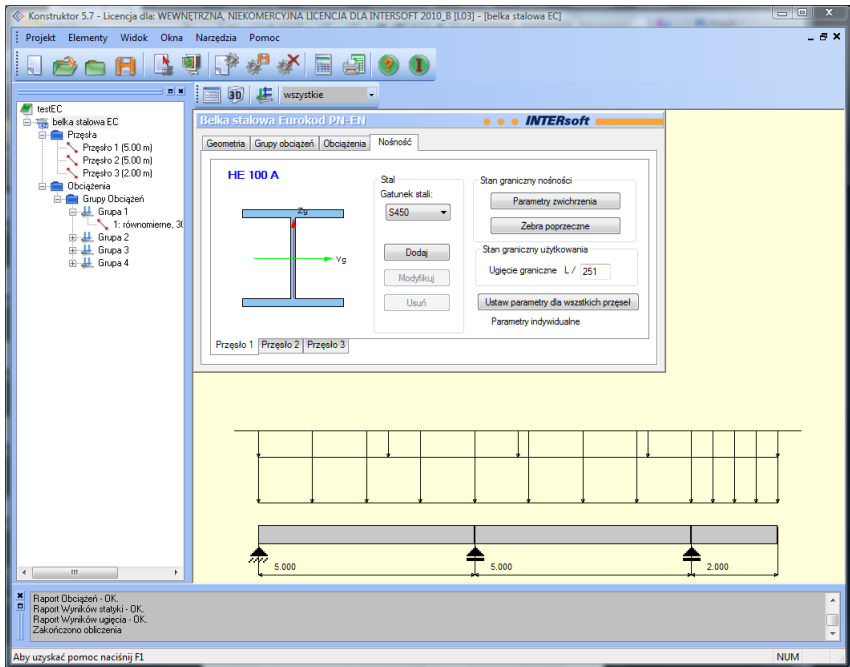
Poziom przyłożenia obciążenia

[mm]

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

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

405.4. Pulpit graficzny programu

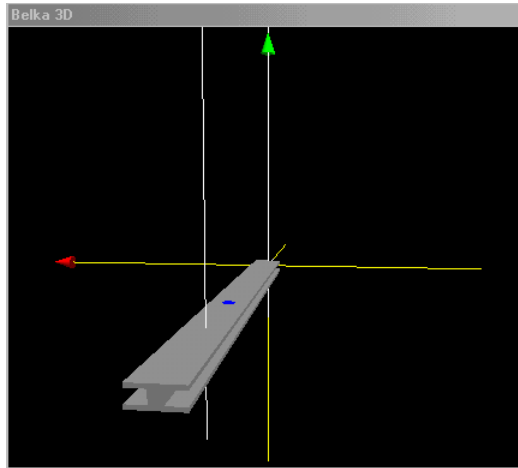


Główną część ekranu (o żółtym kolorze tła) zajmuje pulpit graficzny na którym na bieżąco w postaci graficznej pokazywane są zmiany wprowadzone dla belki. Na belce jednocześnie może być wyświetlana jedna grupa obciążeń lub wszystkie grupy na raz, zmiany dokonujemy ustawiając odpowiednią grupę w okienku dialogowym powyżej pulpitu.

405.4.1. Okno 3D

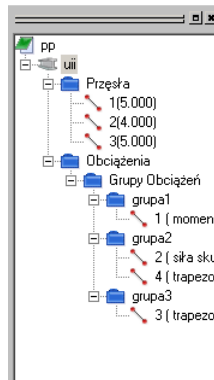


- ikona wywołująca okno 3D



Okno 3D pozwala na przestrzenną wizualizację wprowadzonej belki. Poruszanie myszką przy wciśniętym lewym przycisku pozwala na dowolne obracanie konstrukcji w przestrzeni, natomiast przesuwanie myszki przy wciśniętym prawym klawiszu powoduje zbliżanie i oddalanie konstrukcji.

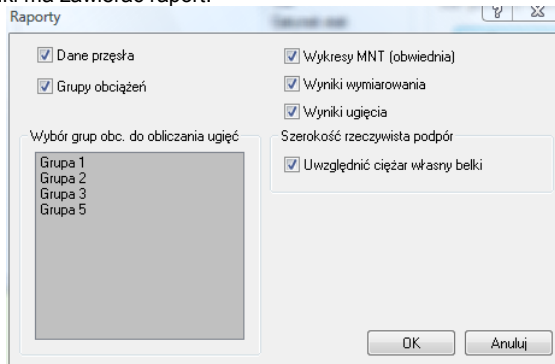
405.4.2. Drzewo projektu



Z lewej strony ekranu widoczne są cały czas poszczególne elementy składające się na belkę w postaci „drzewa” projektu. Pozwalają one na szybkie przełączanie się między poszczególnymi elementami i ich edycję w odpowiednich zakładkach.

405.5. Obliczenia belki

Po uruchomieniu obliczeń belki pojawia się zakładka **Raporty** w której możemy zdecydować jakie dane i wyniki ma zawierać raport.



Zaznaczenie dowolnej z wyżej wymienionych opcji powoduje poszerzenie raportu o odpowiednie dane lub wyniki. Na liście z lewej strony zakładki należy przez kliknięcie zaznaczyć grupy obciążeń (grupy zaznaczone są podświetlone na kolor niebieski) dla których ma być określona wielkość ugięcia w stanie sprężystym (program do liczenia ugięć bierze sumę obciążeń charakterystycznych z tych grup). Przy zaznaczeniu opcji **Uwzględnić ciężar własny belki** przypadek ten jest automatycznie dodawany przy liczeniu ugięcia (gdy nie zaznaczymy innych grup program poda ugięcie tylko od ciężaru własnego).

405.6. Wyniki

Wyniki obliczeń statycznych i wymiarowania tworzone są w postaci plików raportu (format „htm”) zlokalizowanych w katalogu projektu (podkatalog Raporty), które można przejrzeć w przeglądarce raportów. Wywołanie przeglądarki w górnym pasku narzędziowym (menu **Narzędzia** → **Przeglądarka raportów**) lub za pomocą odpowiedniej ikony w pasku narzędzi elementu. Pozostałe dane dotyczące obsługi przeglądarki zawiera opis modułu Konstruktor. Wyniki w programie „**Belka stalowa**” można podzielić na trzy osobne i niezależne grupy:

Dane dotyczące geometrii układu i obciążeń:

- dane dotyczące przęseł, podpór i przegubów
- dane dotyczące przekroju i materiału,
- dane dotyczące obciążeń i grup obciążeń.

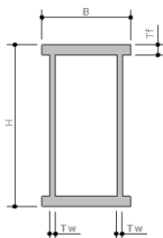
Wyniki obliczeń statycznych dla:

- poszczególnych grup obciążeń wyniki reakcji (opcjonalnie),
- obwiedni momentów i sił tnących – wykresy, wartości (opcjonalnie).

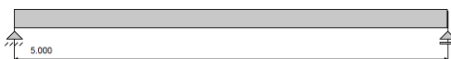
Wyniki sprawdzania nośności belki oddzielnie dla każdego przęsła w postaci:

- parametrów ogólnych dotyczących przęsła belki.
- sprawdzanie nośności dla momentu maksymalnego w obrębie przęsła (jeżeli taki występuje):
 - siły wewnętrzne, parametry dotyczące nośności, warunki nośności,
- sprawdzanie nośności dla momentu minimalnego w obrębie przęsła (jeżeli taki występuje):
 - siły wewnętrzne, parametry dotyczące nośności, warunki nośności,
- warunki nośności na ścinanie dla ekstremalnej siły poprzecznej,
- maksymalne ugięcie w przęsle i stosunek ugięcia do rozpiętości przęsła,

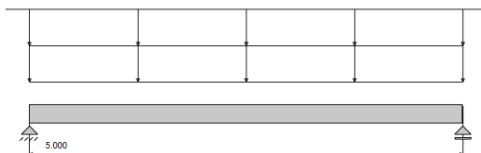
405.7. Przykładowy raport

belka stalowa ECskrzynka 200**skrzynka 200 - Stal: S450**

H [mm]	170.0	A [cm ²]	45.56
B [mm]	150.0	J _x [cm ⁴]	2002.02
T _f [mm]	8.0	J _y [cm ⁴]	917.06
T _w [mm]	7.0	W _x [cm ³]	235.53
		W _y [cm ³]	122.27

**Lista pręseł**

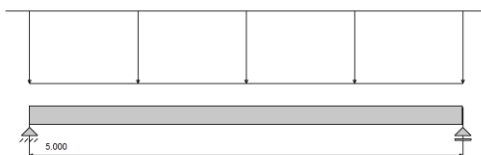
Nr pręseła	Długość [m]	Profil	Podpora lewa	Podpora prawa
1	5.00	skrzynka 200	przegub nieprzesuwny	przegub przesuwny

Lista obciążeń Grupa 1

Nr	Nr przęsła	Rodzaj	P_1	P_2	a [m]	b [m]	Co [mm]
1		równomierne	5.00	-	0.00	5.00	-
2	1	równomierne	10.00	-	0.00	5.00	-

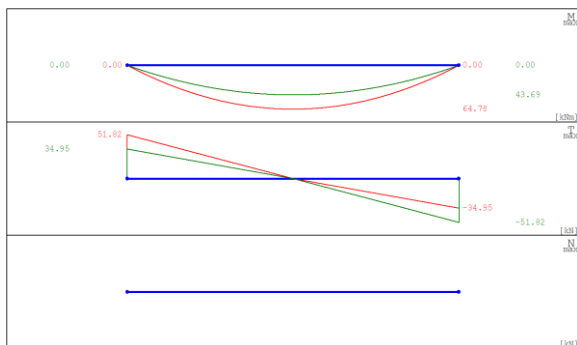
Maksymalny współczynnik obciążenia: 1.350

Minimalny współczynnik obciążenia: 0.900

Lista obciążeń od ciężaru własnego

Nr przęsła	Rodzaj	P_1	P_2	a [m]	b [m]
1	równomierne	0.36	0.36	0.00	0.00

Stały współczynnik obciążenia: 1.350

Wykresy MNT dla przęsła nr 1**Dla momentu minimalnego**

$$M_{\min} = -0.000 \text{ kNm}, T_{\text{odp}} = 34.949 \text{ kN}, x = 0.000 \text{ m}$$

Klasa przekroju na ściskanie:

Klasa ścianek pasów = 1 Klasa ścianek środka = 1 Klasa przekroju na ściskanie = 1

Klasa przekroju na zginanie względem osi y:

Klasa pasów = 1 Klasa środka = 1 Klasa przekroju na zginanie y-y = 1

Klasa przekroju na zginanie względem osi z:

Klasa pasów = 1 Klasa środka = 1 Klasa przekroju na zginanie z-z = 1

Nośność przekroju na rozciąganie

$$N_{t,Rd} = 2004.64 \text{ [kN]}$$

Nośność na czyste zginanie względem osi y

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{277.41 \cdot 10^{-6} \cdot 440.00}{1.00} = 122.06 \text{ [kNm]}$$

Udział pasów w nośności na zginanie

$$M_{f,Rd} = 85.54 \text{ [kNm]}$$

Nośność na czyste zginanie względem osi z

$$M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{190.25 \cdot 10^{-6} \cdot 440.00}{1.00} = 83.71 \text{ [kNm]}$$

Nośność na ścinanie wzdłuż osi z.

Przekrój czynny przy ścinaniu.

$$A_v = 2587.20 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Nośność na ścinanie

$$V_{C,z,Rd} = 657.24 \text{ [kN]}$$

Nośność na ścinanie wzdłuż osi y.

Nośność na ścinanie

$$V_{C,y,Rd} = 609.68 \text{ [kN]}$$

Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej

$$M_{N,y,Rd} = 122.06 \text{ [kNm]}$$

Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi y.

$$M_{V,y,Rd} = M_{C,y,Rd} - \rho \cdot (M_{C,y,Rd} - M_{f,Rd,y}) = 122.06 - 0.00 \cdot (122.06 - 85.54) = 122.06 \text{ [kNm]}$$

Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi z.

$$M_{V,z,Rd} = 83.71 \text{ [kNm]}$$

Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej i tnącej

$$M_{N,v,Rd,y} = 122.06 \text{ [kNm]}$$

$$M_{N,v,Rd,z} = 0.00 \text{ [kNm]}$$

Warunki nośności:

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{C,y,Rd}} = \frac{0.00}{609.68} = 0.00$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{C,z,Rd}} = \frac{34.95}{657.24} = 0.05$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{C,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{C,z,Rd}} = \frac{0.00}{122.06} + \frac{0.00}{83.71} = 0.00$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{V,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{V,z,Rd}} = \frac{0.00}{122.06} + \frac{0.00}{83.71} = 0.00$$

Współczynniki interakcji.

$$k_{yy} = 1.00$$

$$k_{yz} = 1.00$$

$$k_{zy} = 1.00$$

$$k_{zz} = 1.00$$

Stopień wykorzystania nośności elementu.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{0.00}{2004.64} = 0.00$$

Dla momentu maksymalnego

$$M_{maks} = 64.780 \text{ kNm}, T_{odp} = 0.000 \text{ kN}, x = 2.500 \text{ m}$$

Klasa przekroju na ściskanie:

Klasa ścianek pasów = 1 Klasa ścianek środkowych = 1 Klasa przekroju na ściskanie = 1

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 środnika = 1 Klasa przekroju na zginanie z-z = 1

Nośność przekroju na rozciąganie

$$N_{t,Rd} = 2004.64 \text{ [kN]}$$

Nośność na czyste zginanie względem osi y

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{277.41 \cdot 10^{-6} \cdot 440.00}{1.00} = 122.06 \text{ [kNm]}$$

Udział pasów w nośności na zginanie

$$M_{f,Rd} = 85.54 \text{ [kNm]}$$

Nośność na czyste zginanie względem osi z

$$M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{190.25 \cdot 10^{-6} \cdot 440.00}{1.00} = 83.71 \text{ [kNm]}$$

Nośność na ścinanie wzdłuż osi z.

Przekrój czynny przy ścinaniu.

$$A_v = 2587.20 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Nośność na ścinanie

$$V_{C,z,Rd} = 657.24 \text{ [kN]}$$

Nośność na ścinanie wzdłuż osi y.

Nośność na ścinanie

$$V_{C,y,Rd} = 609.68 \text{ [kN]}$$

Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej

$$M_{N,y,Rd} = 122.06 \text{ [kNm]}$$

Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi y.

$$M_{V,y,Rd} = M_{C,y,Rd} - \rho \cdot (M_{C,y,Rd} - M_{f,Rd,y}) = 122.06 - 0.00 \cdot (122.06 - 85.54) = 122.06 \text{ [kNm]}$$

Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi z.

$$M_{V,z,Rd} = 83.71 \text{ [kNm]}$$

Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej i tnącej

$$M_{N,v,Rd,y} = 122.06 \text{ [kNm]}$$

$$M_{N,v,Rd,z} = 0.00 \text{ [kNm]}$$

Warunki nośności:

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{C,y,Rd}} = \frac{0.00}{609.68} = 0.00$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{C,z,Rd}} = \frac{0.00}{657.24} = 0.00$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{C,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{C,z,Rd}} = \frac{64.78}{122.06} + \frac{0.00}{83.71} = 0.53$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{V,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{V,z,Rd}} = \frac{64.78}{122.06} + \frac{0.00}{83.71} = 0.53$$

Współczynnik zwężenia przy ściskanym pasie górnym.

$$\chi_{LT,g} = 0.70$$

Współczynnik zwężenia przy ściskanym pasie dolnym.

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

Współczynniki interakcji.

$$k_{yy} = 1.00 \quad k_{yz} = 1.00 \quad k_{zy} = 1.00 \quad k_{zz} = 1.00$$

Stopień wykorzystania nośności elementu.

$$\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} \cdot \gamma_{MI} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \cdot \gamma_{MI} = \frac{64.78}{0.70 \cdot 103.63} \cdot 1.00 + \frac{0.00}{53.80} \cdot 1.00 = 0.89$$

Dla ekstremalnej tnącej

$$T_{ekst} = 51.824 \text{ kN}, M_{odp} = -0.000 \text{ kNm}, x = 5.000$$

Klasa przekroju na ściskanie:

Klasa ścianek pasów = 1 Klasa ścianek średnika = 1 Klasa przekroju na ściskanie = 1

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 średnika = 1 Klasa przekroju na zginanie z-z = 1

Nośność przekroju na rozciąganie

$$N_{t,Rd} = 2004.64 \text{ [kN]}$$

Nośność na czyste zginanie względem osi y

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{277.41 \cdot 10^{-6} \cdot 440.00}{1.00} = 122.06 \text{ [kNm]}$$

Udział pasów w nośności na zginanie

$$M_{f,Rd} = 85.54 \text{ [kNm]}$$

Nośność na czyste zginanie względem osi z

$$M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{190.25 \cdot 10^{-6} \cdot 440.00}{1.00} = 83.71 \text{ [kNm]}$$

Nośność na ścinanie wzdłuż osi z.

Przekrój czynny przy ścinaniu.

$$A_v = 2587.20 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Nośność na ścinanie

$$V_{C,z,Rd} = 657.24 \text{ [kN]}$$

Nośność na ścinanie wzdłuż osi y.

Nośność na ścinanie

$$V_{C,y,Rd} = 609.68 \text{ [kN]}$$

Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej

$$M_{N,y,Rd} = 122.06 \text{ [kNm]}$$

Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi y.

$$M_{Vy,Rd} = M_{Cy,Rd} - \rho \cdot (M_{Cy,Rd} - M_{f,Rd,y}) = 122.06 - 0.00 \cdot (122.06 - 85.54) = 122.06 \text{ [kNm]}$$

Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi z.

$$M_{V,z,Rd} = 83.71 \text{ [kNm]}$$

Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej i tnącej

$$M_{N,V,Rd,y} = 122.06 \text{ [kNm]}$$

$$M_{N,V,Rd,z} = 0.00 \text{ [kNm]}$$

Warunki nośności:

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{C,y,Rd}} = \frac{0.00}{609.68} = 0.00$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{C,z,Rd}} = \frac{51.82}{657.24} = 0.08$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{C,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{C,z,Rd}} = \frac{0.00}{122.06} + \frac{0.00}{83.71} = 0.00$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{V,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{V,z,Rd}} = \frac{0.00}{122.06} + \frac{0.00}{83.71} = 0.00$$

Współczynniki interakcji.

$$k_{yy} = 1.00$$

$$k_{yz} = 1.00$$

$$k_{zy} = 1.00$$

$$k_{zz} = 1.00$$

Stopień wykorzystania nośności elementu.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{0.00}{2004.64} = 0.00$$

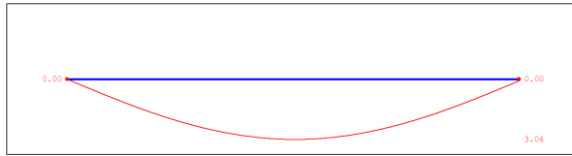
Ugięcie sprężyste dla przęsła nr 1

Grupy obciążeń uwzględnione do liczenia ugięcia:
--

Ciężar własny

Grupa 1

Grupa 2



X [m]	0.000	1.000	2.000	2.500	3.500	4.500	4.958
Y [cm]	0.000	1.805	2.894	3.037	2.424	0.877	0.000

Sprawdzenie ugięcia dopuszczalnego:

$$U_{\max} = 3.038 \text{ cm} \leq L / 250.00 = 500.00 / 250.00 = 2.00 \text{ cm}$$

Ugięcie dopuszczalne zostało przekroczone !