

# **Moduł Słup stalowy Eurokod PN-EN**

## Spis treści

<b>431.</b>	<b>SLUP STALOWY EUROKOD PN-EN</b> .....	<b>3</b>
431.1.	WIADOMOŚCI OGÓLNE.....	3
431.1.1.	<i>Opis programu</i> .....	3
431.1.2.	<i>Zakres programu</i> .....	3
431.1.3.	<i>Typy przekrojów</i> .....	3
431.1.4.	<i>Materiały</i> .....	3
431.1.5.	<i>Podstawowe informacje dotyczące normy EN 1993-1-1 Eurokod 3</i> .....	4
431.2.	OPIS PODSTAWOWYCH FUNKCJI PROGRAMU.....	5
431.2.1.	<i>Obliczenia statyczne</i> .....	5
431.2.2.	<i>Sprawdzanie nośności na zginanie</i> .....	5
431.2.3.	<i>Sprawdzanie nośności na ścinanie</i> .....	5
431.2.4.	<i>Ugięcia</i> .....	6
431.3.	WPROWADZENIE DANYCH.....	6
431.3.1.	<i>Utworzenie nowego projektu słupa</i> .....	6
431.3.2.	<i>Zakładka „Geometria”</i> .....	7
431.3.3.	<i>Zakładka „Obciążenia”</i> .....	9
431.3.4.	<i>Zakładka „Ściskanie/rozciąganie”</i> .....	10
431.3.5.	<i>Zakładka „Zwichrzenie”</i> .....	11
431.4.	PULPIT GRAFICZNY PROGRAMU.....	15
431.5.	DRZEWO PROJEKTU.....	15
431.6.	OBLICZENIA SŁUPA.....	16
431.7.	WYNIKI.....	16
431.8.	PRZYKŁADOWY RAPORT.....	17

## **431. Słup stalowy Eurokod PN-EN**

### **431.1. Wiadomości ogólne**

#### **431.1.1.Opis programu**

Program „Słup stalowy Eurokod PN-EN” przeznaczony jest do obliczeń statycznych i sprawdzania nośności słupów stalowych. Program oblicza siły przekrojowe w słupie wykorzystując model metody przemieszczeń w ujęciu macierzowym. W wyniku analizy statycznej otrzymujemy siły przekrojowe (momenty, siły tnące i normalne). Algorytm sprawdzania nośności słupów wykonany został w oparciu o normę PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: czerwiec 2006. „Projektowanie konstrukcji stalowych”. Warunki nośności są sprawdzane na całej długości słupa dla kompletu sił przekrojowych:

- Moment  $M_y$
- Moment  $M_z$
- Siła osiowa  $N$
- Siła tnąca  $T_y$
- Siła tnąca  $T_z$

Dla stanu granicznego użytkowania podane jest ekstremalne ugięcie sprężyste dla elementu.

#### **431.1.2.Zakres programu**

Program sprawdza nośność i stan graniczny użytkowania dla słupów stalowych na podstawie ekstremalnych wartości sił przekrojowych i przemieszczeń. Wartości te obliczane są w 121 punktach na długości elementu. Także sprawdzenie nośności następuje dla powyższej liczby punktów. Jako wynik prezentowany jest przekrój, na długości elementu, o najwyższym stopniu wyężenia.

#### **431.1.3.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 ),
- zimnogięte rury prostokątne, kwadratowe i okrągłe

#### **431.1.4.Materiały**

Rodzaje stali:

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

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

### 431.1.5. 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:  $\alpha_{cr}$  - 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 środków na niestateczność przy ścinaniu.

W **Eurokodzie** zmieniono wzór na smukłość pręta przy wyboczeniu oraz wszystkie krzywe wyboczenia. Każdej krzywej przypisano parametr imperfekcji  $\alpha$ . 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 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. Odmiennie 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 zwirzenie 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.***

## **431.2. Opis podstawowych funkcji programu**

### **431.2.1. Obliczania statyczne**

Program oblicza statykę słupa macierzową metodą przemieszczeń. Wyniki w postaci ekstremalnych sił przekrojowych i wartości sił im odpowiadających, podawane są w programie dla obciążeń zadanych przez użytkownika (nie są uwzględniane żadne współczynniki obciążenia). Dla obliczenia ekstremalnych wartości ugięć używany jest współczynnik przeliczający wyniki na wartości charakterystyczne równy 1.37.

### **431.2.2. Sprawdzanie nośności na zginanie**

Algorytm sprawdzania nośności na zginanie opracowano w oparciu o normę PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: czerwiec 2006. „Projektowanie konstrukcji stalowych”. Program sprawdza warunki nośności słupa z uwzględnieniem możliwości zwirzenia i wyboczenia. W przypadku słupa z wymuszoną osią obrotu należy podać odległość pomiędzy punktem przecięcia śladu płaszczyzny stężenia z osią środnika, a pasem słupa. Sprawdzenie następuje dla:

- momentów maksymalnych z uwzględnieniem warunków podparcia pasów i odległości przyłożenia obciążenia od pasa górnego (wg. układu lokalnego xyz). Równocześnie jest sprawdzany warunek nośności z uwzględnieniem odpowiadającej siły poprzecznej,
- dla momentów minimalnych sprawdzenie jest analogiczne.

W celu określenia współczynnika zwirzenia użytkownik musi podać warunki brzegowe w kierunku „słabszej” osi bezwładności, oraz sposób obciążenia pręta.

### **431.2.3. Sprawdzanie nośności na ścinanie**

Nośność przęśła słupa na ścinanie jest sprawdzana w miejscu występowania ekstremalnej siły poprzecznej.

#### 431.2.4. Ugięcia

Program dla zadanego obciążenia oblicza wielkość ugięcia dla każdego przęsła belki. Ugięcia liczone jest w stanie sprężystym. Ekstremalna wartość ugięcia jest porównywana z wartością dopuszczalną podaną przez użytkownika.

#### 431.3. Wprowadzenie danych

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

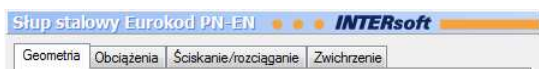
[...] jednostką, w jakiej podawana jest poszczególne wielkość,

<...> parametrem opcjonalnym, tj. takim, który w pewnych sytuacjach może nie występować,

{...} zakresem, w jakim występuje dana wielkość

#### 431.3.1. Utworzenie nowego projektu słupa

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

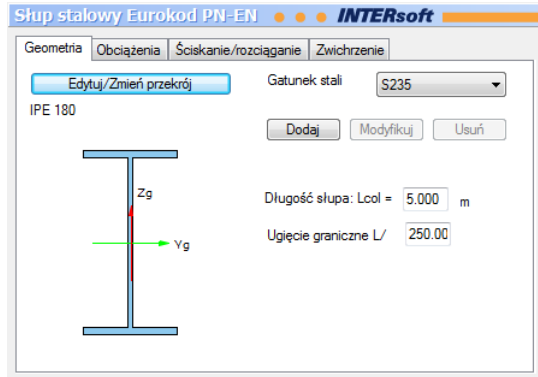


Otwieranie okna zakładek (formularzy) można wykonać przez naciśnięcie odpowiedniej ikony na pulpicie:



Ikona wywołująca lub ukrywająca okno zakładek (formularzy).

## 431.3.2.Zakładka „Geometria”



W zakładce „Geometria” podawane są podstawowe dane dotyczące geometrii słupa.

Długość słupa:	[m]	Nominalna długość słupa	{lcol > 0}
Ugięcie graniczne	[-]	Graniczna wartość ugięcia elementu definiowana za pomocą stosunku L i wpisanej wartości	{>0}
Gatunek stali	[-]	Wybierane z listy oznaczenie klasy stali PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: czerwiec 2006.	{ S235; S275; S355; S420; S450; S460}
Dodaj		Dodaje nowy materiał o parametrach zdefiniowanych w oknie <b>Gatunek stali</b>	
Edytuj/Zmień przekrój		Definiowanie typu przekroju dla słupa. Wywołuje okno <b>Edycja przekroju</b>	Typ przekroju (np. IPE180)

## Edycja przekroju

Okno pozwala na zdefiniowanie parametrów przekroju spawanego, bądź wczytanie profilu z biblioteki profili stalowych (przycisk **Biblioteka profili stalowych**)

Edycja przekroju

Nazwa: HE 100 A

Typ: HE

Parametry przekroju

Wymiary

Wysokość przekroju h = 96 mm

Szer. górnej półki b2 = 100 mm

Szer. dolnej półki b1 = 100 mm

Grub. górnej półki tf1 = 8 mm

Grub. dolnej półki tf2 = 8 mm

Grubość środnika tw = 5 mm

Charakterystyki

Oblicz...

Iy = 349.2

Iz = 133.8

A = 21.2

Wy = 72.76

Wz = 26.76

Podgląd

OK Anuluj

## Biblioteka profili stalowych

Okno pozwala na wybór profilu z zestawu typowych kształtowników.

Biblioteka profili stalowych

Nazwa	H [mm]	B [mm]	tw [mm]	tf [mm]	r [mm]
IPE 80	80.0	46.0	3.8	5.2	5.0
IPE 100	100.0	55.0	4.1	5.7	7.0
IPE 120	120.0	64.0	4.4	6.3	7.0
IPE 140	140.0	73.0	4.7	6.9	7.0
IPE 160	160.0	82.0	5.0	7.4	9.0
IPE 180	180.0	91.0	5.3	8.0	9.0
IPE 200	200.0	100.0	5.6	8.5	12.0
IPE 220	220.0	110.0	5.9	9.2	12.0
IPE 240	240.0	120.0	6.2	9.8	15.0
IPE 270	270.0	135.0	6.6	10.2	15.0
IPE 300	300.0	150.0	7.1	10.7	15.0
IPE 330	330.0	160.0	7.5	11.5	18.0
IPE 360	360.0	170.0	8.0	12.7	18.0
IPE 400	400.0	180.0	8.6	13.5	21.0

OK Anuluj

## Gatunek stali

Okno pozwala na zdefiniowanie stali o nietypowej granicy plastyczności.

Gatunek stali

Nazwa: Stal użytkownika

Granica plastyczności fy = 270 MPa

Wytrzymałość na rozciąganie fu = 250 MPa

Anuluj OK



### 431.3.3. Zakładka „Obciążenia”

Wszystkie obciążenia w programie należy zadawać jako obciążenia obliczeniowe.

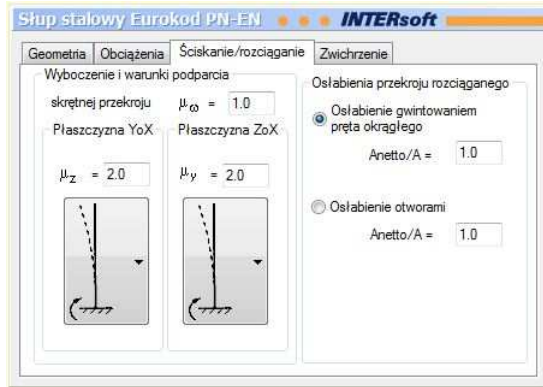
L.p.	rodzaj	P1	P2	a [m]	b [m]	pł. obc.
1	równomierne	10,000	0,000	0,000	5,000	ZoX
2	równomierne	10,000	0,000	0,000	5,000	YoX
3	siła pionowa	1000,000	0,000	0,000	5,000	YoZ

Uwzględnij ciężar własny

Dodaj    Usuń

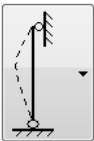
L.p.	[-]	Kolejny numer obciążenia utworzony automatycznie.	{kolejna liczba całkowita}
Rodzaj:	[-]	Rodzaj obciążenia.	{trapezowe, równomierne, siła skupiona (pionowa i pozioma), moment skupiony}
P1:	[kN]	Wartość siły skupionej (pionowej lub poziomej) .	{dodatni znak sił poziomych zgodny z kierunkami osi układu}
P1:	[kN/m]	Wartość obciążenia równomiernego.	{dodatni znak siły pionowej przeciwny do osi układu}
P1, P2:	[kN/m]	Wartości obciążenia trapezowego.	{moment gnący dodatni zgodnie z zasadą prawej ręki}
P1:	[kNm]	Wartość momentu skupionego.	
a, b:	[m]	Współrzędne położenia poszczególnych sił	{a > 0} {b > 0}
Pł. obc.	[-]	Określenie płaszczyzny działania obciążenia.	{YoX, YoZ}
Uwzględnij ciężar własny	[-]	Powoduje uwzględnianie w obliczeniach, bądź nie, ciężaru własnego elementu.	
Dodaj:		Opcja dodaje kolejne obciążenie.	
Usuń:		Opcja usuwa zaznaczone obciążenie.	

## 431.3.4. Zakładka „Ściskanie/rozciąganie”



W zakładce podane są podstawowe parametry do wymiarowania słupa.

	Wartości współczynników wyboczeniowych:	
Współczynniki długości wyboczeniowych	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>u_y</math> dla wyboczenia w płaszczyźnie ZoX,</li> <li>• <math>u_z</math> dla wyboczenia w płaszczyźnie YoX,</li> <li>• <math>u_w</math> dla wyboczenia skrętnego przekroju.</li> </ul>	{>0}
Oslabienie gwintowaniem	Opcja wykorzystywana dla prętów o przekroju okrągłym. Podajemy stosunek wartości przekroju netto do wartości przekroju brutto pręta.	$\left\{ \begin{array}{l} 0.0 < A_{netto} / A_{brutto} < 1.0 \end{array} \right.$
Oslabienie otworami	Dla przekroju osłabionego otworami podajemy stosunek wartości przekroju netto do wartości przekroju brutto pręta.	$\left\{ \begin{array}{l} 0.0 < A_{netto} / A_{brutto} < 1.0 \end{array} \right.$



Wybór schematu statycznego odpowiednio dla płaszczyzn YoX i ZoX i odpowiadającego im domyślnego współczynnika wyboczenia w danej płaszczyźnie dla układów nieprzesuwanych.

## 431.3.5. Zakładka „Zwichrzenie”

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

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

## Parametry zwichrzeniowe belki jednoprzęsłowej

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

Stężenia pośrednie  
pasa górnego

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

Stężenie ciągle na całej długości pręta,

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 ciągle na całej długości pręta,

< >

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.

&lt; &gt;

Poziom przyłożenia obciążenia

[mm]

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

Na poziomie pasa górnego,  
Na poziomie pasa dolnego,

{  $z > 0$  }

W odległości  $z = \dots$  [mm] od poziomu pasa górnego.

Warunki dotyczące możliwości obrotu przekroju pręta względem mniejszej osi bezwładności przekroju.

Obrót węzła początkowego elementu (w układzie lokalnym):

Warunki podparcia na końcach elementu

Swobodny,  
Utwardzenie.

&lt; &gt;

Obrót węzła końcowego elementu (w układzie lokalnym):

Swobodny,  
Utwardzenie.

Spaczenie na obu końcach

Opcja pozwalająca określić możliwość spaczenia przekroju na obu końcach elementu:

swobodne,  
zablokowane.

&lt; &gt;

## Parametry wspornika

W zakładce **Parametry wspornika** podawane są podstawowe dane wymagane przy określaniu nośności wspornika z uwzględnieniem 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.

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.

Warunki podparcia na  
końcach elementu

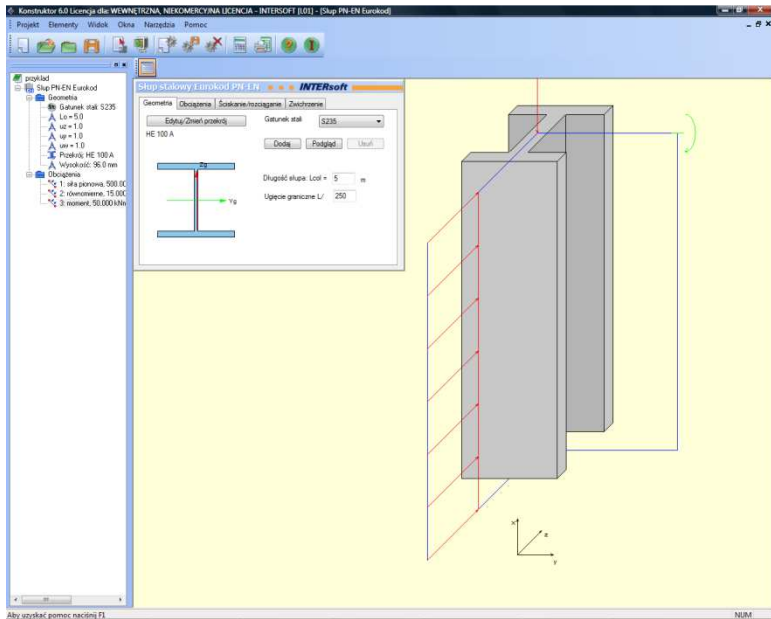
Poziom  
przyłożenia obciążenia [mm]

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

Na poziomie pasa górnego,

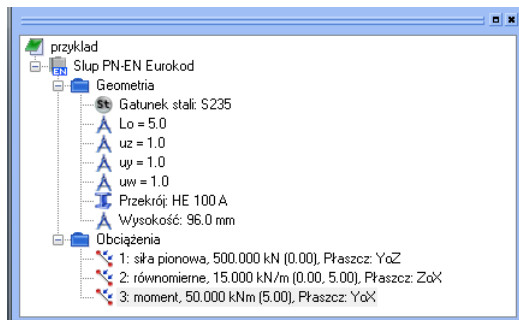
Na poziomie pasa dolnego,

## 431.4. 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 słupa.

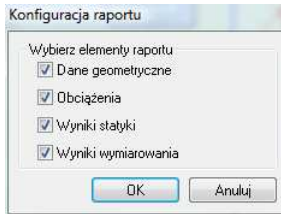
## 431.5. Drzewo projektu



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

### 431.6. Obliczenia słupa

Po uruchomieniu obliczeń słupa pojawia się okno **Konfiguracja raportu** w którym możemy zdecydować jakie dane i wyniki ma zawierać raport.



Zaznaczenie dowolnej z wyżej wymienionych opcji powoduje poszerzenie raportu o odpowiednie dane lub wyniki.

### 431.7. Wyniki

Wyniki obliczeń statycznych i wymiarowania tworzone są w postaci plików raportu (z możliwością ich eksportu do formatu „html” i „rtf”) 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 „**Słup stalowy**” można podzielić na cztery osobne i niezależne grupy:

Dane dotyczące geometrii układu:

- Lista węzłów
- Materiał
- Przekrój

Dane dotyczące obciążeń:

- Widok obciążeń
- Zestawienie obciążeń

Wyniki statyka:

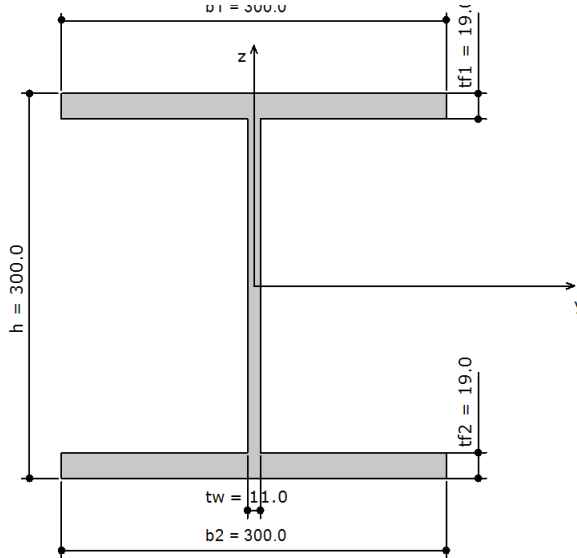
- Siły wewnętrzne - płaszczyzna YoX
- Siły wewnętrzne - płaszczyzna ZoX
- Przemieszczenia - płaszczyzna YoX
- Przemieszczenia - płaszczyzna ZoX
- Reakcje

Wymiarowanie:

- Przekrój ekstremalny



## 431.8. Przykładowy raport

słup stalowy Eurokod PN-ENGeometria

## Lista węzłów

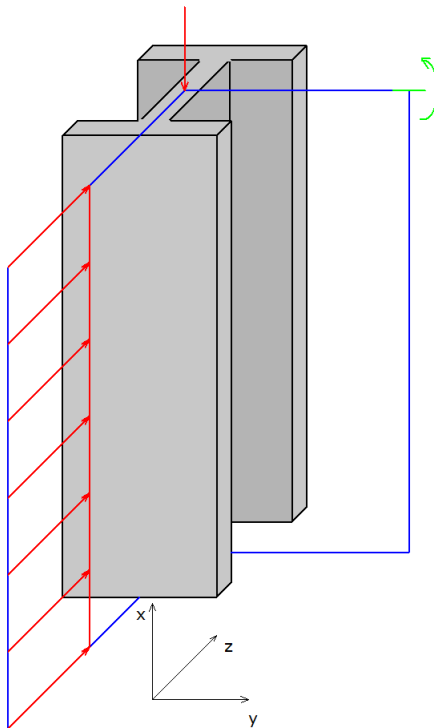
Nr Węzła	Z[m]	Y[m]
1	0.00	0.00
2	0.00	4.00

## Materiał

Nazwa	E[GPa]	Ciężar własny[kN/m <sup>3</sup> ]	$\alpha_t$ [1/°C]
S460	210	78.5	0.000012

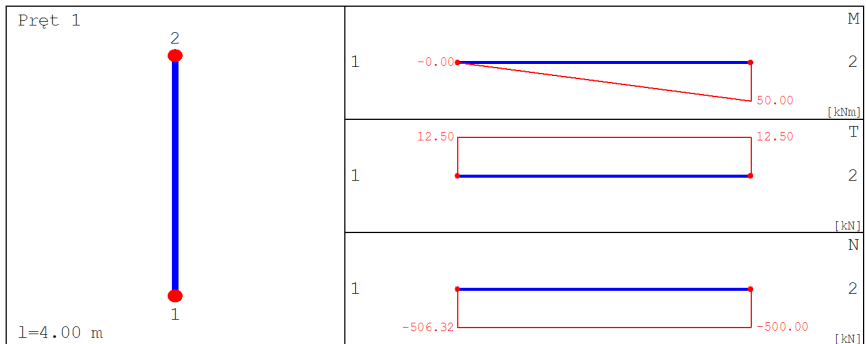
**Przekrój**

Nazwa	$A [cm^2]$	$J_y [cm^4]$	$J_z [cm^4]$	$W_y [cm^3]$	$W_z [cm^3]$	Nazwa materiału	Długość słupa [m]
HE 300 B	149.10	25170.00	8563.00	1678.00	570.90	S460	4.00

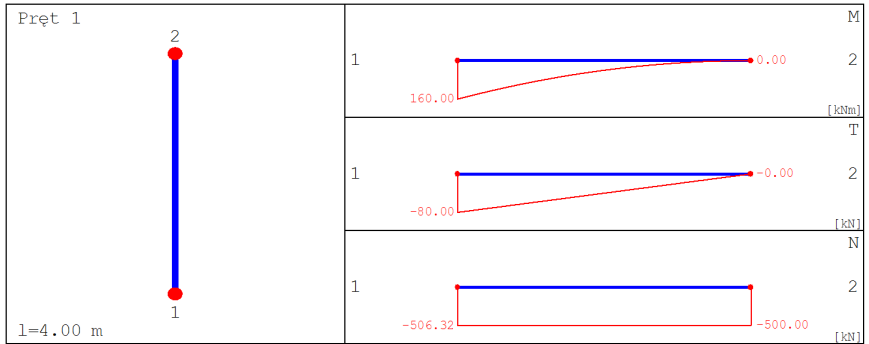
**Obciążenia**

**Parametry obciążeń**

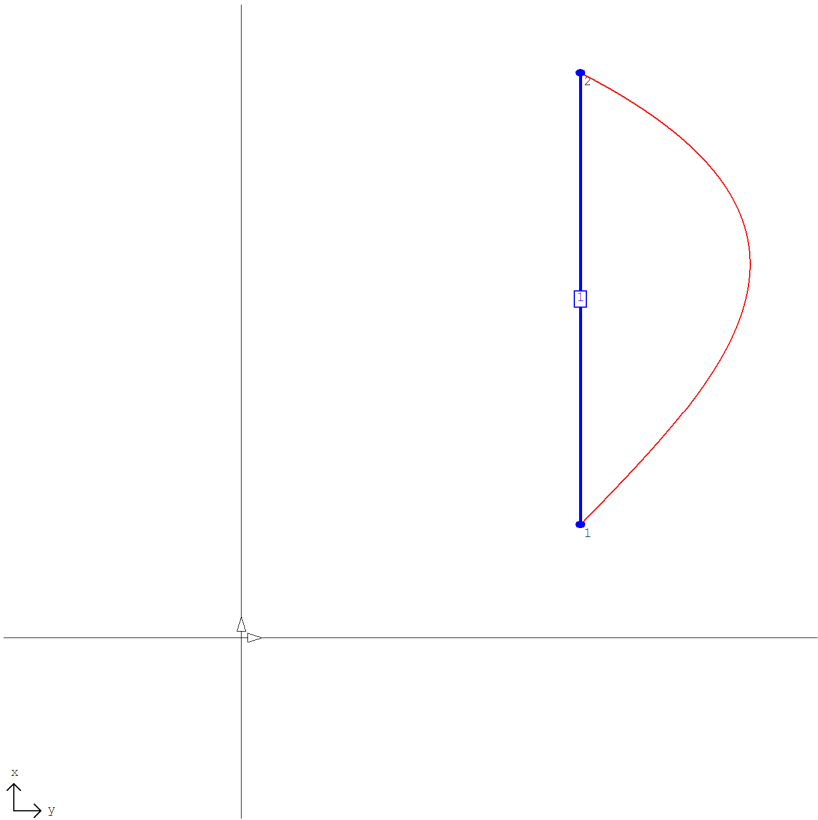
Nr obciążenia a	Nr pręt a	Typ obciążenia	Kierunek działania	$P_1$	$P_2$	a[m] ]	b[m] ]
1	1	siła pionowa	ZoX	500.00 kN	-	-	4.00
2	1	równomiernie	ZoX	20.00 kN/m	-	0.00	4.00
3	1	moment	YoX	50.00 kNm	-	-	4.00

**Siły wewnętrzne - płaszczyzna YoX**

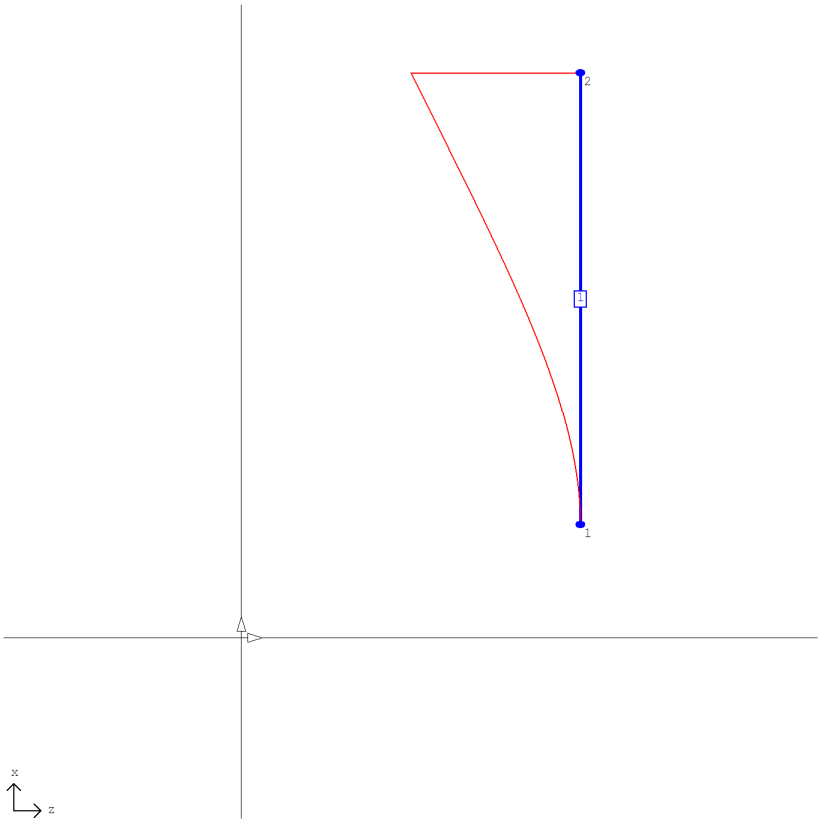
Lp.	z [m]	M [kNm]	T [kN]	N [kN]
1	0.00	-0.00	12.50	-506.32
2	1.00	12.50	12.50	-504.74
3	2.00	25.00	12.50	-503.16
4	3.00	37.50	12.50	-501.58
5	4.00	50.00	12.50	-500.00
ext M	4.00	50.00	12.50	-500.00
ext N	0.00	0.00	12.50	-506.32
ext T	0.00	0.00	12.50	-506.32

Siły wewnętrzne - płaszczyzna ZoX

Lp.	z [m]	M [kNm]	T [kN]	N [kN]
1	0.00	160.00	-80.00	-506.32
2	1.00	90.00	-60.00	-504.74
3	2.00	40.00	-40.00	-503.16
4	3.00	10.00	-20.00	-501.58
5	4.00	0.00	-0.00	-500.00
ext M	0.00	160.00	-80.00	-506.32
ext N	0.00	160.00	-80.00	-506.32
ext T	0.00	160.00	-80.00	-506.32

Przemieszczenia w płaszczyźnie YoX

Nr Węzła	$V_y$ [mm]	$V_x$ [mm]	$\varphi$ [rad] * 1000
1	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-0.541	0.000

Przemieszczenia w płaszczyźnie ZoX

Nr Węzła	$V_z$ [mm]	$V_x$ [mm]	$\varphi$ [rad] * 1000
1	0.000	0.000	0.000
2	-10.261	-0.541	0.000

**Reakcje w płaszczyźnie YoX**

Nr Podpory	Nr Węzła Podp.	$R_y$ [kN]	$R_x$ [kN]	$M_z$ [kNm]
1	1	-12.50	500.00	0.00
2	2	12.50	0.00	0.00

**Reakcje w płaszczyźnie YoZ**

Nr Podpory	Nr Węzła Podp.	$R_z$ [kN]	$R_x$ [kN]	$M_y$ [kNm]
1	1	80.00	500.00	-160.00
2	2	0.00	0.00	0.00

**Punkt ekstremalny**

$x = 0.000$

$M_y = 160.000$  kNm,  $M_z = 0.000$  kNm,  $T_z = -80.000$  kN,  $T_y = 12.500$  kN,  $N = -506.320$  kN

**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 przekroju na  
zginanie z-z = 1**Nośność na ściskanie**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{149.10 \cdot 460}{1.0} = 6858.60 \text{ [kN]}$$

**Nośność na czyste zginanie względem osi y**

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1868.67 \cdot 10^{-6} \cdot 460.00}{1.00} = 859.59 \text{ [kNm]}$$

Udział pasów w nośności na zginanie

$$M_{f,Rd} = 736.78 \text{ [kNm]}$$

**Nośność na czyste zginanie względem osi z**

$$M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{870.14 \cdot 10^{-6} \cdot 460.00}{1.00} = 400.27 \text{ [kNm]}$$

**Nośność na ścinanie wzdłuż osi z.**

Przekrój czynny przy ścinaniu.

$$A_v = 4745.00 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Nośność na ścinanie

$$V_{Cz,Rd} = 1260.18 \text{ [kN]}$$

**Nośność na ścinanie wzdłuż osi y.**

Przekrój czynny przy ścinaniu.

$$A_v = 11400.00 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Nośność na ścinanie

$$V_{Cy,Rd} = 3027.62 \text{ [kN]}$$

**Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej**



$$M_{N,y,Rd} = 859.59 \text{ [kNm]}$$

$$M_{N,z,Rd} = 400.27 \text{ [kNm]}$$

**Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi y.**

$$M_{Vy,Rd} = M_{Cy,Rd} - \rho \cdot (M_{Cy,Rd} - M_{f,Rd,y}) = 859.59 - 0.00 \cdot (859.59 - 736.78) = 859.59 \text{ [kNm]}$$

**Nośność na zginanie z uwzględnieniem ścinania względem osi z.**

$$M_{Vz,Rd} = 400.27 \text{ [kNm]}$$

**Nośność przekroju na zginanie z uwzględnieniem siły normalnej i tnącej**

$$M_{N,V,Rd,y} = 859.59 \text{ [kNm]}$$

$$M_{N,V,Rd,z} = 400.27 \text{ [kNm]}$$

**Warunki nośności:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_y}{M_{Cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_z}{M_{Cz,Rd}} = \frac{506.32}{6858.60} + \frac{160.00}{859.59} + \frac{0.00}{400.27} = 0.26$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{Cy,Rd}} = \frac{80.00}{3027.62} = 0.03$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{Cz,Rd}} = \frac{12.50}{1260.18} = 0.01$$

$$\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{Cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{Cz,Rd}} = \frac{160.00}{859.59} + \frac{0.00}{400.27} = 0.19$$

$$\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{Iy}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{Iz}} = \frac{160.00}{859.59} + \frac{0.00}{400.27} = 0.19$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{ny}} = \frac{160.00}{859.59} = 0.19$$

$$\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{NV,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{NV,Rd,z}} = \frac{160.00}{859.59} + \frac{0.00}{400.27} = 0.19$$

**Długości krytyczne:**

$$L_{cr,y} = 4.00 \text{ [m]}$$

$$L_{cr,z} = 8.00 \text{ [m]}$$

**Siły krytyczne:**

$$N_{cr,y} = 32604.85 \text{ [kN]}$$

$$N_{cr,z} = 2773.10 \text{ [kN]}$$

**Smukłości względne:**

$$\lambda_y = 0.46$$

$$\lambda_z = 1.57$$

**Współczynniki wyboczenia:**

$$\chi_y = 0.94$$

$$\chi_z = 0.34$$

$$\chi_{\min} = 0.34$$

**Współczynnik zwichrzenia przy ściskany pasie górnym.**

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

**Współczynnik zwichrzenia przy ściskany pasie dolnym.**

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

**Współczynniki interakcji.**

$$k_{yy} = 0.61$$

$$k_{yz} = 1.02$$

$$k_{zy} = 0.95$$

$$k_{zz} = 1.02$$

**Stopień wykorzystania nośności elementu.**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk} \cdot \chi_y} \cdot \gamma_{M1} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{M,Rk}} \cdot \gamma_{M1} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \cdot \gamma_{M1} = \frac{506.32}{0.94 \cdot 6858.60} \cdot 1.00 + 0.61 \cdot \frac{160.00}{1.00 \cdot 771.88} \cdot 1.00 + 1.02 \cdot \frac{0.00}{262.61} \cdot 1.00 = 0.21$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk} \cdot \gamma_z} \cdot \gamma_{MI} + k_{20} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi M_{y,Rk}} \cdot \gamma_{MI} + k_{22} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \cdot \gamma_{MI} = \frac{506,32}{0,34 \cdot 6858,60} \cdot 1,00 + 0,95 \cdot \frac{160,00}{1,00 \cdot 771,88} \cdot 1,00 + 1,02 \cdot \frac{0,00}{262,61} \cdot 1,00 = 0,41$$

**Sprawdzenie ugięcia dopuszczalnego w płaszczyźnie ZoX:**

$$U_{\max} = 1.211 \text{ cm} \leq L / 250.00 = 400.00 / 250.00 = 1.60 \text{ cm}$$

**Warunek spełniony**

**Sprawdzenie ugięcia dopuszczalnego w płaszczyźnie YoX:**

$$U_{\max} = 0.267 \text{ cm} \leq L / 250.00 = 400.00 / 250.00 = 1.60 \text{ cm}$$

**Warunek spełniony**