

Moduł

Słup żelbetowy
Eurokod
PN-EN

Spis treści

211.	SLUP ŻELBETOWY EUROKOD PN-EN	3
211.1.	WIADOMOŚCI OGÓLNE	3
211.1.1.	<i>Opis programu</i>	<i>3</i>
211.1.2.	<i>Zakres programu</i>	<i>3</i>
211.1.3.	<i>Opis podstawowych funkcji programu</i>	<i>3</i>
211.2.	TYPY PRZEKROJÓW PRĘTÓW	3
211.3.	STAN GRANICZNY NOŚNOŚCI (ULS)	4
211.3.1.	<i>Założenia materiałowe</i>	<i>4</i>
211.3.2.	<i>Wymiarowanie na mimośrodowe dwukierunkowe ściskanie/rozciąganie</i>	<i>4</i>
211.4.	WPROWADZENIE DANYCH	7
211.4.1.	<i>Utworzenie nowego projektu słupa</i>	<i>7</i>
211.4.2.	<i>Zakładka „Parametry ogólne”</i>	<i>8</i>
211.4.3.	<i>Okno „Parametry przekroju”</i>	<i>10</i>
211.4.4.	<i>Zakładka „Wymiarowanie i zamocowanie”</i>	<i>10</i>
211.4.5.	<i>Pulpit graficzny programu</i>	<i>13</i>
211.4.6.	<i>Okno 3D</i>	<i>13</i>
211.4.7.	<i>Drzewo projektu</i>	<i>14</i>
211.4.8.	<i>Obliczenia słupa</i>	<i>14</i>
211.5.	WYNIKI	14
211.6.	PRZYKŁADOWY RAPORT	15

211. Słup żelbetowy Eurokod PN-EN

211.1. Wiadomości ogólne

211.1.1. Opis programu

Program **Słup żelbetowy Eurokod PN-EN** przeznaczony jest do obliczeń statycznych i wymiarowania słupów żelbetowych. Moduł może prowadzić obliczenia statyczne samodzielnie i niezależnie lub przejmować wyniki obliczeń z modułu **Rama 2D**, w celu przeprowadzenia dalszego wymiarowania elementów. Program oblicza siły przekrojowe w stopie wykorzystując model metody przemieszczeń w ujęciu macierzowym. W wyniku analizy statycznej otrzymujemy zestawy sił przekrojowych (momentów i siły normalnej). Algorytm wymiarowania elementów wykonany został w oparciu o normę **PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: wrzesień 2008 „Projektowanie konstrukcji z betonu”**. Wymiarowanie zbrojenia wykonano z uwzględnieniem następujących wymogów:

- stan graniczny nośności z uwagi na obwiednię momentów gnących w dwóch kierunkach z jednoczesnym działaniem siły podłużnej,
- warunków konstrukcyjnych uwzględniających minimalną oraz maksymalną wielkość zbrojenia w przekroju,

211.1.2. Zakres programu

Program wymiaruje zbrojenie słupów w stanie dwukierunkowego mimośrodowego ściskania/rociągnięcia także o skomplikowanym kształcie przekroju np. ceowym, czy dwuteowym. Pozwala uwzględnić efekty drugiego rzędu za pomocą metody **nominalnej sztywności**.

211.1.3. Opis podstawowych funkcji programu

211.1.3.1 Obliczenia statyczne

Program oblicza statykę słupa zależnie od zdefiniowanych podparć i obciążeń. Obliczenia statyczne są prowadzone niezależnie dla w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach ZoX i YoX .

Program umożliwia także zdefiniowanie gotowego zestawu sił przekrojowych, na które ma być wymiarowane zbrojenie.

211.1.3.2 Wymiarowanie

Norma „**PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: wrzesień 2008**” zwana dalej „normą” jest obszernym zbiorem przepisów i wymagań dotyczących projektowania konstrukcji żelbetowych. Tak jak i pozostałe Eurokody jest napisana na zasadzie poradnika, a nie jest natomiast zbiorem gotowych procedur obliczeniowych. Utrudnia to korzystanie z jej zapisów i pozostawia dużą swobodę projektantowi, na którym ciąży końcowa odpowiedzialność.

Reguły zawarte w niniejszej normie w zakresie konstrukcji prętowych dotyczące obliczeń i konstruowania elementów są ważne dla:

- Betonów klasy od C12 do C90
- Stali zbrojeniowej żebrowanej o granicy plastyczności z zakresu $f_{yk} = 400$ do 600 MPa

211.2. Typy przekrojów prętów

Program wymiaruje następujące typy przekrojów prętów:

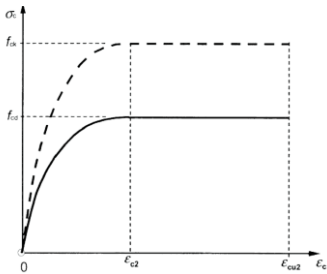
- Prostokątne
- Okrągłe
- Kątowe
- Ceowe

- Teowe
- Dwuteowe
- Żetowe

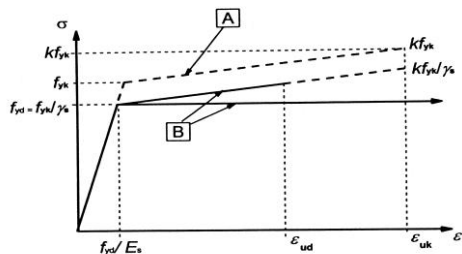
211.3. Stan graniczny nośności (ULS)

211.3.1. Założenia materiałowe

Zależność naprężenie-odkształcenie dla modelu betonu przyjęta w programie ma charakter paraboliczno-prostokątny zdefiniowany w pkt. 3.1.7 normy. Model stali zastosowany w programie ma cechy sprężysto-plastycznego o poziomej zależności w zakresie plastycznym (wykres **B** z poziomą „półką” plastyczną).



Model materiałowy betonu



Model materiałowy stali

Zależność naprężenie-odkształcenie dla betonu:

$$\sigma_c = f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \text{ dla } 0 \leq |\varepsilon_c| \leq |\varepsilon_{c2}|$$

$$\sigma_c = f_{cd} \text{ dla } |\varepsilon_{c2}| \leq |\varepsilon_c| \leq |\varepsilon_{cu2}|$$

211.3.2. Wymiarowanie na mimośrodowe dwukierunkowe ściskanie/rozciągnięcie

Wymiarowanie zbrojenia w tym stanie obciążenia odbywa się w zadanych przez użytkownika strefach na długości elementu. Strefy dzielą element na długości na równe części. Liczbę stref definiuje się na zakładce **wymiarowanie**. Program jednocześnie uwzględni oba momenty i siłę podłużną.

211.3.2.1 Układ zbrojenia podłużnego w przekroju

Program podczas wymiarowania automatycznie rozmieszcza pręty zbrojeniowe na obszarze przekroju, biorąc pod uwagę minimalny rozstaw prętów zdefiniowany w pkt. 8.1.2 normy – $\max(\max \text{średnica pręta}, 20\text{mm})$. Jeżeli z powyższego warunku wynika, że nie ma możliwości dołożenia pręta w wymaganym miejscu, program przerywa obliczenia i informuje użytkownika stosownym komunikatem.

Pręty konstrukcyjne (oznaczane kolorem czarnym) wymagane ze względu na kształt przekroju i założenia do wymiarowania, są umieszczane na początku obliczeń i jeżeli występuje taka potrzeba są automatycznie zamieniane na pręty „główne” (oznaczane kolorem czerwonym).

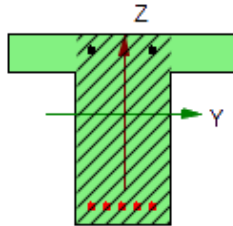
Wszystkie pręty (wraz z ich dokładnym umiejscowieniem) są brane pod uwagę w obliczeniach.

W programie dostępne są opcje pozwalające dopasować rozmieszczenie prętów podłużnych. Parametry te określa się w dolnej części okna **definicja typu elementu**.

- **Zbrojenie tylko w głównej części przekroju**

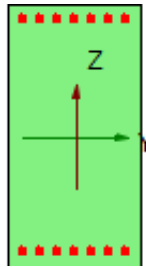
Opcja wymusza umieszczanie zbrojenia jedynie w części przekroju zdefiniowanej przez szerokość b_w i wysokość h (zakreskowana część na rysunku). Przekrój betonu

pozostaje jednak niezmienny i jako taki jest uwzględniany w obliczeniach (oczywiście przekrój jest redukowany o pole strefy rozciąganej)



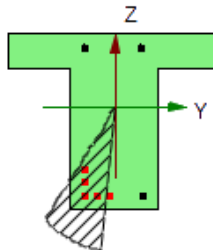
- **Zbrojenie symetryczne**

Opcja wymusza jednocześnie dokładanie dodatkowego pręta symetrycznie położonego do wymaganego z obliczeń, względem środka symetrii przekroju. Pręt zostaje dołożony jedynie jeżeli jest to możliwe (przekrój odpowiednio symetryczny).

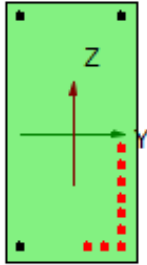


- **Zbrojenie optymalne/równomierne**

Parametr decyduje o umiejscowieniu dokładanych prętów. Dla opcji **optymalne** pręt zostaje dołożony możliwie najbardziej efektywnie (zakreskowana część pokazuje najbardziej efektywny obszar dokładania zbrojenia, dla konkretnej kombinacji obciążeń).



Natomiast przy wybranej opcji równomierne pręt zostaje dołożony na najbardziej efektywnym odcinku wyznaczonym przez dwa pręty konstrukcyjne (w szczególnym przypadku będzie to jedna z krawędzi przekroju). Dokładne współrzędne położenia są wyliczane z warunku równych odstępów między prętami na danym odcinku.



Optymalny rozkład prętów
($M_y, M_z \neq 0$)



Równomierny rozkład prętów
($M_y, M_z \neq 0$)

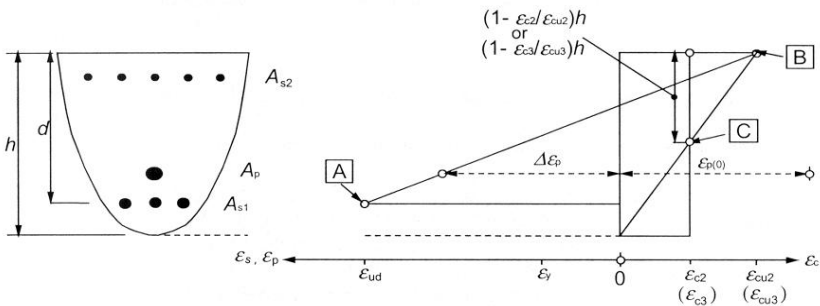
Pręty konstrukcyjne przy zbrojeniu optymalnym „wymieniane” są na główne dopiero, gdy okaże się, że będzie to najbardziej efektywne. Przy zbrojeniu w układzie równomiernym pręty konstrukcyjne na najbardziej efektywnym odcinku są wymieniane już w pierwszym kroku obliczeń.

211.3.2.2 Metoda obliczeń

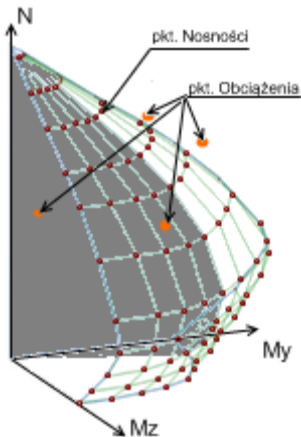
Zbrojenie w poszczególnych strefach jest dobierane na podstawie ekstremalnych wartości sił występujących na długości strefy z odpowiedniej obwiedni i stanowią one tzw. „punkty obciążenia” – punkty o współrzędnych (M_y, M_z, N).

Domyślnie wartości powyższych momentów są przeliczane na obliczeniowe (M_{EdY}, M_{EdZ}, N_{Ed}) z uwzględnieniem efektów drugiego rzędu (metoda *Szywności nominalnej* określonej w pkt. 5.8.7.2. normy) oraz wartość mimośrodu przypadkowego.

W pierwszym etapie wymiarowania rozmieszczane są pręty konstrukcyjne, które muszą wystąpić ze względu na kształt przekroju. Następnie budowana jest powierzchnia interakcji sił przekrojowych M_{RdY}, M_{RdZ}, N_{Rd} na podstawie dopuszczonych przez normę rozkładów odkształceń przekroju.



Możliwe rozkłady odkształceń w stanie granicznym nośności



**Przykładowy wycinek powierzchni interakcji
(przekrój dla ustalonego stosunku momentów M_y , M_z)**

Sprawdzenie ULS polega na ustaleniu, czy wszystkie „punkty obciążenia” zawierają się wewnątrz powierzchni interakcji. Jeżeli tak, to element uznaje się za prawidłowo zwymiarowany. W przeciwnym przypadku ilość zbrojenia jest odpowiednio zwiększana, aż do spełnienia powyższego warunku. Jeżeli nie ma możliwości prawidłowego rozmieszczenia prętów użytkownik jest o tym informowany odpowiednim komunikatem.

Zależnie od wyboru opcji **układu zbrojenia w przekroju** dokładanie prętów zbrojeniowych będzie następować odmiennie.

Przy wyborze opcji „Optymalny” program kolejne pręty będzie umieszczał zgodnie z położeniem ekstremalnych naprężeń w przekroju, jedynie z zachowaniem wymaganego normowo minimalnego odstępu. W efekcie pręty będą skupione w najbardziej efektywnych miejscach przekroju (najczęściej narożach).

Jeżeli natomiast ustawiona zostanie opcja „Równomierny” pręty będą zawsze rozkładane w równych odległościach na poszczególnych odcinkach wyznaczonych przez pręty konstrukcyjne (w szczególnym przypadku krawędzie przekroju).

Ostatecznie sprawdzane są warunki minimalnych i maksymalnych stopni zbrojenia przekroju.

211.4. 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.

211.4.1. 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, nadajemy mu oznaczenie (pozycję lub nazwę) i zatwierdzamy wybór kliknięciem przycisku OK. Po uruchomieniu modułu „Słup żelbetowy PN-EN” pojawia się okno z dwiema zakładkami : **Parametry ogólne**, **Wymiarowanie i zamocowanie**.

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

Aby Włączyć/wyłączyć okienko dialogowe *Słup...* naciśnij przycisk , lub z menu **WIDOK** wybierz polecenie **Okno do wprowadzania danych**.

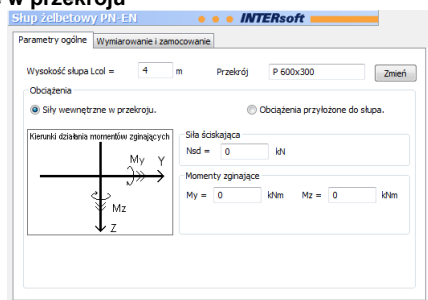
211.4.2. Zakładka „Parametry ogólne”

W zakładce „Parametry ogólne” podawane są podstawowe dane dotyczące geometrii słupa oraz obciążeń.

Wysokość słupa: [-] Wysokość osiowa słupa. {>0}
Przekrój: [m] Nazwa przekroju. {Długość > 0}
Zmień: [-] Przycisk uruchamia okno zmiany/edycji przekroju słupa

Pole obciążenia służy do wprowadzania informacji o obciążeniach działających na słup. W zależności od wybranej opcji „Siły wewnętrzne w przekroju” lub „Obciążenia przyłożone do słupa” w zakładce „Dane ogólne” mamy dwa różne widoki.

Opcja Siły wewnętrzne w przekroju



Zakładka **Obciążenia** zawiera pola:

Siła ściskająca

N_{sd} [kN] Osiowa siła ściskająca.

Momenty zginające

M_Y [kNm] Moment zginający w płaszczyźnie xz.

M_Z [kNm] Moment zginający w płaszczyźnie xy.

Obciążenia przyłożone do słupa

Zakładka zawiera pola:

Rodzaj

równomierne	[kN/m]	Obciążenie równomierne rozłożone działające na odcinku (b – a) o wartości P1.
trapezowe	[kN/m]	Obciążenie rozłożone, trapezowe działające na odcinku (b – a) o wartości początkowej P1 i końcowej P2.
siła skupiona pionowa	[kN]	Osiowa siła ściskająca przyłożona w górnym węźle słupa.
siła skupiona pozioma	[kN]	Siła skupiona działająca w odległości b od początku układu (spodu słupa).
moment skupiony	[kNm]	Moment skupiony działający w odległości b od początku układu (spodu słupa).

P1

P1	[kN] lub [kNm] lub [kN/m]	Wartość obciążenia, w przypadku obciążeń rozłożonych jest to początkowa wartość obciążenia.
----	---------------------------	---

P2

<P2>	[kN] lub [kNm] lub [kN/m]	W przypadku obciążeń rozłożonych jest to końcowa wartość obciążenia.
------	---------------------------	--

a

<a>	[m]	Odległość początku przyłożenia obciążenia rozłożonego od początku układu (spodu słupa)
-----	-----	--

b

B	[m]	Odległość przyłożenia obciążenia skupionego lub końca obciążenia rozłożonego od początku układu (spodu słupa).
---	-----	--

gr. ob.

Gr. ob.	[-]	Grupa obciążeń
---------	-----	----------------

umożliwia przypisanie danego typu obciążenia do odpowiedniej grupy obciążeń.

plasz.

plasz. [-] Płaszczyzna pozwala zdefiniować płaszczyznę {YoZ, YoX} działania obciążenia.

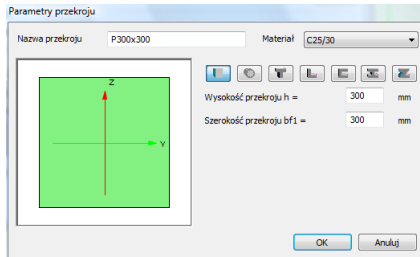
Dodaj

Umożliwia zdefiniować kolejny typ obciążenia.

Usuń

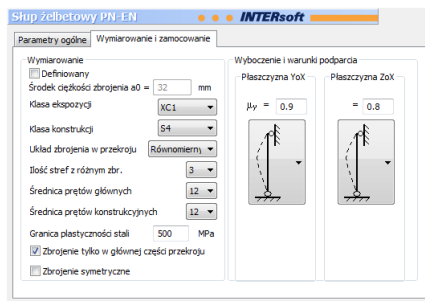
Umożliwia usunięcie poszczególnych typów obciążenia.

211.4.3. Okno „Parametry przekroju”



Okno definicji przekroju oraz materiału słupa.

211.4.4. Zakładka „Wymiarowanie i zamocowanie”

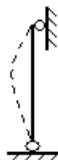


W zakładce podane są parametry wymiarowania słupa oraz sposobu jego podparcia.

Wymiarowanie

Środek ciężkości zbrojenia [mm] Określa odległość środka ciężkości zbrojenia { $1.5 \cdot \Phi_g < 100$ } przy krawędzi do najbliższej powierzchni betonu. Domyślnie jest wyliczana na podstawie klas

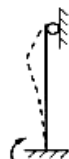
		ekspozycji i konstrukcji oraz średnicy prętów zbrojeniowych i strzemion. Zaznaczenia pola Definiowany pozwala na wpisanie własnej wartości	
Klasa ekspozycji		Lista określa środowisko pracy elementu	
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ X0 ▪ XC1 ▪ XC2/XC3 ▪ XC4 ▪ XD1/XS1 ▪ XD2/XS2 ▪ XD3/XS3 	
Klasa konstrukcji		Parametr dotyczący projektowania z określoną niezawodnością. Klasy od S1 do S6	
Ilość stref z różnym zbrojeniem głównym		Określa liczbę jednakowych podziałów na długości elementu z jednakowym zbrojeniem podłużnym	{1-10}
Średnica prętów głównych	[mm]	Definiuje średnicę prętów wymaganych obliczeniowo	{8-32}
Średnica prętów konstrukcyjnych	[mm]	Definiuje średnicę prętów konstrukcyjnych również uwzględnianych w obliczeniach	{8-32}
Granica plastyczności stali	[MPa]	Określa charakterystyczną granicę plastyczności stali prętów podłużnych zarówno głównych jak i konstrukcyjnych	{190-600} EN {400-600}
Zbrojenie tylko w głównej części przekroju		Opcja rozmieszczania zbrojenia jedynie w części przekroju zdefiniowanej przez wysokość h i szerokość b	
Zbrojenie symetryczne		Opcja rozmieszczania zbrojenia symetrycznie.	
Wyboczenie i warunki podparcia			
μ_y		Współczynnik długości wyboczeniowej w płaszczyźnie Y_oX	{0.5-10}
μ_z		Współczynnik długości wyboczeniowej w płaszczyźnie Z_oX	{0.5-10}
Sposoby zamocowania			



$$\mu = 1$$



$\mu = 2.0$



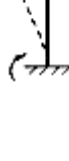
$\mu = 0.7$



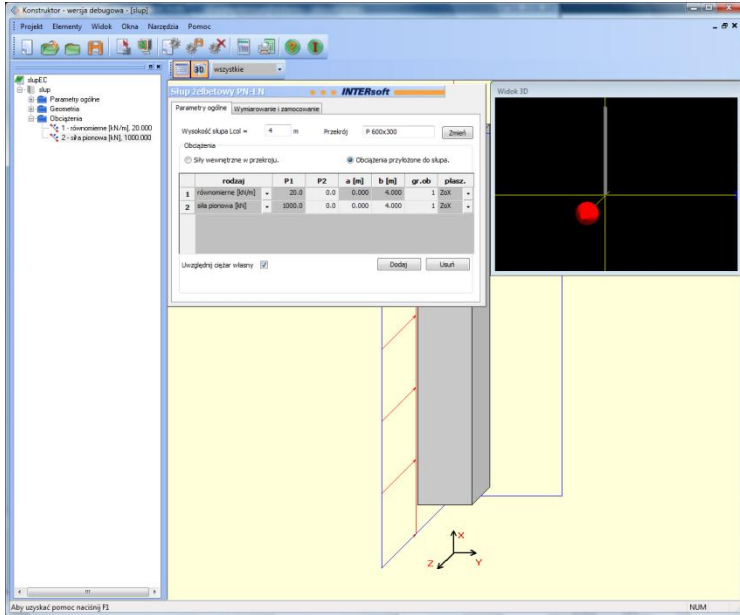
$\mu = 0.5$



$\mu = 1$




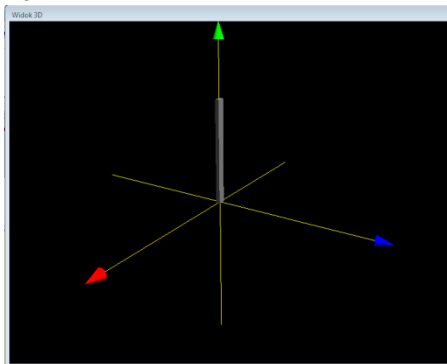
211.4.5. Pulpit graficzny programu



Główną część ekranu (o żółtym kolorze tła) zajmuje pulpit graficzny, na którym na bieżąco w postaci graficznej pokazywane są zmiany wprowadzone dla słupa. Na słupie wyświetlane są aktualnie zdefiniowane obciążenia.

211.4.6. Okno 3D

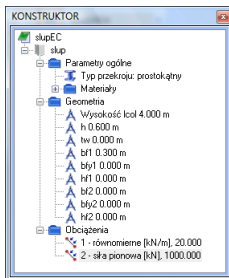
Aby włączyć/wyłączyć okno widoku 3D należy wcisnąć przycisk , lub z menu **WIDOK** wybrać polecenie **Widok 3D**.



Okno 3D pozwala na przestrzenną wizualizację wprowadzonego elementu. Poruszanie myszką przy wciśniętym lewym przycisku pozwala na dowolne obracanie konstrukcji w

przestrzeni, natomiast przesuwanie myszki przy wciśniętym prawym klawiszu powoduje zbliżenie i oddalanie konstrukcji.

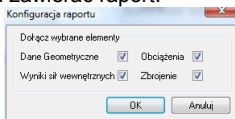
211.4.7. Drzewo projektu



Z lewej strony ekranu widoczne są cały czas poszczególne elementy wchodzące w skład projektu postaci „drzewa”. Pozwalają one na szybkie przełączanie się między poszczególnymi elementami i ich edycję w odpowiednich zakładkach. W przypadku przekazywania danych do wymiarowania z modułu **Rama 2D** do programu **Słup żelbetowy PN-EN**, okno wykorzystywane jest do przeciągania danych z wyników do wymiarowania w ramie dla określonego pręta do modułu wymiarującego.

211.4.8. Obliczenia słupa

Po uruchomieniu obliczeń belki pojawia się okno **Konfiguracja raportu**, 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.

211.5. Wyniki

Wyniki obliczeń statycznych i wymiarowania tworzone są w postaci plików raportu (format „html”) zlokalizowanych w katalogu projektu (podkatalog Raporty), które można przejrzeć w przeglądarce raportów.

Wywołanie przeglądarki w górnym pasku narzędziowym następuje poprzez (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 żelbetowy PN-EN** można podzielić niezależne grupy:

- dane dotyczące geometrii układu
- dane dotyczące obciążeń
- dane dotyczące sił wewnętrznych,
- dane dotyczące wymiarowania
- wyniki zbrojenia głównego

211.6. Przykładowy raportsezDane geometryczne

Wymiary EC przekroju

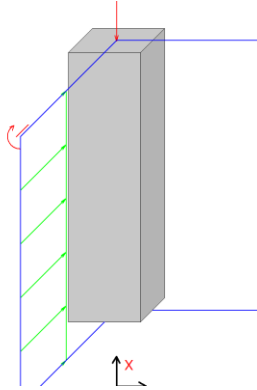


h	[mm]	350.0
t _w	[mm]	350.0

Charakterystyki geometryczne przekroju (względem osi)

Pole przekroju		
A _c	[cm ²]	1225.00
Momenty bezwładności		
J[x]	[cm ⁴]	125052.0833
J[z]	[cm ⁴]	125052.0833
Wysokość słupa		
L _{col}	[m]	4.00
Współczynniki długości wybozeniowej		
μ _y		0.80
μ _z		0.90

Obciążenia

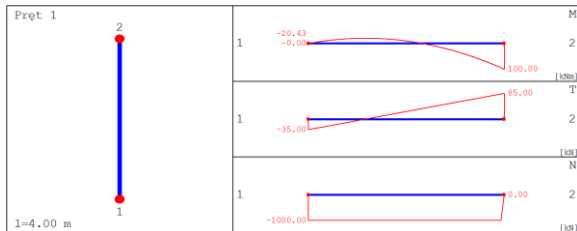


Obciążenia

nr	typ	P ₁ [kN]	P ₂ [kN]	a [m]	b [m]	grupa	ściana
1	siła pionowa [kN]	-1000.00	0.00	0.00	4.00	1	ZoX
2	równomierne [kN/m]	30.00	0.00	0.00	4.00	1	ZoX
3	moment [kNm]	100.00	0.00	0.00	4.00	1	ZoX

Siły wewnętrzne słupa

Ściana ZoX



x [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
0.000	-1000.000	-35.000	-0.000
1.133	-1000.000	-1.000	-20.400
2.000	-1000.000	25.000	-10.000
4.000	0.000	85.000	100.000

Dane do wymiarowania

Klasa betonu

C20/25

Parametry zbrojenia	
Środek ciężkości zbrojenia	$a_0=33\text{mm}$
Klasa ekspozycji	XC1
Klasa konstrukcji	S4

Pręty podłużne	
Średnica prętów głównych	12mm
Granica plastyczności stali	500.00MPa
Zbrojenie tylko w głównej części przekroju	TAK
Ilość stref z różnym zbrojeniem głównym	3

Wyniki dla stref zbrojenia głównego:**Uwaga!!! Strefy zbrojenia są numerowane od dołu słupa.****Strefa nr: 1**

Ls [m]	N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	M_{Edy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	l_{pg}	A_{sg} [cm ²]
1.33	- 1009.43	20.40	0.0	27.32	0.0	4	4.52

Rozkład zbrojenia

Nr	1	2	3	4
Z* [mm]	-142	-142	142	142
Y* [mm]	-142	142	-142	142

* - współrzędne prętów podawane są zawsze względem środka ciężkości prostokątnej, głównej części przekroju (o wymiarach bw na h)

Strefa nr: 2

Ls [m]	N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	M_{Edy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	l_{pg}	A_{sg} [cm ²]
1.33	- 1008.98	20.00	0.0	26.78	0.0	4	4.52

Rozkład zbrojenia

Nr	1	2	3	4
Z* [mm]	-142	-142	142	142

231-Słup żelbetowy Eurokod PN-EN

Y* [mm]	-142	142	-142	142
---------	------	-----	------	-----

* - współrzędne prętów podawane są zawsze względem środka ciężkości prostokątnej, głównej części przekroju (o wymiarach bw na h)

Strefa nr: 3



Ls [m]	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	M _{Edy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	l _{pg}	A _{sg} [cm ²]
1.33	- 1000.22	-100.00	0.0	-119.32	0.0	9	10.18

Rozkład zbrojenia

Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z* [mm]	-142	-142	-142	-142	-142	142	142	142	142
Y* [mm]	-142	-71	0.00	71	142	-142	-47	47	142

* - współrzędne prętów podawane są zawsze względem środka ciężkości prostokątnej, głównej części przekroju (o wymiarach bw na h)