

# **Moduł**

# **Zakotwienia słupów stalowych**

## Spis treści

<b>450. ZAKOTWIENIA SŁUPÓW STALOWYCH .....</b>	<b>3</b>
450.1. WIADOMOŚCI OGÓLNE .....	3
450.1.1. Opis ogólny programu.....	3
450.1.2. Zakres pracy programu .....	3
450.1.3. Opis podstawowych funkcji programu .....	4
450.1.3.1 Grubość blachy podstawy.....	4
450.1.3.2 Sprawdzenie spoin poziomych.....	5
450.1.3.3 Wymiary blach pionowych .....	5
450.1.3.4 Sprawdzenie spoin pionowych.....	6
450.2. WPROWADZANIE DANYCH .....	6
450.2.1. Opis zakładek modułu – Zakotwienia słupów stalowych .....	6
450.2.1.1 Zakładka – Obciążenie osiowe.....	9
450.2.1.2 Zakładka – Obciążenie mimośrodowe.....	12
450.3. OPIS OKNA EKRANU ROBOCZEGO.....	15
450.4. OKNO DRZEWA PROJEKTU .....	16
450.5. PRZYKŁAD .....	17

## 450. Zakotwienia słupów stalowych

### 450.1. Wiadomości ogólne

#### 450.1.1. Opis ogólny programu

Moduł **Zakotwienia słupów stalowych** przeznaczony jest do kompleksowego obliczania połączenia słupa stalowego (jedno, dwu lub czterogałęziowego) z fundamentem. Użytkownik wybiera jeden z dostępnych 16 schematów połączenia (dla obciążenia mimośrodowego z 12 schematów) a następnie wprowadza obciążenia, jak również dane geometryczne potrzebne do jednoznacznego zdefiniowania połączenia. Program służy do sprawdzenia wytrzymałości elementu zdefiniowanego przez użytkownika. Obliczenia realizowane przez wyżej wymieniony moduł, zgodne są z następującymi normami: **Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie PN-90/B03200, Konstrukcje stalowe. Połączenia z fundamentem. Projektowanie i wykonanie PN-B-03215:1998, Konstrukcje stalowe. Zakotwienia słupów i kominów PN-85/B-03215**. W przypadku pojawiania się w różnych normach wzorów określających tą samą wielkość, zawsze korzystano z wyrażen zawartych w nowszym wydaniu normy. Przy tworzeniu algorytmów obliczeniowych autor uwzględnił sugestie i wskazówki zawarte w następujących pozycjach: „Podstawy projektowania konstrukcji metalowych” Jan Zmuda, „Przykłady obliczeń konstrukcji stalowych” W. Bogucki, „Obliczenia konstrukcji stalowych” Jerzy Niewiadomski, „Budownictwo stalowe” W. Bogucki.

#### 450.1.2. Zakres pracy programu

Program **Zakotwienia słupów stalowych** służy do w pełni automatycznego wymiarowania i rysowania połączenia słupa stalowego z fundamentem betonowym lub żelbetonowym. Istnieje możliwość zdefiniowania jednego z dostępnych 16 schematów geometrii połączenia (dla obciążenia mimośrodowego z 12 schematów). Słup może być jedno, dwu lub czterogałęziowy. Wszystkie parametry wytrzymałościowe dla kształtownika, blachy podstawy, blach pionowych są automatycznie dobierane w programie na podstawie zdefiniowanej przez użytkownika klasy stali. Natomiast dla kotwi nośność obliczeniowa ( $S_R$ ) jest dobierana przez program zgodnie z tablicą C.1 PN-B-03215:1998 na podstawie wybranego typu kotwi.

Grubość blachy podstawy obliczana jest przy wykorzystaniu tablic B.2 i B.3 PN-B-03215:1998 w zależności od schematów statycznych płyty, na które jest dzielona cała blacha podstawy. Możliwe są następujące schematy statyczne płyt: płyta wspornikowa, płyta prostokątna podparta na trzech lub czterech krawędziach, płyta okrągła podparta na krawędzi, belka jednoprzęsłowa utwierdzona na końcach. W przypadkach, które nie są uwzględnione w PN-B-03215:1998 korzystano ze wskazówek zawartych w literaturze.

Spoiny pachwinowe łączące kształtownik z blachami pionowymi oraz kształtownik lub blachy pionowe z blachą podstawy obliczane są zgodnie z wzorem (93) PN-90/B-03200. Spoiny czołowe łączące kształtownik z blachami pionowymi sprawdzane są zgodnie ze wzorem (92) PN-90/B-03200.

W przypadku połączenia mimośrodowego maksymalne naprężenia pod blachą poziomą wyznaczane są ze wzoru (26), lub (35) PN-B-03215:1998 w zależności od wartości mimośrodów, zgodnie z punktem 5.2.5 PN-B-03215:1998. Natomiast zakres strefy docisku obliczany jest zgodnie z wzorem (32) PN-B-03215:1998, wykorzystując metody numeryczne służące do obliczania miejsc zerowych równania stopnia trzeciego. Nośność połączenia

sprawdza się dla przyjętych wymiarów podstawy zgodnie z worami (26), (34), (35) PN-B-03215:1998.

Sprawdza się również dopuszczalne naprężenia ściskające oraz siłę tnącą występujące w blachach pionowych. Kotwie są automatycznie rozmieszczane przez program, w przypadku gdy spełnione są warunki określające minimalne odległości między śrubami oraz od krawędzi blachy zgodnie z tablicą 15 PN-90/B-03200.

### 450.1.3. Opis podstawowych funkcji programu

#### 450.1.3.1 Grubość blachy podstawy

W pierwszej kolejności wyznacza się naprężenia pod blachą podstawy. Dla obciążenia osiowego zgodnie ze wzorem:

$$\sigma_c = \frac{N}{A_{podst}}$$

Dla obciążenia mimośrodowego maksymalne naprężenia pod blachą podstawy wyznacza się zgodnie z wzorami zawartymi w punkcie 5.2.5. PN-B-03215:1998, przy czym zakres strefy docisku oblicza się rozwiązując równanie trzeciego stopnia (32) PN-B-03215:1998 wykorzystując metody numeryczne. Nośność połączenia sprawdza się dla przyjętych wymiarów podstawy i kotwi rozciąganych oraz zasięgu strefy docisku zgodnie z wzorami (34), (35)

PN-B-03215:1998. Dla tak obliczonych naprężeń pod blachą podstawy wyznacza się grubość blachy.

Grubość blachy podstawy określa się w zależności od schematu połączenia. W przypadku, gdy słup jest jednogłęziowy, dwuteowy grubość blachy podstawy wyznacza się korzystając z wzoru (B.3) oraz tablicy B.1 PN-B-03215:1998. W pozostałych przypadkach blachę podstawy dzieli się na płyty i przyjmuje, że grubość blachy podstawy powinna być nie mniejsza niż maksymalna z grubości poszczególnych płyt. Grubości poszczególnych płyt wyznacza się z wzoru (B.6) PN-B-03215:1998:

$$t = \omega \cdot \sqrt{\frac{\sigma_c}{f_d}}$$

gdzie współczynnik  $\omega$  dobiera się w zależności od schematu podparcia płyty zgodnie z tablicami B.2 i B.3 PN-B-03215:1998. Wartość  $\sigma_c$  przyjmuje się jako maksymalne naprężenie występujące pod blachą podstawy. Przyjmuje się następujące schematy podparcia płyt: płyta wspornikowa, płyta kolista, płyta podparta na trzech i czterech krawędziach. Dla schematu, w którym słup stanowi rura okrągłą, do której przyspawane są żeberka grubość blachy podstawy oblicza się w następujący sposób:

- Wyznacza się momenty zginające pod rurą oraz w belce obustronnie utwierdzonej łączącej żeberka.
- Następnie minimalną grubość blachy podstawy wyznacza się dla maksymalnego z tych dwóch momentów zgodnie z wzorem:

$$t = \sqrt{\frac{6M}{f_d}}$$

#### 450.1.3.2 Sprawdzenie spoin poziomych

Nośność spoin poziomych sprawdza się wg wzoru (93) PN-90/B-03200:

$$\chi \cdot \sqrt{\sigma_{pros}^2 + 3 \cdot (\tau_{równ}^2 + \tau_{prost}^2)} \leq f_d$$

Warunki konstrukcyjne grubości spoin przyjęto zgodnie z p.6.3.2.2a PN-90/B-03200, a współczynnik  $\chi$  przyjęto zgodnie z zaleceniami punktu 6.3.3.3.a

Składowe naprężeń występujących w spoinie (opisane na rysunku 24 PN-90/B-03200) oblicza się w następujący sposób (dla obciążenia osiowego):

- 1) od siły pionowej

$$\sigma_{pros} = \tau_{prost} = \frac{N}{\frac{a_{spoiny} \sum l_{spoiny}}{\sqrt{2}}}$$

- 2) od siły rozwarstwiającej (przekrój złożony z blachy podstawy i blach pionowych)

$$\tau_{równ} = \frac{VS}{I_x 4a_{spoiny}}$$

gdzie:

S – moment statyczny blachy podstawy względem osi obojętnej,

V – siła poprzeczna w analizowanym przekroju,

$I_x$  – moment bezwładności analizowanego przekroju,

$a_{spoiny}$  – grubość spoiny.

W przypadku połączenia mimośrodowego do osiowego obciążenia ściskającego dochodzą zsumowane naprężenia będące wynikiem przyłożenia momentu zginającego.

#### 450.1.3.3 Wymiary blach pionowych

W przypadku blach pionowych sprawdza się ich nośność na ścinanie zgodnie ze wzorem:

$$V_R = 0.58 A_v f_d \geq V_\alpha$$

Wysokość blach pionowych sprawdza się z warunku nośności spoin pionowych jak opisano w kolejnym punkcie.

### 450.1.3.4 Sprawdzenie spoin pionowych

W zależności od wybranego schematu gałązki słupa mogą być połączone z blachami pionowymi za pomocą spoin czołowych lub pachwinowych. Naprężenia w spoinach pachwinowych sprawdza się za pomocą wzoru (92) PN-90/B-03200:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\alpha_{\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\alpha_{\parallel}}\right)^2} \leq f_d$$

Sprawdza się nośność spoiny czołowej w dwóch przekrojach: w miejscu występowania maksymalnych naprężeń ściskających i w miejscu występowania maksymalnych naprężeń rozciągających, w których występują różne wartości współczynników wytrzymałości spoin. Współczynniki wytrzymałości spoin czołowych i pachwinowych dobiera się z tablicy 18 PN-90/B-03200.

W przypadku połączenia gałązek i blach za pomocą spoin pachwinowych, dla przypadku obciążenia osiowego nośność spoin wyznacza się za pomocą wzoru:

$$\tau = \frac{N}{4a_{spoiny} l_{spoiny}} \leq \alpha_{\parallel} f_d$$

W przypadku, gdy nierówność ta nie jest spełniona należy zwiększyć wysokość blach pionowych. Jeżeli prócz obciążenia osiowego występuje moment zginający to nośność spoin sprawdza się po bardziej wyężonej stronie połączenia.

### 450.2. Wprowadzanie danych

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

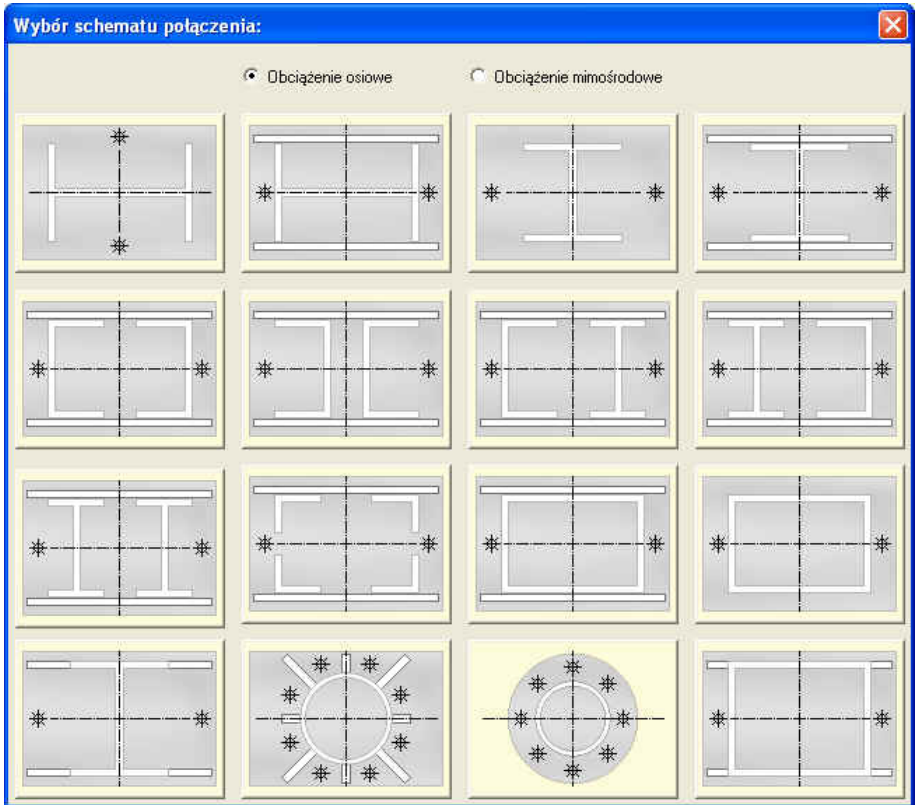
[...] jednostką, w jakiej podawana jest poszczególna wielkość,

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

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

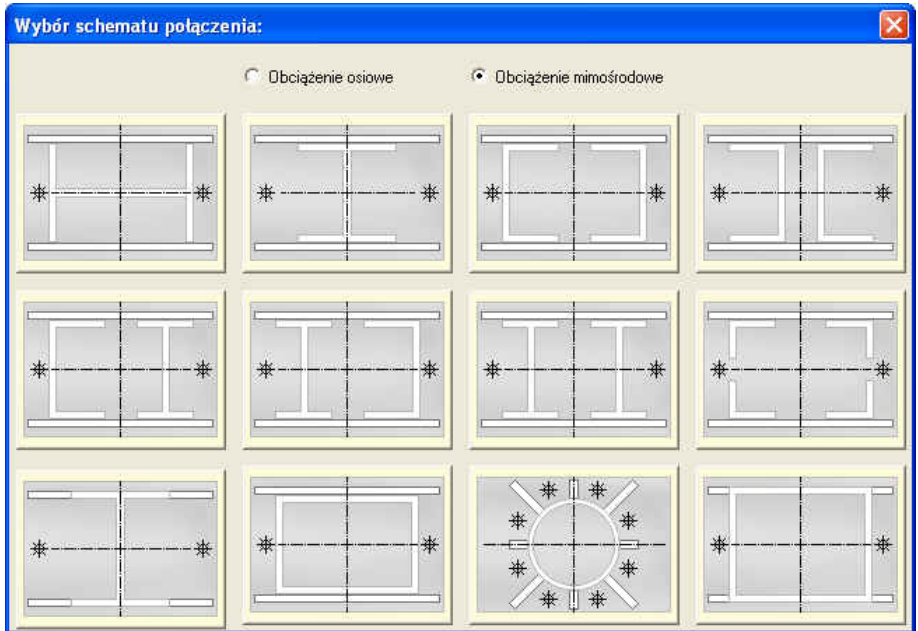
#### 450.2.1. Opis zakładki modułu – Zakotwienia słupów stalowych

Po wybraniu modułu **Zakotwienia słupów stalowych** pokaże się w zależności następujące okno:



W oknie dostępnych jest 16 schematów różnych geometrii połączenia słupa stalowego z fundamentem (**Obciążenie osiowe**). Aby wybrać dany schemat i następnie przejść do okna definiującego obciążenia i wymiary geometryczne poszczególnych elementów połączenia należy kliknąć na dany schemat.

Jeżeli użytkownik zaznaczy opcję **Obciążenie mimośrodowe** pokaże się następujące okno, zawierające 12 dostępnych schematów połączenia.



W oknie dostępnych jest 12 schematów różnych geometrii połączenia słupa stalowego z fundamentem. Aby wybrać właściwy schemat i następnie przejść do okna definiującego obciążenia i wymiary geometryczne poszczególnych elementów połączenia, należy kliknąć na dany schemat.



## 450.2.1.1 Zakładka – Obciążenie osiowe

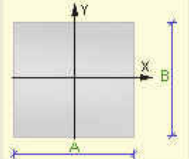
Zakotwienia słupów stalowych ● ● ● INTERsoft

Siła osiowa obl.  kN

Klasa stali  Klasa betonu

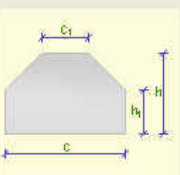
Gałęzie słupa

**Blacha podstawy**



Wymiar A =  m  
Wymiar B =  m  
Grubość =  m

**Blacha pionowa**

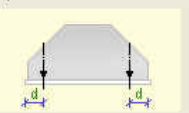


Wymiar c =  m  
Wymiar  $c_1$  =  m  
Wymiar h =  m  
Wymiar  $h_1$  =  m  
Grubość =  m  
Liczba żeber =

**Wymiary spoin**

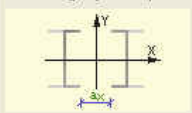
Spoina pionowa a =  mm  
Spoina pozioma a =  mm

**Opis kotwi**



Liczba kotwi l =   
Rodzaj kotwi   
Odległość d =  m

**Rozstaw gałęzek słupa**



$a_x$  =  m  
 $a_y$  =  m

W górnej części zakładki znajdują się okna, w których definiuje się dane ogólne definiujące połączenie:

<b>Siła osiowa:</b>	[kN]	Obliczeniowa siła osiowa przyłożona do połączenia.	
<b>Klasa stali:</b>	[-]	Definicja klasy stali elementów występujących w połączeniu.	{St0S, St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W, St4VX, St4VY, St4V, St4W, 18G2, 18G2A, 18G2AV}.
<b>Klasa betonu:</b>	[-]	Definicja klasy betonu fundamentu.	{B15, B20, B25, B30, B37, B45, B50, B55, B60}
<b>Gałęzie słupa:</b>	[-]	W oknach tych definiuje się kształtowniki (jeden lub dwa w zależności od typu połączenia) stanowiące gałęzie słupa stalowego. Wybierając dany kształtownik program automatycznie wczytuje z bazy danych wszystkie parametry geometryczne określające dany kształtownik.	

## 450 –Zakotwienia słupów stalowych

---

W ramce **Blacha podstawy** użytkownik definiuje wymiary blachy podstawy:

- A:** [m] Długość blachy podstawy słupa.
- B:** [m] Szerokość blachy podstawy słupa. Dla schematu, w którym słupem stalowym jest rura okrągła, połączona z blachami pionowymi szerokość blachy podstawy jest równa długości blachy podstawy – kwadrat.
- Grubość:** [m] Grubość blachy podstawy słupa.

W ramce **Blacha pionowa** użytkownik definiuje wymiary blachy pionowej:

- c:** [m] Długość dolnej krawędzi blachy pionowej (żebra).
- c1:** [m] Długość górnej krawędzi blachy pionowej (żebra).
- h:** [m] Wysokość blachy pionowej (żebra).
- h1:** [m] Wysokość do skosu blach pionowej (żebra).
- Grubość:** [m] Grubość blachy pionowej (żebra).
- Liczba żeber:** [-] Liczba żeber. Opcja dostępna tylko dla schematu, w którym słupem stalowym jest rura okrągła, połączona z blachami pionowymi. Może występować cztery lub osiem żeber.

W ramce **Wymiary spoin pachwinowych** użytkownik definiuje wymiary pachwinowej spoiny poziomej i pionowej:

- Spoina pionowa a:** [mm] Grubość pachwinowych spoin Okno aktywne tylko dla schematów, w których występują blachy pionowe
- Spoina pozioma a:** [mm] Grubość pachwinowych spoin

W ramce **Opis kotwi** użytkownik definiuje wymiary położenie, typ i liczbę kotwi:

- Liczba kotwi l:** [-] Wybierana z listy liczba kotwi w połączeniu. Liczba kotwi może być: 2, 4, 6, 8. Dla schematu, w którym słupem stalowym jest rura okrągła, połączona z blachami pionowymi liczba kotwi wynosi: 4 lub 8. Dla schematu, w którym rura okrągła jest słupem bez blach pionowych liczba kotwi wynosi:

## 450 –Zakotwienia słupów stalowych

---

8 lub 16.

<b>Rodzaj kotwi:</b>	[-]	Użytkownik wybiera z listy rodzaj kotwi (zgodnie z tablicą C.1 PN-B-03215:1998). Wszystkie dostępne dane geometryczne i wytrzymałościowe danej kotwi są automatycznie pobierane z bazy danych.	Fajkowe $\varnothing 12$ , $\varnothing 16$ , $\varnothing 20$ , $\varnothing 24$ , $\varnothing 30$ . Płytkowe $\varnothing 20$ , $\varnothing 24$ , $\varnothing 30$ , $\varnothing 36$ , $\varnothing 42$ , $\varnothing 48$ .
<b>Odległość kotwi d:</b>	[m]	Odległość kotwi liczona od krawędzi blachy podstawy.	Wartość zawsze dodatnia bez względu na to, po której stronie krawędzi blachy podstawy leżą śruby kotwiące.

W ramce **Rozstaw gałęzek słupa** użytkownik definiuje wymiary blachy podstawy

<b><math>a_x</math>:</b>	[m]	Odległość między gałęzkami słupa wzdłuż osi X.	Okno aktywne tylko dla słupów dwugałęziowych.
<b><math>a_y</math>:</b>	[m]	Odległość między gałęzkami słupa wzdłuż osi Y.	Okno aktywne tylko dla słupów czterogałęziowych.
<b>Obróć:</b>	[-]	Guzik, którego naciśnięcie powoduje obrót gałązki słupa o $90^\circ$ .	Guzik aktywny tylko dla schematów, w których gałązkę słupa stanowi rura prostokątna.

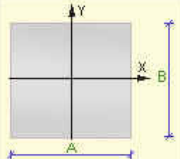
## 450.2.1.2 Zakładka – Obciążenie mimośrodowe

**Zakotwienia słupów stalowych** ● ● ● **INTERSOFT**

Siła osiowa obl.  kN  
 Moment zginający obl.  kNm

Klasa stali  Klasa betonu

**Blacha podstawy**



Wymiar A =  m  
 Wymiar B =  m  
 Grubość =  m

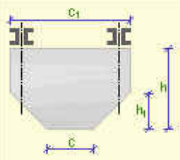
**Wymiary spoin**

Spoina pionowa a =  mm  
 Spoina pozioma a =  mm

**Blacha pionowa**


Kotwie poza blachą podstawy

Belki kotwiące



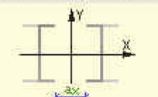
Wymiar c =  m  
 Wymiar c<sub>1</sub> =  m  
 Wymiar h =  m  
 Wymiar h<sub>1</sub> =  m  
 Grubość =  m  
 Liczba zeber =

**Opis kotwi**



Liczba kotwi l =   
 Rodzaj kotwi   
 Odległość d =  m

**Rozstaw gałęzek słupa**



a<sub>x</sub> =  m  
 a<sub>y</sub> =  m

W górnej części zakładki znajdują się okna, w których definiuje się ogólne dane definiujące połączenie:

<b>Siła osiowa:</b>	[kN]	Obliczeniowa siła osiowa przyłożona do połączenia.	
<b>Moment zginający:</b>	[kNm]	Obliczeniowy moment zginający przyłożony do połączenia.	
<b>Klasa stali:</b>	[-]	Definicja klasy stali elementów występujących w połączeniu.	{St0S, St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W, St4VX, St4VY, St4V, St4W, 18G2, 18G2A, 18G2AV}.
<b>Klasa betonu:</b>	[-]	Definicja klasy betonu fundamentu.	{B15, B20, B25, B30, B37, B45, B50, B55, B60}
<b>Gałęzie słupa:</b>	[-]	W oknach tych definiuje się kształtowniki (jeden lub dwa w zależności od typu połączenia) stanowiące gałęzie słupa stalowego. Wybierając dany kształtownik program automatycznie wczytuje z bazy danych wszystkie parametry geometryczne określające dany kształtownik.	

## 450 –Zakotwienia słupów stalowych

---

W ramce **Blacha podstawy** użytkownik definiuje wymiary blachy podstawy:

- A:** [m] Długość blachy podstawy słupa.
- B:** [m] Szerokość blachy podstawy słupa. Dla schematu, w którym słupem stalowym jest rura okrągła, połączona z blachami pionowymi szerokość blachy podstawy jest równa długości blachy podstawy – kwadrat.
- Grubość:** [m] Grubość blachy podstawy słupa.

W ramce **Blacha pionowa** użytkownik definiuje wymiary blachy podstawy:

- Kotwie poza blachą podstawy:** [-] Użytkownik definiuje czy kotwie są poza blachą podstawy (Śruby kotwiące mocowane za pomocą belek kotwiących). Okno niedostępne dla schematu, w którym słupem jest rura okrągła połączona z blachami pionowymi.
- Belki kotwiące:** [-] Użytkownik z listy wybiera z jakiego kształtownika będą wykonane belki kotwiące. Dostępne są tylko ceowniki. Jeżeli użytkownik wybierze dany kształtownik wszystkie dane geometryczne zostaną pobrane z bazy danych danego profilu.
- c:** [m] Długość dolnej krawędzi blachy pionowej (żebra).
- c1:** [m] Długość górnej krawędzi blachy pionowej (żebra).
- h:** [m] Wysokość blachy pionowej (żebra).
- h1:** [m] Wysokość do skosu blach pionowej (żebra).
- Grubość:** [m] Grubość blachy pionowej (żebra).
- Liczba zeber:** [-] Liczba zeber. Opcja dostępna tylko dla schematu, w którym słupem jest rura okrągła połączona z blachami pionowymi. Może występować cztery lub osiem zeber.

W ramce **Wymiary spoin pachwinowych** użytkownik definiuje wymiary pachwinowej spoiny poziomej i pionowej:

- Spoina pionowa a:** [mm] Grubość pachwinowej spoiny pionowej. Okno aktywne tylko dla schematów, w których występują blachy pionowe.
- Spoina pozioma** [mm] Grubość pachwinowej spoiny poziomej.

a:

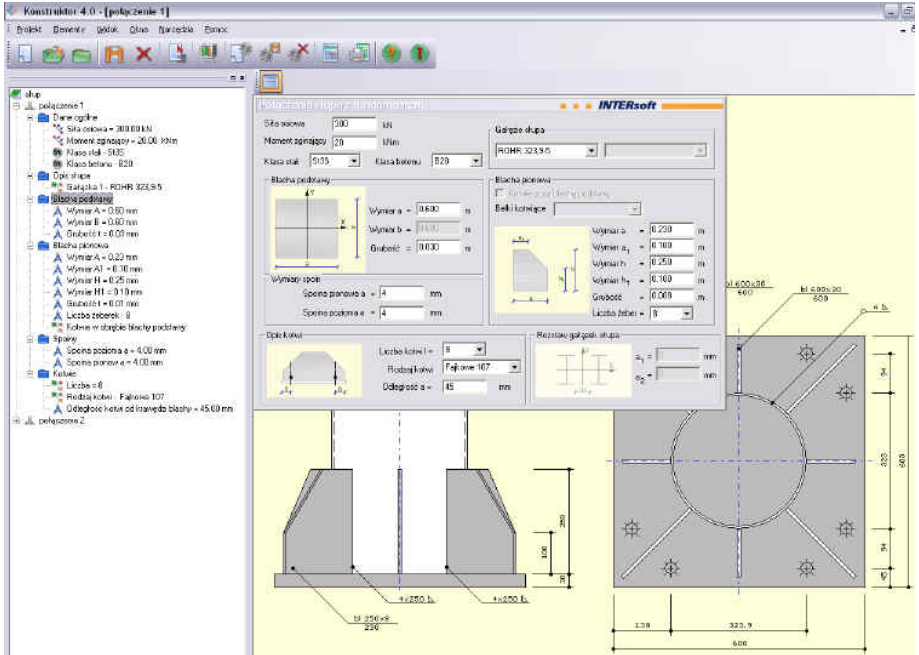
W ramce **Opis kotwi** użytkownik definiuje wymiary położenie, typ i liczbę kotwi:

<b>Liczba kotwi l:</b>	[-]	Wybierana z listy liczba kotwi w połączeniu.	Liczba kotwi może być: 2, 4, 6, 8. Dla schematu, w którym słupem stalowym jest rura okrągła, połączona z blachami pionowymi liczba kotwi wynosi: 4 lub 8. Dla schematu, w którym rura okrągła jest słupem bez blach pionowych liczba kotwi wynosi: 8 lub 16.
<b>Rodzaj kotwi:</b>	[-]	Użytkownik wybiera z listy rodzaj kotwi (zgodnie z tablicą C.1 PN-B-03215:1998). Wszystkie dostępne dane geometryczne i wytrzymałościowe danej kotwi są automatycznie pobierane z bazy danych.	Fajkowe $\varnothing 12, \varnothing 16, \varnothing 20, \varnothing 24, \varnothing 30$ . Płytkowe $\varnothing 20, \varnothing 24, \varnothing 30, \varnothing 36, \varnothing 42, \varnothing 48$ .
<b>Odległość kotwi d:</b>	[m]	Odległość kotwi liczona od krawędzi blachy podstawy.	Wartość zawsze dodatnia bez względu na to, po której stronie krawędzi blachy podstawy leżą śruby kotwiące.

W ramce **Rozstaw gałęzek słupa** użytkownik definiuje wymiary blachy podstawy:

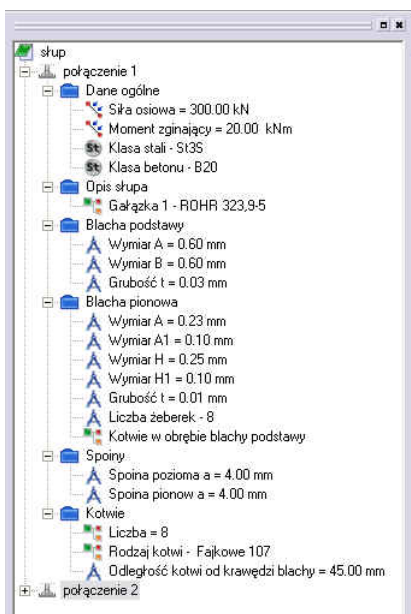
<b>a<sub>x</sub>:</b>	[m]	Odległość między gałęzkami słupa wzdłuż osi X.	Okno aktywne tylko dla słupów dwugałęziowych.
<b>a<sub>y</sub>:</b>	[m]	Odległość między gałęzkami słupa wzdłuż osi Y.	Okno aktywne tylko dla słupów czterogałęziowych.
<b>Obrót:</b>	[-]	Guzik, którego naciśnięcie powoduje obrót gałazki słupa o 90°.	Guzik aktywny tylko dla schematów, w których gałazkę słupa stanowi rura prostokątna.

## 450.3. Opis okna ekranu roboczego



Z lewej strony znajduje się drzewo projektu. Pod oknem dialogowym umieszczone są dynamiczne (zmieniające się wraz z wprowadzaniem zmian przez użytkownika) rysunki zakotwienia słupa. Należy jednak pamiętać, że użytkownik nie może bezpośrednio na nich dokonywać żadnych zmian. Wprowadzanie ewentualne zmian geometrii i charakterystyki połączenia możliwe jest tylko w polach dialogowych na odpowiedniej zakładce.

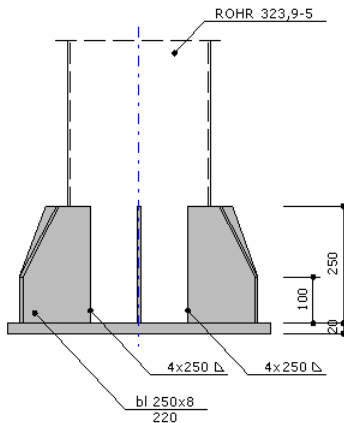
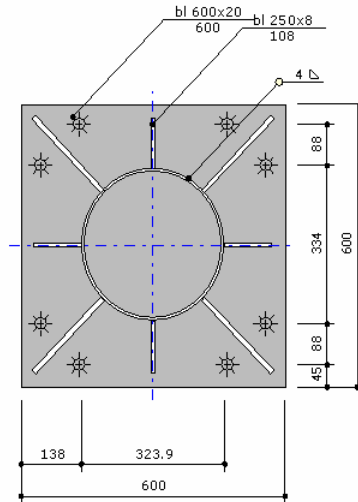
### 450.4. Okno drzewa projektu





450.5. Przykład

Zakotwienie 1



**Dane ogólne**

Połączenie obciążone osiowo.

Siła ściskająca  $N = 850.0$  [kN]

Klasa stali elementów połączenia: 18G2

Klasa betonu fundamentu: B25

### Geometria układu

#### Wyznaczenie maksymalnych naprężeń pod blachą poziomą.

Prostokątna blacha podstawy.

$$\sigma_c = \frac{N}{A \cdot B} = \frac{850 \cdot 0}{0.600 \cdot 0.600} = 2361.1 \text{ [kN/m}^2 \text{]}$$

$$\sigma_c = 2.361 \text{ [MPa]} \leq f_b = 8.880 \text{ [MPa]}$$

Naprężenia pod blachą podstawy są mniejsze niż wytrzymałość obliczeniowa podstawy na docisk.

#### Obliczenia grubości blachy poziomej.

Grubość blachy podstawy określa się dla maksymalnego momentu zginającego w poszczególnych częściach blachy od oporu fundamentu.

Przyjęto, że poszczególne płyty mogą mieć następujące schematy podparcia: belka utwierdzona, płyta kołowa utwierdzona na obwodzie.

Momenty oblicza się dla pasma blachy o jednostkowej szerokości.

Płyta okrągła utwierdzona na obwodzie.

Promień płyty  $R = 0.161 \text{ [m]}$

$$M_1 = \frac{1}{16} \sigma_c R^2 = \frac{1}{16} 2361.1 \cdot 0.161^2 = 3.8 \text{ [kNm]}$$

Belka utwierdzona na żeberkach.

Rozpiętość  $L = 0.300 \text{ [m]}$

$$M_2 = \frac{1}{12} \sigma_c L^2 = \frac{1}{12} 2361.1 \cdot 0.300^2 = 17.7 \text{ [kNm]}$$

Maksymalny moment zginający.

$$M_{\max} = \max(M_1, M_2) = \max(3.8, 17.7) = 17.7 \text{ [kNm]}$$

Minimalna grubość blachy poziomej.

$$T_{\min} = \left( \frac{6M_{\max}}{f_d} \right)^{0.5} = \left( \frac{6 \cdot 17.7 \cdot 10^{-10}}{295.0} \right)^{0.5} = 0.019 \text{ [m]}$$

$$T_{\text{obl}} = 0.019 \text{ m} \leq T_{\text{przyjęte}} = 0.020 \text{ m}$$

Prawidłowo przyjęta grubość blachy poziomej.

**Obliczenia spoin poziomych.**

Spoina pachwinowa obwodowa.

Sprawdzenie warunków konstrukcyjnych grubości spoin pachwinowych.

$$0.2t_{\max} \leq a \leq 0.7t_{\min}, a \geq 3\text{mm}$$

$$0.7 \cdot 5.0 = 3.5 \text{ [mm]} < 4.0 \text{ [mm]}$$

**Przyjęto zbyt dużą grubość spoiny, ze względu na warunki konstrukcyjne.**

Sprawdzenie nośności spoiny pachwinowej.

Założono, że spoiny przy kształtowniku współpracują.

Sumaryczna długość spoin  $\Sigma L_{sp} = 3.656 \text{ [m]}$

Wyznaczenie składowych naprężeń.

Od siły pionowej:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{a \Sigma L_{sp}} = \frac{850.0}{0.004 \cdot 3.656} = 58130.6 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$\sigma_{\text{prost}} = \tau_{\text{prost}} = \frac{\sigma_{\max}}{1.4142} = \frac{58.1}{1.4142} = 41.1 \text{ [MPa]}$$

Od siły rozwarstwiającej:

Parametry geometryczne przekroju złożonego z blach pionowych i blachy podstawy, położonego po zewnętrznej stronie kształtownika.

Szerokość blachy współpracującej podstawy  $b_{wsp} = 0.132 \text{ [m]}$

Położenie osi obojętnej przekroju  $y_{sr} = 0.048 \text{ [m]}$

Moment bezwładności przekroju  $I_x = 0.000033 \text{ [m}^4\text{]}$

Moment statyczny blachy podstawy względem osi obojętnej  $S = 0.000099 \text{ [m}^3\text{]}$

Siła poprzeczna w przekroju  $V_{\alpha} = 65.7 \text{ [kN]}$

Naprężenia styczne (rozwarstwiającej)

$$\tau_{\text{równ}} = \frac{V_{\alpha} S}{I_x 4a} = \frac{65.7 \cdot 0.000099}{0.000033 \cdot 4 \cdot 0.004} = 49163.8 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Warunek wytrzymałości wzór (93) PN-90/B-03200:

$$\chi \left( \sigma_{\text{prost}}^2 + 3 \left( \tau_{\text{równ}}^2 + \tau_{\text{prost}}^2 \right) \right)^{0.5} \leq f_d$$

$$0.8(41.1^2 + 3(49.2^2 + 41.1^2))^{0.5} = 100.6 \text{ [MPa]} \leq f_a = 295.0 \text{ [MPa]}$$

Nośność spoin poziomych jest wystarczająca.

### Obliczenia spoin pionowych.

Obliczenia spoin pachwinowych łączących każde żeberko z słupem (dwie spoiny).

Sprawdzenie warunków konstrukcyjnych grubości spoin pachwinowych.

$$0.2t_{\max} \leq a \leq 0.7t_{\min}, a \geq 3\text{mm}$$

$$0.2 \cdot 5.0 = 1.0 \text{ [mm]} \leq 4.0 \text{ [mm]} \leq 0.7 \cdot 20.0 = 14.0 \text{ [mm]}$$

Poprawnie przyjęto grubość spoiny, ze względu na warunki konstrukcyjne.

Sprawdzenie naprężeń zgodnie z wzorem (93) PN-90/B-03200.

Moment bezwładności przekroju dwóch spoin  $I_x = 0.00001042 \text{ [m}^4\text{]}$

Siła przenoszona przez pojedyncze żeberko  $V_\alpha = 65.7 \text{ [kN]}$

Moment przenoszony przez pojedyncze żeberko  $M_\alpha = 8.6 \text{ [kNm]}$

Wyznaczenie naprężeń  $\tau_{\text{równ}}$ :

$$\tau_{\text{równ}} = \frac{V_\alpha}{2aI} = \frac{65.7 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0.004 \cdot 0.250} = 32.8 \text{ [MPa]}$$

Wyznaczenie naprężeń  $\tau_{\text{prost}}$  i  $\sigma_{\text{równ}}$ :

$$\sigma = \frac{0.5M10^{-3} H_{\text{BlPion}}}{I_x} = \frac{0.5 \cdot 8.6 \cdot 0.250 \cdot 10^{-3}}{0.00001042} = 103.4 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{\text{prost}} = \sigma_{\text{równ}} = 0.707\sigma = 0.707 \cdot 103.4 = 73.1 \text{ [MPa]}$$

$$\chi( \sigma_{\text{prost}}^2 + 3(\tau_{\text{równ}}^2 + \tau_{\text{prost}}^2) )^{0.5} \leq f_d$$

$$0.8(73.1^2 + 3(32.8^2 + 73.1^2))^{0.5} = 133.3 \text{ [MPa]} \leq f_a = 305.0 \text{ [MPa]}$$

Nośność pachwinowych spoin pionowych jest wystarczająca.

### Obliczenia blach pionowych.

Parametry geometryczne przekroju złożonego z blachy pionowej i części współpracującej blachy podstawy.

Położenie osi obojętnej przekroju  $y_{\text{sr}} = 0.048 \text{ [m]}$

Szerokość blachy współpracującej podstawy  $b_{\text{wsp}} = 0.132 \text{ [m]}$

## 450 –Zakotwienia słupów stalowych

---

Moment bezwładności przekroju  $I_x = 0.000033 \text{ [m}^4\text{]}$

Pole przekroju przenoszącego siłę tnącą (tylko blachy pionowe)  $A_v = 0.0020 \text{ [m}^2\text{]}$

Siła poprzeczna w przekroju  $V_\alpha = 65.7 \text{ [kN]}$

Moment zginający w przekroju  $M_\alpha = 8.6 \text{ [kNm]}$

Sprawdzenie nośności żeberk na ścinanie.

$$V_r = 0.58 A_v f_d = 0.58 \cdot 0.0020 \cdot 305.0 \cdot 10^3 = 353.8 \text{ [kN]} \geq V_\alpha = 65.7 \text{ [kN]}$$

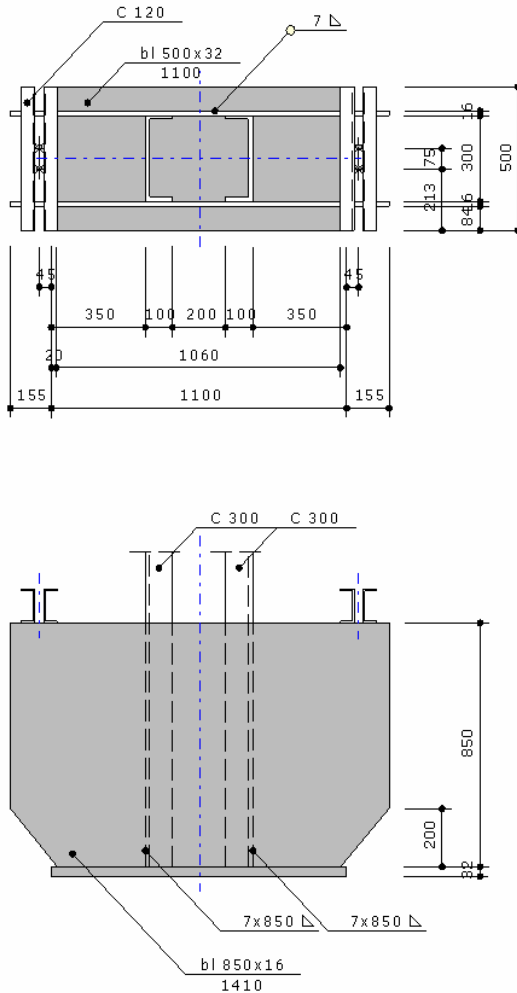
Nośność blach pionowych na ścinanie jest wystarczająca.

Sprawdzenie maksymalnych naprężeń w blachach pionowych.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_\alpha (T_{blPoz} + H_{blPion} - Y_{sz})}{I_x} = \frac{8.6 \cdot 10^{-3} (0.020 + 0.250 - 0.048)}{0.000033} = 57.7 \text{ [MPa]} \leq f_d = 305.0 \text{ [MPa]}$$

Maksymalne naprężenia w blachach pionowych nie są przekroczone.

Zakotwienie 2



**Dane ogólne**

Połączenie obciążone mimośrodowo.

Siła ściskająca  $N = 1000.0$  [kN]

Moment zginający  $M = 355.0$  [kNm]

Klasa stali elementów połączenia: 18G2A

Klasa betonu fundamentu: B25

### Geometria układu

#### Wyznaczenie maksymalnych naprężeń pod blachą poziomą. Sprawdzenie kotwi.

Mimośród  $e > (A/6)$ .

Naprężenia pod podstawą oblicza się wg wzoru (35) PN-B-03215:1998.

Zakres strefy docisku wyznacza się z równania (32) PN-B-03215:1998.

$$x^3 + 3px^2 + k(x-1)(1+p) = x^3 + 3(-0.195)x^2 + 0.081(x-1.100)(1.100+(-0.195)) = 0$$

$$x = 0.659 \text{ [m]}$$

Sprawdzenie nośności kotwi rozciąganych.

$$F_t = \frac{N_c (p+x/3)}{1-x/3} = \frac{1000.0(-0.195+0.659/3)}{1.100-0.659/3} = 28.066 \text{ [kN]}$$

$$F_t = 28.1 \text{ [kN]} \leq nS_R = 2 \cdot 107.0 = 214.0 \text{ [kN]}$$

Nie przekroczona nośność kotwi rozciąganych.

Sprawdzenie naprężeń maksymalnych pod blachą podstawy.

$$\sigma_c = \frac{2(N_c + F_t)}{xb} = \frac{2(1000.0+28.1)}{0.659 \cdot 0.50} = 6239.0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$\sigma_c = 6.239 \text{ [MPa]} \leq f_b = 8.880 \text{ [MPa]}$$

Naprężenia pod blachą podstawy są mniejsze niż wytrzymałość obliczeniowa podstawy na docisk.

#### Obliczenia grubość blachy poziomej.

Grubość blachy podstawy określa się jako maksymalną grubość płyty, na które jest ona podzielona, zgodnie z załącznikiem B, PN-B-03215:1998.

Płyty mogą mieć następujące schematy podparcia: wspornik, płyta podparta na trzech krawędziach, płyta podparta na czterech krawędziach.

Są one zginane od odporu fundamentu.

Wspornik.

Długość płyty wspornikowej  $L_1 = 0.08 \text{ [m]}$

$$\omega_1 = 1.73 L_1 = 1.73 \cdot 0.08 = 0.145$$

$$T_1 = \omega_1 \left( \frac{\sigma_c}{f_d} \right)^{0.5} = 0.145 \left( \frac{6239.024 \cdot 10^{-10}}{285.0} \right)^{0.5} = 0.022 \text{ [m]}$$

Płyta prostokątna podparta na trzech krawędziach.

Długość krawędzi swobodnej płyty  $L_2 = 0.30$  [m]

Długość drugiej krawędzi płyty  $B_2 = 0.45$  [m]

Współczynnik z tablicy B.2 PN-B-03215:1998  $\omega_2 = 0.213$

$$T_2 = \omega_2 \left( \frac{\sigma_c}{f_d} \right)^{0.5} = 0.213 \left( \frac{6239.024 \cdot 10^{-10}}{285.0} \right)^{0.5} = 0.032 \text{ [m]}$$

Płyta prostokątna podparta na czterech krawędziach.

Długość krawędzi dłuższej płyty  $L_3 = 0.27$  [m]

Długość krawędzi krótszej płyty  $B_3 = 0.17$  [m]

Współczynnik z tablicy B.2 PN-B-03215:1998  $\omega_3 = 0.115$

$$T_3 = \omega_3 \left( \frac{\sigma_c}{f_d} \right)^{0.5} = 0.115 \left( \frac{6239.024 \cdot 10^{-10}}{285.0} \right)^{0.5} = 0.017 \text{ [m]}$$

Minimalna grubość blachy podstawy powinna być większa od maksymalnej grubości płyt.

$T_{\min} = \max(T_1, T_2, T_3) = \max(0.022, 0.032, 0.017) = 0.032$  [m]

$T_{\text{obl}} = 0.032 \text{ m} \leq T_{\text{przyjęte}} = 0.032 \text{ m}$

Prawidłowo przyjęta grubość blachy poziomej.

### Obliczenia spoin poziomych.

Spoina pachwinowa.

Sprawdzenie warunków konstrukcyjnych grubości spoin pachwinowych.

$0.2t_{\max} \leq a \leq 0.7t_{\min}$ ,  $a \geq 3\text{mm}$

$0.2 \cdot 32.0 = 6.4$  [mm]  $\leq 7.0$  [mm]  $\leq 0.7 \cdot 16.0 = 11.2$  [mm]

Poprawnie przyjęto grubość spoiny, ze względu na warunki konstrukcyjne.

Sprawdzenie nośności spoiny pachwinowej.

Założono, że spoiny przy kształtowniku nie współpracują.

Sumaryczna długość spoin  $\Sigma L_{\text{sp}} = 3.840$  [m]

Całkowity moment bezwładności spoin poziomych  $I_{\text{sp}} = 0.002770$  [m<sup>4</sup>]

Wyznaczenie składowych naprężeń.

Od siły pionowej i momentu zginającego:



## 450 –Zakotwienia słupów stalowych

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{a \Sigma I_{sp}} + \frac{M x_{\max}}{I_{sp}} = \frac{1000.0}{0.007 \cdot 3.840} + \frac{355.0 \cdot 0.53}{0.002770} = 105133.8 \text{ [kN/m}^2 \text{]}$$

$$\sigma_{\text{prost}} = \tau_{\text{prost}} = \frac{\sigma_{\max}}{1.4142} = \frac{105.1}{1.4142} = 74.3 \text{ [MPa]}$$

Od siły rozwarstwiającej:

Parametry geometryczne przekroju złożonego z blach pionowych i blachy podstawy, położonego po zewnętrznej stronie kształtownika.

Położenie osi obojętnej przekroju  $y_{sr} = 0.294$  [m]

Moment bezwładności przekroju  $I_x = 0.003598$  [m<sup>4</sup>]

Moment statyczny blachy podstawy względem osi obojętnej  $S = 0.004443$  [m<sup>3</sup>]

Siła poprzeczna w przekroju  $V_{\alpha} = 924.6$  [kN]

Naprężenia styczne (rozwarstwiające)

$$\tau_{\text{równ}} = \frac{V_{\alpha} S}{I_x \cdot 4a} = \frac{924.6 \cdot 0.004443}{0.003598 \cdot 4 \cdot 0.007} = 163079.4 \text{ [kN/m}^2 \text{]}$$

Warunek wytrzymałości wzór (93) PN-90/B-03200:

$$\chi ( \sigma_{\text{prost}}^2 + 3 ( \tau_{\text{równ}}^2 + \tau_{\text{prost}}^2 ) )^{0.5} \leq f_d$$

$$0.8 ( 74.3^2 + 3 ( 163.1^2 + 74.3^2 ) )^{0.5} = 271.3 \text{ [MPa]} \leq f_d = 285.0 \text{ [MPa]}$$

Nośność spoin poziomych jest wystarczająca.

### Obliczenia spoin pionowych.

W połączeniu są cztery spoiny pionowe pachwinowe.

Sprawdzenie warunków konstrukcyjnych grubości spoin pachwinowych.

$$0.2t_{\max} \leq a \leq 0.7t_{\min}, a \geq 3\text{mm}$$

$$0.2 \cdot 10.0 = 2.0 \text{ [mm]} \leq 7.0 \text{ [mm]} \leq 0.7 \cdot 10.0 = 7.0 \text{ [mm]}$$

Poprawnie przyjęto grubość spoiny, ze względu na warunki konstrukcyjne.

Wyznaczenie siły przenoszonej przez pojedynczą spoinę.

$$N_{\text{spoina}} = 0.25 \left( N + \frac{M}{X_{\text{rozstaw}}} \right) = 0.25 \left( 1000.0 + \frac{355.0}{0.15} \right) = 857.9 \text{ [kN]}$$

$$\tau = \frac{N_{\text{spoina}}}{a \cdot l} = \frac{0.858}{0.007 \cdot 0.85} = 144.2 \text{ [MPa]} \leq \alpha_{\text{równ}} f_d = 0.7 \cdot 305.0 = 213.5 \text{ [MPa]}$$

Nośność spoin nie jest przekroczona.

### Obliczenia blach pionowych.

Parametry geometryczne przekroju złożonego z blach pionowych i blachy podstawy, położonego po zewnętrznej stronie kształownika.

Położenie osi obojętnej przekroju  $y_{sr} = 0.294$  [m]

Moment bezwładności przekroju  $I_x = 0.003598$  [m<sup>4</sup>]

Pole przekroju przenoszącego siłę tnącą (tylko blachy pionowe)  $A_v = 0.0272$  [m<sup>2</sup>]

Siła poprzeczna w przekroju  $V_{\alpha} = 924.6$  [kN]

Moment zginający w przekroju  $M_{\alpha} = 244.0$  [kNm]

Sprawdzenie nośności żeberk na ścinanie.

$$V_x = 0.58 A_v f_d = 0.58 \cdot 0.0272 \cdot 305.0 \cdot 10^3 = 4811.7 \text{ [kN]} \geq V_{\alpha} = 924.6 \text{ [kN]}$$

Nośność blach pionowych na ścinanie jest wystarczająca.

Sprawdzenie maksymalnych naprężeń w blachach pionowych.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\alpha} (T_{B1Poz} + H_{B1Pion} - y_{sr})}{I_x} = \frac{244.0 \cdot 10^{-3} (0.032 + 0.850 - 0.294)}{0.003598} = 39.9 \text{ [MPa]} \leq f_d = 305.0 \text{ [MPa]}$$

Maksymalne naprężenia w blachach pionowych nie są przekroczone.

### Sprawdzenie nośności belek kotwiących

Dane potrzebne do sprawdzenia nośności belek kotwiących.

Wskaźnik wytrzymałości dwóch belek ceowych  $W_s = 0.000121$  [m<sup>3</sup>]

Maksymalny moment zginający w belkach  $M_{\max} = 1.7$  [kNm]

Wyznaczenie maksymalnych naprężeń w belkach kotwiących.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_s} = \frac{1.7 \cdot 10^{-3}}{0.000121} = 13.929 \text{ [MPa]} \geq f_d = 305.0 \text{ [MPa]}$$

Nośność belek kotwiących na zginanie jest wystarczająca.