



Politechnika Wroclawska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Instytut Budownictwa
Katedra Konstrukcji Betonowych

ĆWICZENIE PROJEKTOWE Z PRZEDMIOTU KONSTRUKCJE BETONOWE - OBIEKTY

PROJEKT SŁUPA W ŻELBETOWEJ HALI PREFABRYKOWANEJ

Rok studiów / Semestr	Prowadzący	Data przyjęcia	Ocena
rok 3, semestr 7			

Wykonał:

Spis treści

1.	OPIS TECHNICZNY	4
1.1.	Podstawa opracowania	4
1.2.	Zakres opracowania	4
1.3.	Dane ogólne	4
1.4.	Wykaz materiałów źródłowych	4
2.	INFORMACJE DO PROJEKTOWANIA	5
2.1.	Założenia konstrukcyjne	5
2.2.	Przyjęcie wymiarów słupa	5
2.2.1.	Utwardzenie słupa w stopie fundamentowej	6
2.2.2.	Geometria wspornika	6
3.	OBLICZENIA STATYCZNE	9
3.1.	Schemat statyczny ustroju	9
3.2.	Zestawienie obciążeń	9
3.3.	Schemat obliczeniowy i przekroje charakterystyczne	10
3.4.	Reakcje podporowe	10
3.5.	Wyniki sił wewnętrznych	11
3.6.	Kombinacje obliczeniowe	11
4.	WYMIAROWANIE PRZEKROJÓW SŁUPA W STADIUM UŻYTKOWANIA	12
4.1.	Przekrój 1 – 1	13
4.2.	Przekrój 2 – 2	14
4.3.	Przekrój 3 – 3	16
4.4.	Przekrój 4 – 4	18
5.	ZESTAWIENIE WYNIKÓW WYMIAROWANIA PRZEKROJÓW	21
6.	DOBÓR ZBROJENIA	21
7.	WYMIAROWANIE ZBROJENIA POPRZECZNEGO	22
8.	OBLICZENIOWA DŁUGOŚĆ ZAKOTWIENIA ORAZ DŁUGOŚĆ ZAKŁADU	22
9.	WYMIAROWANIE WSPORNIKA SŁUPA W STADIUM UŻYTKOWANIA	23
10.	SPRAWDZENIE STANÓW GRANICZNYCH PRZEKROJÓW SŁUPA W STADIUM REALIZACJI	24
10.1.	Faza składowania / transportu	24
10.2.	Faza podnoszenia / montażu	26
11.	RYSUNEK ROBOCZY SŁUPA	27

1. OPIS TECHNICZNY.

1.1. Podstawa opracowania.

- 1.1.1. Temat wydany przezz Katedry Konstrukcji Betonowych, Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej.
- 1.1.2. Dokumentacja geotechniczna dla posadowienia projektowania słupa żelbetowego we Wrocławiu przy ulicy Pomorskiej 44 opracowana przez firmę GEOTEST Wrocław Sp. z o.o. ; październik 2013r.

1.2. Zakres opracowania.

Zakresem opracowania jest wykonanie projektu budowlanego słupa żelbetowego, wykonanie jego obliczeń statycznych oraz rysunku roboczego.

1.3. Dane ogólne.

1.3.1. Przeznaczenie

Projektowany słup jest częścią składową hali żelbetowej przeznaczonej na magazyn elementów semi-prefabrykowanego stropu typu FILIGRAN oraz belek stropowych typu Teriva I.

1.3.2. Lokalizacja

Projektowane słupy (części składowe hali) usytuowane będą po południowej stronie ul. Pomorska 44 na działkach 111/4 oraz 111/6, k.m. 43b w strefie miasta Wrocław, dzielnica Śródmieście. Za obszarem tej działki znajduje się hala stalowa. Teren działki jest ogrodzony i nie posiada uzbrojenia terenu. Nachylenie terenu ze spadkiem w kierunku południowo-zachodnim wynosi 4-7%.

1.3.3. Ochrona przeciwpożarowa

Przy przyjętym maksymalnym obciążeniu ogniowym strefy pożarowej równym $500 \frac{MJ}{m^2}$ wg załącznika [6] projektowane słupy (części składowe hali) sklasyfikowano wg klasy E.

1.4. Wykaz materiałów źródłowych.

- [1] PN - EN 1992-1-1:2008 - Eurokod 2 – Projektowanie konstrukcji z betonu.
- [2] ZESZYTY EDUKACYJNE BUILDERA – EUROKOD 2
- [3] Temat ćwiczenia projektowego wydany przez prowadzącego (dr inż. M. Minch)
- [4] Marek Lechman - „Wymiarowanie przekrojów z betonu zginanych z udziałem siły osiowej według Eurokodu 2. Przykłady obliczeń.”
- [5] PN – B – 03264:2002 – Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [6] Oprogramowanie Autodesk® Robot Structural Analysis™ 2010. Licencja studencka.
- [7] J. Pędziwiatr – „Wstęp do projektowania konstrukcji żelbetowych wg PN – EN 1992 – 1 – 1 : 2008”, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2010.
- [8] Adam Zybura – „Konstrukcje żelbetowe. ATLAS RYSUNKÓW”.
- [9] Katalog haków firmy Pfeifer: <http://www.j-p.pl/produkty/view/hak-gwintowany-falowy-dlugi>.

2. INFORMACJE DO PROJEKTOWANIA.

2.1. Założenia konstrukcyjne.

zbrojenie słupa: symetryczne

klasa ekspozycji: XC3 (beton znajduję się w środowisku o umiarkowanej wilgotności powietrza – wewnątrz budynku, lub na zewnątrz budynku z równoczesnym osłonięciem go przed wpływem warunków atmosferycznych - deszcz), typ korozji: wywołana karbonatyzacją

klasa stali: A III N

gatunek stali: RB 500 W

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 420 \text{ MPa}$$

klasa betonu: C 20/25

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,4} = 17,86 \text{ MPa}$$

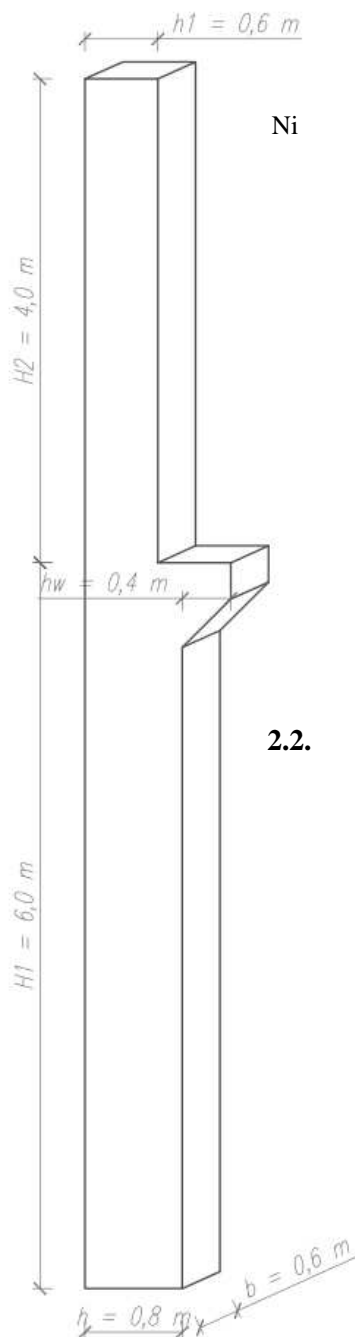
Otulina: $c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$

$$c_{min,b} \geq 18 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,dur} = 15; c_{min,b} = 18\} = 18 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm} \text{ – dla elementów prefabrykowanych}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 18 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 23 \text{ mm} \approx 25 \text{ mm}$$



Ni

Nie uwzględnia się dwukierunkowego zginania ze względu na dużą liczbę słupów ze stężeniami między sobą.

Dla obciążeń charakterystycznych przyjmuje się współczynnik 1,35 w celu uproszczenia obliczeń.

2.2. Przyjęcie wymiarów słupa.

W temacie ćwiczenia projektowego [3] zadano rozmiary słupa jak na rysunku obok:

Wysokość słupa:

$$H = H1 + H2 \text{ [m]}$$

H1 – wysokość sekcji dolnej słupa (pod wspornikiem pod belkę podsuwnicową), H1 = 6,00 m;

H2 – wysokość sekcji górnej słupa, H2 = 4,00 m;

Stąd $H = 6,00 \text{ m} + 4,00 \text{ m} = 10,00 \text{ m}$.

Wymiary poprzeczne słupa:

- nad wspornikiem: $h1 \times b$: 0,60 m x 0,60 m;

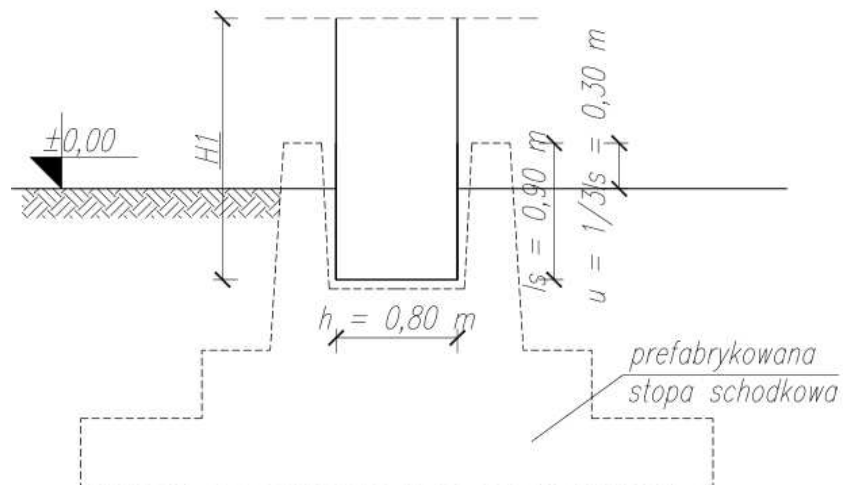
- pod wspornikiem: $h \times b$: 0,80 m x 0,60 m;

Zasięg wspornika:

$hw = 0,40 \text{ m}$ (licząc od lica słupa w sekcji dolnej).

Do ustalenia pozostają pozostałe parametry geometrii wspornika, które należy obliczyć według obowiązujących zaleceń normowych. Należy także wykonać szkic przyziemia wskazujący głębokość zagłębienia słupa w stopie fundamentowej oraz odległość od poziomu terenu.

2.2.1. Utwierdzenie słupa w stopie fundamentowej.



Rys.2 – Utwierdzenie słupa w stopie fundamentowej.

Głębokość utwierdzenia słupa w stopie została zadana w temacie ćwiczenia [3] i wynosi $l_s = 0,90$ m.

Z warunku stateczności słupów prefabrykowanych wiemy, że:

$l_s \geq 1,1 h$ [m] [Winokur, Zalewski (...)]

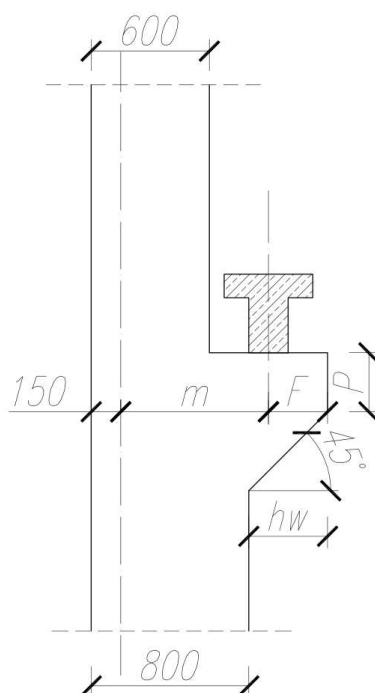
$l_s \geq 0,88$ m

$0,90$ m $>$ $0,88$ m, zatem warunek jest spełniony i nie ma potrzeby zwiększania głębokości utwierdzenia.

Należy nadmienić, że na rys.2 stopa fundamentowa została przedstawiona w sposób schematyczny, a więc jej gabaryty nie odpowiadają wymiarom rzeczywistym. Nie jest ona przedmiotem ćwiczenia projektowego.

Poziom porównawczy terenu $\pm 0,00$ m przyjęto wg rysunku.

2.2.2. Geometria wspornika.



Rys.3 – Schemat wspornika

Geometrię wspornika pod belkę podsuwnicową determinuje typ belki oraz obecność galerii wzdłuż trasy przejazdu suwnicy.

Przyjmuję:

- typ belki podsuwnicowej: **A**;

- brak galerii wzdłużnej $\rightarrow m = 750$ mm.

m – odległość pomiędzy osiami słupa i belki podsuwnicowej [mm]

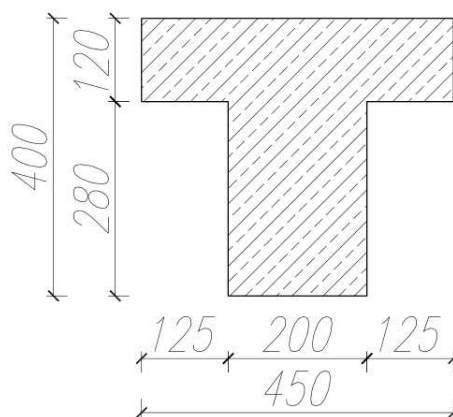
P – wysokość wspornika [mm];

F – strefa swobodna belki (do lica wspornika) [mm];

hw – wysięg wspornika [mm], $hw = 400$ mm [3];

b_{min} – minimalna wysokość belki [mm];

*Belka podsuwnicowa
typu "A"*



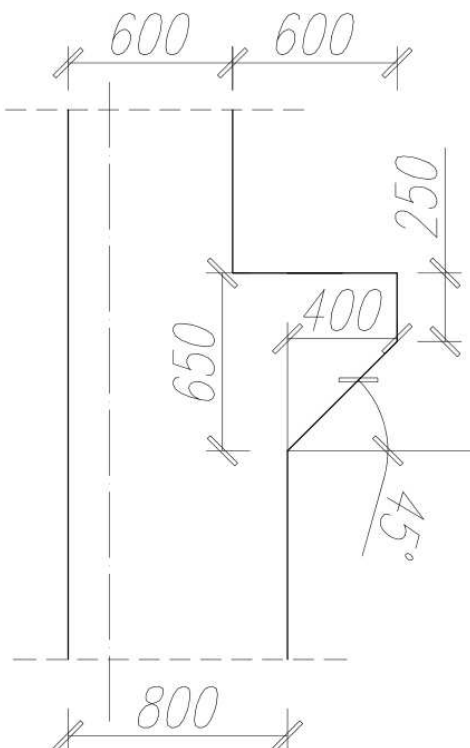
Rys.4 – Gabaryty belki podsuwnicowej

Typ belki	A	B	C
b_{min}	400	400	400
F	200	250	350
P	250	350	550

Wartości w tabeli podano w mm.

Mając dobrane wartości geometrii wspornika należy nanieść je na rysunek. W przypadku projektowanego wspornika wartość parametru „F” determinowana jest zadaniem wysięgiem hw , a zatem zostanie podniesiona z 200 mm do 300 mm.

Poniżej przedstawiono projektowany wspornik wraz z rzeczywistymi wymiarami.

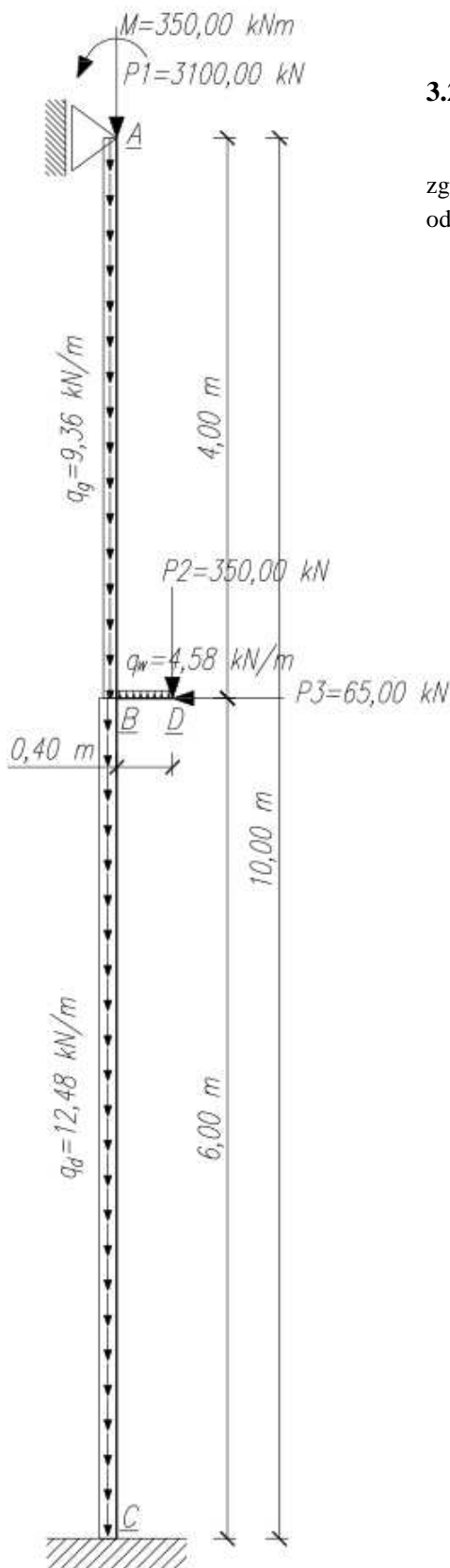


Rys.5 – Geometria wspornika

3. OBLICZENIA STATYCZNE.

3.1. Schemat statyczny ustroju.

Jako schemat statyczny słupa przyjmujemy (zgodnie z zaleceniami prowadzącego) pręt sztywno utwierdzony w podłożu i przegubowo podparty na górze, z dodatkowym elementem wspornika, który jest sztywno połączony ze słupem.



3.2. Zestawienie obciążeń.

Słup obciążony jest siłami P1, P2, P3 [kN] oraz momentem zginającym M [kNm] oraz ciężarem własnym – zmiennym w zależności od segmentu słupa.

P1	P2	P3	M
kN	kN	kN	kNm
3100,00	35,000	65,00	350,00

Ciężary własne:

γ_{bet} – ciężar objętościowy żelbetu, $\gamma_{bet} = 26 \text{ kN/m}^3$

a) ciężar górnej sekcji słupa (odcinek A-B):

$$q_g = b \times h_1 \times \gamma_{bet} = 0,6 \times 0,6 \times 26 = \mathbf{9,36 \text{ kN/m}}$$

b) ciężar dolnej sekcji słupa (odcinek B-C):

$$q_g = b \times h \times \gamma_{bet} = 0,6 \times 0,8 \times 26 = \mathbf{12,48 \text{ kN/m}}$$

c) ciężar wspornika (odcinek C-D):

Jest zmiany dlatego przyjmujemy wysokość średnią $a = 0,44 \text{ m}$.

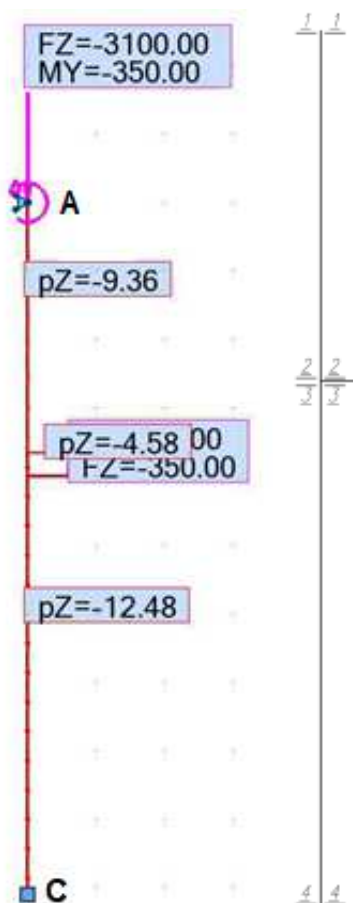
Stąd:

$$q_w = a \times h_w \times \gamma_{bet} = 0,44 \times 0,4 \times 26 = \mathbf{4,58 \text{ kN/m}}$$

Następnie obciążony schemat statyczny rozwiązano w programie Autodesk Robot Structural Analysis 2010 [9] i otrzymano wyniki sił wewnętrznych oraz reakcji podporowych.

Rys.6 – Schemat statyczny słupa wraz z obciążeniami

3.3. Schemat obliczeniowy i przekroje charakterystyczne.



W przekrojach charakterystycznych szukać będziemy ekstremalnych sił przekrojowych i na ich podstawie stworzymy kombinacje obliczeniowe potrzebne do wymiarowania żelbetu.

Przekroje:

1 – 1 – przekrój przy mocowaniu dźwigara dachowego – podpora A;

2 – 2 – przekrój przed wspornikiem, licząc od góry słupa;

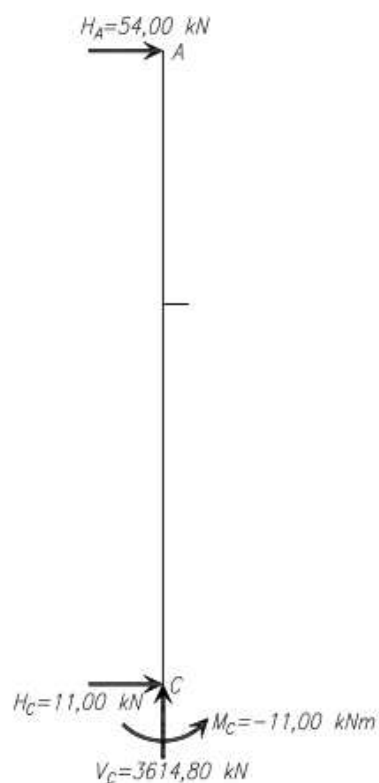
3 – 3 – przekrój za wspornikiem licząc od góry słupa;

4 – 4 – przekrój przy utwierdzeniu C (maksymalny moment zginający).

Schemat obliczeniowy stworzono w programie komputerowym [9].

Rys.7 – Schemat obliczeniowy i przekroje charakterystyczne słupa

3.4. Reakcje podporowe.



Podpora	H [kN]	V [kN]	M [kNm]
A	54,00	0,00	0,00
C	11,00	3614,80	-11,00

Rys.8 – Wyniki reakcji podporowych [kN, kNm]

3.5. Wyniki sił wewnętrznych.

Wyniki odczytano z programu komputerowego [9]. Otrzymano:



Momenty zginające M [kNm]

Siły tnące V [kN]

Siły normalne N [kN]

Wartości sił przekrojowych w przekrojach charakterystycznych:

Przekrój	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
1 – 1	-350,00	54,00	3100,00
2 – 2	-133,94	54,00	3157,31
3 – 3	76,90	-11,00	3157,31
4 – 4	11,00	-11,00	3614,80

UWAGA!

Program komputerowy podaje znaki sił wewnętrznych zgodnie z przyjętym lokalnym układem współrzędnych dla danego pręta. Może to oznaczać, że ściskanie będzie miało znak dodatni „+”.

Pod uwagę bierzemy tylko siły wewnętrzne dla konstrukcji słupa, pomijamy oddziaływania we wsporniku. Te oddziaływania będziemy wyliczać w dalszej części projektu w sposób przedstawiony w Polskiej Normie [5].

3.6. Kombinacje obliczeniowe.

W toku projektowania należy wyróżnić trzy kombinacje obliczeniowe:

- 1) N_{\max}, M_{odp} – maksymalna siła podłużna i odpowiadający jej moment;
- 2) M_{\max}, N_{odp} – maksymalny moment zginający i odpowiadająca mu siła podłużna;
- 3) M_{\min}, N_{odp} – minimalny moment zginający i odpowiadająca mu siła podłużna;

Z powodu tylko występowania tylko jednej kombinacji obciążeń (zadanej w temacie) słup należy projektować (wymiarować) w 4 przekrojach (1-4) korzystając z wartości zestawionych w tabeli w p. 3.5.

Przekrój	M [kNm]	N [kN]
1 – 1	-350,00	3100,00
2 – 2	-133,94	3157,31
3 – 3	76,90	3157,31
4 – 4	11,00	3614,80

4. WYMIAROWANIE PRZEKROJÓW SŁUPA W STADIUM UŻYTKOWANIA.

Smukłość elementu

Sprawdzenie czy należy uwzględniać efekty II rzędu

$$\lambda_c = \frac{l_0}{i} \geq \lambda_{lim} \quad [EC-2, 5.14]$$

Gdy smukłość elementu przekracza smukłość graniczną należy uwzględnić wpływ efektów II rzędu.

Promień bezwładności sprawdzanego elementu w stanie niezarysowanym.

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} \quad [2] 3.1$$

Względna siła ściskająca w elemencie

Graniczna smukłość elementu

$$\lambda_{lim} = \frac{20AEC}{\sqrt{N}} \quad [EC-2, 5.13N]$$
$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

$$A = 0,7; B = 1,1; C = 0,7$$

Metoda nominalnej krzywizny

Należy wyznaczyć nominalny moment II rzędu M_2 , który powiększa moment I rzędu zgodnie ze wzorem:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 \quad [2] 3.10$$

Nominalny moment II rzędu oblicza się ze wzoru:

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 \quad [2] 3.11$$

gdzie: N_{Ed} – obliczeniowa siła podłużna w elemencie;

e_2 – mimośród II rzędu określany z wyrażenia:

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c}$$

w którym: $1/r$ – krzywizna elementu;
 l_0 – długość efektywna elementu z rys. 3.1 [2];
 c – współczynnik zależny od rozkładu krzywizny (przy stałym przekroju elementu i stałym momencie I rzędu – $c = 8$).

Zbrojenie w układzie symetrycznym elementu o przekroju prostokątnym.

Zasięg efektywnej strefy ściskanej:

$$\xi_{sf} = \frac{N_{Ed}}{bd f_{cd}} \quad [2] \ 3.36$$

gdzie: N_{Ed} – obliczeniowa siła ściskająca w danym przekroju słupa [kN];

b – szerokość słupa [m];

Powierzchnia zbrojenia:

$$A_{sz} = A_{st} = A_{sz,prov} = \frac{N_{Ed}[\xi - d(1 - 0,8\xi_{sf})]}{(d - a_s)f_{yd}} \quad [m^2] \quad [2] \ 3.37$$

Ze względu na prostotę projektowanej konstrukcji można posłużyć się algorytmem obliczania zbrojenia słupów żelbetowych zbrojonych symetrycznie przedstawionym w książce Jensen – Łapko, str.24, rys. 5.20.

4.1. Przekrój 1 – 1.

Dane ogólne:

Przekrój słupa: 600x600 [mm]

Wysokość słupa: $l = 4,00$ [m]

Długość wybozeniowa słupa (efektywna długość elementu)

$$l_0 = 0,7l \quad [5] \ \text{Tab. C.1.}$$

$$l_0 = 0,7 \cdot 4,00 \text{ m} = 2,80 \text{ m}$$

Smukłość elementu

$$\lambda_c = \frac{l_0}{i} > \lambda_{lim} \quad [EC-2, 5.14]$$

Promień bezwładności sprawdzanego elementu w stanie niezarysowanym.

$$i = \sqrt{\frac{l_0}{A_c}} = \sqrt{\frac{2,80}{\frac{bh^3}{12}}} = \sqrt{\frac{10,80 \text{ m}^4}{0,6 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}}} = 0,173 \text{ m} \quad [2] \ 3.1$$

więc:

$$\lambda_c = \frac{l_0}{i} = \frac{2,80 \text{ m}}{0,173 \text{ m}} = 16,18 \quad [EC-2, 5.14]$$

$$M_{Ed} = -350,0 \text{ kNm} \quad [3] \ \text{Tab. 1}$$

$$N_{Ed} = 3100,0 \text{ kN} \quad [3] \ \text{Tab. 1}$$

Względna siła ściskająca w elemencie

Graniczna smukłość elementu

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}}$$

[EC-2, 5.13N]

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} = \frac{3100,0 \cdot 10^3 N}{0,6m \cdot 0,6m \cdot 17,86 \cdot 10^6 N/m^2} = 0,482$$

$$A = 0,7; B = 1,1; C = 0,7$$

więc:

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,482}} = 16,53 > \lambda_c$$

Smukłość elementu nie przekracza smukłości granicznej, tak więc w wymiarowaniu nie uwzględniamy efektów II rzędu.

- mimośród statyczny:

$$e_s = \left| \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \right| = \left| \frac{-350,0 \text{ kNm}}{3100,0 \text{ kN}} \right| = 0,112 \text{ m}$$

- mimośród niezamierzony (techniczny):

$$e_a = \max \left\{ \frac{l_0}{400}; \frac{h}{30}; 20 \text{ mm} \right\} = \max \{ 7 \text{ mm}, 20 \text{ mm}, 20 \text{ mm} \} = 0,02 \text{ m}$$

$$e = e_s + e_a = 0,132 \text{ m}$$

Przyjęto schemat obliczeniowy dla dużego mimośrodu.

$$\xi = 1 \rightarrow \xi = \frac{x_{eff}}{d} \rightarrow x_{eff} = d$$

$$a_1 = a_2 = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$$

$$d = h - a_1 = 0,6 \text{ m} - 0,04 \text{ m} = 0,56 \text{ m}$$

- minimalny stopień zbrojenia:

$$\rho_{min} = \max \left\{ \frac{0,15 N_{Ed}}{f_{yd} b d}; 0,3\% \right\} = \max \left\{ \frac{0,15 \cdot 3100 \cdot 1000 \text{ N}}{420 \cdot 1000000 \cdot 0,6 \cdot 0,56}; 0,3\% \right\} \\ = \max \{ 0,33\%; 0,3\% \} = 0,33\%$$

- równanie równowagi:

$$N_{Ed}(e + 0,5h - a_1) = f_{cd} b x_{eff}(d - 0,5x_{eff}) + A_{s2} f_{yd}(d - a_2)$$

Stąd:

$$A_{s2} = \frac{N_{Ed}(e + 0,5h - a_1) - f_{cd} b x_{eff}(d - 0,5x_{eff})}{f_{yd}(d - a_2)} \\ = \frac{3100 \text{ kN}(0,132 \text{ m} + 0,6 \text{ m} - 0,04 \text{ m}) - 17,86 \text{ MPa} \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 0,56 \text{ m}(0,56 \text{ m} - 0,5 \cdot 0,56 \text{ m})}{420 \text{ MPa}(0,56 \text{ m} - 0,04 \text{ m})} \\ = 24,06 \text{ cm}^2$$

Założono zbrojenie symetryczne, a więc $A_{s1} = A_{s2} = 24,06 \text{ cm}^2$.

Dobrano **8 prętów #20** (25,13 cm²) dla zbrojenia rozciąganego, jak i ściskanego.

4.2. Przekrój 2 – 2.

Dane ogólne:

Przekrój słupa: 600x600 [mm]
Wysokość słupa: $l = 4,00$ [m]

Długość wybozeniowa słupa (efektywna długość elementu)

$$l_0 = 0,7l \quad [5] \text{ Tab. C.1.}$$

$$l_0 = 0,7 \cdot 4,00 \text{ m} = 2,80 \text{ m}$$

Smukłość elementu

$$\lambda_c = \frac{l_0}{i} > \lambda_{lim} \quad [EC-2, 5.14]$$

Promień bezwładności sprawdzanego elementu w stanie niezarysowanym.

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{\frac{bh^3}{12}}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{(0,6 \text{ m})^4}{12 \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}}} = 0,173 \text{ m} \quad [2] 3.1$$

więc:

$$\lambda_c = \frac{l_0}{i} = \frac{2,80 \text{ m}}{0,173 \text{ m}} = 16,18 \quad [EC-2, 5.14]$$

$$M_{Ed} = -133,94 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 3157,31 \text{ kN}$$

Względna siła ściskająca w elemencie

Graniczna smukłość elementu

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}} \quad [EC-2, 5.13N]$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{3100,0 \cdot 10^3 \text{ N}}{0,6 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 17,86 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2} = 0,482$$

$$A = 0,7; B = 1,1; C = 0,7$$

więc:

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,482}} = 16,53 > \lambda_c$$

Smukłość elementu nie przekracza smukłości granicznej, tak więc w wymiarowaniu nie uwzględniamy efektów II rzędu.

- mimośród statyczny:

$$e_s = \left| \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \right| = \left| \frac{-133,94 \text{ kNm}}{3157,31 \text{ kN}} \right| = 0,042 \text{ m}$$

- mimośród niezamierzony (techniczny):

$$e_a = \max \left\{ \frac{l_0}{400}; \frac{h}{30}; 20 \text{ mm} \right\} = \max \{ 7 \text{ mm}, 20 \text{ mm}, 20 \text{ mm} \} = 0,02 \text{ m}$$

$$e = e_s + e_a = 0,062 \text{ m}$$

Przyjęto schemat obliczeniowy dla dużego mimośrodu.

$$\xi = 1 \rightarrow \xi = \frac{x_{eff}}{d} \rightarrow x_{eff} = d$$

$$a_1 = a_2 = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$$

$$d = h - a_1 = 0,6 \text{ m} - 0,04 \text{ m} = 0,56 \text{ m}$$

- minimalny stopień zbrojenia:

$$\rho_{min} = \max \left\{ \frac{0,15 N_{Ed}}{f_{yd} b d}; 0,3\% \right\} = \max \left\{ \frac{0,15 \cdot 3157,31 \cdot 1000 \text{ N}}{420 \cdot 1000000 \cdot 0,6 \cdot 0,56}; 0,3\% \right\} \\ = \max \{ 0,34\%; 0,3\% \} = 0,34\%$$

- równanie równowagi:

$$N_{Ed}(e + 0,5h - a_1) = f_{cd} b x_{eff}(d - 0,5x_{eff}) + A_{s2} f_{yd}(d - a_2)$$

Stąd:

$$A_{s2} = \frac{N_{Ed}(e + 0,5h - a_1) - f_{cd} b x_{eff}(d - 0,5x_{eff})}{f_{yd}(d - a_2)} \\ = \frac{3157,31 \text{ kN}(0,062 \text{ m} + 0,6 \text{ m} - 0,04 \text{ m}) - 17,86 \text{ MPa} \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 0,56 \text{ m}(0,56 \text{ m} - 0,5 \cdot 0,56 \text{ m})}{420 \text{ MPa}(0,56 \text{ m} - 0,04 \text{ m})}$$

Założono zbrojenie symetryczne, a więc $A_{s1} = A_{s2} = 12,49 \text{ cm}^2$.

Dobrano **4 pręty #20** ($12,57 \text{ cm}^2$) dla zbrojenia rozciąganego, jak i ściskanego.

4.3. Przekrój 3 – 3.

Dane ogólne:

Przekrój słupa: 600x800 [mm]
Wysokość słupa: $l = 10,00$ [m]

Długość wyboczeniowa słupa (efektywna długość elementu)

$$l_0 = 0,7l$$

[5] Tab. C.1.

$$l_0 = 0,7 \cdot 10,00 \text{ m} = 7,00 \text{ m}$$

Smukłość elementu

$$\lambda_c = \frac{l_0}{i} \geq \lambda_{lim}$$

[EC-2, 5.14]

Promień bezwładności sprawdzanego elementu w stanie niezarysowanym.

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{\frac{bh^3}{12}}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{0,41043 \text{ m}^4}{12}} = 0,231 \text{ m} \quad [2] 3.1$$

więc:

$$\lambda_c = \frac{l_0}{i} = \frac{7,00 \text{ m}}{0,231 \text{ m}} = 30,30 \quad [\text{EC-2}, 5.14]$$

$$M_{Ed} = 76,90 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 3157,31 \text{ kN}$$

Względna siła ściskająca w elemencie

Graniczna smukłość elementu

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}} \quad [\text{EC-2}, 5.13N]$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{3157,31 \cdot 10^3 \text{ N}}{0,6 \text{ m} \cdot 0,9 \text{ m} \cdot 17,86 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2} = 0,368$$

$$A = 0,7; B = 1,1; C = 0,7$$

więc:

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,368}} = 17,77 < \lambda_c = 30,30$$

Smukłość elementu przekracza smukłość graniczną, tak więc w wymiarowaniu uwzględniamy efekty II rzędu.

Uwzględnienie efektów II rzędu metodą nominalnej krzywizny

Moment pierwszego rzędu:

$$M_{0,Ed} = 76,90 \text{ kNm}$$

Wilgotność wewnątrz: RH = 50%

Obwód narażony na wysychanie (odwód całego przekroju)

$$u = 2b + 2h = 1200 \text{ mm} + 1600 \text{ mm} = 2800 \text{ mm}$$

Miarodajny wymiar elementu:

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 4800 \text{ cm}^2}{280 \text{ cm}} = 340 \text{ mm}$$

Efektywny współczynnik pełzania betonu;

$$\varphi_{ef} = 1,0$$

Wpływ pełzania na krzywiznę elementu:

$$K_{\varphi} = 1 + \varphi_{ef} \left(0,35 + \frac{f_{ctk}}{200} + \frac{\lambda_c}{150} \right) = 1 + 1 \left(0,35 + \frac{25}{200} + \frac{30,3}{150} \right) = 1,68 \quad [\text{EC-2}, 3.16]$$

Współczynniki wpływu siły podłużnej:

$$n_{ed} = 1 + \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} = 1 + \frac{(30,79 + 30,79) \cdot 420 \text{ MPa}}{4800 \cdot 17,86 \text{ MPa}} = 0,30$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{3157,31 \text{ kN}}{4800 \text{ cm}^2 \cdot 17,86 \text{ MPa}} = 0,37$$

$$n_{bal} = 0,4 \text{ (wartość sugerowana)}$$

Wpływ siły podłużnej:

$$K_r = \frac{n_{ed} - n}{n_{ed} - n_{bal}} = \frac{0,3 - 0,37}{0,3 - 0,4} = 0,7 \quad [\text{EC-2, 3.14}]$$

Współczynnik krzywizny I rzędu:

$$e_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{420 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0,0021$$

Krzywizna I rzędu:

$$\frac{1}{r_0} = \frac{e_{yd}}{0,43d} = \frac{0,0021}{0,43 \cdot 781 \text{ mm}} = 7,058 \text{ mm}^{-1} \quad [\text{EC-2, 3.13}]$$

$$\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{1}{r_0} = 0,7 \cdot 1,68 \cdot 7,058 \text{ mm}^{-1} = 6,30 \text{ mm}^{-1}$$

Mimośród II rzędu, przyjęto współczynnik $c=10$:

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = \frac{1}{6,30} \cdot \frac{(10000 \text{ mm})^2}{10} = 0,159 \text{ m}$$

Nominalny moment II rzędu:

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 3157,31 \text{ kN} \cdot 0,159 \text{ m} = 502,01 \text{ kNm} \quad [\text{EC-2, 3.10}]$$

Moment obliczeniowy:

$$M_{Ed} = M_{0,Ed} + M_2 = 76,90 + 502,01 = 578,91 \text{ kNm} \quad [\text{EC-2, 3.11}]$$

- mimośród statyczny:

$$e_s = \left| \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \right| = \left| \frac{578,91 \text{ kNm}}{3157,31 \text{ kN}} \right| = 0,183 \text{ m}$$

- mimośród niezamierzony (techniczny):

$$e_a = \max \left\{ \frac{l_0}{400}; \frac{h}{30}; 20 \text{ mm} \right\} = \max \{ 25 \text{ mm}, 25 \text{ mm}, 20 \text{ mm} \} = 0,025 \text{ m}$$

$$e = e_s + e_a = 0,208 \text{ m}$$

Przyjęto schemat obliczeniowy dla dużego mimośrodu.

$$\xi = 1 \rightarrow \xi = \frac{x_{eff}}{d} \rightarrow x_{eff} = d$$

$$a_1 = a_2 = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$$

$$d = h - a_1 = 0,8 \text{ m} - 0,04 \text{ m} = 0,76 \text{ m}$$

- minimalny stopień zbrojenia:

$$\rho_{min} = \max \left\{ \frac{0,15 N_{Ed}}{f_{yd} b d}; 0,3\% \right\} = \max \left\{ \frac{0,15 * 3157,31 * 1000 \text{ N}}{420 * 1000000 * 0,6 * 0,76}; 0,3\% \right\}$$

$$= \max\{0,32\%; 0,3\%\} = 0,32\%$$

- równanie równowagi:

$$N_{Ed}(\varrho + 0,5h - a_1) = f_{cd} b x_{eff}(d - 0,5x_{eff}) + A_{s2} f_{yd}(d - a_2)$$

Stąd:

$$A_{s2} = \frac{N_{Ed}(\varrho + 0,5h - a_1) - f_{cd} b x_{eff}(d - 0,5x_{eff})}{f_{yd}(d - a_2)}$$

$$= \frac{3157,31 \text{ kN}(0,208 \text{ m} + 0,3 \text{ m} - 0,04 \text{ m}) - 17,86 \text{ MPa} \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 0,76 \text{ m}(0,76 \text{ m} - 0,5 \cdot 0,76 \text{ m})}{420 \text{ MPa}(0,76 \text{ m} - 0,04 \text{ m})}$$

Założono zbrojenie symetryczne, a więc $A_{s1} = A_{s2} = 29,75 \text{ cm}^2$.

Dobrano **10 pręty #20** (31,42 cm²) dla zbrojenia rozciąganego, jak i ściskanego.

4.4. Przekrój 4 – 4.

Dane ogólne:

Przekrój słupa: 600x800 [mm]
Wysokość słupa: $l = 10,00$ [m]

Długość wyboczeniowa słupa (efektywna długość elementu)

$$l_0 = 0,7l$$

[5] Tab. C.1.

$$l_0 = 0,7 \cdot 10,00 \text{ m} = 7,00 \text{ m}$$

Smukłość elementu

$$\lambda_c = \frac{l_0}{i} > \lambda_{lim}$$

[EC-2, 5.14]

Promień bezwładności sprawdzanego elementu w stanie niezarysowanym.

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{\frac{bh^3}{12}}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{0,6108 \text{ m}^3}{12}} = 0,231 \text{ m}$$

[2] 3.1

więc:

$$\lambda_c = \frac{l_0}{i} = \frac{7,00 \text{ m}}{0,231 \text{ m}} = 30,30$$

[EC-2, 5.14]

$$M_{Ed} = 11,00 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 3614,80 \text{ kN}$$

Względna siła ściskająca w elemencie

Graniczna smukłość elementu

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}}$$

[EC-2, 5.13N]

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{3157,31 \cdot 10^3 N}{0,6m \cdot 0,6m \cdot 17,86 \cdot 10^6 N/m^2} = 0,381$$

$$A = 0,7; B = 1,1; C = 0,7$$

więc:

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,381}} = 17,77 < \lambda_c = 30,10$$

Smukłość elementu przekracza smukłość graniczną, tak więc w wymiarowaniu uwzględniamy efekty II rzędu.

Uwzględnienie efektów II rzędu metodą nominalnej krzywizny

Moment pierwszego rzędu:

$$M_{0,Ed} = 11,00 kNm$$

Wilgotność wewnątrz: RH = 50%

Obwód narożny na wysychanie (odwód całego przekroju)

$$u = 2b + 2h = 1200mm + 1600mm = 2800mm$$

Miarodajny wymiar elementu:

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 4800 cm^2}{280 cm} = 340 mm$$

Efektywny współczynnik pełzania betonu;

$$\varphi_{ef} = 1,0$$

Wpływ pełzania na krzywiznę elementu:

$$K_{\varphi} = 1 + \varphi_{ef} \left(0,35 + \frac{f_{ck}}{200} + \frac{\lambda_c}{150} \right) = 1 + 1 \left(0,35 + \frac{25}{200} + \frac{30,1}{150} \right) = 1,67 \quad [EC-2, 3.16]$$

Współczynniki wpływu siły podłużnej:

$$n_u = 1 + \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} = 1 + \frac{(30,79 + 30,79) \cdot 420 MPa}{4800 \cdot 17,86 MPa} = 0,30$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{3614,80 kN}{4800 cm^2 \cdot 17,86 MPa} = 0,39$$

$$n_{bal} = 0,4 \text{ (wartość sugerowana)}$$

Wpływ siły podłużnej:

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{0,3 - 0,39}{0,3 - 0,4} = 0,9 \quad [EC-2, 3.14]$$

Współczynnik krzywizny I rzędu:

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{420 MPa}{200 GPa} = 0,0021$$

Krzywizna I rzędu:

$$\frac{1}{r_b} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45d} = \frac{0,0021}{0,45 \cdot 751 \text{ mm}} = 7,058 \text{ m}^{-1} \quad [\text{EC-2, 3.13}]$$

$$\frac{1}{r} = K_r K_{\varphi} \frac{1}{r_b} = 0,9 \cdot 1,67 \cdot 7,058 \text{ m}^{-1} = 10,61 \text{ m}^{-1}$$

Mimośród II rzędu, przyjęto współczynnik $c=10$:

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = \frac{1}{10,61} \cdot \frac{(10000 \text{ mm})^2}{10} = 0,094 \text{ m}$$

Nominalny moment II rzędu:

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 3614,80 \text{ kN} \cdot 0,094 \text{ m} = 339,79 \text{ kNm} \quad [\text{EC-2, 3.10}]$$

Moment obliczeniowy:

$$M_{Ed} = M_{0,Ed} + M_2 = 11,00 + 339,79 = 350,79 \text{ kNm} \quad [\text{EC-2, 3.11}]$$

- mimośród statyczny:

$$e_s = \left| \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \right| = \left| \frac{350,79 \text{ kNm}}{3614,80 \text{ kN}} \right| = 0,097 \text{ m}$$

- mimośród niezamierzony (techniczny):

$$e_a = \max \left\{ \frac{l_0}{400}; \frac{h}{30}; 20 \text{ mm} \right\} = \max \{ 25 \text{ mm}, 25 \text{ mm}, 20 \text{ mm} \} = 0,025 \text{ m}$$

$$e = e_s + e_a = 0,112 \text{ m}$$

Przyjęto schemat obliczeniowy dla dużego mimośrodu.

$$\xi = 1 \rightarrow \xi = \frac{x_{eff}}{d} \rightarrow x_{eff} = d$$

$$a_1 = a_2 = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$$

$$d = h - a_1 = 0,8 \text{ m} - 0,04 \text{ m} = 0,76 \text{ m}$$

- minimalny stopień zbrojenia:

$$\rho_{min} = \max \left\{ \frac{0,15 N_{Ed}}{f_{yd} b d}; 0,3\% \right\} = \max \left\{ \frac{0,15 \cdot 3614,8 \cdot 1000 \text{ N}}{420 \cdot 1000000 \cdot 0,6 \cdot 0,76}; 0,3\% \right\} \\ = \max \{ 0,37\%; 0,3\% \} = 0,37\%$$

- równanie równowagi:

$$N_{Ed} (e + 0,5h - a_1) = f_{cd} b x_{eff} (d - 0,5x_{eff}) + A_{sz} f_{yd} (d - a_2)$$

Stąd:

$$A_{sz} = \frac{N_{Ed} (e + 0,5h - a_1) - f_{cd} b x_{eff} (d - 0,5x_{eff})}{f_{yd} (d - a_2)} \\ = \frac{3614,80 \text{ kN} (0,112 \text{ m} + 0,3 \text{ m} - 0,04 \text{ m}) - 17,86 \text{ MPa} \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 0,76 \text{ m} (0,76 \text{ m} - 0,5 \cdot 0,76 \text{ m})}{420 \text{ MPa} (0,76 \text{ m} - 0,04 \text{ m})}$$

Założono zbrojenie symetryczne, a więc $A_{s1} = A_{s2} = 24,08 \text{ cm}^2$.

Dobrano **8 prętów #20** ($25,13 \text{ cm}^2$) dla zbrojenia rozciąganego, jak i ściskanego.

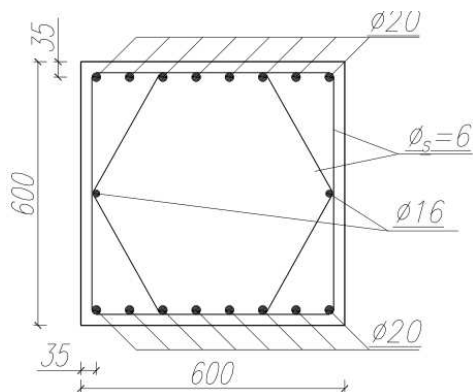
5. ZESTAWIENIE WYNIKÓW WYMIAROWANIA PRZEKROJÓW.

Na podstawie wyników otrzymanych w **pkt. 3** obliczeń sporządzone poniższe zestawienie:

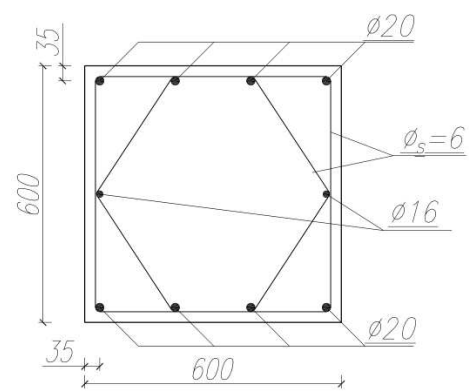
$A_{s1} = A_{s2}$				
przekrój	1 - 1	2 - 2	3 - 3	4 - 4
powierzchnia zbrojenia	$24,06 \text{ cm}^2$	$12,49 \text{ cm}^2$	$29,75 \text{ cm}^2$	$24,08 \text{ cm}^2$

6. DOBÓR ZBROJENIA.

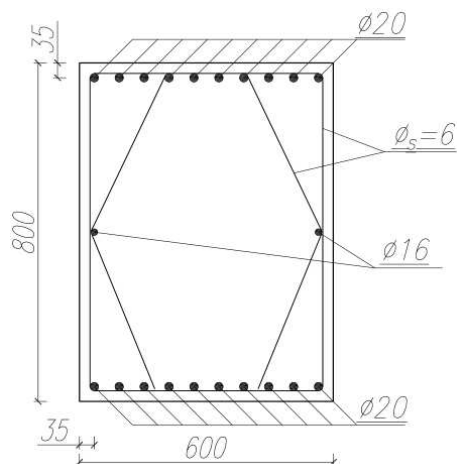
Przekrój 1-1: $24,06 \text{ cm}^2 \rightarrow 8\#20$ ($25,13 \text{ cm}^2$)



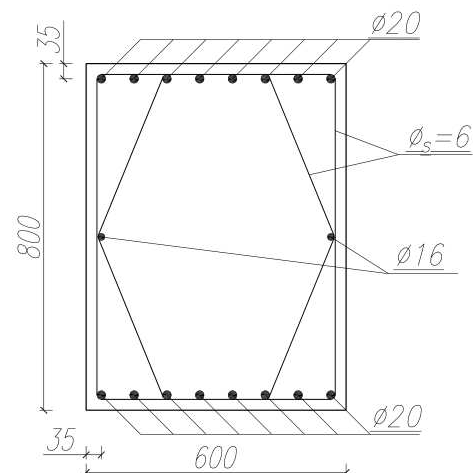
Przekrój 2-2: $12,49 \text{ cm}^2 \rightarrow 4\#20$ ($12,57 \text{ cm}^2$)



Przekrój 3-3: $29,75 \text{ cm}^2 \rightarrow 10\#20$ ($31,42 \text{ cm}^2$)



Przekrój 4-4: $24,08 \text{ cm}^2 \rightarrow 8\#20$ ($25,13 \text{ cm}^2$)



Przyjęto średnicę prętów konstrukcyjnych #16. **UWAGA!** Właściwe rozłożenie prętów przedstawię na rysunku wykonawczym.

7. WYMIAROWANIE ZBROJENIA POPRZECZNEGO.

Zasada zbrojenia strzemionami:

$$s_{ci,max} = \min(20d_{p1}; b; 400\text{mm}) = \min(20 \cdot 20 = 400\text{mm}; 600\text{mm}; 400\text{mm}) = 400\text{mm}$$

[EK2, 9.5.3(3)]

Należy zągęścić o 40% w połączeniach na zakład i przy zmianie wymiarów słupa.

[EK2, 9.5.3(4)]

Średnica strzemion $d > 6\text{mm}$ oraz $0,25 \cdot d_{p1} = 0,25 \cdot 20 = 5\text{mm}$

[EK2, 9.5.3(1)]

Przyjęto:

- średnica $\varnothing 6\text{mm}$, strzemiona dwucięte, miejscami czterocięte

- rozstaw strzemion $s_{ci,max} = 400\text{mm}$; przy zmianie wymiarów słupa i przy zakładach $s_{ci,max} = 240\text{mm}$

8. OBLICZENIOWA DŁUGOŚĆ ZAKOTWIENIA ORAZ DŁUGOŚĆ ZAKŁADU.

- długość zakotwienia

$$l_{brqd} = \frac{\sigma_{zd}}{4f_{bz}} = \frac{\sigma_{yd}}{4f_{bd}} = \frac{20}{4} \cdot \frac{420}{3,16} \cong 650\text{mm}$$

[EK2, 8.3]

$$f_{bd} = 2,21 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,21 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,43 = 3,16$$

[EK2, 8.2]

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \frac{f_{ctk,0,95}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{2,0}{1,4} = 1,43$$

- długość zakładu

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \cdot l_{brqd} > l_{b,min}$$

[EK2, 8.4]

$$\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 = 1,0$$

[EK2, 8.4.1(1)]

$l_{b,min}$

Dla prętów rozciąganych

$$l_{b,min} = \max\{0,3l_{brqd}; 10\varnothing; 100\text{mm}\} = \max\{0,3 \cdot 831 = 250; 10 \cdot 20 = 200; 100\text{mm}\} = 250\text{mm}$$

$$\text{Dla prętów ściskanych} \quad l_{b,min} = \max\{0,6 \cdot 831 = 500; 10 \cdot 20 = 250; 100\text{mm}\} = 500\text{mm}$$

Długość kotwienia oraz zakładu przyjęta ze względu na warunki minimalne.

9. WYMIAROWANIE WSPORNIKA SŁUPA W STADIUM UŻYTKOWANIA.

Geometria wspornika:

$$0,5 < \frac{a_f}{h} = \frac{400\text{mm}}{600\text{mm}} = 0,615 < 2,0$$

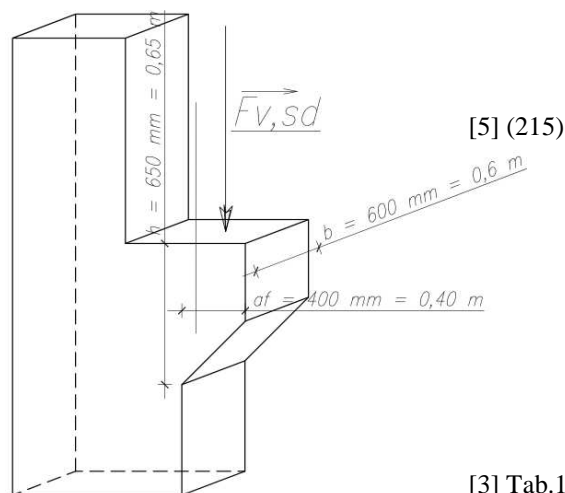
$$b = 600\text{mm} = 0,6\text{m}$$

$$v' = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{25}{250}\right] = 0,54$$

$$d = h - c_{nom} - \phi_{stz} - \frac{\phi_{st}}{2} = 609\text{mm}$$

$$-25\text{mm} - 8\text{mm} - 25\text{mm}/2 = 955\text{mm}$$

Obciążenie wspornika siłą pionową $P_2 = 350\text{ kN}$



[3] Tab.1

$$F_{v,sd} = Q_{r,max}^d = 350,0\text{ kN} \leq v' \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d = 0,54 \cdot 17,86\text{ MPa} \cdot 0,6\text{m} \cdot 0,609\text{m} = 352,06\text{ kN}$$

[5] (215)

Zbrojenie główne:

$$a_1 = \frac{F_{V,sd}}{f_{ctd} \cdot b} = \frac{350 \text{ kN}}{17,96 \text{ MPa} \cdot 0,6 \text{ m}} = 33 \text{ mm} \quad [5] \quad (221)$$

$$a = a_f + 0,5 a_1 = 400 \text{ mm} + 17 \text{ mm} = 417 \text{ mm} \quad [5] \quad (222)$$

$$a_2 = d - \sqrt{d^2 - 2a_1 \cdot a} = 609 \text{ mm} - \sqrt{(609 \text{ mm})^2 - 2 \cdot 33 \text{ mm} \cdot 417 \text{ mm}} = 23 \text{ mm} \quad [5] \quad (223)$$

$$z = d - 0,5 \cdot a_2 = 609 \text{ mm} - 0,5 \cdot 23 = 598 \text{ mm} \quad [5] \quad (224)$$

$$a_H = 0,0 \text{ mm} \quad [5] \quad (224)$$

$$H_{sd} = 0,2 \cdot F_{V,sd} + p_3 = 0,2 \cdot 350,0 \text{ kN} + 65 = 135,0 \text{ kN} \quad [5] \quad (224)$$

$$A_{s,main} \geq \frac{1}{f_{yd}} \left(F_{V,sd} \cdot \frac{a}{z} + H_{sd} \frac{a_H + z}{z} \right) = \frac{1}{420 \text{ MPa}} \left(350,0 \text{ kN} \cdot \frac{400 \text{ mm}}{598 \text{ mm}} + 135,0 \text{ kN} \right) = 8,78 \text{ cm}^2 \quad [5] \quad (232)$$

Przyjęto zbrojenie czterocięte z prętów o średnicy 20mm

$$A_{s,main}^{req} = 8,78 \text{ cm}^2 < A_{s,main}^{prov} = 4\#20 = 12,56 \text{ cm}^2$$

Strzemiona:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{609}} = 1,57 \quad [5] \quad (233)$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}^{prov}}{b \cdot d} = \frac{12,56 \text{ cm}^2}{60 \text{ cm} \cdot 60,9 \text{ cm}} = 0,34\%$$

$$F_{V,sd} = 350,0 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 0,13k(\rho_1 \cdot f_{ctk})^{\frac{1}{3}} b \cdot d = 0,13 \cdot 1,57 \cdot (0,34 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} 0,6 \cdot 0,609 = 152,20 \text{ kN} \quad [5] \quad (235)$$

Strzemiona **poziome**: przyjęto strzemiona czterocięte o średnicy 8mm w dwóch rzędach

$$A_{s,link} = 2 \cdot 4 \cdot 0,4^2 \cdot \pi = 4,01 \text{ cm}^2 \geq k_1 \cdot A_{s,main} = 0,25 \cdot 12,56 \text{ cm}^2 = 3,14 \text{ cm}^2 \quad [5] \quad (237)$$

Strzemiona **pionowe**: przyjęto strzemiona dwucięte o średnicy 8mm

$$A_{s,link} = 2 \cdot 0,4^2 \cdot \pi = 1,00 \text{ cm}^2 \geq \frac{k_2 \cdot F_{V,sd}}{f_{yd}} = \frac{0,5 \cdot 350,0 \text{ kN}}{420 \text{ MPa}} = 0,416 \text{ cm}^2 \quad [5] \quad (236)$$

Dla uproszczenia pomijamy sprawdzenie wspornika na docisk.

10. SPRAWDZENIE STANÓW GRANICZNYCH PRZEKROJÓW SŁUPA W STADIUM REALIZACJI.

10.1. Faza składowania / transportu.

Schemat statyczny i obciążenia.

Słup podzielono na fragmenty jak na rysunku obok:

Obciążenie ciężarem własnym na długości słupa:

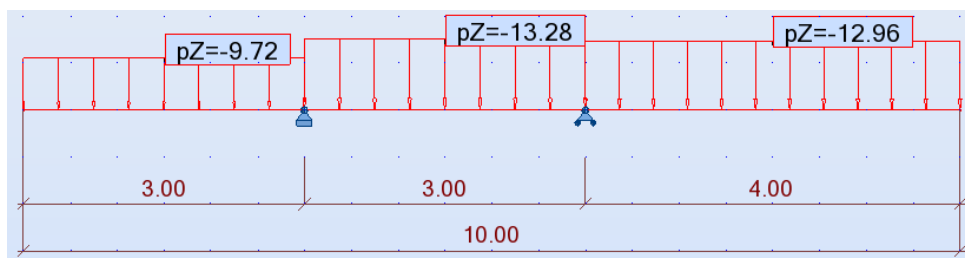
Przyjęto $\gamma_{\text{żelbetu}} = 27 \text{ kN/m}^3$

$$G_1 = 0,6\text{m} \cdot 0,60\text{m} \cdot 27 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 9,72 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

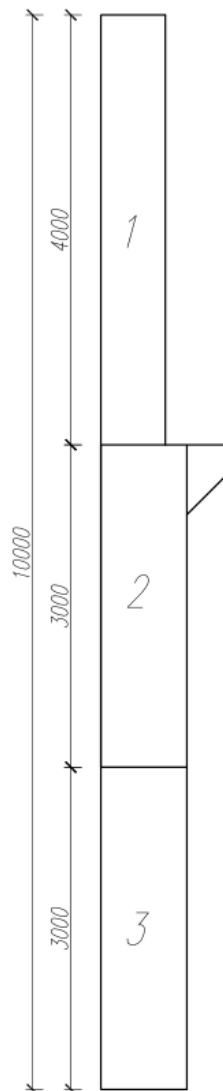
$$G_2 = 0,82\text{m} \cdot 0,60\text{m} \cdot 27 \text{ kN/m}^3 = 13,28 \text{ kN/m}$$

$$G_3 = 0,80\text{m} \cdot 0,60\text{m} \cdot 27 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 12,96 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

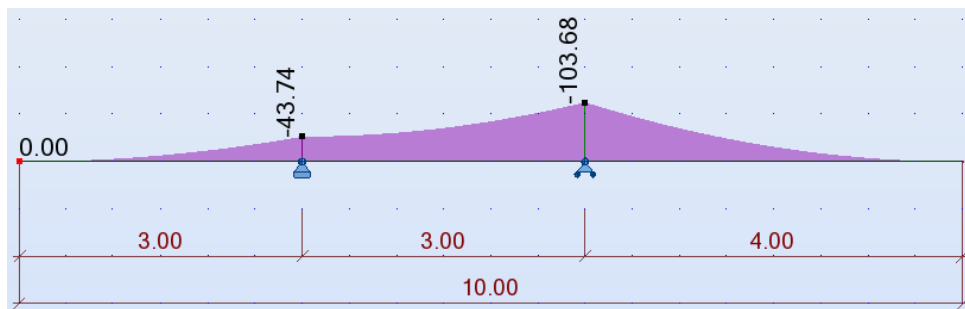
Oraz obciążono jak na rysunku poniżej [6]:



wartości w [kN/m], wymiary w [m]



Otrzymano poniższy wykres momentów zginających [6]:



wartości w [kNm]

Sprawdzenie nośności w przekroju podporowym 1-1.

Przyjęto współczynnik oddziaływań dynamicznych $n_d = 1,4$ i w takim stosunku zostaną zwiększone siły przekrojowe w konstrukcji. [3] Tab. 1

$b=600\text{mm}$

$h=800\text{mm}$

$$d = h - c_{nom} - \phi_{strz} - \frac{\phi_{gl}}{2} = 800mm - 25mm - 6mm - 10mm = 759mm$$

$$a_1 = a_2 = c_{nom} + 0,5 \cdot \phi = 25mm + 10mm = 35mm$$

$$M_{Ed,1} = -43,74 kNm$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,1} \cdot n_d = -81,80 kNm \cdot 1,4 = -61,24 kNm$$

Pole zbrojenia: $A_{s1} = 10\phi 20 = 31,42cm^2$

Suma rzutów sił:

$$f_{cd} \cdot \xi_{eff} \cdot b \cdot d = (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} \quad [7] (3.14)$$

$$\xi_{eff} = \frac{(A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd}}{f_{cd} \cdot b \cdot d} = \frac{(2 \cdot 31,42cm^2) \cdot 420MPa}{17,86MPa \cdot 600mm \cdot 759mm} = 0,324 < \xi_{eff,lim} = 0,5 \quad [7] (3.15)$$

Przyjęto: $\xi_{eff} = 0,324$

Suma momentów względem A_{s1} :

$$M_{b,Rd} = f_{cd} \cdot b \cdot d^2 \cdot \xi_{eff} \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi_{eff}) + A_{s2} \cdot (d - a_2) \cdot f_{yd} =$$

$$17,86 \cdot 0,6m \cdot (0,759m)^2 \cdot 0,324(1 - 0,5 \cdot 0,423) + 31,42cm^2(0,759m - 0,035m) \cdot 420MPa =$$

$$1215,53kNm > M_{Ed} = 61,24 kNm \quad [7] (3.18)$$

Warunek nośności został spełniony. Przekrój podporowy 1-1 jest bezpieczny w fazie składowania i transportu.

Sprawdzenie nośności w przekroju podporowym 2-2.

Przyjęto współczynnik oddziaływań dynamicznych $n_d = 1,4$ i w takim stosunku zostaną zwiększone siły przekrojowe w konstrukcji. [3] Tab. 1

$$b=600mm$$

$$h=600mm$$

$$d = h - c_{nom} - \phi_{strz} - \frac{\phi_{gl}}{2} = 600mm - 25mm - 6mm - 10mm = 559mm$$

$$a_1 = a_2 = c_{nom} + 0,5 \cdot \phi = 25mm + 10mm = 35mm$$

$$M_{Ed,1} = -103,68 kNm$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,1} \cdot n_d = -103,68 kNm \cdot 1,4 = -145,15 kNm$$

Pole zbrojenia: $A_{s1} = 4\phi 20 = 12,57cm^2$

Zbrojenie rozciągane równe zbrojeniu ściskanemu co do powierzchni: $A_{s1} = A_{s2}$

[7] Rys. 3.10

Suma rzutów sił:

$$f_{cd} \cdot \xi_{eff} \cdot b \cdot d = (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} \quad [7] (3.14)$$

$$\xi_{eff} = \frac{(A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd}}{f_{cd} \cdot b \cdot d} = \frac{(2 \cdot 12,57cm^2) \cdot 420MPa}{17,86MPa \cdot 600mm \cdot 559mm} = 0,176 < \xi_{eff,lim} = 0,5 \quad [7] (3.15)$$

Przyjęto: $\xi_{eff} = 0,176$

Suma momentów względem A_{z1} :

$$M_{b,Rd} = f_{cd} \cdot b \cdot d^2 \cdot \xi_{eff} \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi_{eff}) + A_{sz} \cdot (d - a_s) \cdot f_{yd} =$$

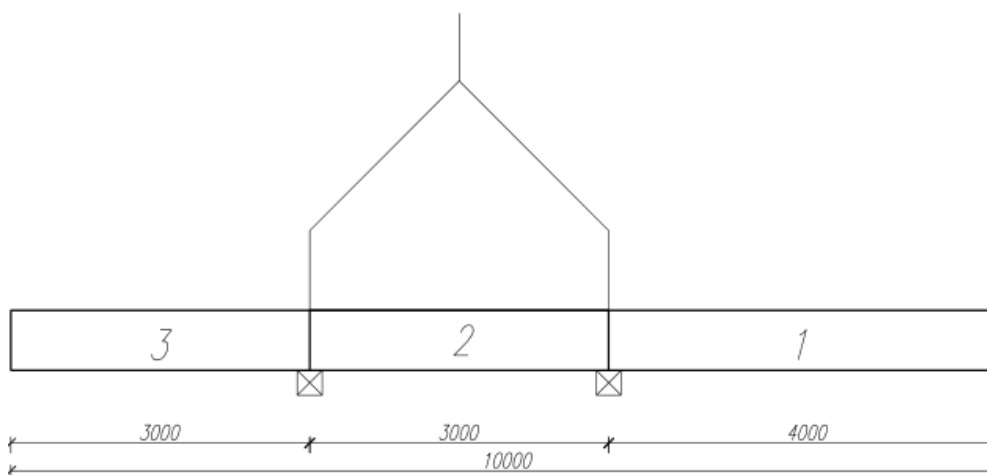
$$17,86 MPa \cdot 0,6m \cdot (0,559m)^2 \cdot 0,176(1 - 0,5 \cdot 0,176) + 12,57 cm^2(0,559m - 0,035m) \cdot 420 MPa =$$

$$814,122 kNm > M_{Ed} = 145,15 kNm$$

[7] (3.18)

Warunek nośności został spełniony. Przekrój podporowy 2-2 jest bezpieczny w fazie składowania i transportu.

10.2. FAZA PODNOSZENIA / MONTAŻU.



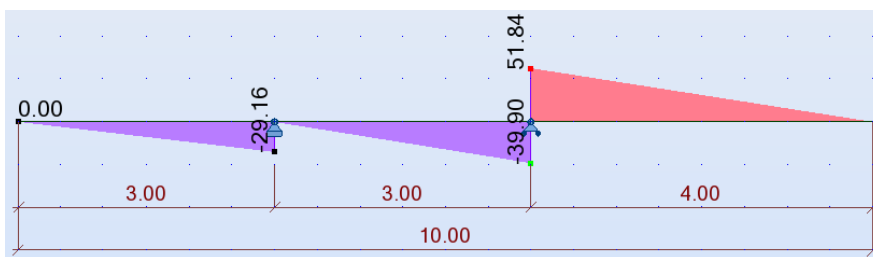
Widok słupa wraz z punktami zaczepu oraz zawiesiem.
Słup leży na boku. Wymiary w [mm].

Pole powierzchni bocznej słupa:

$$A = 0,6m \cdot 10,0m = 6m^2$$

Siły ścinające: [6]

[pkt. 10.1]



$$Q_{max} = 51,84 \text{ kN}$$

Przyjęto współczynnik oddziaływań dynamicznych $n_d = 1,4$ i w takim stosunku zostaną zwiększone oddziaływania w konstrukcji.

$$Q = Q_{max} \cdot 1,4 = 51,84 \text{ kN} \cdot 1,4 = 72,58 \text{ kN}$$

Wyliczenie ciężaru słupa:

$$\text{Przyjęto } \gamma_{z\text{elbetu}} = 27 \text{ kN/m}^3$$

$$G_1 = 0,6m \cdot 0,60m \cdot 27 \frac{kN}{m^3} = 9,72 \frac{kN}{m}$$

[pkt. 10.1]

$$G_2 = 0,82m \cdot 0,60m \cdot 27 \text{ kN/m}^3 = 13,28 \text{ kN/m}$$

$$G_3 = 0,80m \cdot 0,60m \cdot 27 \frac{kN}{m^3} = 12,96 \frac{kN}{m}$$

$$G_{słupa} = G_1 \cdot 4m + G_2 \cdot 3m + G_3 \cdot 3m = 117,6 kN/m$$

Przyjęto współczynnik oddziaływań dynamicznych $n_d = 1,4$ i w takim stosunku zostaną zwiększone oddziaływania w konstrukcji.

$$G'_{słupa} = G_{słupa} \cdot 1,4 = 117,6 \frac{kN}{m} \cdot 1,4 = 164,64 kN$$

Dobór haka

Całkowita siła w haku:

$$P = \frac{(G_{słupa} + Q)}{z} \quad [7] (4.76)$$

gdzie: P – całkowita siła w haku [kN]

$$P = \frac{(G_{słupa} + Q)}{z} = \frac{(164,64kN + 72,59kN)}{z} = 118,61kN \cong 120 kN$$

Wymagana nośność haka to 120 kN czyli 12 t.

Dobrano hak gwintowany falowy długi firmy Pfeifer:

model: 05.017.423

materiał: ocynk

typ: Rd 42

nośność: 125,0 kN

długość: 800 mm



[9]

11. RYSUNEK ROBOCZY SŁUPA.

Rysunek roboczy słupa wykonano w skali 1:20, natomiast przekroje słupa oraz szczegóły w skali 1:10.

Rysunek został załączony osobno jako rys. 1.

Do wykonania rysunku skorzystano z materiałów źródłowych [8].