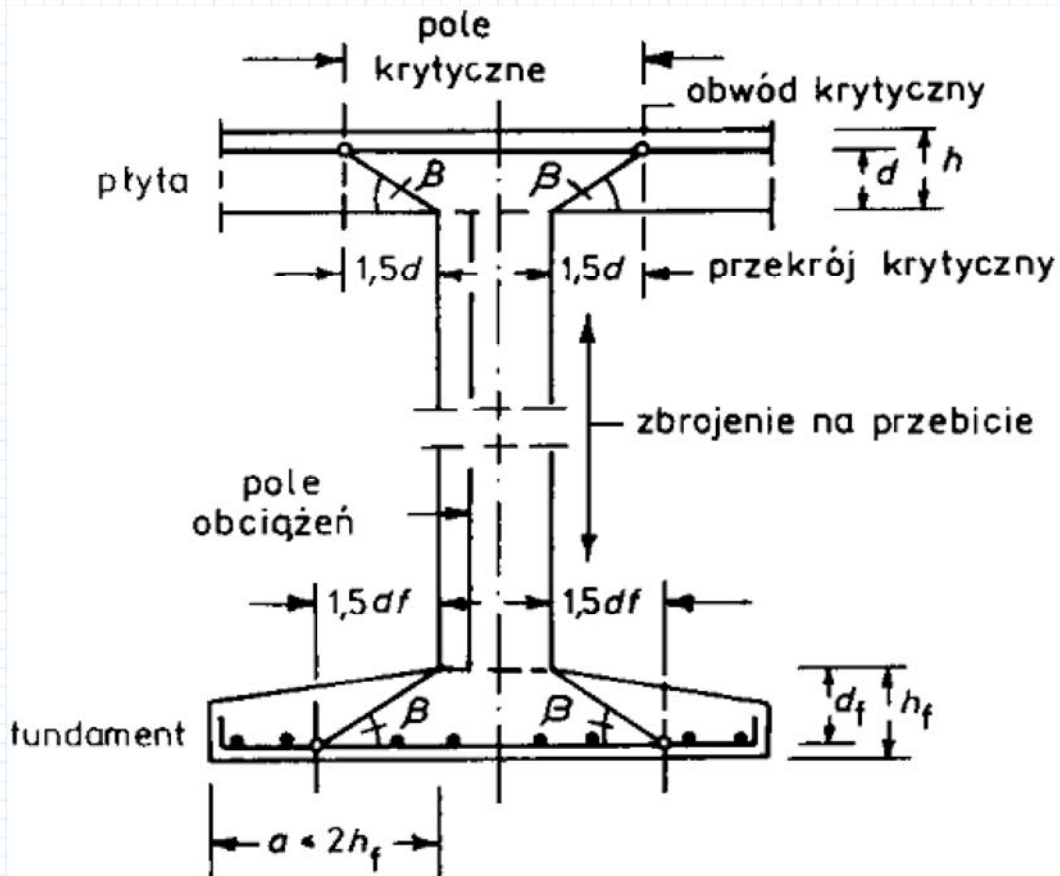


1. Przebicie

1.1. Postanowienia ogólne

Przebicie występuje w konstrukcji obciążonej w sposób skupiony lub w wyniku działania reakcji – na małej powierzchni płyty żelbetowej lub fundamentu. Powierzchnię działania obciążenia nazywa się polem obciążenia. Rozkład sił skupionych w płycie lub fundamencie następuje pod kątem $\beta = \arctg(2/3) = 33,7^\circ$.

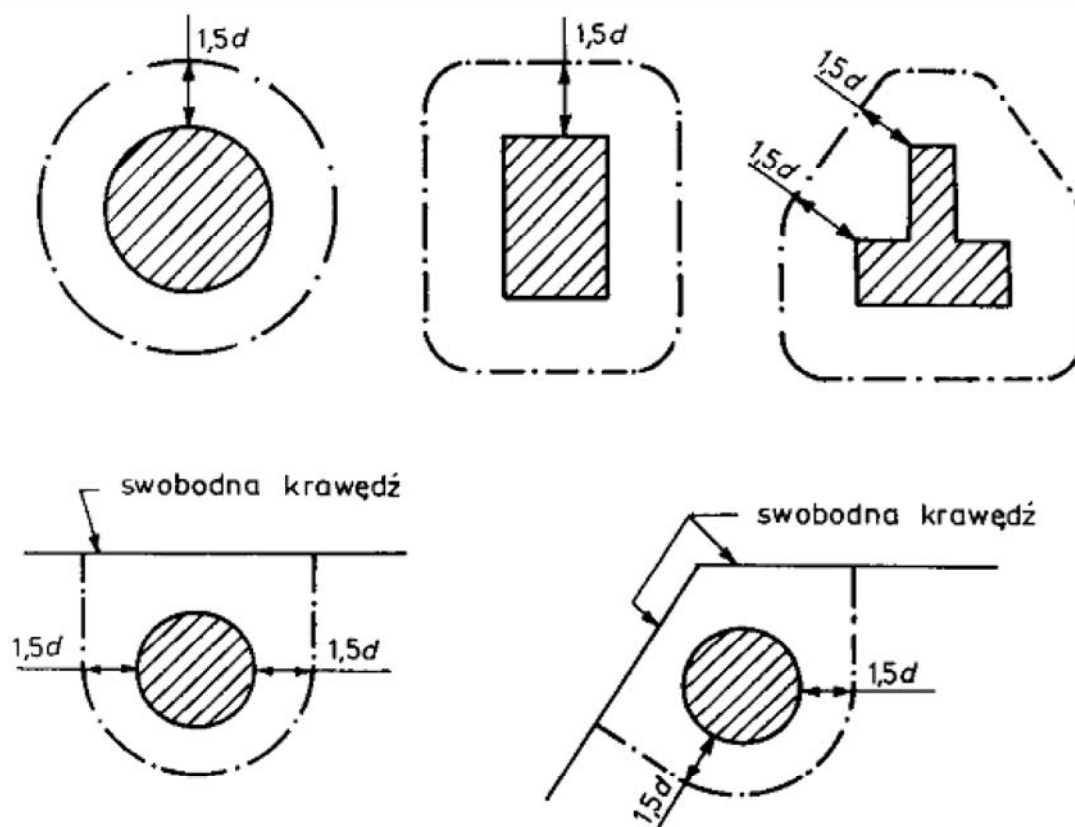


Rys. 1.1 Schemat założeń obliczeniowych podczas sprawdzania płyt i fundamentów na przebicie, Rys.11.1 [1]

1.2. Rozkład obciążeń i podstawowy obwód kontrolny

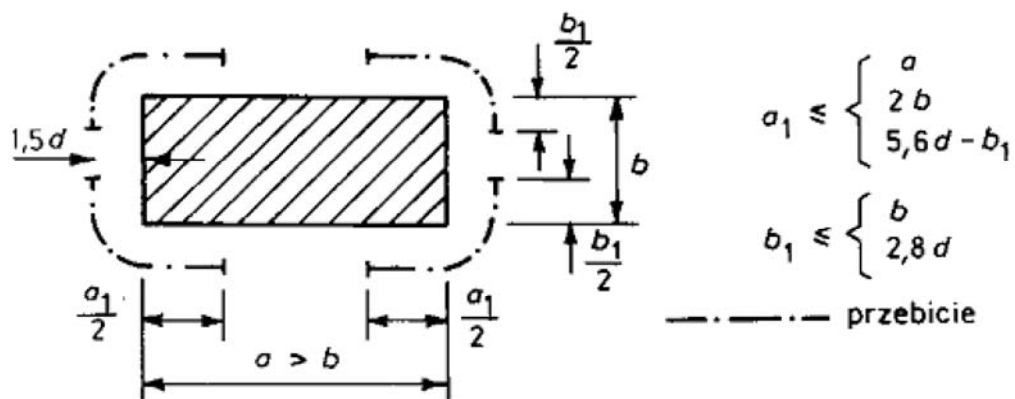
W wyniku rozkładu sił skupionych powstaje krytyczne, ograniczone obwodem krytycznym. Wzdłuż obwodu krytycznego jest wyznaczony przekrój krytyczny, obejmujący całą wysokością użyteczną przekroju d . W przypadku płyt o zmiennej wysokości (np. w płycie fundamentowej) przekrój ten przyjmuje się, jako prostopadły do rozciąganej powierzchni płyty.

Obwód krytyczny wyznacza się jako obiegający pole obciążenia w odległości $1,5d$. Zakłada się, że pole obciążenia nie znajduje się w zakresie oddziaływania innych sił skupionych. Jako regularne przyjmuje się okrągłe lub prostokątne pole obciążenia, o obwodzie nie większym niż $11d$ i stosunku boków $\leq 2,0$ (lub dowolny kształt, odpowiadający podanym wymiarom).



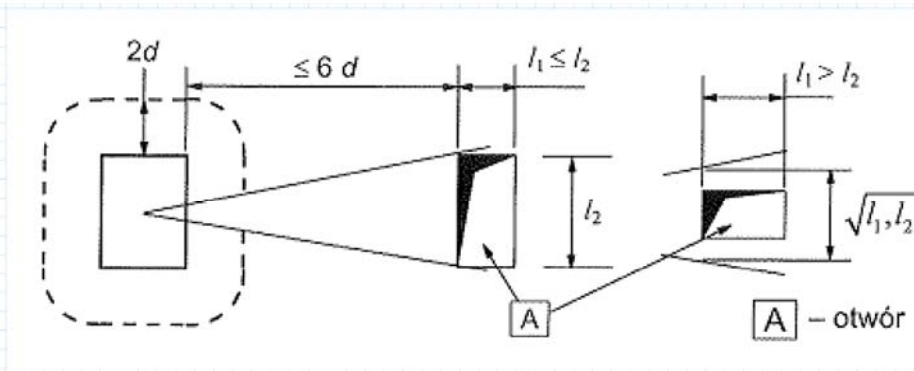
Rys. 1.2 Wyznaczenie obwodów krytycznych w przypadkach regularnych lub odpowiadającym polom regularnym polom obciążenia, Rys. 11.2 [1]

Jeżeli występuje oparcie płyty na ścianach lub słupach, nie spełniających przedstawionych warunków, to obwód krytyczny ustala się w sposób pokazany na Rys. 9.3



Rys. 1.3 Wyznaczenie obwodu krytycznego w płytach opartych na ścianach lub słupach nie spełniających warunków z Rys. 9.2, Rys. 11.3 [1]

Gdy pole obciążone jest usytuowane jest w pobliżu otworu w odległości nie przekraczającej $4d$, wtedy część obwodu krytycznego, zawarta między wychodzącymi ze środka pola obciążenia liniami stycznymi do obrysu otworu, jest uznana za nie efektywną



Rys. 1.4 Zasada ustalania obwodu krytycznego pola obciążenia znajdującego się w pobliżu otworu, Rys. 6.14 [N.4]

Sprawdzenie nośności płyty fundament na przebiecie umożliwia ustalenie, czy grubość tych elementów jest wystarczająca, aby beton przeniósł siły ścinające wywołane przebieciem. W innym przypadku (w razie braku dostatecznej nośności betonu) jest konieczne wykonanie głowicy lub zbrojenia poprzecznego. Siła poprzeczna wywołana obciążeniem skupionym, odniesiona do jednostki długości obwodu krytycznego, wynosi:

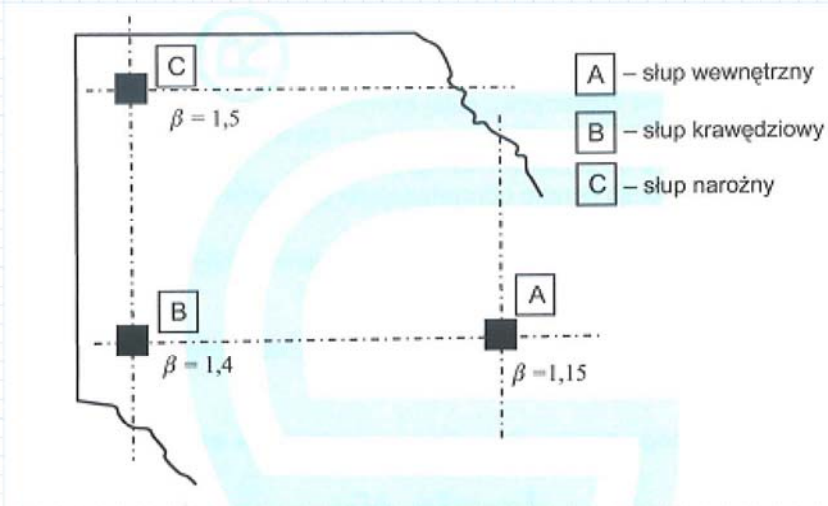
$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot \beta}{u_i \cdot d}$$

gdzie: V_{Ed} – całkowita obliczeniowa siła poprzeczna

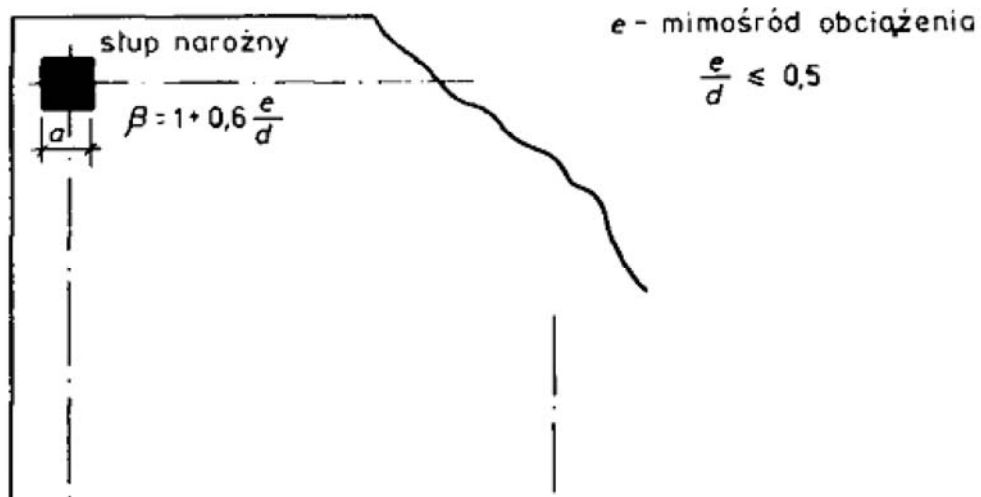
u_i – długość obwodu krytycznego

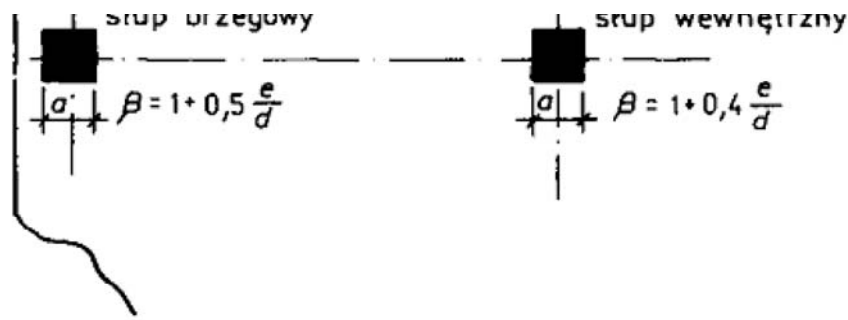
d – średnia wysokość użyteczna płyty

β – współczynnik uwzględniający wpływ mimośrodu przyłożenia obciążenia (gdy brak mimośrodu, należy wtedy przyjąć $\beta=1,0$)



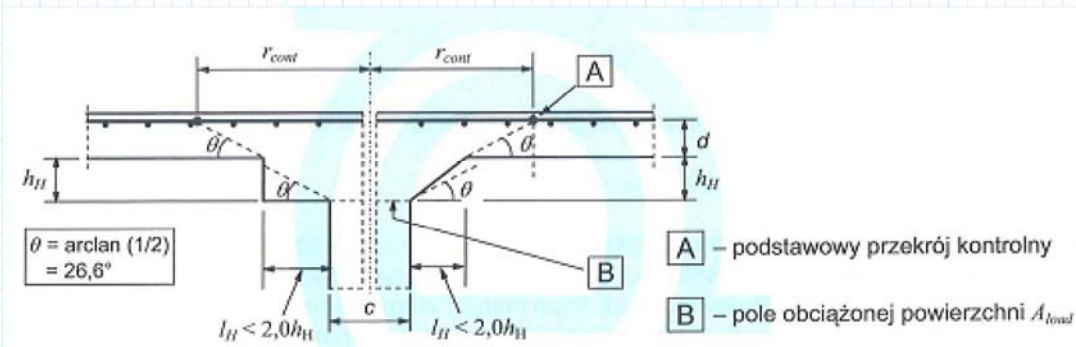
Rys. 1.5 Zalecane wartości β , Rys. 6.14 [N.4]





Rys. 1.6 Zasada ustalania wartości β dla słupów w zależności od ich położenie w konstrukcji, Rys. 11.5 [1]

Zastosowanie głowic umożliwia przeniesienie znacznie zwiększonych obciążeń skupionych. Przekrój krytyczny wyznacza się różnie, w zależności od kształtu i wymiarów głowicy. Gdy występuje przypadek $l_H < 2,0 h_H$ lub kąt nachylenia głowicy jest większy niż β , ustala się wtedy r_{cont} jak na rys. 9.7



Rys. 1.7 Płyta oparta na głowicy szerszej niż słup, $l_H < 2h_H$, rys. 6.17 [N.4]

W płytach opartych na okrągłych głowicach słupów, w których $l_H < 2,0 h_H$ sprawdzenie naprężeń stycznych przy przebiciu jest potrzebne w przekroju kontrolnym leżącym na zewnątrz czola słupa. Odległość tego przekroju od środka słupa r_{cont} można obliczyć ze wzoru:

$$r_{cont} = 2d + l_H + 0,5c$$

gdzie:

c – jest średnicą słupa

Dla prostokątnego słupa z prostokątną głowicą $l_H < 2,0 h_H$, mający wymiar l_1 i l_2

$$l_1 = c_1 + 2l_{H1}$$

$$l_2 = c_2 + 2l_{H2}$$

$$l_1 \leq l_2$$

Wartość r_{cont} można przyjąć jako mniejsza z:

$$r_{cont} = 2d + 0,56\sqrt{l_1 l_2}$$

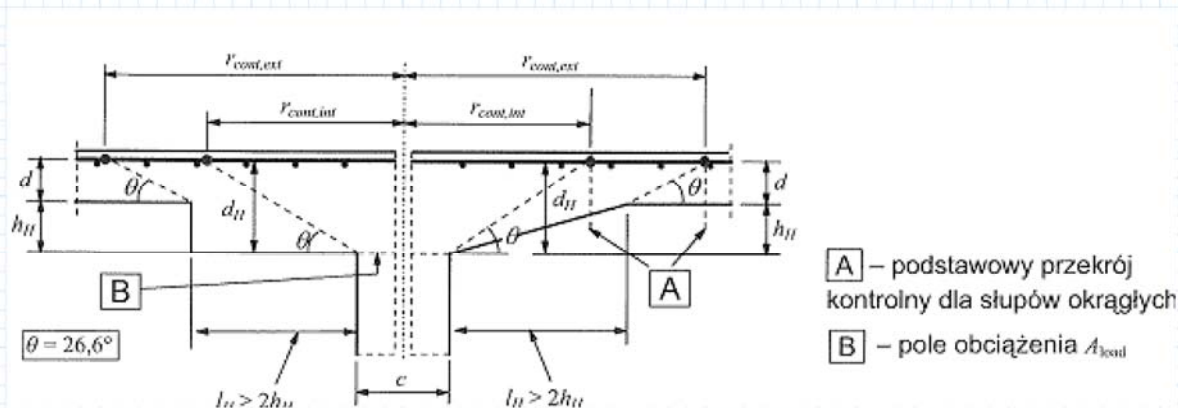
oraz

$$r_{cont} = 2d + 0,69l_1$$

Jeżeli $l_H < 2,0 h_H$ to w płytach z głowicami należy sprawdzić przekroje kontrolne leżące zarówno w głowicach, jak i w płycie. Odległości od środka słupa do przekrojów kontrolnych w słupach okrągłych można przyjmować jako:

$$r_{cont,ext} = l_H + 2d + 0,5c$$

$$r_{cont,int} = 2(d + h_H) + 0,5c$$



Rys. 1.8 Płyta oparta na głowicy szerszej niż słup, $l_H > 2h_H$, rys. 6.18 [N.4]

1.3. Procedura obliczania na ścinanie przy przebiciu

Metoda obliczeń ze względu na ścinanie przy przebiciu opiera się na sprawdzeniu na obwodzie słupa i na podstawowym obwodzie kontrolnym u_1 . Jeżeli zbrojenie na ścinanie nie jest potrzebne, to należy znaleźć taki obwód $u_{out,ef}$, poza którym zbrojenie na ścinanie nie jest już

wymagane. Definiuje się następujące graniczne naprężenia styczne wzdłuż przekrojów kontrolnych.

$V_{Rd,c}$ – jest obliczeniową wytrzymałością na ścinanie płyty bez zbrojenia na przebicie wzdłuż rozważanego przekroju kontrolnego

$V_{Rd,cs}$ – jest obliczeniową wytrzymałością na ścinanie płyty ze zbrojeniem na przebicie wzdłuż rozważanego przekroju kontrolnego

$V_{Rd,max}$ – jest obliczeniową, maksymalną wytrzymałością na ścinanie wzdłuż rozważanego przekroju kontrolnego

Przy obwodzie słupa należy:

- sprawdzić, czy nie są przekroczone maksymalne naprężenia ścinające, czyli $V_{Ed} < V_{Rd,max}$ (w innym przypadku trzeba zwiększyć przekrój)

W kolejnych obwodach:

- określić czy wymagane jest zbrojenie poprzeczne na przebicie, czyli $V_{Ed} < V_{Rd,c}$
- gdy wymagane jest zbrojenie poprzeczne na przebicie, przyjąć zbrojenie takie, aby

$$V_{Ed} < V_{Rd,cs}$$

1.4. Nośność na ścinanie przy przebiciu płyt i stóp fundamentowych bez zbrojenia na ścinanie

Nośność na ścinanie płyty należy sprawdzić w podstawowym przekroju kontrolnym .

Obliczeniowa wytrzymałość na ścinanie przy przebiciu określa wzór:

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \left(1000 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \right)^{\frac{1}{3}} + k_l \cdot \sigma_{cp}$$

lecz nie mniej niż

w. 6.47 [N.4]

$$(V_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp})$$

gdzie:

f_{ck} – jest wyrażona w MPa

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}, \text{ lecz nie więcej niż } 2,0 \text{ (d podstawia się w mm)}$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1y} \rho_{1z}}, \text{ lecz nie więcej niż } 0,02$$

ρ_{1y}, ρ_{1z} - odnoszą się do rozciąganego zbrojenia płyty, mającego przyczepność do betonu, odpowiednio w kierunku y i z. ρ_{1y} i ρ_{1z} należy obliczać jako wartości średnie na odcinku równym szerokości słupa zwiększonej o $3d$ po każdej stronie.

Naprężenie σ_{cp} wyznaczasie ze wzoru:

$$\sigma_{cp} = 0,5 \cdot (\sigma_{cy} + \sigma_{cz}) \quad \text{p. 6.4.4 [N.4]}$$

gdzie:

σ_{cy}, σ_{cz} – są naprężeniami normalnymi w betonie w przekroju krytycznym w kierunkach y i z

$$\sigma_{cy} = \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}} \quad \sigma_{cz} = \frac{N_{Ed,z}}{A_{cz}}$$

$N_{Ed,y}, N_{Ed,z}$ - są siłami podłużnymi zebranymi z całej szerokości przęsta dla słupów wewnętrznych i siłami podłużnymi zebranymi z szerokości przekroju kontrolnego dla słupów krawędziowych; siła może być wywołana obciążeniem lub sprężeniem

A_c – oznacza pole przekroju betonu odpowiadające określeniu N_{Ed}

$$C_{Ed,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$$

$$k_1 = 0,1$$

Nośność fundamentów słupów na przebicie (przez ścinanie) należy sprawdzić na obwodach kontrolnych leżących na granicach $2d$ od skraju słupa. W przypadku obciążenie działającego osiowo siłę netto wyznacza się ze wzoru:

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}$$

wz. 6.48 [N.4]

gdzie:

V_{Ed} – jest przyłożoną siłą ścinającą

ΔV_{Ed} – jest siłą netto skierowaną ku górze, działającą w granicach rozważanego obwodu kontrolnego tzn. siłą wywołaną przez działający na fundament nacisk gruntu pomniejszony o ciężar własny fundamentu

Średnie naprężenie styczne w przekroju kontrolnym V_{Ed} i naprężenia graniczne V_{Rd} oblicza się ze wzorów:

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed.red}}{ud} \quad \text{wz. 6.49 [N.4]}$$

$$V_{Rd.c} = C_{Rd.c} \cdot k \cdot (1000 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{2 \cdot d}{a}$$

lecz nie mniej niż

$$\left(V_{min} \cdot \frac{2 \cdot d}{a} \right)$$

w. 6.50 [N.4]

gdzie:

a – oznacza odległości od skrau słupa do rozważanego obwodu kontrolnego

Przy obciążeniu mimośrodowym stosuje się wzór:

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed.red}}{ud} \cdot \left(1 + k \cdot \frac{M_{Ed} \cdot u}{V_{Ed.red} \cdot W} \right) \quad \text{wz. 6.51 [N.4]}$$

gdzie:

u – jest długością podstawowego obwodu kontrolnego

W – odpowiada rozkładowi naprężeń stycznych i jest funkcją podstawowego obwodu kontrolnego u

1.5. Nośność na ścinanie przy przebicciu płyt i stóp fundamentowych ze zbrojeniem na ścinanie

$$V_{Rd.cs} = 0.75 \cdot V_{Rd.c} + 1.5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd.ef} \cdot \frac{1}{u_l \cdot d} \cdot \sin \alpha \quad \text{wz. 6.52 [N.4]}$$

gdzie:

A_{sw} – oznacza pole powierzchni jednego obwodu zbrojenia na ścinanie dookoła słupa (mm^2)

s_r – oznacza promieniowy rozstaw obwodów zbrojenia na ścinanie

$f_{ywd.ef}$ – oznacza efektywną wytrzymałość obliczeniową zbrojenia na ścinanie przy przebicciu

$f_{ywd.ef} = 250 + 0.25d$ lecz nie więcej niż f_{ywd} (MPa)

d – oznacza średnią z wysokości użytecznych dwóch ortogonalnych kierunków (mm)

α – oznacza kąt między zbrojeniem na ścinanie i płaszczyzną płyty

W obszarze przylegającym do słupa powinna być spełniona nierówność:

$$V_{Ed} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 \cdot d} \leq V_{Rd,max} \quad \text{wz. 6.53 [N.4]}$$

w której:

- dla słupa wewnętrznego u_0 oznacza długość obwodu słupa
- dla słupa krawędziowego - $u_0 = c_2 + 3d$ lecz nie więcej niż $(c_2 + 2c_1)$
- dla słupa narożnego - $u_0 = 3d$ lecz nie więcej niż $(c_1 + c_2)$
- c_1, c_2 – są wymiarami słupa

Długość obwodu kontrolnego u_{out} poza którym zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane oblicza się ze wzoru:

$$u_{out} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{V_{Rd.c} \cdot d} \quad \text{wz. 6.54 [N.4]}$$

2. Opis techniczny.

2.1. Podstawa opracowania.

Podstawę opracowania stanowi:

- projekt architektoniczny budynku
- aktualne normy projektowe
- literaturę techniczną

2.2. Przedmiot i zakres opracowania.

Przedmiotem opracowania jest część konstrukcyjna budynku biurowo-usługowego mającego powstać w Balicach w gminie Zabierzów (działki nr 706/2, 706/3, 707/2 i 707/3).

Zakres opracowania obejmuje wykonanie modelu obliczeniowego projektowanego budynku, zestawieni obciążeń sił działających na konstrukcje oraz analizę statyczną. Przeprowadzone zostaną również obliczenia wytrzymałościowe płyty stropowej w poz. +3,38, podciągu w osi D oraz słupa ze stopą fundamentową na skrzyżowaniu osi C i osi 4.

2.3. Opis warunków geotechnicznych.

W miejscu posadowienia obiektu wyodrębniono dwie warstwy geotechniczne występujące przemiennie. Pierwszą warstwę stanowią pyły w stanie twardoplastycznym o $I_L=0,20$ Warstwa ta ma miąższość 2,10 m. Pod nią zalegają pyły w stanie plastycznym o $I_L=0,35$ o miąższości 2,00 m. Poniżej znajdują się ponownie pyły twardoplastyczne o $I_L=0,20$ (warstwa ta nie została przewiercona). Podczas badań geologiczno-inżynierskich nie stwierdzono wody gruntowej.

2.4. Opis konstrukcji.

Budynek administracyjny zaprojektowano jako dwukondygnacyjny, niepodpiwniczony. Układ konstrukcyjny budynku stanowi ustrój płytowo-słupowy. Płyty stropowe opierają się na słupach żelbetowych oraz poprzez ukryte wieńce na ścianach zewnętrznych oraz na ścianach klatki schodowej. Strop międzykondygnacyjny oraz stropodach pogrążony stanowią monolityczne płyty żelbetowe grubości 25 cm.

Wymiary projektowanego budynku w osiach 21,60 m. na 11,10m. Poziom $\pm 0,00=236,15$ m n.p.m..

2.5. Opis elementów konstrukcyjnych budynku.

Fundamenty

Przyjęto posadowienie na ławach betonowych oraz stopach fundamentowych na głębokości 1,1 m ppt. Wszystkie ławy mają wysokość 40 cm i szerokości 100 cm. Stopy i ławy zaprojektowano jako schodkowe, pełnej powierzchni podstawy odpowiada wysokość 30 cm, w górnej części powierzchnia fundamentów została uszczuplona. Ławy wykonane są z betonu C 25/30 o szczelności W8. Dodatkowo ławy zostały za zbrojone kierunku podłużnym po $8\varnothing 16$, w kierunku poprzecznym strzemiona $\varnothing 6$ co 25 cm oraz dołem $\varnothing 12$ co 20 cm. Pręty główne należy łączyć w narożach oraz u zbiegu ław na zakład 100 cm. Zaprojektowano stopy fundamentowe pod słupami zewnętrznymi i wewnętrznymi o wymiarach

260x260 cm i grubości 60 cm. Zbrojenie stóp stanowi siatka z prętów $\varnothing 16$ o oczkach 22x12cm. Ściany fundamentowe betonowe do wysokości -0,17 m szerokości 30 cm za zbrojone w kierunku poziomym i pionowym przy obu powierzchniach prętami $\varnothing 10$ co 25 cm. Pręty należy łączyć na zakłady długości 60 cm. Do zbrojenia przewidziano stal AIIIIN Rb500W. Pod fasadę oraz w celu spięcia fundamentów przewidziano ławę-ściąg żelbetowy o szerokości 44 cm i wysokości 64 cm zbrojony dołem i górą po 3 $\varnothing 16$, strzemiona $\varnothing 8$ co 25 cm.

Przed wykonaniem ław należy położyć warstwę chudego betonu gr 10 cm.

Przed zabetonowaniem fundamentów należy zainstalować łączniki do słupów oraz zbrojenie poprzeczne ścian fundamentowych.

W celu zabezpieczenia gruntów spoistych przed nawodnieniem i pogorszeniem ich parametrów nośności warstwę chudego betonu należy ułożyć niezwłocznie po wykonaniu wykopów w gruntach spoistych oraz zapewnić skuteczne odwodnienie wykopów. Wykopy powinny być odebrane przez uprawnionego geologa.

Ściany

Zewnętrzne ściany wykonane są z pustaków MAX grubości 29 cm. Docieplenie stanowi 10 cm warstwa wełny mineralnej wykończona tynkiem cienkowarstwowym. Ściany wewnętrzne nośne klatki schodowej również gr. 29 cm. Ściany działowe szkieletowe z płyt g-k na ruszcie stalowym. Ze względu na duże rozpiętości płyt nie wolno stosować ścianek działowych murowanych.

Strop i stropodach

Strop międzykondygnacyjny oraz płytę stropodachu stanowi monolityczna płyta żelbetowa grubości 25 cm. Zbrojenie przewidziano ze stali AIIIIN RB500W o średnicy 12 i 16 mm. Rozstaw prętów jest wynosi 8 lub 15 cm dla prętów dolnych i 15 cm dla prętów górnych. Przyjęto beton C30/37. Płyty należy zbroić zgodnie z informacjami zawartymi w części obliczeniowej oraz na rysunkach konstrukcyjnych. Płyty opierają się poprzez wieńce ukryte na ścianach nośnych, na belce krawędziowej o przekroju 30x50 cm oraz na słupach wewnętrznych.

Słupy

Słupy zewnętrzne pod belką krawędziową w pobliżu osi A zaprojektowano o przekroju 30x30 cm. Słupy wewnętrzne mają przekrój o wymiarach 30x30 cm. Zbrojenie słupów stanowią pręty $\varnothing 16$ w ilości 4, 6 lub 8 sztuk w zależności od wyężenia słupa. Zbrojenie poprzeczne stanowią strzemiona $\varnothing 8$ rozstawione w zasadniczej części słupa co 20 cm.

Wieńce

Wieńce

Wieńce zewnętrzne oraz wewnętrzne szerokości 29 cm i wysokości 25 cm wykonane jako ukryte w płycie z betonu C30/37 i zbrojone stalą AIIIIN RB500W. Zbrojenie główne stanowią 4 pręty \varnothing 12. Zbrojenie poprzeczne stanowią strzemiiona z prętów \varnothing 8 co 25 cm.

Nadproża

Nadproża w ścianach nośnych żelbetowe monolityczne o przekroju 29x40 cm, zbrojone dołem 3 prętami o średnicy 16 mm.

Schody

Schody żelbetowe, płytowe, monolityczne, trójbiegowe. Bieg dolny opiera się na ścianie fundamentowej oraz spocznikiem między piętrowym na ścianie nośnej, bieg górny opiera się spocznikiem między piętrowym na ścianie nośnej oraz na belce ukrytej w poziomie stropu. Płyta grubości 14 cm, wymiary stopni 16,7x30,5 cm, w biegach dolnym i górnym znajduje się po 9 stopni, w biegu środkowym 3 stopnie, szerokość biegów w stanie surowym 120 cm. Beton C30/37, zbrojenie główne \varnothing 10 co 15 cm, rozdzielcze \varnothing 6 co 25 cm. Stal A-IIIIN Rb 500W.

Otulinie prętów zbrojeniowych

W projekcie przewidziano grubość otulenia dla wszystkich elementów konstrukcyjnych z wyjątkiem fundamentów równa 3,5 cm. W fundamentach przewidziano otulinę 5 cm.

Konstrukcja wsporcza przekrycia nad klatką schodową

Konstrukcję wsporczą przekrycia nad klatką schodową wykonano z rur prostokątnych o przekroju 100x50x4 mm. Konstrukcja mocowana jest w wieńcu 4 kotwami MST-M8/10w każdym połączeniu. Pokrycie stanowi blacha TR 40/183 gr 0,63 mm mocowana w każdej fali wkrętami samowiercącymi \varnothing 6.

Attyki

Attyki należy wykonać jako murowane o szerokości 30 cm. Nad ścianami klatki schodowej attyki należy zwieńczyć wieńcem żelbetowym o przekroju 30x25 cm zbrojonym w kierunku podłużnym 4 \varnothing 10 oraz w kierunku poprzecznym strzemiionami \varnothing 6 co 25 cm. Do wieńca mocować należy konstrukcję wsporczą przekrycia klatki schodowej.

2.6. Uwagi i zalecenia.

- Wszelkie wątpliwości i niejasności w trakcie realizacji należy bezzwłocznie skonsultować z projektantem.
- Po wykonaniu wykopów pod fundament złożyć do odbioru przez geologa celem porównania

zalegającego gruntu z przyjętym w projekcie.

- Elementy stalowe zabezpieczyć atestowanymi powłokami antykorozyjnymi.
- Roboty budowlane wykonać zgodnie ze sztuką budowlaną i warunkami normowymi, pod nadzorem osób uprawnionych.
- Materiały budowlane muszą posiadać wymagane atesty i odpowiadać wymaganym normom.

2.7. Materiały.

Beton C25/30 (fundamenty)

C30/37 (pozostałe)

Stal zbrojeniowa – AIIIIN Rb500W

Elementy stalowe – St3S

Muryz pustaków Porotherm

Nadproża żelbetowe

3. Zestawienie Obciążeń

3.1. Współczynniki bezpieczeństwa

Współczynniki bezpieczeństwa dla obciążeń stałych:

$\gamma_{G.sup} := 1.35$

dla efektów niekorzystnych:

$$\gamma_{G.inf} := 1.00$$

dla efektów korzystnych:

Współczynniki bezpieczeństwa dla obciążeń zmiennych:

$$\gamma_Q := 1.50$$

dla efektów niekorzystnych:

Współczynniki bezpieczeństwa dla obciążenia wiatrem i śniegiem:

$$\gamma_{ws} := 1.50$$

dla efektów niekorzystnych:

3.2. Zestawienie obciążeń na stropodach

3.2.1 Obciążenia stałe

1. płyta żelbetowa

$$h_1 := 0.25 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_1 := 25 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

ciężar objętościowy wg tabl. A.1 [N.2]

$$G_1 := h_1 \cdot \gamma_1 = 6.25 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

2. warstwa spadkowa (beton lekki)

$$h_2 := 0.08 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_2 := 15 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

ciężar objętościowy dla klasy gęstości LC 1,4 wg tabl. A.1 [N.2]

$$G_2 := h_2 \cdot \gamma_2 = 1.2 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

3. 2xpapa termozgrzewalna

$$h_3 := 0.004 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_3 := 13 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

ciężar objętościowy wg danych producenta

$$G_3 := 2 \cdot h_3 \cdot \gamma_3 = 0.104 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

4. Polistylen ekstrudowany

$$h_4 := 0.16 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_4 := 0.5 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

ciężar objętościowy wg danych producenta

$$G_4 := h_4 \cdot \gamma_4 = 0.08 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

5. Żwir

$$h_5 := 0.06 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_5 := 18 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

ciężar objętościowy wg tabl. A.7 [N.2]

$$G_5 := h_5 \cdot \gamma_5 = 1.08 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

6. Płyty betonowe

$$h_6 := 0.04 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_6 := 25 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

ciężar objętościowy wg tabl. A.1 [N.2]

$$G_6 := h_6 \cdot \gamma_6 = 1 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

Suma obciążeń

$$G_{st.k} := G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 = 9.714 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

$$G_{st.d} := G_{st.k} \cdot \gamma_{G.sup} = 13.114 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia obliczeniowego

3.2.2 Obciążenia zmienne (technologiczne)

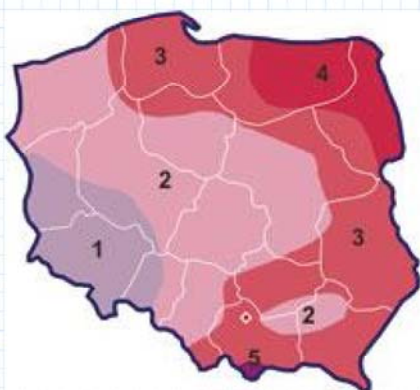
$$Q_{st.k} := 0.2 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego wg tabl. 6.10 [N.2]

$$Q_{st.d} := Q_{st.k} \cdot \gamma_Q = 0.3 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia obliczeniowego

3.2.3. Obciążenia zmienne (śnieg)



Strefa	$s_s, kN/m^2$
1	$0.007A - 1.4; s_s \geq 0.70$
2	0.9
3	$0.006A - 0.6; s_s \geq 1.2$
4	1.6
5	$0.93 \exp(0.00134A); s_s \geq 2.0$

UWAGA: A = Wysokość nad poziomem morza (m)

Rys. 3.2.3.1 Podział Polski na strefy obciążenia śniegiem gruntu - rys. NB.1 [N.3]

wartość obciążenia śniegiem gruntu (strefa 3 - Kraków):

wartość obciążenia śniegiem gruntu (strefa 3 - Kraków):

$$A_{\text{Kraków}} := 236.15 \quad \text{m n.p.m.}$$

$$s_k := (0.006 \cdot A_{\text{Kraków}} - 0.6) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad s_k = 0.817 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Kąt spadku dachu α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	--

Tabl. 3.2.3.1 Współczynnik kształtu dachu wg tabl. 5.2. [N.3]

$$\mu_1 := 0.8$$

współczynnik kształtu dachu
(dach płaski)

$$C_e := 1.0$$

współczynnik ekspozycji (teren normalny),
tabl. 5.1 [N.3]

$$C_t := 1$$

współczynnik termiczny (dach ocieplony),
p. 5.2. [N.3]

$$s_k := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0.654 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

$$s_d := s_k \cdot \gamma_{\text{ws}} = 0.98 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

wartość obciążenia obliczeniowego

3.3. Zestawienie obciążeń na strop

3.3.1 Obciążenia stałe

1. płyta żelbetowa

$$h_1 := 0.25 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_1 := 25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

ciężar objętościowy, tabl. A.1 [N.2]

$$G_1 := h_1 \cdot \gamma_1 = 6.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

2. styropian FS20 / tłumiący kroki

$$h_2 := 0.05 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_2 := 0.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

ciężar objętościowy wg danych producenta

$$G_2 := h_2 \cdot \gamma_2 = 0.025 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

3. wylewka cementowa

$$h_3 := 0.05 \cdot m$$

grubość warstwy

$$h_3 := 0.05 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_3 := 22 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

ciężar objętościowy, tabl. A.7 [N.2]

$$G_3 := h_3 \cdot \gamma_3 = 1.1 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

4. wykładzina przemysłowa

$$h_4 := 0.005 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_4 := 5.9 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

ciężar objętościowy wg danych producenta

$$G_4 := h_4 \cdot \gamma_4 = 0.03 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

Suma obciążeń

$$G_{s.k} := G_1 + G_2 + G_3 + G_4 = 7.405 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

$$G_{s.d} := G_{s.k} \cdot \gamma_{G.sup} = 9.996 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia obliczeniowego

3.3.2 Obciążenia zmienne (technologiczne)

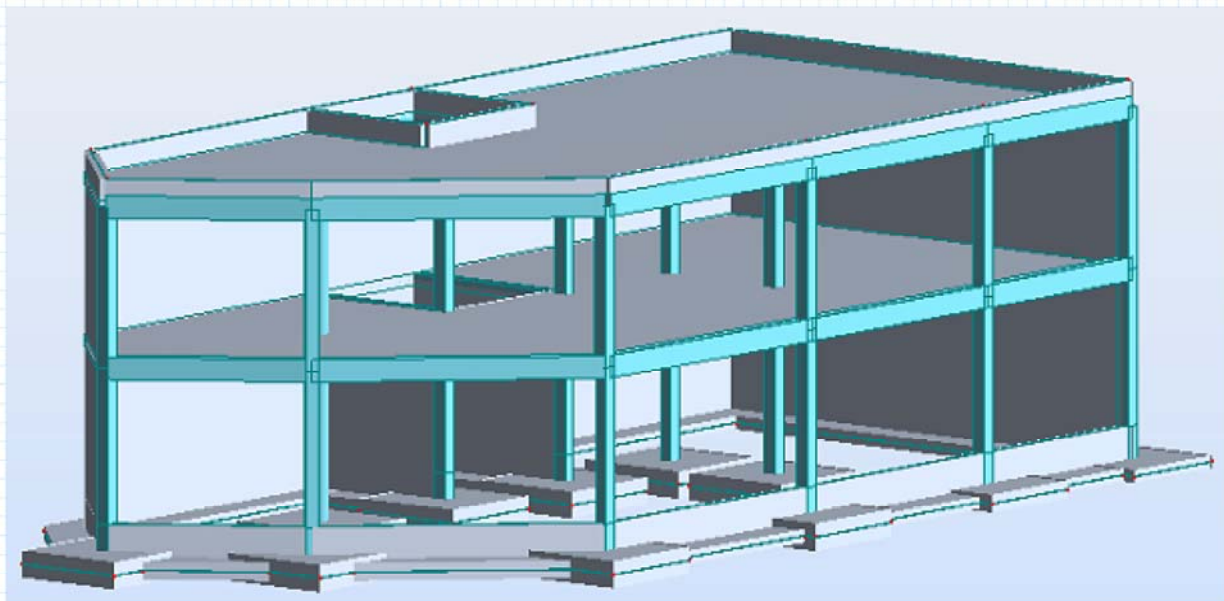
$$Q_{s.k} := 4 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenie charakterystycznego, tabl. 6.10 [N.2]

$$Q_{s.d} := Q_{s.k} \cdot \gamma_Q = 6 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia obliczeniowego

4. Wykonanie modelu konstrukcji budynku w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011

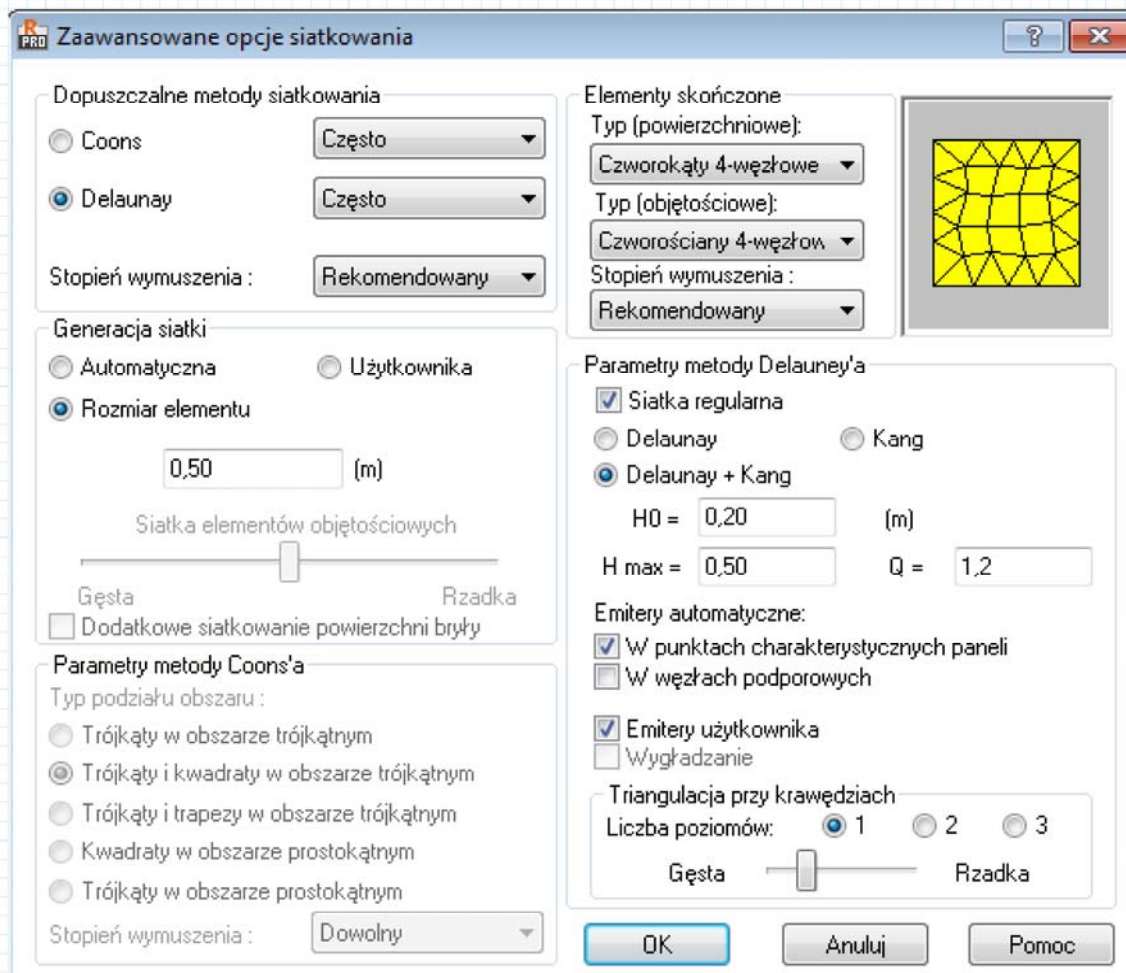


Rys. 4.1 Model budynku

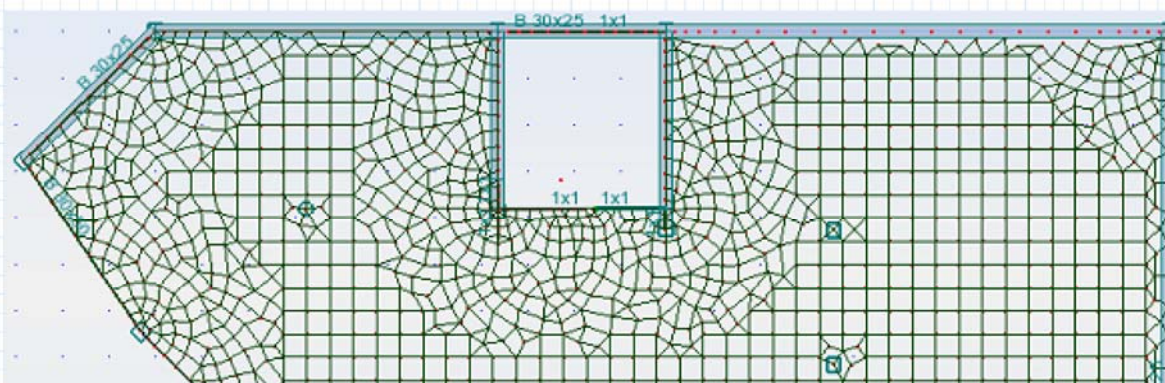
Do wykonania modelu konstrukcji użyto programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011. Użyty program jest programem graficznym służącym do modelowania, analizowania oraz wymiarowania różnych rodzajów konstrukcji. Program posłużył do stworzenia przestrzennej konstrukcji, obciążeniu jej oraz obliczeniu, dzięki czemu wygenerowano mapy i wykresy sił potrzebnych do zwymiarowania analizowanej konstrukcji

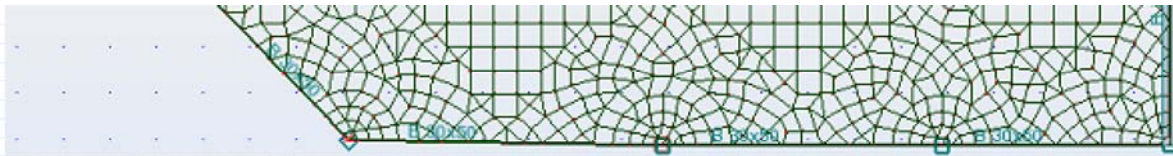
W celu otrzymania dokładnych wyników użyto dodatkowych funkcji programy takich jak:

1. Siatkowanie, wszystkie elementy powierzchniowe obliczane są metodą elementów skończonych. Do obliczeń wybrano złożony rodzaj siatkowania metodą Delauney'a wraz z opcją Kang która uwzględnia Emitery (węzły w których siatka będzie zagęszczana) w punktach charakterystycznych. Wielkość podstawowa oczek siatki wynosi $0,5 \times 0,5$ [m], wielkość minimalna oczka siatki to $0,2$ [m].



Rys. 4.2 Zrzut szczegółów ustawień siatki MES z programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011



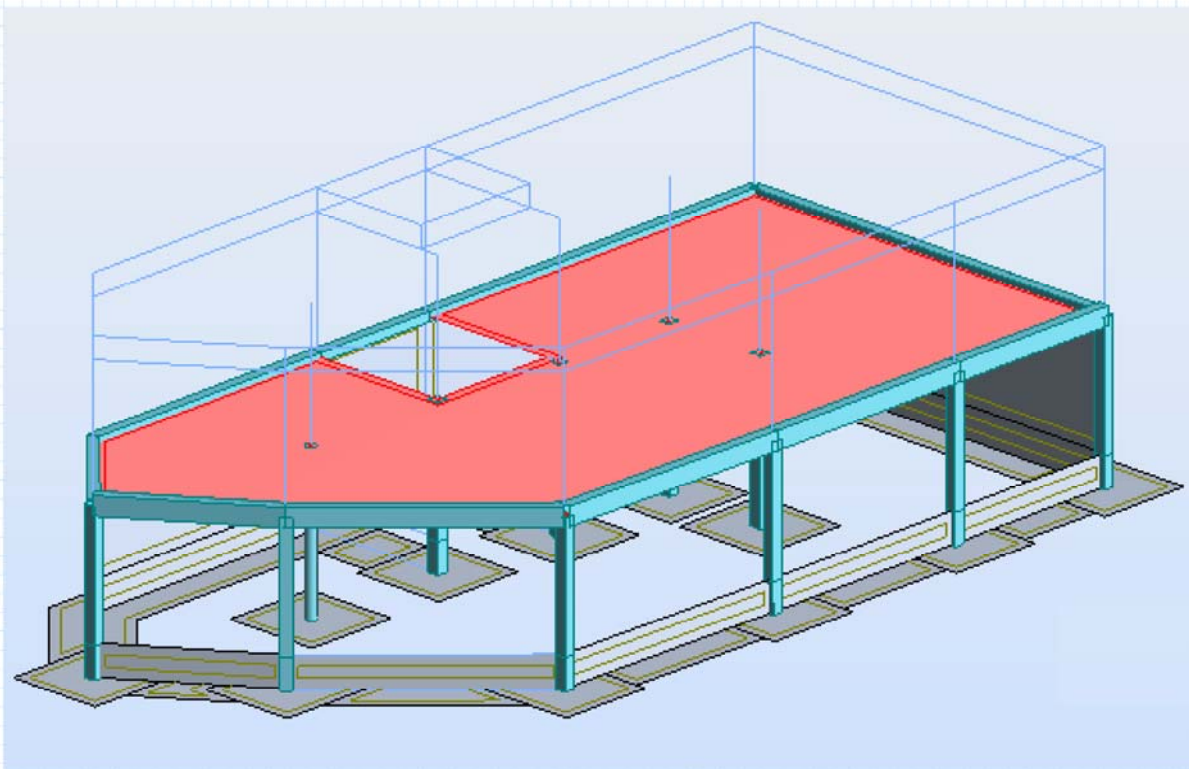


Rys. 4.3 Zrzut płyty stropowej z narzuconą siatką MES

2. Redukcja sił nad ścianami i słupami, słup posiada swój konkretny przekrój, lecz przy obliczeniach MES występuje on jako jeden punkt. Powoduje to dość silną koncentrację sił tylko w jednym punkcie. Użycie tej funkcji spowodowało wyświetlenie wartości momentów w ten sposób, że w obszarze przekroju słupa znajdują się będą wielkości uśrednione do wartości z krawędzi tego słupa.
3. W celu obliczeń wzgenerowano kombinacje automatyczne kompletne, zgodne z normą PN-EN 1990:2002. Do obliczeń wykorzystano kombinacje SGN oraz SGU i przedstawiono w formie graficznej.

Konstrukcję nośną budynku zamodelowano jako szkielet składający się ze stóp fundamentowych, ław fundamentowych, słupów, belek oraz stropów. Słupy zostały rozmieszczone w sposób nieregularny. Budynek posiada dwie kondygnacje. Elementy zaprojektowano jako panele o grubości 25 cm. Słupy, jak i belki krawędziowe zamodelowano jako elementy prętowe lecz podzielono je na typy: słup żelbetowy i belka żelbetowa. Słupom nadano wymiary 30x30 cm a belką krawędziowym 30x50cm. Stopy fundamentowe zamodelowane zostały jako panele o wymiarach 2,6x2,6 m i grubości 60 cm. Wokół budynku zaprojektowano ławę o przekroju teowym. W budynku została zaprojektowana ściana murowana która została zamodelowana jako panel o grubości 29 cm oraz zostały mu nadane cechy odpowiadające cechą ściany murowanej. Na połączeniu ścian ze stropem zaprojektowano wieniec żelbetowy o wymiarach 25x29 cm.

5. Wymiarowanie płyty stropowej



Rys. 5.1 Model wymiarowanej płyty

- **Parametry przekroju:**

$$h_f := 25 \cdot \text{cm}$$

grubość płyty

$$b := 100 \cdot \text{cm}$$

rozpatrywana szerokość przekroju

- **Materiały:**

Beton C30/37:

$$f_{ck} := 30 \cdot \text{MPa}$$

charakterystyczna wytrzymałość betonu, tabl. 3.1. [N.4]

$$\alpha_{cc} := 1$$

jest współczynnikiem stosowanym w celu uwzględnienia efektów długotrwałych oraz niekorzystnych, p. 3.1.6 [N.4]

$$\gamma_c := 1.4$$

współczynnikiem częściowym zastosowanym do betonu, tabl. NA.2 [N.4]

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 21.429 \text{ MPa}$$

obliczeniowa wytrzymałość betonu, wz. 3.15. [N.4]

$$f_{cm} := f_{ck} + 8 \cdot \text{MPa} = 38 \text{ MPa}$$

średnia wartość wytrzymałości walcowej betonu na ściskanie, wz. wg tabl. 3.1. [N.4]

$$f_{ctm} := 0.3 \cdot \text{MPa} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{2}{3}} = 2.896 \text{ MPa}$$

średnia wytrzymałość na rozciąganie, wz. wg tabl. 3.1. [N.4]

$$f_{ctk} := 2 \cdot \text{MPa}$$

charakterystyczna wytrzymałość betonu na rozciąganie, tabl. 3.1. [N.4]

$$f_{ctd} := \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = 1.429 \text{ MPa}$$

obliczeniowa wytrzymałość betonu na rozciąganie

$$E_{cm} := 32 \cdot \text{GPa}$$

moduł sprężystości betonu, tabl. 3.1. [N.4]

$$\varepsilon_{cu} := 0.35\%$$

graniczne odkształcenie betonu, tabl. 3.1. [N.4]

Stal AIIIIN RB500W:

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

charakterystyczna granica plastyczności stali

$$\gamma_s := 1.15$$

współczynnikiem częściowym zastosowanym do stali, tabl. NA.2 [N.4]

$$E_s := 200 \cdot \text{GPa}$$

charakterystyczna granica plastyczności

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$$

obliczeniowa granica plastyczności stali

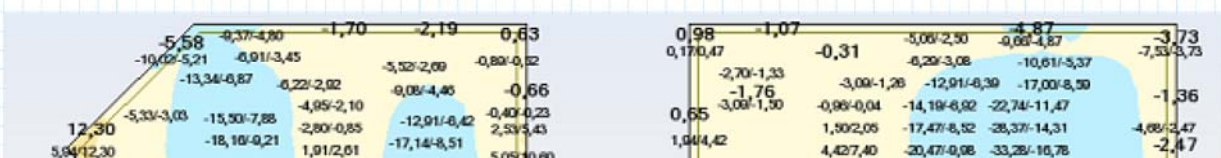
$$\varepsilon_s := \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.217 \text{ 1\%}$$

moduł sprężystości

$$\xi_{eff,lim} := 0.8 \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_s} \right) = 0.493$$

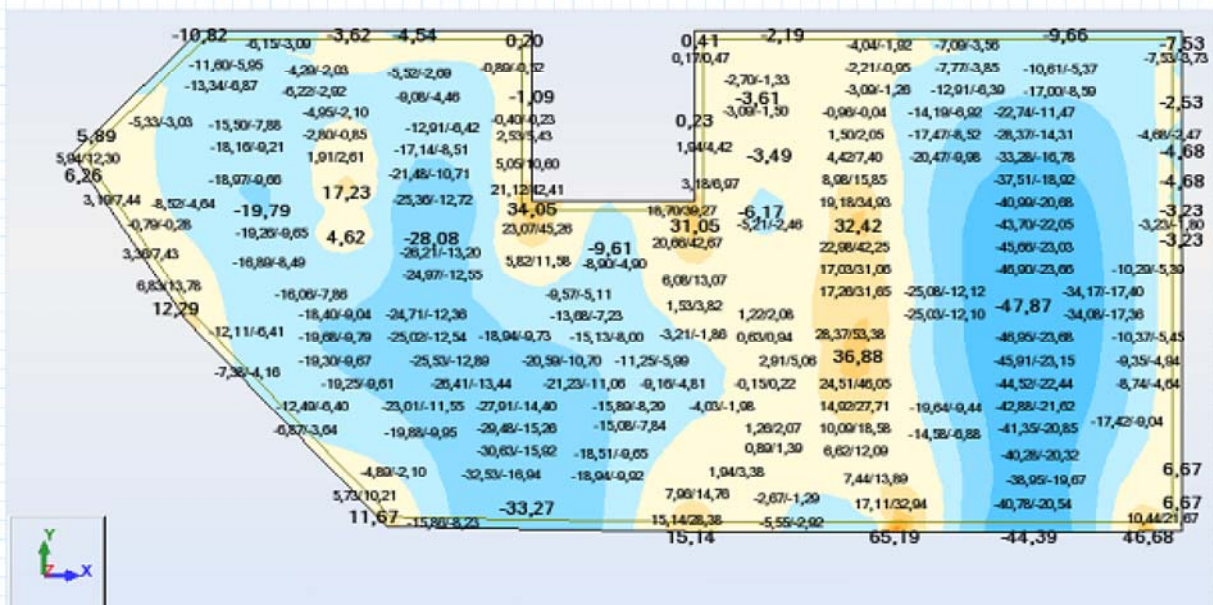
graniczna wartość względnej wysokości strefy ściskanej

5.1. Mapy momentów uzyskane dla płyty stropowej - SGN

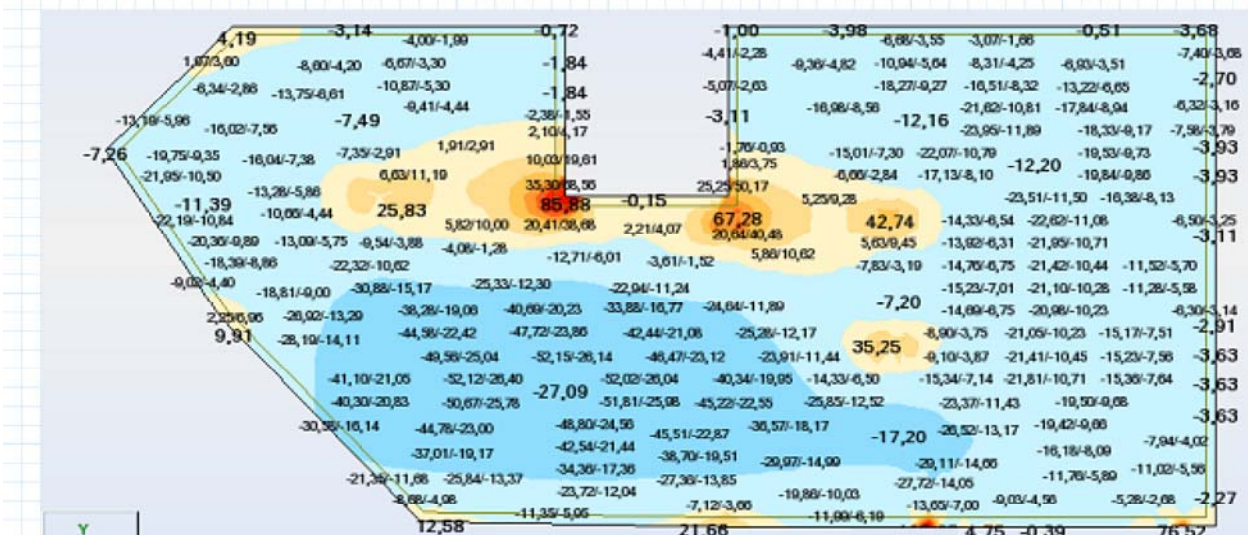




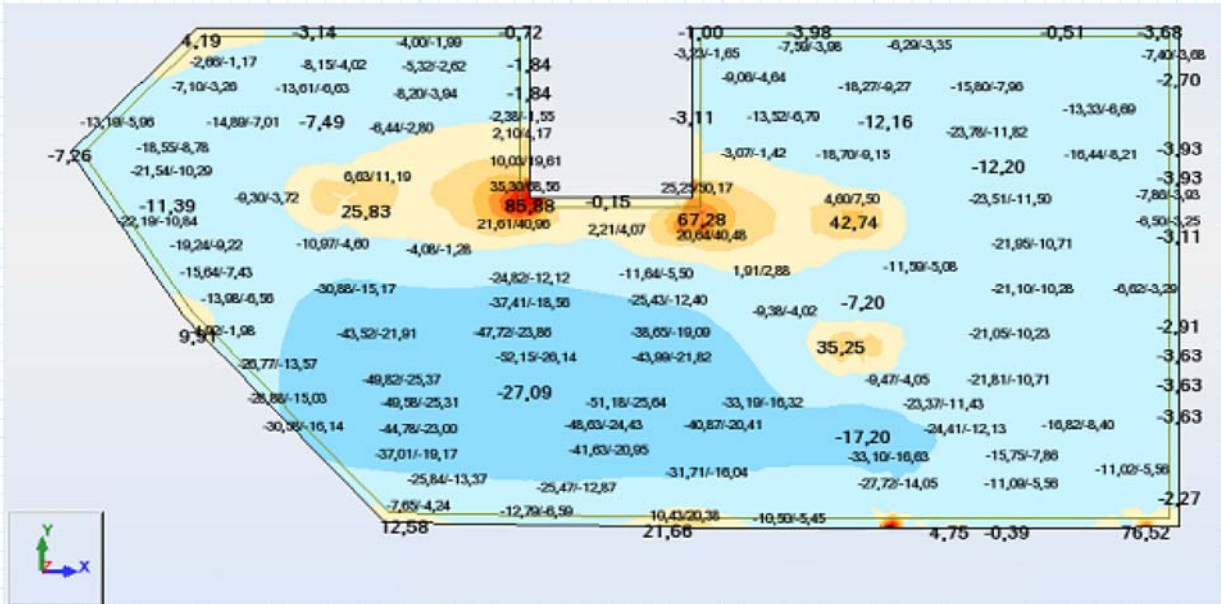
Rys. 5.1 Mapa momentów dodatnich w płycie stropowej w kierunku X



Rys. 5.2 Mapa momentów ujemnych w płycie stropowej w kierunku X



Rys. 5.3 Mapa momentów dodatnich w płycie stropowej w kierunku Y



Rys. 5.4 Mapa momentów dodatnich w płycie stropowej w kierunku Y

$$M_{X,prz} := 47.87 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment obliczeniowy zginający w przęśle na kierunku X

$$M_{Y,prz} := 52.15 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment obliczeniowy zginający w przęśle na kierunku Y

$$M_{X,pod} := 69.82 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment obliczeniowy zginający nad podporą na kierunku X

$$M_{Y,pod} := 88.58 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment obliczeniowy zginający nad podporą na kierunku Y

5.2. Wymiarowanie ze względu na stan graniczny nośności

• Otulina:

Środowisko:

XC3

klasa ekspozycji

S4

klasa konstrukcji

$$c_{min,b} := 16 \cdot \text{mm}$$

minimalne otulenie ze względu na przyczepność, tabl. 4.2. [N.4]

$$c_{min,dur} := 25 \cdot \text{mm}$$

minimalne otulenie wymagane ze względu na trwałość stali zbrojeniowej, tabl. 4.4N [N.4]

trwałość stali zbrojeniowej, tabl. 4.4N [N.4]

$$\Delta c_{dur,\gamma} := 0$$

składnik bezpieczeństwa, p. 4.4.1.2(6) [N.4]

$$\Delta c_{dur,st} := 0$$

wartość zmniejszenia otulenia ze względu na stosowanie stali nierdzewnej, p. 4.4.1.2(6) [N.4]

$$\Delta c_{dur,add} := 0$$

wartość zmniejszenia otulenia ze względu na dodatkową ochronę betonu, p. 4.4.1.2.(8) [N.4]

$$c_{min} := \max(c_{min,b}, c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}, 10 \cdot mm)$$

$$c_{min} = 25 \text{ mm}$$

otulenie minimalne, wz. 4.2 [N4]

$$\Delta c_{dev} := 10 \cdot mm$$

odchyłka otulenia, p. 4.4.1.3(1) [N.4]

$$c_{nom} := c_{min} + \Delta c_{dev} = 35 \text{ mm}$$

otulenie nominalne

• Odległość środka ciężkości zbrojenia A_{s1} i A_{s2} od krawędzi rozciągające

$$\phi_1 := 12 \cdot mm$$

średnica zbrojenia głównego - dołem

$$\phi_2 := 16 \cdot mm$$

średnica zbrojenia głównego - góra

$$a_{1x} := c_{nom} + \phi_1 + \frac{\phi_1}{2} = 5.3 \text{ cm}$$

odległość w płaszczyźnie X - dołem

$$a_{1y} := c_{nom} + \frac{\phi_1}{2} = 4.1 \text{ cm}$$

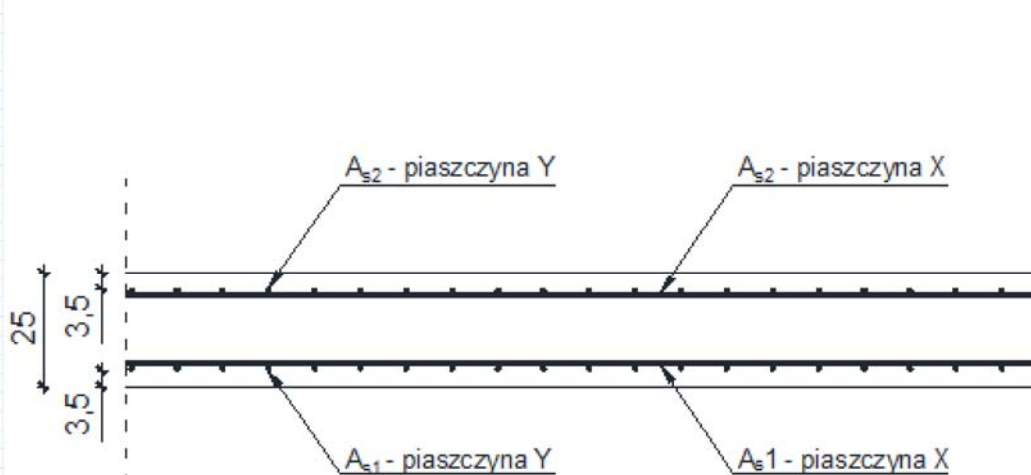
odległość w płaszczyźnie Y - dołem

$$a_{2x} := c_{nom} + \frac{\phi_2}{2} = 4.3 \text{ cm}$$

odległość w płaszczyźnie X - góra

$$a_{2y} := c_{nom} + \phi_2 + \frac{\phi_2}{2} = 5.9 \text{ cm}$$

odległość w płaszczyźnie Y - góra



Rys. 5.5 Rozmieszczenie w płycie

• Minimalny procent zbrojenia w płycie

$$k_c := 0.4$$

współczynnik zależny od rozkładu naprężeń w przekroju w chwili bezpośrednio poprzedzającej zarysowanie oraz do zmiany ramienia sił wewnętrznych, p. 7.3.2. [N.4]

$$k := 0.79$$

współczynnik zależny od wpływu nierównomiernych, samo równoważących się naprężeń, pkt. 7.3.2. [N.4]

$$A_{ct} := 0.5 \cdot h_f \cdot b = 0.125 \text{ m}^2$$

pole przekroju strefy rozciąganej betonu, p. 7.3.2. [N.4]

$$f_{ct,eff} := f_{ctm} = 2.896 \text{ MPa}$$

średnia wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie osiągnięta w chwili powstania rysy, p. 7.3.2. [N.4]

$$w_{lim} := 0.3 \cdot \text{mm}$$

graniczna szerokość rys, tabl. 7.2N [N.4]

$$\sigma_s := 280 \cdot \text{MPa}$$

wartość bezwzględna maksymalnego dozwolonego naprężenia w zbrojeniu, przyjęta wg tabl 7.2N [N.4]

$$d_x := h_f - a_{1x} = 19.7 \text{ cm}$$

użyteczna wysokość przekroju

$$A_{s,min1} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_x = 2.967 \text{ cm}^2$$

minimalne pole przekroju zbrojenia, wz. 9.1N [N.4]

$$A_{s,min2} := 0.0013 \cdot b \cdot d_x = 2.561 \text{ cm}^2$$

minimalne pole przekroju zbrojenia, wz. 9.1N [N.4]

$$A_{s,min3} := k \cdot k_c \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 4.086 \text{ cm}^2$$

minimalne pole przekroju zbrojenia ze względu na szerokość rys, w. 7.1 [N.4]

$$A_{s,min} := \max(A_{s,min1}, A_{s,min2}, A_{s,min3})$$

$$A_{s,min} = 4.086 \text{ cm}^2$$

minimalne pole powierzchni zbrojenia

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie w przęśle - kierunek X

$$d_x := h_f - a_{1x} = 19.7 \text{ cm}$$

użyteczna wysokość przekroju

$$S_{cc,eff} := \frac{M_{X,prz}}{f_{cd} \cdot b \cdot d_x^2} = 0.058$$

moment statyczny efektywnego pola ściskanej strefy przekroju o wysokości x_{eff}

$$\xi_{cr} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{cc,eff}} = 0.059$$

$$\zeta_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{cc,eff}} = 0.059$$

$$\zeta_{eff} < \zeta_{eff,lim} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pojedynczo zbrojony

$$x_{eff} := d_x \cdot \zeta_{eff} = 1.169 \text{ cm}$$

efektywna wysokość strefy ściskanej

$$A_{s1x,req} := \frac{x_{eff} \cdot b \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 5.76 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$A_{s1x} := \max(A_{s1x,req}, A_{s,min}) = 5.76 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$s_{1x} := 15 \cdot \text{cm}$$

rozstaw prętów

$$A_{s1x,prov} := \frac{\pi \cdot \phi_1^2}{4} \cdot \frac{b}{s_{1x}} = 7.54 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole zbrojenia

$$M_{Ed} := M_{X,prz} = 47.87 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment

$$M_{Rd} := A_{s1x,prov} \cdot f_{yd} \cdot (d_x - 0.5 \cdot x_{eff}) = 62.665 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

nośność przekroju

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie w przęśle - kierunek Y

$$d_y := h_f - a_{1y} = 20.9 \text{ cm}$$

użyteczna wysokość przekroju

$$S_{cc,eff} := \frac{M_{Y,prz}}{f_{cd} \cdot b \cdot d_y^2} = 0.056$$

moment statyczny efektywnego pola ściskanej strefy przekroju o wysokości x_{eff}

$$\zeta_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{cc,eff}} = 0.057$$

względna wysokość strefy ściskanej

$$\zeta_{eff} < \zeta_{eff,lim} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pojedynczo zbrojony

$$x_{eff} := d_y \cdot \zeta_{eff} = 1.199 \text{ cm}$$

efektywna wysokość strefy ściskanej

$$A_{s1y,req} := \frac{x_{eff} \cdot b \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 5.908 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$A_{s1y} := \max(A_{s1y,req}, A_{s,min}) = 5.908 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$s_{1y} := 15 \cdot \text{cm}$$

rozstaw prętów

$$A_{s1y,prov} := \frac{\pi \cdot \phi_1^2}{4} \cdot \frac{b}{s_{1y}} = 7.54 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole zbrojenia

$$M_{Ed} := M_{Y,prz} = 52.15 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment

$$M_{Rd} := A_{s1y,prov} \cdot f_{yd} \cdot (d_y - 0.5 \cdot x_{eff}) = 66.549 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

nośność przekroju

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie nad podporą - kierunek X

$$d_x := h_f - a_{2x} = 20.7 \text{ cm}$$

użyteczna wysokość przekroju

$$S_{cc,eff} := \frac{M_{X,pod}}{f_{cd} \cdot b \cdot d_x^2} = 0.076$$

moment statyczny efektywnego pola ściskanej strefy przekroju o wysokości x_{eff}

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{cc,eff}} = 0.079$$

względna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pojedynczo zbrojony

$$x_{eff} := d_x \cdot \xi_{eff} = 1.639 \text{ cm}$$

efektywna wysokość strefy ściskanej

$$A_{s2x,req} := \frac{x_{eff} \cdot b \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 8.078 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$A_{s2x} := \max(A_{s2x,req}, A_{s,min}) = 8.078 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$s_{2x} := 15 \cdot \text{cm}$$

rozstaw prętów

$$A_{s2x,prov} := \frac{\pi \cdot \phi_2^2}{4} \cdot \frac{b}{s_{2x}} = 13.404 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole zbrojenia

$$M_{Ed} := M_{X,pod} = 69.82 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment

$$M_{Rd} := A_{s2x,prov} \cdot f_{yd} \cdot (d_x - 0.5 \cdot x_{eff}) = 115.861 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

nośność przekroju

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie nad podporą - kierunek Y

$$d_y := h_f - a_{2y} = 19.1 \text{ cm}$$

użyteczna wysokość przekroju

$$S_{cc,eff} := \frac{M_{Y,pod}}{f_{cd} \cdot b \cdot d_y^2} = 0.113$$

moment statyczny efektywnego pola ściskanej strefy przekroju o wysokości x_{eff}

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{cc,eff}} = 0.121$$

względna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pojedynczo zbrojony

$$x_{eff} := d_y \cdot \xi_{eff} = 2.303 \text{ cm}$$

efektywna wysokość strefy ściskanej

$$A_{s2y,req} := \frac{x_{eff} \cdot b \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 11.351 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$A_{s2y} := \max(A_{s2y,req}, A_{s,min}) = 11.351 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$s_{2y} := 15 \cdot \text{cm}$$

rozstaw prętów

$$A_{s2y,prov} := \frac{\pi \cdot \phi_2^2}{4} \cdot \frac{b}{s_{2y}} = 13.404 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole zbrojenia

$$M_{Ed} := M_{Y_{pod}} = 88.58 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment

$$M_{Rd} := A_{s2y,prov} \cdot f_{yd} \cdot (d_y - 0.5 \cdot x_{eff}) = 104.601 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

nośność przekroju

• **Wymiarowanie zbrojenia ze względu na przebicie - słup znajdujący się na przecięciu osi B' i osi 5**

$$b_x := 0.3 \cdot \text{m}$$

wymiar słupa w kierunku x

$$b_y := 0.3 \cdot \text{m}$$

wymiar słupa w kierunku y

$$A_{s,x} := A_{s2x,prov} = 13.404 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole powierzchni zbrojenia w kierunku x

$$A_{s,y} := A_{s2y,prov} = 13.404 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole powierzchni zbrojenia w kierunku y

$$N_{Ed} := 680.39 \cdot \text{kN}$$

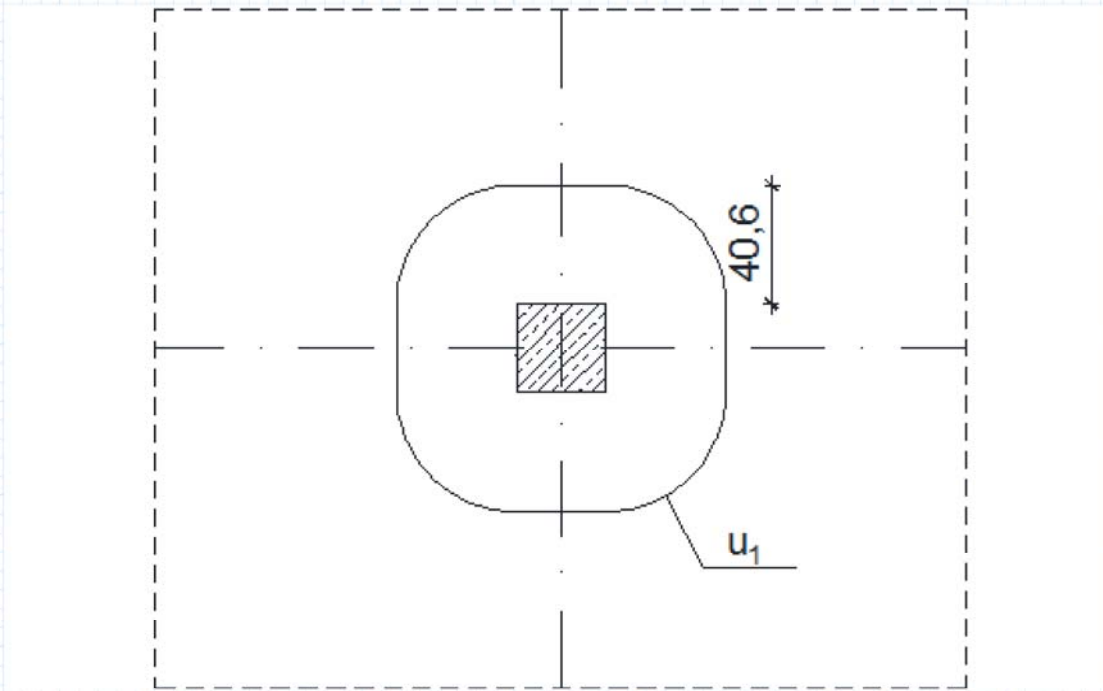
siła normalna działająca na słup

$$d_{eff} := \frac{d_x + d_y}{2} = 0.199 \text{ m}$$

efektywna wysokość użyteczna przekroju

$$\beta := 1.15$$

współczynnik wpływu mimośrodu, rys 6.21N [N.4]



Rys. 5.6 Podstawowy obwód kontrolny dla słupów wewnętrznych

$$u_1 := 2 \cdot b_x + 2 \cdot b_y + 4 \cdot \pi \cdot d_{eff} = 3.701 \text{ m}$$

długość podstawowego obwołu kontrolnego, rys. 6.13 [N.4]

$$V_{Ed} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1.062 \text{ MPa}$$

maksymalne naprężenie styczne, wz. 6.38 [N.4]

$$k := \min \left(1 + \sqrt{200 \cdot \frac{\text{mm}}{\dots}}, 2 \right) = 2$$

wartość obliczona. p. 6.2.2(1) [N.4]

$$k := \min \left(1 + \sqrt{200 \cdot \frac{\dots}{d_{eff}}}, 2 \right) = 2$$

wartość obliczona, p. 6.2.2(1) [N.4]

$$\rho_{lx} := \frac{A_{s,x} \cdot (b_x + 6 \cdot d_{eff})}{b \cdot d_x \cdot (b_x + 6 \cdot d_{eff})} = 0.006$$

stopień zbrojenia w kierunku x

$$\rho_{ly} := \frac{A_{s,y} \cdot (b_y + 6 \cdot d_{eff})}{b \cdot d_y \cdot (b_y + 6 \cdot d_{eff})} = 0.007$$

stopień zbrojenia w kierunku y

$$\rho_I := \min \left(\sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}}, 0.02 \right) = 0.007$$

wartość obliczona, p. 6.4.4(1) [N.4]

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.129$$

wartość obliczona, p. 6.4.4(1) [N.4]

$$k_I := 0.15$$

$$V_{Rd,cI} := C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_I \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa}$$

$$V_{Rd,cI} = 0.701 \text{ MPa}$$

wartość obliczeniowa nośności na ścinanie, w. 6.47 [N.4]

$$V_{Rd,c,min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \text{MPa} = 0.542 \text{ MPa}$$

minimalna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie, w 6.3N [N.4]

$$V_{Rd,c} := \max (V_{Rd,cI}, V_{Rd,c,min}) = 0.701 \text{ MPa}$$

ostateczna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed} = 0$$

warunek nie spełniony, zbrojenie na przebicie jest konieczne

Sprawdzenie warunku maksymalnej nośności na ścinanie na obwodzie słupa

$$u_0 := 2 \cdot b_x + 2 \cdot b_y = 1.2 \text{ m}$$

długość obwodu słupa

$$v_{Ed} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{u_0 \cdot d_{eff}} = 3.277 \text{ MPa}$$

wz. 6.53 [N.4]

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \cdot \text{MPa}} \right) = 0.528$$

wz. 6.6N [N.4]

$$v_{Rd,max} := 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} = 5.657 \text{ MPa}$$

p. 6.4.5(4) [N.4]

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max} = 1$$

warunek spełniony

Wymiarowanie zbrojenia koniecznego ze względu na przebicie

$$f_{ywd,ef} := \min \left(250 \cdot \text{MPa} + 0.25 \cdot \frac{d_{eff}}{\text{mm}} \cdot \text{MPa}, f_{yd} \right)$$

$$f_{ywd,ef} = 299.75 \text{ MPa}$$

efektywna wytrzymałość obliczeniowa

$$s_{r,max} := 0.75 \cdot d_{eff} = 149.25 \text{ mm}$$

warunek konieczny rozstawu zbrojenia

$$s_r := 150 \cdot \text{mm}$$

przyjęty rozstaw

$$A_{sw} := \frac{V_{Ed} - 0.75 \cdot V_{Rd.c}}{1.5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot f_{ywd,ef}} \cdot u_1 \cdot d_{eff} = 6.63 \text{ cm}^2$$

pole powierzchni jednego obwodu zbrojenia na ścinanie dookoła słupa, p 6.4.5(1) [N.4]

$$\alpha := 90 \cdot \text{deg}$$

zakładam zbrojenie w postaci strzemion pionowych

$$s_{\phi} := 2 \cdot d_{eff} = 39.8 \text{ cm}$$

rozstaw strzemion w kierunku radialnym

$$A_{sw,min} := 0.08 \cdot \frac{\left(\sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \text{MPa} \right)}{f_{yk}} \cdot \frac{s_r \cdot s_{\phi}}{1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)}$$

$$A_{sw,min} = 0.349 \text{ cm}^2$$

minimalne pole przekroju jednego ramienia strzemion, wz. 9.11 [N.4]

$$\phi_s := 10 \cdot \text{mm}$$

średnica strzemiona

$$A_{\phi,s} := \frac{\pi \cdot \phi_s^2}{4} = 0.785 \text{ cm}^2$$

pole powierzchni strzemiona

$$A_{\phi,s} \geq A_{sw,min} = 1$$

warunek spełniony

$$n_l := \frac{A_{sw}}{A_{\phi,s}} = 8.442$$

ilość strzemion w jednym obwodzie

Sprawdzenie przebicia poza strefą zbrojenia

$$u_{out,ef} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{V_{Rd.c} \cdot d_{eff}} = 5.612 \text{ m}$$

długość obwodu kontrolnego, poza którym zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane, wz. 6.54 [N.4]

$$r_{out,ef} := \frac{u_{out,ef} - 2 \cdot b_x - 2 \cdot b_y}{2 \cdot \pi} = 0.702 \text{ m}$$

odległość obwodu kontrolnego od lica słupa, poza którym zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane

$$a_{out,ef} := r_{out,ef} - 1.5 \cdot d_{eff} = 0.404 \text{ m}$$

odległość ostatniego obwodu zbrojenia od lica słupa

$$0.5 \cdot d_{eff} = 0.1 \text{ m}$$

maksymalna odległość pierwszego obwodu zbrojenia od lica słupa

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na przebicie - słup znajdujący się na przecięciu osi B i osi 2

$$D := 0.3 \cdot \text{m}$$

średnica słupa

$$A_{s,x} := A_{s2x,prov} = 13.404 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole powierzchni zbrojenia w kierunku x

$$A_{s,y} := A_{s2y,prov} = 13.404 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole powierzchni zbrojenia w kierunku y

$$N_{Ed} := 792 \cdot \text{kN}$$

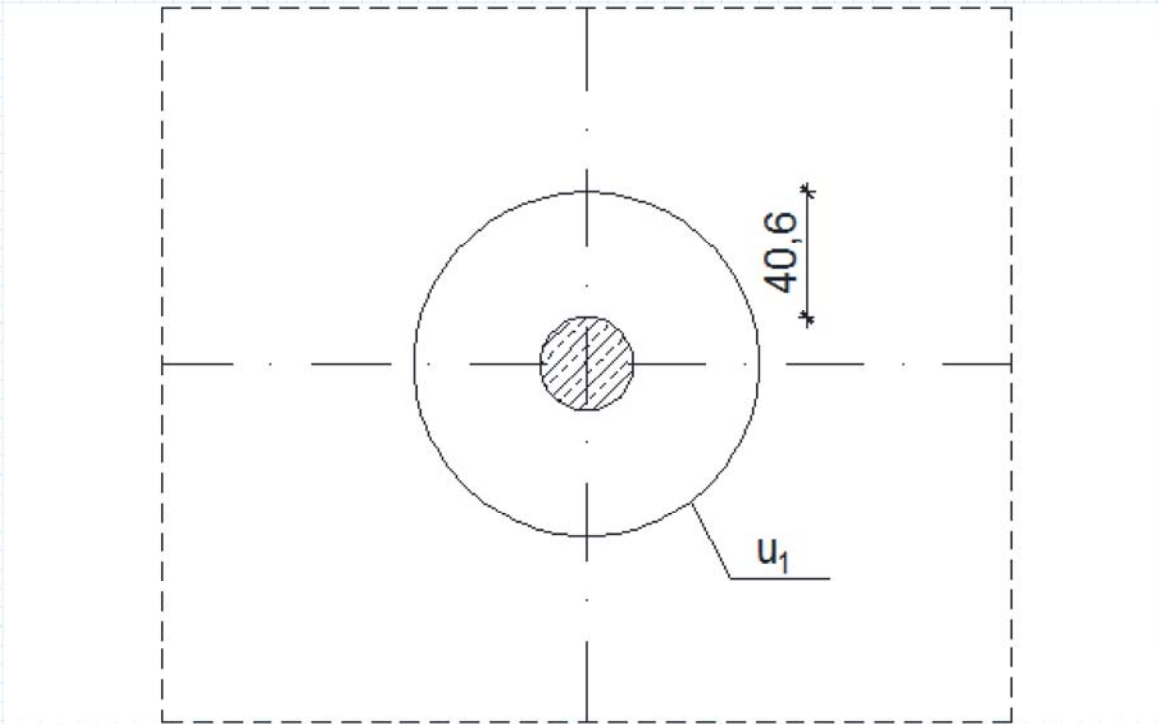
siła normalna działająca na słup

$$d_{eff} := \frac{d_x + d_y}{2} = 0.199 \text{ m}$$

efektywna wysokość użyteczna przekroju

$$\beta := 1.15$$

współczynnik wpływu mimośrod, rys 6.21N [N.4]



Rys. 5.7 Podstawowy obwód kontrolny dla słupów wewnętrznych

$$u_1 := \pi \cdot (D + 2 \cdot d_{eff}) = 3.443 \text{ m}$$

długość podstawowego obwodu kontrolnego, rys. 6.13 [N.4]

$$V_{Ed} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1.329 \text{ MPa}$$

maksymalne naprężenie styczne, wz. 6.38 [N.4]

$$k := \min \left(1 + \sqrt{200 \cdot \frac{\text{mm}}{d_{eff}}}, 2 \right) = 2$$

wartość obliczona, p. 6.2.2(1) [N.4]

$$\rho_{fx} := \frac{A_{s,x} \cdot (D + 6 \cdot d_{eff})}{b \cdot d_x \cdot (D + 6 \cdot d_{eff})} = 0.006$$

stopień zbrojenia w kierunku x

$$\rho_{fy} := \frac{A_{s,y} \cdot (D + 6 \cdot d_{eff})}{b \cdot d_y \cdot (D + 6 \cdot d_{eff})} = 0.007$$

stopień zbrojenia w kierunku y

$$\rho_s := \min(\sqrt{\rho_{fx} \cdot \rho_{fy}}, 0.02) = 0.007$$

wartość obliczona. p. 6.4.4(1) [N.4]

$$\rho_I := \min(\sqrt{\rho_{Ix} \cdot \rho_{Iy}}, 0.02) = 0.007$$

wartość obliczona, p. 6.4.4(1) [N.4]

$$C_{Rd.c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.129$$

wartość obliczona, p. 6.4.4(1) [N.4]

$$k_I := 0.15$$

$$V_{Rd.cI} := C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_I \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa}$$

wartość obliczeniowa nośności na ścinanie, w. 6.47 [N.4]

$$V_{Rd.cI} = 0.701 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd.c.min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \text{MPa} = 0.542 \text{ MPa}$$

minimalna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie, w 6.3N [N.4]

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.cI}, V_{Rd.c.min}) = 0.701 \text{ MPa}$$

ostateczna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Rd.c} \geq V_{Ed} = 0$$

warunek nie spełniony, zbrojenie na przebicie jest konieczne

Sprawdzenie warunku maksymalnej nośności na ścinanie na obwodzie słupa

$$u_0 := \pi \cdot D = 0.942 \text{ m}$$

długość obwodu słupa

$$v_{Ed} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{u_0 \cdot d_{eff}} = 4.856 \text{ MPa}$$

wz. 6.53 [N.4]

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \cdot \text{MPa}} \right) = 0.528$$

wz. 6.6N [N.4]

$$v_{Rd.max} := 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} = 5.657 \text{ MPa}$$

p. 6.4.5(4) [N.4]

$$v_{Ed} \leq v_{Rd.max} = 1$$

warunek spełniony

Wymiarowanie zbrojenia koniecznego ze względu na przebicie

$$f_{ywd.ef} := \min \left(250 \cdot \text{MPa} + 0.25 \cdot \frac{d_{eff}}{\text{mm}} \cdot \text{MPa}, f_{yd} \right)$$

$$f_{ywd.ef} = 299.75 \text{ MPa}$$

efektywna wytrzymałość obliczeniowa na ścinanie, p. 6.4.5(1) [N.4]

$$s_{r.max} := 0.75 \cdot d_{eff} = 149.25 \text{ mm}$$

warunek konieczny rozstawu zbrojenia

$$s_r := 150 \cdot \text{mm}$$

przyjęty rozstaw

$$A_{sw} := \frac{V_{Ed} - 0.75 \cdot V_{Rd.c}}{1.5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot f_{ywd.ef}} \cdot u_1 \cdot d_{eff} = 9.233 \text{ cm}^2$$

pole powierzchni jednego obwodu zbrojenia na ścinanie dookoła słupa, p 6.4.5(1) [N.4]

$$\alpha := 90 \cdot \text{deg}$$

zakładam zbrojenie w postaci strzemion pionowych

$$s_{\phi} := 2 \cdot d_{\text{eff}} = 39.8 \text{ cm}$$

rozstaw strzemion w kierunku radialnym

$$A_{s_{w.min}} := 0.08 \cdot \frac{\left(\sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \text{MPa} \right)}{f_{yk}} \cdot \frac{s_r \cdot s_{\phi}}{1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)}$$

$$A_{s_{w.min}} = 0.349 \text{ cm}^2$$

minimalne pole przekroju jednego ramienia strzemion, wz. 9.11 [N.4]

$$\phi_s := 10 \cdot \text{mm}$$

średnica strzemiona

$$A_{\phi_s} := \frac{\pi \cdot \phi_s^2}{4} = 0.785 \text{ cm}^2$$

pole powierzchni strzemiona

$$A_{\phi_s} \geq A_{s_{w.min}} = 1$$

warunek spełniony

$$n_l := \frac{A_{s_w}}{A_{\phi_s}} = 11.756$$

ilość strzemion w jednym obwodzie

Sprawdzenie przebicia poza strefą zbrojenia

$$u_{\text{out.ef}} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{V_{Rd.c} \cdot d_{\text{eff}}} = 6.533 \text{ m}$$

długość obwodu kontrolnego, poza którym zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane, wz. 6.54

$$r_{\text{out.ef}} := \frac{u_{\text{out.ef}}}{2 \cdot \pi} = 1.04 \text{ m}$$

odległość obwodu kontrolnego od lica słupa, poza którym zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane

$$a_{\text{out.ef}} := r_{\text{out.ef}} - 1.5 \cdot d_{\text{eff}} = 0.741 \text{ m}$$

odległość ostatniego obwodu zbrojenia od lica słupa

$$0.5 \cdot d_{\text{eff}} = 0.1 \text{ m}$$

maksymalna odległość pierwszego obwodu zbrojenia od lica słupa

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na przecięcie - słup znajdujący się na przecięciu osi B i osi 3

$$b_x := 0.3 \cdot \text{m}$$

wymiar słupa w kierunku x

$$b_y := 0.3 \cdot \text{m}$$

wymiar słupa w kierunku y

$$A_{s,x} := A_{s_{2x,prov}} = 13.404 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole powierzchni zbrojenia w kierunku x

$$A_{s,y} := A_{s_{2y,prov}} = 13.404 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole powierzchni zbrojenia w kierunku y

$$N_{Ed} := 420 \cdot \text{kN}$$

siła normalna działająca na słup

$$d_{\text{eff}} := \frac{d_x + d_y}{2} = 0.199 \text{ m}$$

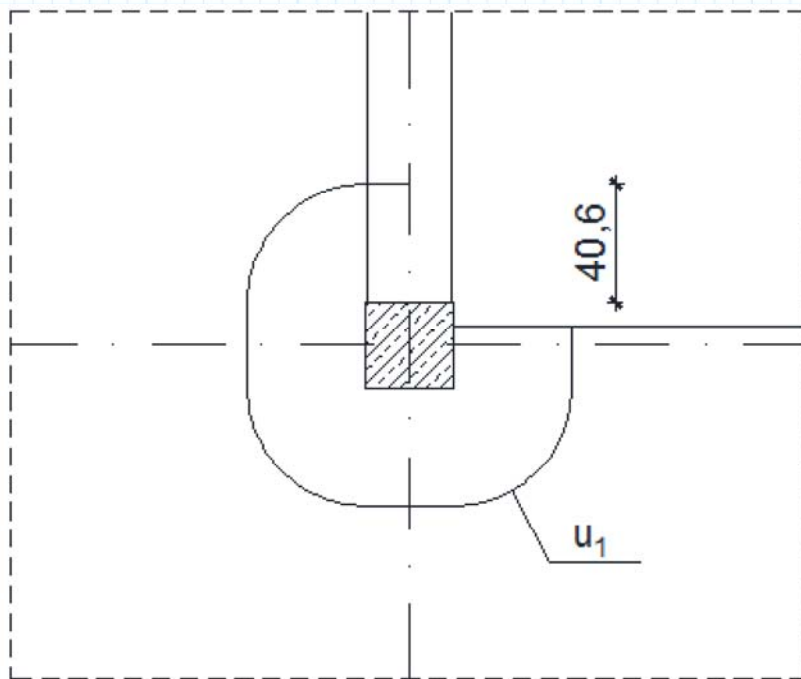
efektywna wysokość użyteczna przekroju

$$\beta := 1.5$$

współczynnik wpływu mimośrod. rvs 6.21N IN.41

$$\beta := 1.5$$

współczynnik wpływu mimośrod, rys 6.21N [N.4]



Rys. 5.8 Podstawowy obwód kontrolny dla słupów krawędziowych

$$u_1 := 2 \cdot b_x + 2 \cdot b_y + 3 \cdot \pi \cdot d_{eff} = 3.076 \text{ m}$$

długość podstawowego obwodu kontrolnego, rys. 6.13 [N.4]

$$V_{Ed} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1.029 \text{ MPa}$$

maksymalne naprężenie styczne, wz. 6.38 [N.4]

$$k := \min \left(1 + \sqrt{200 \cdot \frac{\text{mm}}{d_{eff}}}, 2 \right) = 2$$

wartość obliczona, p. 6.2.2(1) [N.4]

$$A_{s,r} \cdot (b_r + 6 \cdot d_{eff})$$

$$\rho_{lx} := \frac{A_{s,x} \cdot (b_x + 6 \cdot d_{eff})}{b \cdot d_x \cdot (b_x + 6 \cdot d_{eff})} = 0.006$$

stopień zbrojenia w kierunku x

$$\rho_{ly} := \frac{A_{s,y} \cdot (b_y + 6 \cdot d_{eff})}{b \cdot d_y \cdot (b_y + 6 \cdot d_{eff})} = 0.007$$

stopień zbrojenia w kierunku y

$$\rho_l := \min(\sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}}, 0.02) = 0.007$$

wartość obliczona, p. 6.4.4(1) [N.4]

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.129$$

wartość obliczona, p. 6.4.4(1) [N.4]

$$k_l := 0.15$$

$$V_{Rd,c1} := C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa}$$

$$V_{Rd,c1} = 0.701 \text{ MPa}$$

wartość obliczeniowa nośności na ścinanie, w. 6.47 [N.4]

$$V_{Rd,c,min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \text{MPa} = 0.542 \text{ MPa}$$

minimalna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie, w 6.3N [N.4]

$$V_{Rd,c} := \max(V_{Rd,c1}, V_{Rd,c,min}) = 0.701 \text{ MPa}$$

ostateczna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed} = 0$$

warunek nie spełniony, zbrojenie na przebiecie jest konieczne

Sprawdzenie warunku maksymalnej nośności na ściananie na obwodzie słupa

$$u_0 := \min(3 \cdot d_{eff}, b_x + b_y) = 0.597 \text{ m}$$

długość obwodu słupa

$$v_{Ed} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{u_0 \cdot d_{eff}} = 5.303 \text{ MPa}$$

wz. 6.53 [N.4]

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \cdot \text{MPa}} \right) = 0.528$$

wz. 6.6N [N.4]

$$v_{Rd,max} := 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} = 5.657 \text{ MPa}$$

p. 6.4.5(4) [N.4]

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max} = 1$$

warunek spełniony

Wymiarowanie zbrojenia koniecznego ze względu na przebiecie

$$f_{ywd,ef} := \min\left(250 \cdot \text{MPa} + 0.25 \cdot \frac{d_{eff}}{\text{mm}} \cdot \text{MPa}, f_{yd}\right)$$

$$f_{ywd,ef} = 299.75 \text{ MPa}$$

efektywna wytrzymałość obliczeniowa na ścinanie p. 6.4.5(1) [N.4]

$$s_{r,max} := 0.75 \cdot d_{eff} = 149.25 \text{ mm}$$

warunek konieczny rozstawu zbrojenia

$$s_r := 150 \cdot \text{mm}$$

przyjęty rozstaw

$$A_{sw} := \frac{V_{Ed} - 0.75 \cdot V_{Rd.c}}{1.5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot f_{ywd.ef}} \cdot u_l \cdot d_{eff} = 5.17 \text{ cm}^2$$

pole powierzchni jednego obwodu zbrojenia na ścinanie dookoła słupa, p 6.4.5(1) [N.4]

$$\alpha := 90 \cdot \text{deg}$$

zakładam zbrojenie w postaci strzemion pionowych

$$s_\phi := 2 \cdot d_{eff} = 39.8 \text{ cm}$$

rozstaw strzemion w kierunku radialnym

$$A_{sw.min} := 0.08 \cdot \frac{\left(\sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \text{MPa} \right)}{f_{yk}} \cdot \frac{s_r \cdot s_\phi}{1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)}$$

$$A_{sw.min} = 0.349 \text{ cm}^2$$

minimalne pole przekroju jednego ramienia strzemion, wz. 9.11 [N.4]

$$\phi_s := 10 \cdot \text{mm}$$

średnica strzemiona

$$A_{\phi.s} := \frac{\pi \cdot \phi_s^2}{4} = 0.785 \text{ cm}^2$$

pole powierzchni strzemiona

$$A_{\phi.s} \geq A_{sw.min} = 1$$

warunek spełniony

$$n_l := \frac{A_{sw}}{A_{\phi.s}} = 6.583$$

ilość strzemion w jednym obwodzie

Sprawdzenie przebiecia poza strefą zbrojenia

$$u_{out.ef} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{V_{Rd.c} \cdot d_{eff}} = 4.519 \text{ m}$$

długość obwodu kontrolnego, poza którym zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane, wz. 6.54 [N.4]

$$r_{out.ef} := \frac{u_{out.ef} - 2 \cdot b_x - 2 \cdot b_y}{2 \cdot \pi} = 0.528 \text{ m}$$

odległość obwodu kontrolnego od lica słupa, poza którym zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane

$$a_{out.ef} := r_{out.ef} - 1.5 \cdot d_{eff} = 0.23 \text{ m}$$

odległość ostatniego obwodu zbrojenia od lica słupa

$$0.5 \cdot d_{eff} = 0.1 \text{ m}$$

maksymalna odległość pierwszego obwodu zbrojenia od lica słupa

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na przebiecie - słup znajdujący się na osi D i między osiami 3 i 4

$$b_x := 0.3 \cdot \text{m}$$

wymiar słupa w kierunku x

$$b_y := 0.3 \cdot \text{m}$$

wymiar słupa w kierunku y

$$h_b := 0.5 \cdot \text{m}$$

wysokość belki krawędziowej

$$A_{s,x} := A_{s,y} = 7.54 \text{ cm}^2$$

przwięte pole powierzchni zbrojenia w kierunku x

$$A_{s,x} := A_{sIx,prov} = 7.54 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole powierzchni zbrojenia w kierunku x

$$A_{s,y} := A_{sIy,prov} = 7.54 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole powierzchni zbrojenia w kierunku y

$$N_{Ed} := 366.35 \cdot \text{kN}$$

siła normalna działająca na słup

$$d_{x,p} := h_b - c_{nom} - \frac{\phi_I}{2} = 0.459 \text{ m}$$

wysokość użyteczna przekroju w kierunku x

$$d_{y,p} := h_b - c_{nom} - \phi_I - \frac{\phi_I}{2} = 0.447 \text{ m}$$

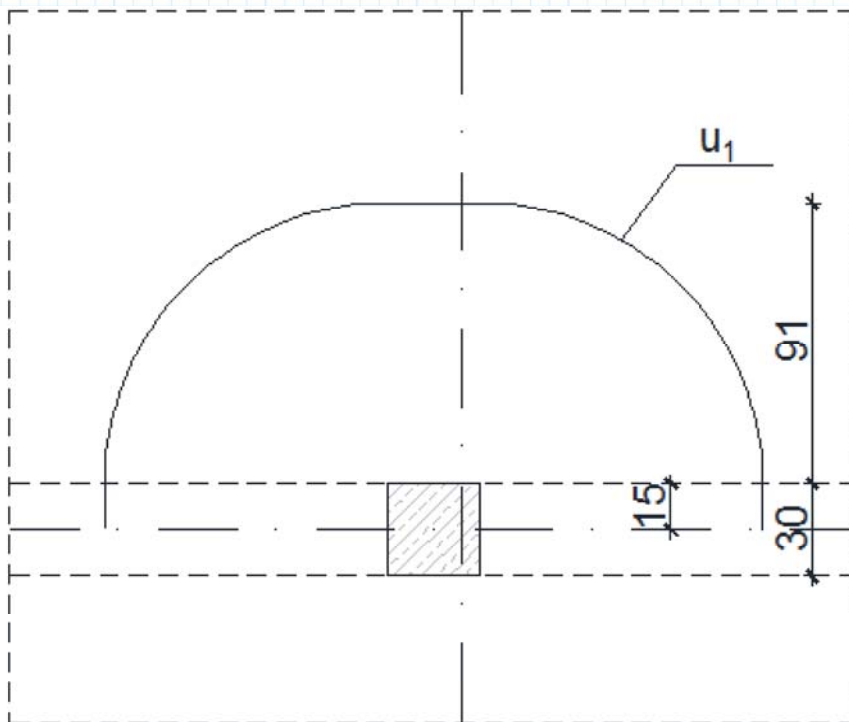
wysokość użyteczna przekroju w kierunku y

$$d_{eff} := \frac{d_{x,p} + d_{y,p}}{2} = 0.453 \text{ m}$$

efektywna wysokość użyteczna przekroju

$$\beta := 1.4$$

współczynnik wpływu mimośrod, rys 6.21N [N.4]



Rys. 5.9 Podstawowy obwód kontrolny dla słupów krawędziowych

$$u_1 := b_x + 2 \cdot 0.5 \cdot b_y + 2 \cdot \pi \cdot d_{eff} = 3.446 \text{ m}$$

długość podstawowego obwodu kontrolnego, rys. 6.13 [N.4]

$$V_{Ed} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{\gamma} = 0.329 \text{ MPa}$$

maksymalne naprężenie styczne, wz. 6.38 [N.4]

$$V_{Ed} := \frac{u_{st}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 0.329 \text{ MPa}$$

maksymalne naprężenie styczne, wz. 6.38 [N.4]

$$k := \min \left(1 + \sqrt{200 \cdot \frac{mm}{d_{eff}}}, 2 \right) = 1.664$$

wartość obliczona, p. 6.2.2(1) [N.4]

$$\rho_{lx} := \frac{A_{s,x} \cdot (b_x + 6 \cdot d_{eff})}{b \cdot d_x \cdot (b_x + 6 \cdot d_{eff})} = 0.004$$

stopień zbrojenia w kierunku x

$$\rho_{ly} := \frac{A_{s,y} \cdot (b_y + 6 \cdot d_{eff})}{b \cdot d_y \cdot (b_y + 6 \cdot d_{eff})} = 0.004$$

stopień zbrojenia w kierunku y

$$\rho_l := \min \left(\sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}}, 0.02 \right) = 0.004$$

wartość obliczona, p. 6.4.4(1) [N.4]

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.129$$

wartość obliczona wg p. 6.4.4(1) [N.4]

$$k_1 := 0.15$$

$$V_{Rd,c1} := C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa}$$

$$V_{Rd,c1} = 0.481 \text{ MPa}$$

wartość obliczeniowa nośności na ścinanie, w. 6.47 [N.4]

$$V_{Rd,c,min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \text{MPa} = 0.412 \text{ MPa}$$

minimalna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie, w. 6.3N [N.4]

$$V_{Rd,c} := \max (V_{Rd,c1}, V_{Rd,c,min}) = 0.481 \text{ MPa}$$

ostateczna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed} = 1$$

warunek spełniony, zbrojenie na przebicie nie jest konieczne

• **Wymiarowanie zbrojenia ze względu na przebicie - słup znajdujący się na przecięciu osi D i osi 7**

$$b_x := 0.3 \cdot m$$

wymiar słupa w kierunku x

$$b_y := 0.3 \cdot m$$

wymiar słupa w kierunku y

$$h_b := 0.5 \cdot m$$

wysokość belki krawędziowej

$$A_{s,x} := A_{sIx,prov} = 7.54 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole powierzchni zbrojenia w kierunku x

$$A_{s,y} := A_{sIy,prov} = 7.54 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole powierzchni zbrojenia w kierunku y

$$N_{Ed} := 151.47 \cdot kN$$

siła normalna działająca na słup

$$d_{x,p} := h_b - c_{nom} - \frac{\phi_l}{2} = 0.459 \text{ m}$$

wysokość użyteczna przekroju w kierunku x

$$d_{y,p} := h_b - c_{nom} - \phi_l - \frac{\phi_l}{2} = 0.447 \text{ m}$$

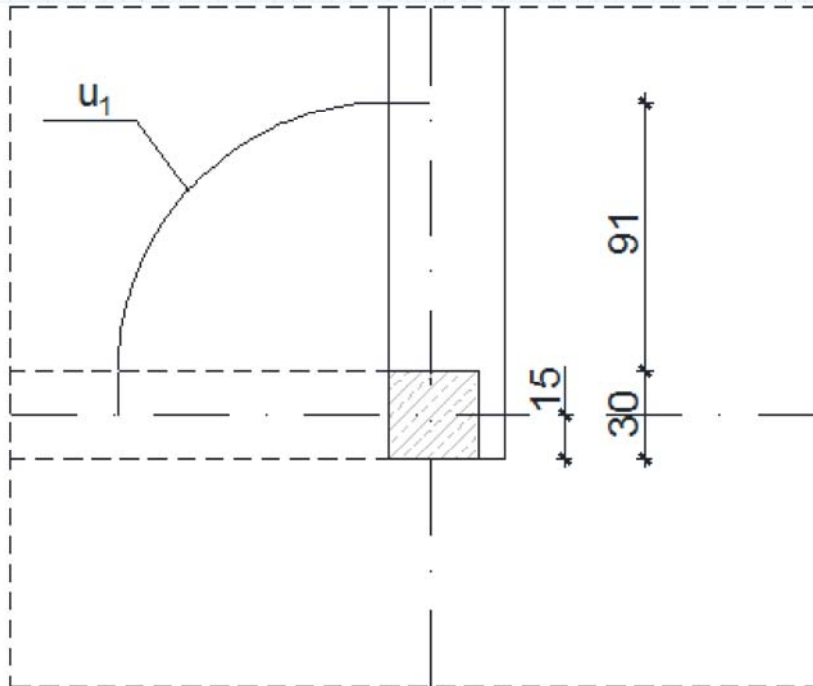
wysokość użyteczna przekroju w kierunku y

$$d_{eff} := \frac{d_{x,p} + d_{y,p}}{2} = 0.453 \text{ m}$$

efektywna wysokość użyteczna przekroju

$$\beta := 1.5$$

współczynnik wpływu mimośrod, rys 6.21N [N.4]



Rys. 5.10 Podstawowy obwód kontrolny dla słupów narożnych

$$u_1 := 0.5 \cdot b_x + 0.5 \cdot b_y + \pi \cdot d_{eff} = 1.723 \text{ m}$$

długość podstawowego obwodu kontrolnego, rys. 6.13 [N.4]

$$V_{Ed} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{u_1 \cdot d_{eff}} = 0.291 \text{ MPa}$$

maksymalne naprężenie styczne, wz. 6.38 [N.4]

$$k := \min \left(1 + \sqrt{200 \cdot \frac{\text{mm}}{d_{eff}}}, 2 \right) = 1.664$$

wartość obliczona, p. 6.2.2(1) [N.4]

$$\rho_{lx} := \frac{A_{s,x} \cdot (b_x + 6 \cdot d_{eff})}{b \cdot d_x \cdot (b_x + 6 \cdot d_{eff})} = 0.004$$

stopień zbrojenia w kierunku x

$$\rho_{ly} := \frac{A_{s,y} \cdot (b_y + 6 \cdot d_{eff})}{b \cdot d_y \cdot (b_y + 6 \cdot d_{eff})} = 0.004$$

stopień zbrojenia w kierunku y

$$\rho_1 := \min \left(\sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}}, 0.02 \right) = 0.004$$

wartość obliczona, p. 6.4.4(1) [N.4]

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.129$$

wartość obliczona wg p. 6.4.4(1) [N.4]

$$k_1 := 0.15$$

$$V_{Rd.c1} := C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot MPa$$

$$V_{Rd.c1} = 0.481 \text{ MPa}$$

wartość obliczeniowa nośności na ścinanie

$$V_{Rd.c.min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot MPa = 0.412 \text{ MPa}$$

minimalna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c1}, V_{Rd.c.min}) = 0.481 \text{ MPa}$$

ostateczna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Rd.c} \geq V_{Ed} = 1$$

warunek spełniony, zbrojenie na przecięcie nie jest konieczne

Sprawdzenie warunku maksymalnej nośności na ścinanie na obwodzie słupa

$$u_0 := \min(3 \cdot d_{eff}, b_x + b_y) = 0.6 \text{ m}$$

długość obwodu słupa

$$v_{Ed} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{u_0 \cdot d_{eff}} = 0.836 \text{ MPa}$$

wz. 6.53 [N.4]

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \cdot MPa} \right) = 0.528$$

wz. 6.6N [N.4]

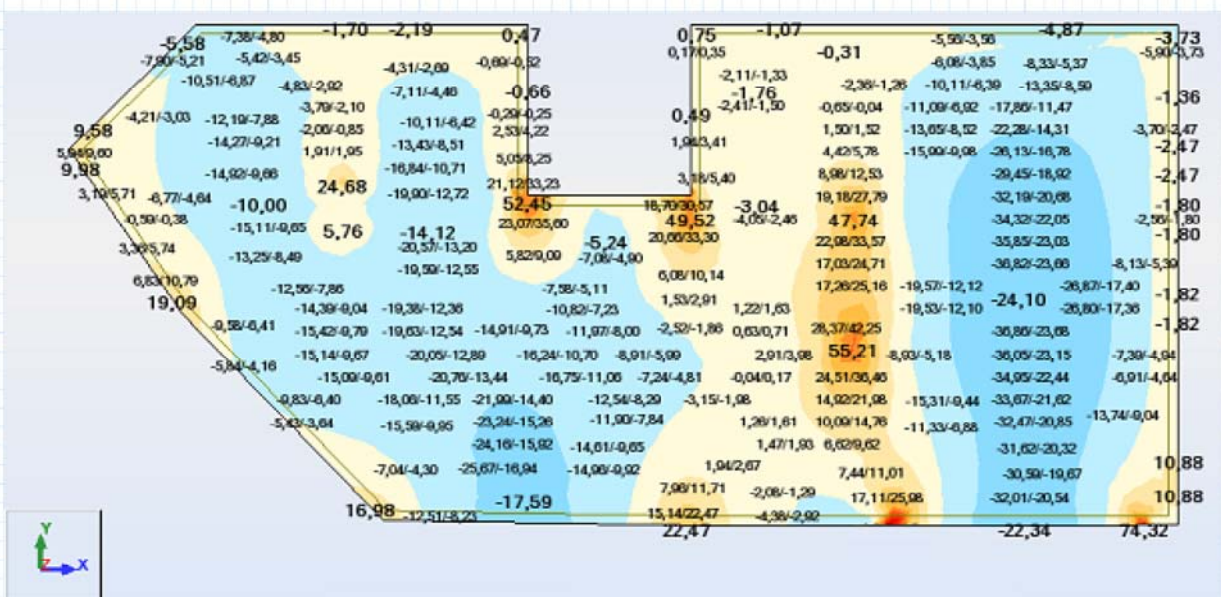
$$v_{Rd.max} := 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} = 5.657 \text{ MPa}$$

p. 6.4.5(4) [N.4]

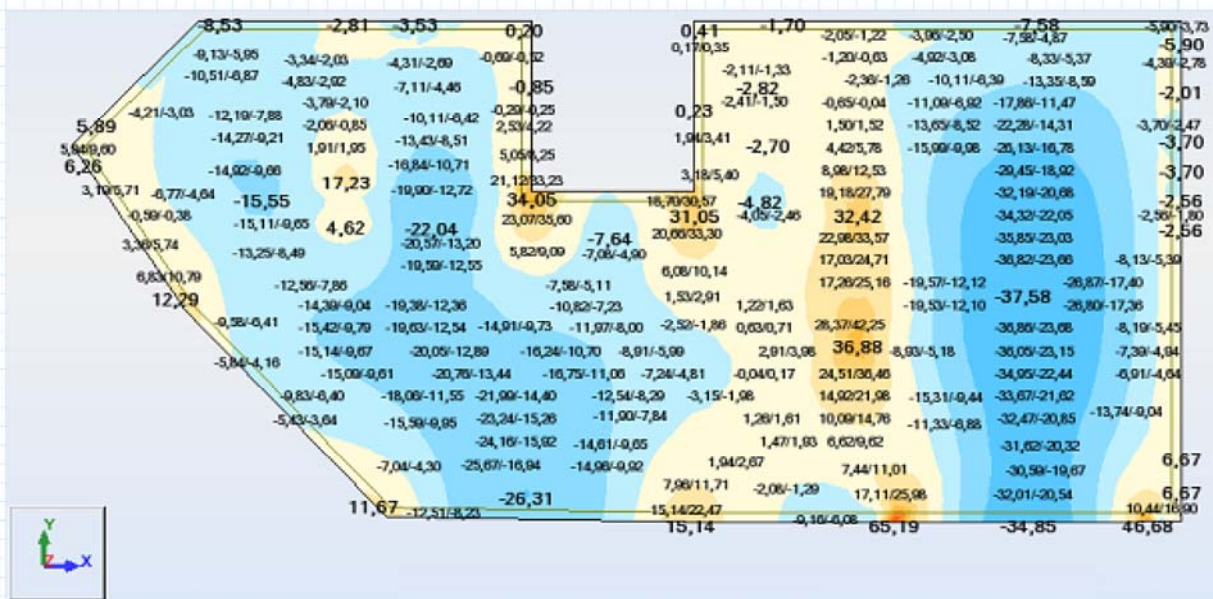
$$v_{Ed} \leq v_{Rd.max} = 1$$

warunek spełniony, zbrojenie na przecięcie nie jest konieczne

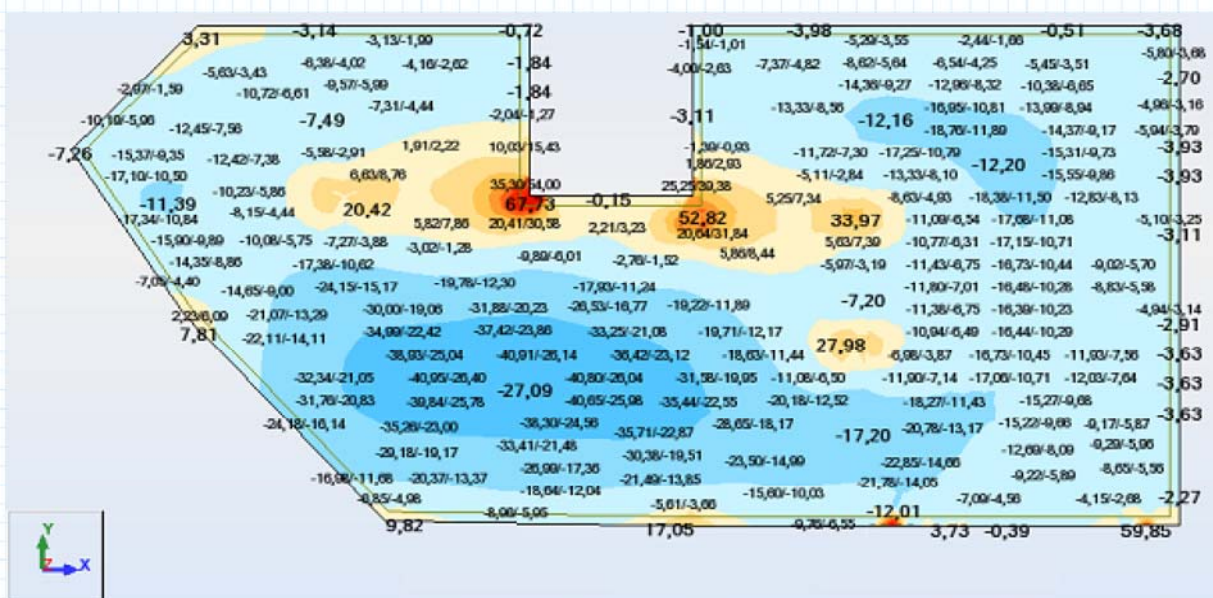
5.3. Mapy momentów uzyskane dla płyty stropowej - SGU



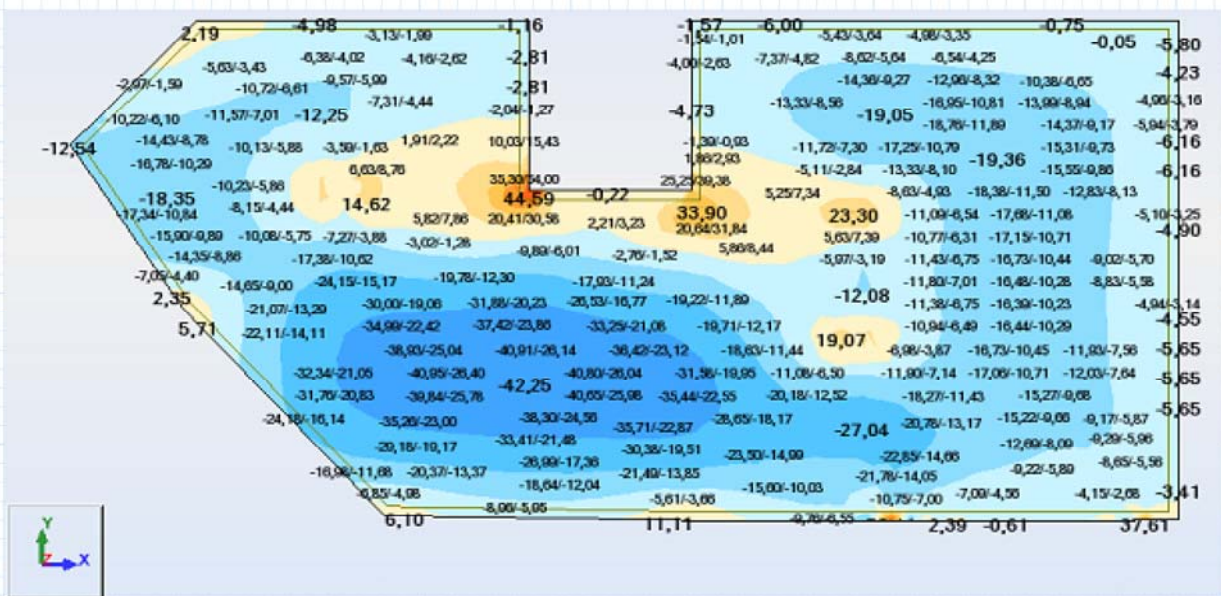
Rys. 5.11 Mapa momentów dodatnich w płycie stropowej w kierunku X



Rys. 5.12 Mapa momentów ujemnych w płycie stropowej w kierunku X



Rys. 5.13 Mapa momentów dodatnich w płycie stropowej w kierunku Y



Rys. 5.14 Mapa momentów ujemnych w płycie stropowej w kierunku Y

5.4. Wymiarowanie ze względu na stan graniczny użyteczności.

$$M_{Y,pod.k} := 67.73 \cdot kN \cdot m$$

maksymalny moment obliczeniowy zginający nad podporą na kierunku Y

$$d := d_y = 19.1 \text{ cm}$$

wysokość użyteczna przekroju

$$A_{s,prov} := A_{s2y,prov} = 13.404 \text{ cm}^2$$

przyjęta powierzchnia zbrojenia w rozpatrywanym przekroju

- **Rysy prostopadłe**

Określenie współczynnika pełzania

$$\alpha_e := \frac{E_s}{E_{cm}} = 6.25$$

stosunek modułów sprężystości stali i betonu

$$h_0 := 2 \cdot \frac{b \cdot h_f}{2 \cdot b + 2 \cdot h_f} = 20 \text{ cm}$$

miarodajny wymiar przekroju, wz. B.6 [N.4]

$$RH := 50\%$$

wilgotność względna

$$\alpha_1 := \left(\frac{35 \cdot \text{MPa}}{f_{cm}} \right)^{0.7} = 0.944$$

$$\alpha_2 := \left(\frac{35 \cdot \text{MPa}}{f_{cm}} \right)^{0.2} = 0.984$$

$$\phi_{RH} := \begin{cases} \text{if } f_{cm} < 35 \cdot \text{MPa} \\ \left| \left| \left| 1 + \frac{1 - RH}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0 \cdot \text{mm}^{-1}}} \right| \right| \right| \\ \text{else} \\ \left| \left| \left(1 + \frac{1 - RH}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0 \cdot \text{mm}^{-1}}} \cdot \alpha_1 \right) \cdot \alpha_2 \right| \right| \end{cases}$$

$$\phi_{RH} = 1.778$$

współczynnik zależny od wpływu wilgotności względnej na podstawowy współczynnik pełzania, wz. B.3a [N.4]

$$\beta_{f_{cm}} := \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm} \cdot \text{MPa}^{-1}}} = 2.725$$

współczynnik zależny od wytrzymałości betonu, wz. B.4 [N.4]

$$\Delta_t := 28$$

ilość dni dojrzewania betonu

$$T_{At} := 15$$

temperatura w jakiej dojrzewał beton w stopniach Celsjusza

$$t_{0,T} := \Delta_t \cdot e^{-\left(\frac{4000}{273 + T_{At}} - 13.65 \right)} = 22.05$$

wiek betonu w chwili obciążenia dostosowany do temperatury, wz. B.10 [N.4]

$$\alpha := 0$$

wartość zależna od klasy cementu - klasa N, p. B1(2) [N.4]

$$t_0 := \max \left(t_{0,T} \cdot \left(\frac{9}{2 + t_{0,T}^{1.2}} + 1.2 \right)^\alpha, 0.5 \right) = 22.05$$

wiek betonu w chwili obciążenia, wz. B9 [N.4]

$$\beta_{t_0} := \frac{1}{0.1 + t_0^{0.2}} = 0.511$$

współczynnik zależny od wieku betonu w chwili obciążenia, wz. B.5 [N.4]

$$\phi_{oo,10} := \phi_{RH} \cdot \beta_{fcm} \cdot \beta_{t0} = 2.476$$

podstawowy współczynnik pełzania,
wz. B.2 [N.4]

$$E_{c,eff} := \frac{E_{cm}}{1 + \phi_{oo,10}} = 9.205 \text{ GPa}$$

efektywny moduł sprężystości betonu,
wz. 5.27 [N.4]

$$\alpha_{e,eff} := \frac{E_s}{E_{c,eff}} = 21.727$$

stosunek modułów sprężystości stali i betonu

$$A_c := h_f \cdot b = 0.25 \text{ m}^2$$

pole powierzchni analizowanego przekroju płyty

$$x_I := \frac{0.5 \cdot b \cdot h_f^2 + \alpha_e \cdot A_{s,prov} \cdot d}{h_f \cdot b + \alpha_e \cdot A_{s,prov}} = 12.714 \text{ cm}$$

wysokość strefy ściskanej betonu przekroju
nie zarysowanego

$$I_I := \frac{b \cdot h_f^3}{12} + A_c \cdot \left(\frac{h_f}{2} - x_I \right)^2 + \alpha_e \cdot A_{s,prov} \cdot (d - x_I)^2$$

$$I_I = 0.001 \text{ m}^4$$

moment bezwładności przekroju niezarysowanego

$$W := \frac{I_I}{h_f - x_I} = (1.089 \cdot 10^4) \text{ cm}^3$$

wskaźnik przekroju niezarysowanego

$$M_{cr} := f_{ctm} \cdot W = 31.53 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment rysujący

$$M_{cr} > M_{Y,pod,k} = 0$$

warunek nie spełniony - przekrój zarysowany

$$x_{II} := \frac{\sqrt{\alpha_{e,eff} \cdot A_{s,prov}^2 + 2 \cdot b \cdot \alpha_{e,eff} \cdot A_{s,prov} \cdot d - \alpha_{e,eff} \cdot A_{s,prov}}}{b}$$

$$x_{II} = 7.654 \text{ cm}$$

wysokość strefy ściskanej przekroju zarysowanego

$$I_{II} := \alpha_{e,eff} \cdot A_{s,prov} \cdot (d - x_{II})^2 + \frac{b \cdot x_{II}^3}{3}$$

$$I_{II} = (5.31 \cdot 10^4) \text{ cm}^4$$

moment bezwładności przekroju zarysowanego

$$\sigma_s := \alpha_{e,eff} \cdot \frac{M_{Y,pod,k} \cdot (d - x_{II})}{I_{II}} = 317.205 \text{ MPa}$$

naprężenia w stali zbrojeniowej

$$k_t := 0.4$$

współczynnik zależny od czasu trwania
obciążenia - przyjęto wartość dla
obciążenia długotrwałego, wz. 7.9 [N.4]

$$h_{t,eff} := \min \left(\frac{h_f - x_{II}}{3}, 2.5 \cdot (h_f - d) \right) = 5.782 \text{ cm}$$

wysokość efektywnego pola rozciąganego,
p. 7.3.2(2), rys. 7.1 [N.4]

$$A_{c,eff} := h_{t,eff} \cdot b = 578.21 \text{ cm}^2$$

efektywne pole przekroju betonu rozciąganego

$$\rho_{p,eff} := \frac{A_{s,prov}}{A_{c,eff}} = 2.318 \text{ 1\%}$$

efektywny stopień zbrojenia, wz. 7.10 [N.4]

$$\Delta\varepsilon_m := \max \left(\frac{\sigma_s - k_1 \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s}, 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \right)$$

$$\Delta\varepsilon_m = 0.13 \text{ 1\%}$$

odkształcenie w przekroju

$$\sigma_s := \frac{M_{Y,pod.k} \cdot x_{II}}{I_{II}} = 9.762 \text{ MPa}$$

$$0.45 \cdot f_{ck} = 13.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s < 0.45 \cdot f_{ck} = 1$$

warunek spełniony - pełzanie liniowe

$$k_1 := 0.8$$

współczynnik zależny od przyczepności zbrojenie - wartość dla prętów o wysokiej przyczepności, p. 7.3.4(3) [N.4]

$$k_2 := 0.5$$

współczynnik zależny od rozkładu odkształceń - wartość dla zginania, p. 7.3.4(3) [N.4]

$$k_3 := 3.4$$

współczynnik, p. 7.3.4(3) [N.4]

$$k_4 := 0.425$$

współczynnik, p. 7.3.4(3) [N.4]

$$s_{r,max} := k_3 \cdot c_{nom} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_1}{\rho_{p,eff}} = 206.999 \text{ mm}$$

$$w_k := s_{r,max} \cdot \Delta\varepsilon_m = 0.269 \text{ mm}$$

obliczeniowa szerokość rysy

$$w_{lim} := 0.3 \cdot \text{mm}$$

graniczna szerokość rysy

$$w_k < w_{lim} = 1$$

warunek spełniony

• **Sprawdzenie ugięcia stropu między słupami w osiach B`-5 i C-5 w kierunku Y**

$$d := d_y = 19.1 \text{ cm}$$

wysokość użyteczna przekroju

$$A_{s,prov} := A_{sly,prov} = 7.54 \text{ cm}^2$$

przyjęta powierzchnia zbrojenia w rozpatrywanym przekroju

$$\beta := 0.5$$

współczynnik zależny od wpływu czasu trwania obciążenia lub wpływu obciążeń powtarzalnych na średnie odkształcenie, dla obciążeń i wielokrotnie powtarzalnych, p. 7.4.3 (3) [N.4]

Ugięcie dla fazy I

Ugięcie dla fazy I

$$x_I := \frac{0.5 \cdot b \cdot h_f^2 + \alpha_e \cdot A_{s,prov} \cdot d}{b \cdot h_f + \alpha_e \cdot A_{s,prov}} = 12.622 \text{ cm}$$

wysokość strefy ściskanej betonu przekroju nie zarysowanego

$$I_I := \frac{b \cdot h_f^3}{12} + A_c \cdot \left(\frac{h_f}{2} - x_I \right)^2 + \alpha_e \cdot A_{s,prov} \cdot (d - x_I)^2$$

$$I_I = 0.001 \text{ m}^4$$

moment bezwładności przekroju niezarysowanego

$$W := \frac{I_I}{h_f - x_I} = (1.068 \cdot 10^4) \text{ cm}^3$$

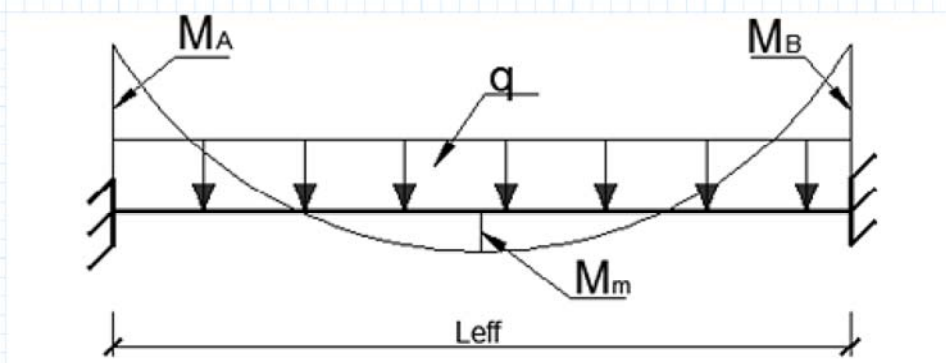
wskaźnik przekroju niezarysowanego

$$B_I := I_I \cdot E_{c,eff} = 12.171 \text{ MN} \cdot \text{m}^2$$

szytywność przekroju nie zarysowanego

$$M_{cr} := f_{ctm} \cdot W = 30.941 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment krytyczny



Rys. 5.15 Schemat statyczny i rozkład momentów w analizowanym paśmie płyty

$$l_{eff} := 2.9 \cdot m$$

długość efektywna przekroju

$$M_1 := 32.42 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

wartość momentu nad słupem na skrzyżowaniu osi B-5

$$M_2 := 36.88 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

wartość momentu nad słupem na skrzyżowaniu osi C-5

$$M_m := 25.16 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

wartość momentu pomiędzy nimi

$$\alpha_k := \frac{5}{48} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_1 + M_2}{M_m \cdot 10} \right) \right) = 0.075$$

$$a_I := \alpha_k \cdot \frac{M_m \cdot l_{eff}^2}{B_I} = 0.131 \text{ cm}$$

ugięcie dla fazy I

- Sprawdzenie ugięcia stropu w prześle pomiędzy osiami 4 i 7 w kierunku X

• Sprawdzenie ugięcia stropu w przęśle pomiędzy osiami 4 i 7 w kierunku X

$$d := d_x = 20.7 \text{ cm}$$

wysokość użyteczna przekroju

$$A_{s,prov} := A_{s,lx,prov} = 7.54 \text{ cm}^2$$

przyjęta powierzchnia zbrojenia w rozpatrywanym przekroju - dołem

$$\beta := 0.5$$

współczynnik zależny od wpływu czasu trwania obciążenia lub wpływu obciążeń powtarzalnych na średnie odkształcenie, dla obciążeń i wielokrotnie powtarzalnych p. 7.4.3 (3) [N.4]

Ugięcie dla fazy I

$$x_I := \frac{0.5 \cdot b \cdot h_f^2 + \alpha_e \cdot A_{s,prov} \cdot d}{b \cdot h_f + \alpha_e \cdot A_{s,prov}} = 12.652 \text{ cm}$$

wysokość strefy ściskanej betonu przekroju nie zarysowanego

$$I_I := \frac{b \cdot h_f^3}{12} + A_c \cdot \left(\frac{h_f}{2} - x_I \right)^2 + \alpha_e \cdot A_{s,prov} \cdot (d - x_I)^2$$

$$I_I = 0.001 \text{ m}^4$$

moment bezwładności przekroju niezarysowanego

$$W := \frac{I_I}{h_f - x_I} = 0.011 \text{ m}^3$$

wskaźnik przekroju niezarysowanego

$$B_I := I_I \cdot E_{c,eff} = 12.272 \text{ MN} \cdot \text{m}^2$$

szytywność przekroju nie zarysowanego

$$M_{cr} := f_{ctm} \cdot W = 31.272 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment rysujący

$$l_{eff} := 7.2 \cdot \text{m}$$

długość efektywna przekroju

$$M_1 := 25.16 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

wartość momentu nad słupem nr 1

$$M_2 := 0.11 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

wartość momentu przy ścianie

$$M_m := 37.58 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

wartość momentu w przęśle

$$\zeta := 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_m} \right)^2 = 0.654$$

współczynnik dystrybucji, wz. 7.19

$$\alpha_k := \frac{5}{48} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_1 + M_2}{M_m \cdot 10} \right) \right) = 0.097$$

$$a_I := \alpha_k \cdot \frac{M_m \cdot l_{eff}^2}{B_I} = 1.542 \text{ cm}$$

ugięcie dla fazy I

$$x_{II} := \frac{\sqrt{(\alpha_e \cdot A_{s,prov})^2 + 2 \cdot b \cdot \alpha_e \cdot A_{s,prov} \cdot d - \alpha_e \cdot A_{s,prov}}}{h}$$

b

$$x_{II} = 6.758 \text{ cm}$$

wysokość strefy ściskanej
przekroju zarysowanego

$$I_{II} := \alpha_{e,eff} \cdot A_{s,prov} \cdot (d - x_{II})^2 + \frac{b \cdot x_{II}^3}{3}$$

$$I_{II} = (4.213 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^4$$

moment bezwładności przekroju zarysowanego

$$B_{II} := I_{II} \cdot E_{c,eff} = 3.878 \text{ MN} \cdot \text{m}^2$$

wskaźnik przekroju zarysowanego

$$a_{II} := \alpha_k \cdot \frac{M_m \cdot l_{eff}^2}{B_{II}} = 4.881 \text{ cm}$$

$$a_2 := \zeta \cdot a_{II} + (1 - \zeta) \cdot a_I = 3.725 \text{ cm}$$

ugięcie dla przekroju, wz. 7.18 [N.4]

$$a_k := a_I + a_2 = 3.856 \text{ cm}$$

całkowite ugięcie

$$a_{lim} := \frac{l_{eff}}{250} = 2.88 \text{ cm}$$

graniczne ugięcie, p. 7.4.1(4) [N.4]

$$a_k < a_{lim} = 0$$

warunek nie jest spełniony, ugięcie przekroczone

Ze względu na przekroczenie ugięcia zmniejszono rozstaw prętów do 8 cm dzięki czemu pole przekroju wzrosło do $14,14 \text{ cm}^2$ a ugięcie zmniejszyło się do wartości $2,6 \text{ cm} < a_{lim} = 2,88 \text{ cm}$

• Sprawdzenie ugięcia stropu w przęśle w osi 3 w kierunku Y

$$d := d_y = 19.1 \text{ cm}$$

wysokość użyteczna przekroju

$$A_{s,prov} := A_{sIy,prov} = 7.54 \text{ cm}^2$$

przyjęta powierzchnia zbrojenia w
rozpatrywanym przekroju - dołem

$$\beta := 0.5$$

współczynnik zależny od wpływu czasu trwania
obciążenia lub wpływu obciążeń powtarzalnych
na średnie odkształcenie, dla obciążeń i
wielokrotnie powtarzalnych p. 7.4.3 (3) [N.4]

Ugięcie dla fazy I

$$x_I := \frac{0.5 \cdot b \cdot h_f^2 + \alpha_e \cdot A_{s,prov} \cdot d}{b \cdot h_f + \alpha_e \cdot A_{s,prov}} = 12.622 \text{ cm}$$

wysokość strefy ściskanej betonu przekroju nie
zarysowanego

$$I_I := \frac{b \cdot h_f^3}{12} + A_c \cdot \left(\frac{h_f}{2} - x_I \right)^2 + \alpha_e \cdot A_{s,prov} \cdot (d - x_I)^2$$

$$I_I = 0.001 \text{ m}^4$$

moment bezwładności
przekroju niezarysowanego

$$W := \frac{I_I}{h_f - x_I} = 0.011 \text{ m}^3$$

wskaźnik przekroju niezarysowanego

$$B_I := I_I \cdot E_{c,eff} = 12.171 \text{ MN} \cdot \text{m}^2$$

szttywność przekroju nie zarysowanego

$$M_{cr} := f_{ctm} \cdot W = 30.941 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment rysujący

$$l_{eff} := 7.25 \cdot \text{m}$$

długość efektywna przekroju

$$M_I := 44.59 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

wartość momentu nad słupem nr 1

$$M_2 := 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

wartość momentu przy ścianie

$$M_m := 42.25 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

wartość momentu w przęśle

$$\zeta := 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_m} \right)^2 = 0.732$$

współczynnik dystrybucji, wz. 7.19

$$\alpha_k := \frac{5}{48} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_I + M_2}{M_m \cdot 10} \right) \right) = 0.093$$

$$a_I := \alpha_k \cdot \frac{M_m \cdot l_{eff}^2}{B_I} = 1.7 \text{ cm}$$

ugięcie dla fazy I

$$x_{II} := \frac{\sqrt{(\alpha_{e,eff} \cdot A_{s,prov})^2 + 2 \cdot b \cdot \alpha_{e,eff} \cdot A_{s,prov} \cdot d - \alpha_{e,eff} \cdot A_{s,prov}}}{b}$$

$$x_{II} = 6.44 \text{ cm}$$

wysokość strefy ściskanej przekroju zarysowanego

$$I_{II} := \alpha_{e,eff} \cdot A_{s,prov} \cdot (d - x_{II})^2 + \frac{b \cdot x_{II}^3}{3}$$

$$I_{II} = (3.516 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^4$$

moment bezwładności przekroju zarysowanego

$$B_{II} := I_{II} \cdot E_{c,eff} = 3.236 \text{ MN} \cdot \text{m}^2$$

wskaźnik przekroju zarysowanego

$$a_{II} := \alpha_k \cdot \frac{M_m \cdot l_{eff}^2}{B_{II}} = 6.393 \text{ cm}$$

$$a_{II} := \zeta \cdot a_{II} + (1 - \zeta) \cdot a_I = 5.135 \text{ cm}$$

ugięcie dla przekroju, wz. 7.18 [N.4]

$$a_{lim} := \frac{l_{eff}}{250} = 2.9 \text{ cm}$$

graniczne ugięcie, p. 7.4.1(4) [N.4]

$$a_{II} < a_{lim} = 0$$

warunek nie jest spełniony, ugięcie przekroczone

Ze względu na przekroczenie ugięcia zmniejszono rozstaw prętów do 10 cm dzięki czemu pole

Ze względu na przekroczenie ugięcia zmniejszono rozstaw prętów do 10 cm dzięki czemu pole przekroju wzrosło do $20,11 \text{ cm}^2$ a ugięcie zmniejszyło się do wartości $2,8 \text{ cm} < a_{\text{lim}} = 2,9 \text{ cm}$

6. Wymiarowanie belki B-1 znajdującej się w osi B i między osiami 2 i 7

• Parametry przekroju:

$$h := 50 \cdot \text{cm}$$

wysokość belki

$$b_w := 30 \cdot \text{cm}$$

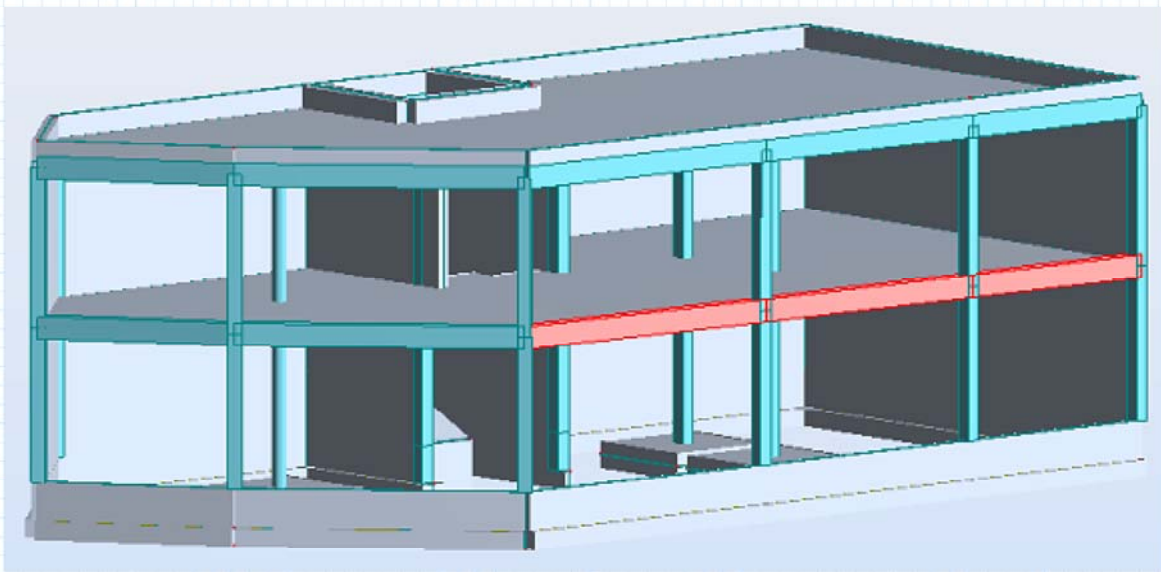
szerokość belki

$$h_f = 25 \text{ cm}$$

grubość płyty

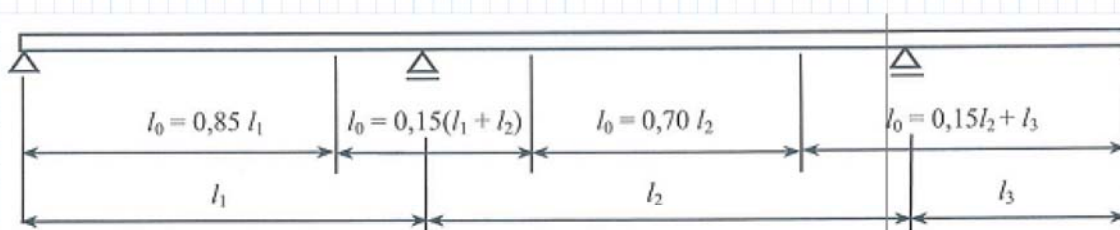
$$t := 30 \cdot \text{cm}$$

wymiary słupa

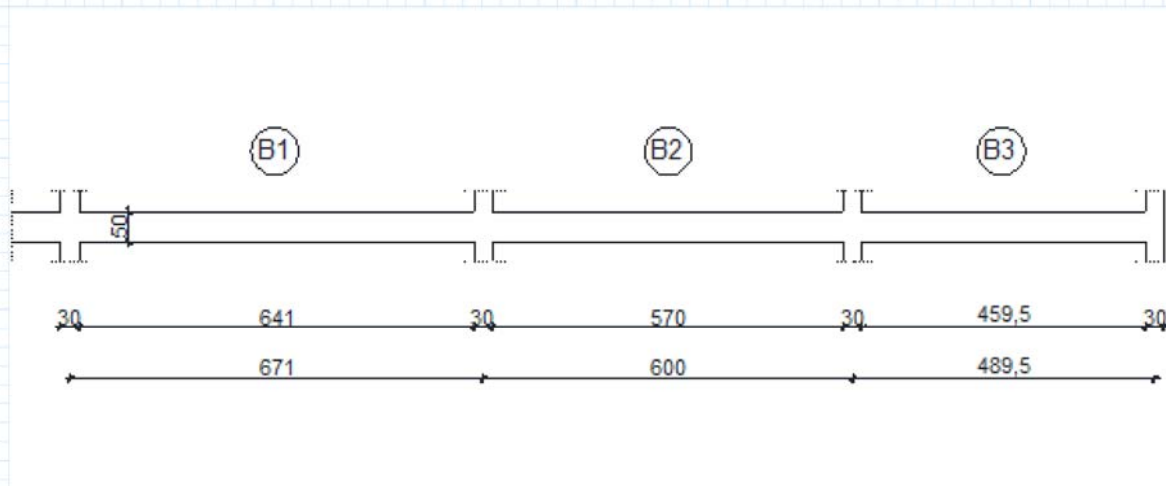


Rys. 6.1 Model wymiarowanej belki

• Wyznaczenie szerokości efektywnej przekroju - belka współpracująca z płytą stropu:



Rys. 6.2 Wartości l_0 , rys. 5.2. [N.4]



Rys. 6.3 Widok wymiarowanej belki

$$l_{n1} := 671 \cdot \text{cm}$$

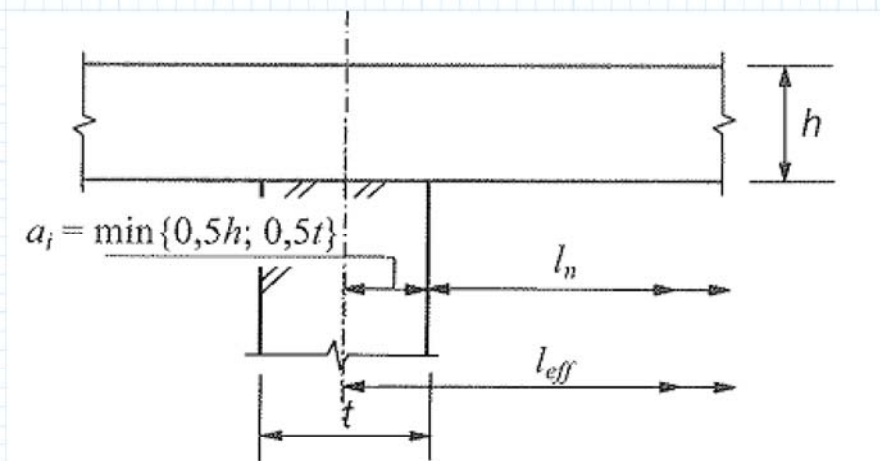
$$l_{n2} := 600 \cdot \text{cm}$$

$$l_{n3} := 489 \cdot \text{cm}$$

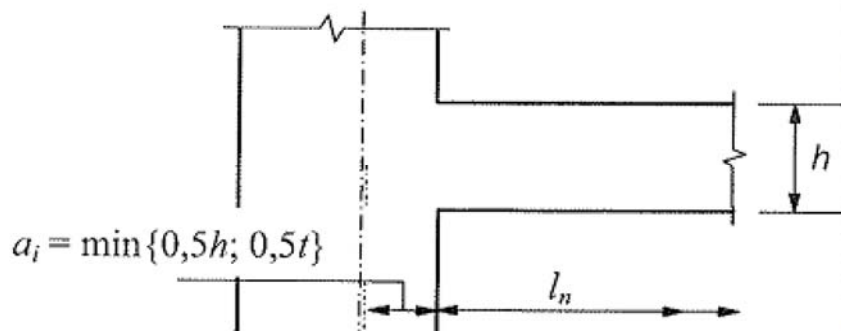
rozpiętość w świetle podpór - belka nr 1

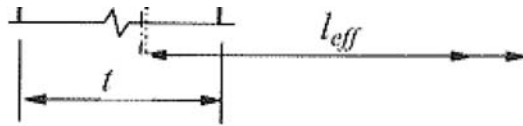
rozpiętość w świetle podpór - belka nr 2

rozpiętość w świetle podpór - belka nr 3



a) elementy ciągłe





b) podpory uznane za utwierdzenie

Rys. 6.4 Rozpiętość efektywna belki, rys. 5.4. [N.4]

$$a_1 := \min(0.5 \cdot t, 0.5 \cdot h) = 15 \text{ cm}$$

$$a_2 := a_1 = 15 \text{ cm}$$

$$l_{eff,1} := l_{n1} + a_1 + a_2 = 701 \text{ cm}$$

rozpiętość efektywna - belka nr 1

$$l_{eff,2} := l_{n2} + a_1 + a_2 = 630 \text{ cm}$$

rozpiętość efektywna - belka nr 2

$$l_{eff,3} := l_{n3} + a_1 + a_2 = 519 \text{ cm}$$

rozpiętość efektywna - belka nr 3

$$l_{0,1} := 0.7 \cdot l_{eff,1} = 490.7 \text{ cm}$$

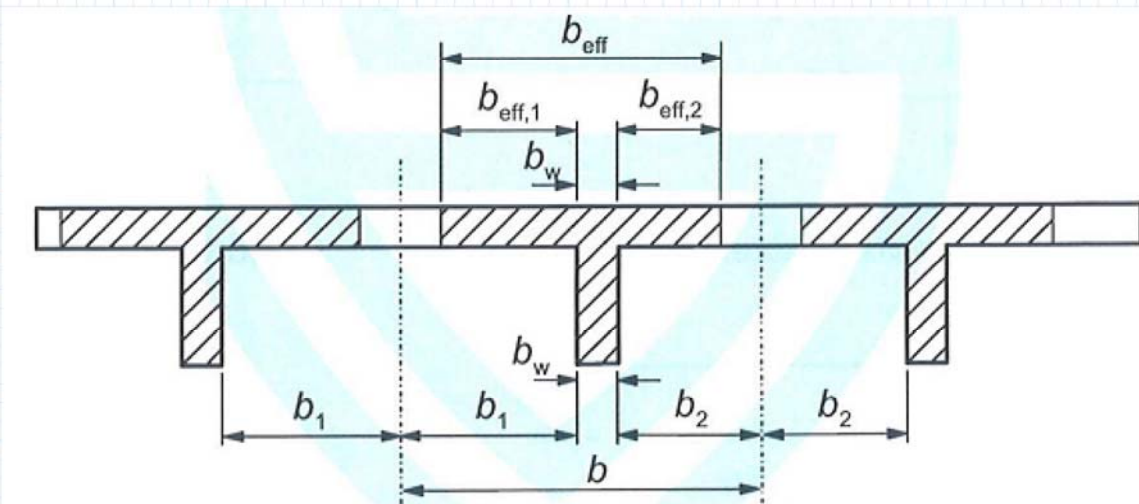
wymiar dla belki nr 1, rys. 5.2. [N.4]

$$l_{0,2} := 0.7 \cdot l_{eff,2} = 441 \text{ cm}$$

wymiar dla belki nr 2, rys. 5.2. [N.4]

$$l_{0,3} := 0.85 \cdot l_{eff,3} = 441.15 \text{ cm}$$

wymiar dla belki nr 3, rys. 5.2. [N.4]



Rys. 6.5 Oznaczenie wymiarów, rys. 5.3. [N.4]

Półka z jednej strony

$$b_1 := \frac{695 \cdot \text{cm}}{2} = 347.5 \text{ cm}$$

wymiar dla belki nr 1, rys. 5.4. [N.4]

$$b_2 := \frac{655 \cdot \text{cm}}{2} = 327.5 \text{ cm}$$

wymiar dla belki nr 2, rys. 5.4. [N.4]

$$b_3 := \frac{655 \cdot \text{cm}}{2} = 327.5 \text{ cm}$$

wymiar dla belki nr 3, rys. 5.4. [N.4]

$$b_{\text{eff},1} := \min(0.2 \cdot b_1 + 0.1 \cdot l_{0,1}, 0.2 \cdot l_{0,1}, b_1) + b_w$$

$$b_{\text{eff},1} = 128.14 \text{ cm}$$

szerokość efektywna półki - belka nr 1

$$b_{\text{eff},2} := \min(0.2 \cdot b_2 + 0.1 \cdot l_{0,2}, 0.2 \cdot l_{0,2}, b_2) + b_w$$

$$b_{\text{eff},2} = 118.2 \text{ cm}$$

szerokość efektywna półki - belka nr 2

$$b_{\text{eff},3} := \min(0.2 \cdot b_3 + 0.1 \cdot l_{0,3}, 0.2 \cdot l_{0,3}, b_3) + b_w$$

$$b_{\text{eff},3} = 118.23 \text{ cm}$$

szerokość efektywna półki - belka nr 3

• Materiały:

Beton: C30/37

Stal zbrojeniowa :

- Zbrojenie główne: AIIIIN RB500W

$$\phi := 16 \cdot \text{mm}$$

przyjęta średnica prętów głównych

- Strzemiona: A1-St3S

$$f_{ywd} := 210 \cdot \text{MPa}$$

obliczeniowa granica plastyczności

$$f_{ywK} := 240 \cdot \text{MPa}$$

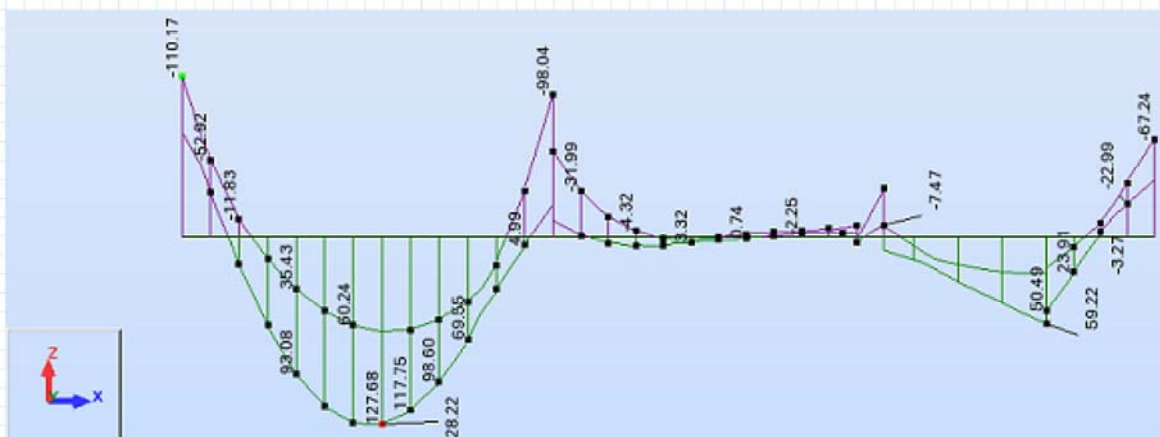
charakterystyczna granica plastyczności

$$\phi_s := 10 \cdot \text{mm}$$

przyjęta średnica dla strzemion

6.1. Wykresy sił potrzebny do zwymiarowania rozpatrywanej belki.

6.1.1. Wykres momentów zginających obliczeniowych



Rys. 6.6 Wykres momentów zginających

$$M_{Ed.1.pod} := 110.17 \cdot kN \cdot m$$

maksymalny moment zginający nad podporą nr 1

$$M_{Ed.1.prz} := 128.22 \cdot kN \cdot m$$

maksymalny moment zginający w przęśle dla belki nr 1

$$M_{Ed.2.pod} := 98.04 \cdot kN \cdot m$$

maksymalny moment zginający nad podporą nr 2

$$M_{Ed.2.prz} := 3.32 \cdot kN \cdot m$$

maksymalny moment zginający w przęśle dla belki nr 2

$$M_{Ed.3.pod} := 31 \cdot kN \cdot m$$

maksymalny moment zginający nad podporą nr 3

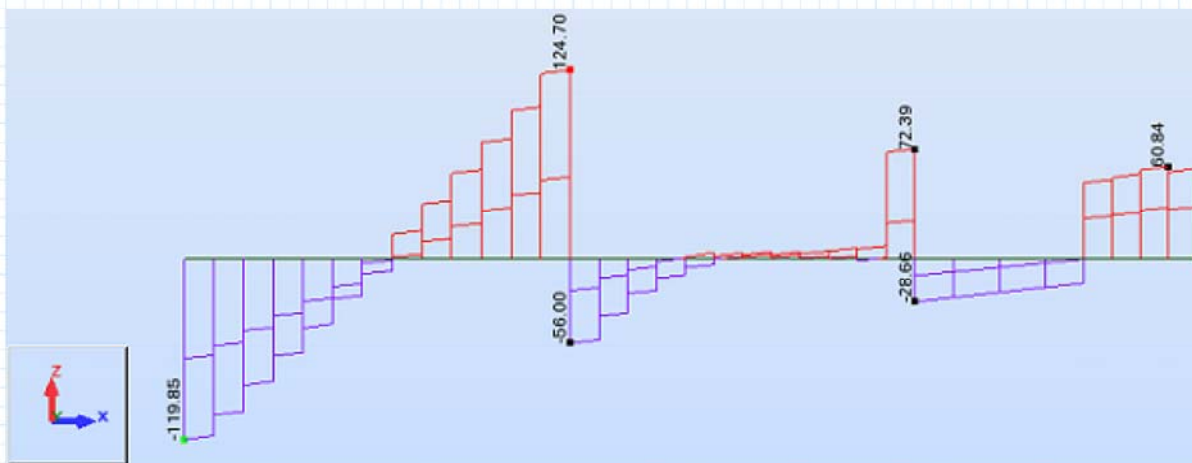
$$M_{Ed.3.prz} := 59.2 \cdot kN \cdot m$$

maksymalny moment zginający w przęśle dla belki nr 3

$$M_{Ed.4.pod} := 67.24 \cdot kN \cdot m$$

maksymalny moment zginający nad podporą nr 4

6.1.2 Wykres siły ścinających



Rys. 6.7 Wykres sił ścinających

$$V_{Ed.1} := 119.85 \cdot kN$$

siła ścinająca przy podporze nr 1

$$V_{Ed.2} := 124.7 \cdot kN$$

siła ścinająca przy podporze nr 2

$$V_{Ed.3} := 72.39 \cdot kN$$

siła ścinająca przy podporze nr 3

$$V_{Ed.4} := 60.84 \cdot kN$$

siła ścinająca przy podporze nr 4

6.1.3 Maksymalne siły skręcające



Rys. 6.8 Wykres momentów skręcających

$$T_{Ed.1} := 51.52 \cdot kN \cdot m$$

siła skręcająca przy podporze nr 1

$$T_{Ed.2} := 102.5 \cdot kN \cdot m$$

siła skręcająca przy podporze nr 2

6.2. Wymiarowanie ze względu na stan graniczny nośności - zginanie.

• Otulina:

klasa ekspozycji

Środowisko:

klasa konstrukcji

$$c_{min.b} := \phi = 16 \text{ mm}$$

minimalne otulenie ze względu na przyczepność, tabl. 4.2. [N.4]

$$c_{min.dur} := 25 \cdot \text{mm}$$

minimalne otulenie wymagane ze względu na trwałość stali zbrojeniowej, tabl. 4.4N [N.4]

$$\Delta c_{dur.\gamma} := 0$$

składnik bezpieczeństwa, p. 4.4.1.2(6) [N.4]

$$\Delta c_{dur.st} := 0$$

wartość zmniejszenia otulenia ze względu na stosowanie stali nierdzewnej, p. 4.4.1.2(6) [N.4]

$$\Delta c_{dur.add} := 0$$

wartość zmniejszenia otulenia ze względu na dodatkową ochronę betonu, p. 4.4.1.2.(8) [N.4]

$$c_{min} := \max(c_{min.b}, c_{min.dur} + \Delta c_{dur.\gamma} - \Delta c_{dur.st} - \Delta c_{dur.add}, 10 \cdot \text{mm})$$

$$c_{min} = 25 \text{ mm}$$

otulenie minimalne, wz. 4.2 [N4]

$$\Delta c_{dev} := 10 \cdot \text{mm}$$

odchyłka otulenia, p. 4.4.1.3(1) [N.4]

$$c_{nom} := c_{min} + \Delta c_{dev} = 35 \text{ mm}$$

otulenie nominalne

• Minimalny procent zbrojenia w belce

$$k_c := 0.4$$

współczynnik zależny od rozkładu naprężeń w przekroju w chwili bezpośrednio poprzedzającej zarysowanie oraz do zmiany ramienia sił wewnętrznych, p. 7.3.2. [N.4]

$$k := 0.79$$

współczynnik zależny od wpływu nierównomiernych, samo równoważących się naprężeń, pkt. 7.3.2. [N.4]

$$A_{ct} := 0.5 \cdot h \cdot b_w = 0.075 \text{ m}^2$$

pole przekroju strefy rozciąganej betonu, p. 7.3.2. [N.4]

$$f_{ct,eff} := f_{ctm} = 2.896 \text{ MPa}$$

średnia wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie osiągnięta w chwili powstania rysy, p. 7.3.2. [N.4]

$$w_{lim} := 0.3 \cdot \text{mm}$$

graniczna szerokość rys, tabl. 7.2N [N.4]

$$\sigma_s := 240 \cdot \text{MPa}$$

wartość bezwzględna maksymalnego dozwolonego naprężenia w zbrojeniu, przyjęta wg tabl. 7.2N [N.4]

$$a_1 := c_{nom} + \phi_s + \frac{\phi}{2} = 5.3 \text{ cm}$$

odległość środka ciężkości zbrojenia od krawędzi elementu

$$d := h - a_1 = 44.7 \text{ cm}$$

użyteczna wysokość przekroju

$$A_{s,min1} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d = 2.02 \text{ cm}^2$$

minimalne pole przekroju zbrojenia, wz. 9.1N [N.4]

$$A_{s,min2} := 0.0013 \cdot b_w \cdot d = 1.743 \text{ cm}^2$$

minimalne pole przekroju zbrojenia, wz. 9.1N [N.4]

$$A_{s,min3} := k \cdot k_c \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 2.86 \text{ cm}^2$$

minimalne pole przekroju zbrojenia ze względu na szerokość rys, w. 7.1 [N.4]

$$A_{s,min} := \max(A_{s,min1}, A_{s,min2}, A_{s,min3})$$

$$A_{s,min} = 2.86 \text{ cm}^2$$

minimalne pole powierzchni zbrojenia

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie w przęśle - belka nr 1

$$b := b_{eff,1} = 128.14 \text{ cm}$$

efektywna szerokość przekroju

$$M_{Rd,1} := f_{cd} \cdot b \cdot h_f \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) = 2210.415 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

moment płytowy

$$M_{Ed,1,prz} < M_{Rd,1} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pozornie teowy

$$S_{cc,eff} := \frac{M_{Ed,1,prz}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = 0.023$$

moment statyczny efektywnego pola ściskanej strefy przekroju o wysokości x_{eff}

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{cc,eff}} = 0.024$$

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pojedynczo zbrojony

$$x_{eff} := d \cdot \xi_{eff} = 1.057 \text{ cm}$$

efektywna wysokość strefy ściskanej

$$A_{s,req} := \frac{x_{eff} \cdot b \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 6.676 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$A_{s2} := \max(A_{s,req}, A_{s,min}) = 6.676 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojona

$$n := 4$$

ilość prętów

$$A_{s1,prov} := n \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 8.042 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole zbrojenia

$$M_{Ed} := M_{Ed,1,prz} = 128.22 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment

$$M_{Rd} := A_{s1,prov} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0.5 \cdot x_{eff}) = 154.456 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

nośność przekroju

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie w przęśle - belka nr 3

$$b := b_{eff,3} = 118.23 \text{ cm}$$

efektywna szerokość półki

$$M_{Rd} := f_{cd} \cdot b \cdot h_f \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) = 2039.468 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

moment płytowy

$$M_{Ed,3,prz} < M_{Rd} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pozornie teowy

$$S_{cc,eff} := \frac{M_{Ed,3,prz}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = 0.012$$

moment statyczny efektywnego pola ściskanej strefy przekroju o wysokości x_{eff}

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{cc,eff}} = 0.012$$

względna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pojedynczo zbrojony

$$x_{eff} := d \cdot \xi_{eff} = 0.526 \text{ cm}$$

efektywna wysokość strefy ściskanej

$$A_{s,req} := \frac{x_{eff} \cdot b \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 3.064 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$A_{s2} := \max(A_{s,req}, A_{s,min}) = 3.064 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojona

$$n := 2$$

ilość prętów

$$A_{s2,prov} := n \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 4.021 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole zbrojenia

$$M_{Ed} := M_{Ed.3.prz} = 59.2 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

maksymalny moment

$$M_{Rd} := A_{s2.prov} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0.5 \cdot x_{eff}) = 77.692 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

nośność przekroju

• **Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie nad podporą nr 1**

$$b := b_w = 30 \text{ cm}$$

efektywna szerokość półki

$$S_{cc.eff} := \frac{M_{Ed.1.pod}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = 0.086$$

moment statyczny efektywnego pola ściskanej strefy przekroju o wysokości x_{eff}

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{cc.eff}} = 0.09$$

względna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} < \xi_{eff.lim} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pojedynczo zbrojony

$$x_{eff} := d \cdot \xi_{eff} = 4.014 \text{ cm}$$

efektywna wysokość strefy ściskanej

$$A_{s.req} := \frac{x_{eff} \cdot b \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 5.935 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$A_{s3} := \max(A_{s.req}, A_{s.min}) = 5.935 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$n := 3$$

ilość prętów

$$A_{s3.prov} := n \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 6.032 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole zbrojenia

$$M_{Ed} := M_{Ed.1.pod} = 110.17 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

maksymalny moment

$$M_{Rd} := A_{s3.prov} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0.5 \cdot x_{eff}) = 111.964 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

nośność przekroju

• **Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie nad podporą nr 2**

$$b := b_w = 30 \text{ cm}$$

efektywna szerokość półki

$$S_{cc.eff} := \frac{M_{Ed.2.pod}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = 0.076$$

moment statyczny efektywnego pola ściskanej strefy przekroju o wysokości x_{eff}

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{cc.eff}} = 0.079$$

względna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} < \xi_{eff.lim} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pojedynczo zbrojony

$$x_{eff} := d \cdot \xi_{eff} = 3.553 \text{ cm}$$

efektywna wysokość strefy ściskanej

$$A_{s.req} := \frac{x_{eff} \cdot b \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 5.253 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$A_{s4} := \max(A_{s.req}, A_{s.min}) = 5.253 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$n := 3$$

ilość prętów

$$A_{s4,prov} := n \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 6.032 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole zbrojenia

$$M_{Ed} := M_{Ed,2,pod} = 98.04 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment

$$M_{Rd} := A_{s4,prov} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0.5 \cdot x_{eff}) = 112.569 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

nośność przekroju

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie nad podporą nr 3

$$b := b_w = 30 \text{ cm}$$

efektywna szerokość półki

$$S_{cc,eff} := \frac{M_{Ed,3,pod}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = 0.024$$

moment statyczny efektywnego pola ściskanej strefy przekroju o wysokości x_{eff}

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{cc,eff}} = 0.024$$

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pojedynczo zbrojony

$$x_{eff} := d \cdot \xi_{eff} = 1.092 \text{ cm}$$

efektywna wysokość strefy ściskanej

$$A_{s,req} := \frac{x_{eff} \cdot b \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 1.615 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$A_{s5} := \max(A_{s,req}, A_{s,min}) = 2.86 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$n := 2$$

ilość prętów

$$A_{s5,prov} := n \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 4.021 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole zbrojenia

$$M_{Ed} := M_{Ed,3,pod} = 31 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment

$$M_{Rd} := A_{s5,prov} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0.5 \cdot x_{eff}) = 77.197 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

nośność przekroju

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie nad podporą nr 4

$$b := b_w = 30 \text{ cm}$$

efektywna szerokość półki

$$S_{cc,eff} := \frac{M_{Ed,4,pod}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = 0.052$$

moment statyczny efektywnego pola ściskanej strefy przekroju o wysokości x_{eff}

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{cc,eff}} = 0.054$$

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pojedynczo zbrojony

$$x_{eff} := d \cdot \xi_{eff} = 2.405 \text{ cm}$$

efektywna wysokość strefy ściskanej

$$A_{s,req} := \frac{x_{eff} \cdot b \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 3.555 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$A_{s6} := \max(A_{s.req}, A_{s.min}) = 3.555 \text{ cm}^2$$

wymagane pole zbrojenia

$$n := 2$$

ilość prętów

$$A_{s6.prov} := n \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 4.021 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole zbrojenia

$$M_{Ed} := M_{Ed.4.pod} = 67.24 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment

$$M_{Rd} := A_{s6.prov} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0.5 \cdot x_{eff}) = 76.05 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

nośność przekroju

6.3. Wymiarowanie ze względu na stan graniczny nośności - ścinanie

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na ścinanie nad podporą nr 1

$$k := \min\left(2, \left(1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{d}}\right)\right) = 1.669$$

współczynnik, p. 6.2.2. [N.4]

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

najmniejsza szerokość strefy rozciąganej przekroju

$$A_{s1} := A_{s3.prov} = 6.032 \text{ cm}^2$$

pole przekroju zbrojenia rozciąganego, które sięga na odległość nie mniejszą niż $(l_{bd} + d)$ poza rozważany przekrój

$$\rho_l := \min\left(0.02, \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d}\right) = 0.004$$

współczynnik uwzględniający wpływ zbrojenia rozciąganego, p. 6.2.2. [N.4]

$$N_{Ed} := 0 \cdot \text{kN}$$

siła podłużna

$$A_c := h_f \cdot b = 0.075 \text{ m}^2$$

pole powierzchni rozważanego przekroju

$$\sigma_{cp} := \min\left(0.2 \cdot f_{cd}, \frac{N_{Ed}}{A_c}\right) = 0 \text{ MPa}$$

naprężenia w przekroju betonowym od siły podłużnej, p. 6.2.2. [N.4]

$$C_{Rd.c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.129$$

wartość obliczona wg p. 6.4.4(1) [N.4]

$$k_1 := 0.15$$

$$V_{Rd.c1} := \left(C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd.c1} = 68.504 \text{ kN}$$

wartość obliczeniowa nośności na ścinanie, wz. 6.2.a [N.4]

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \text{MPa} = 0.413 \text{ MPa}$$

wz. 6.3N [N.4]

$$v_{min} \quad (MPa)$$

$$V_{Rd.c.min} := (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 55.425 \text{ kN}$$

minimalna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c1}, V_{Rd.c.min}) = 68.504 \text{ kN}$$

ostateczna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Ed.1} = 119.85 \text{ kN}$$

siła ścinająca przy podporze nr 1

$$V_{Rd.c} > V_{Ed.1} = 0$$

warunek nie spełniony

Nośność odcinków II rodzaju

$$\theta := \text{acot}(2) = 26.565 \text{ deg}$$

kąt nachylenia ściskanych krzyżulców betonowych

$$\cot(\theta) = 2$$

cotangens kąta nachylenia ściskanych krzyżulców betonowych

$$1 \leq \cot(\theta) \leq 2.5 = 1$$

warunek spełniony, wz. 6.7N [N.4]

$$\alpha_{cw} := 1$$

współczynnik zależny od stanu naprężeń w pasie ściskany - dla konstrukcji nie sprężonych, wz. 6.11aN [N.4]

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \cdot MPa}\right) = 0.528$$

współczynnik redukcji wytrzymałości betonu zarysowanego przy ścinaniu, wz. 6.6N [N.4]

$$z := 0.9 \cdot d = 40.23 \text{ cm}$$

$$V_{RD.max} := \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 546.208 \text{ kN}$$

wz. 6.9 [N.4]

$$V_{RD.max} > V_{Ed.1} = 1$$

warunek spełniony

$$n := 2$$

strzemiona dwucięte

$$A_{sw} := n \cdot \frac{\pi \cdot \phi_s^2}{4} = 1.571 \text{ cm}^2$$

pole powierzchni przekroju strzemion dwuciętych

$$V_{Rd.s} := \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta)$$

wz. 6.8 [N.4]

$$s_{max} := \frac{A_{sw}}{V_{Ed.1}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta) = 22.145 \text{ cm}$$

obliczeniowy rozstaw strzemion

Maksymalny rozstaw strzemion na odcinkach II rodzaju

$$\alpha := 90$$

kąt nachylenia strzemion

$$s_{I\rho w} := \frac{A_{sw} \cdot f_{yk}}{0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot MPa \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} = 66.832 \text{ cm}$$

rozstaw strzemion ze względu na minimalny stopień zbrojenia strzemionami

$$s_{II} := \min (s_{max}, s_{I\rho_w}, 0.75 \cdot d, 60 \cdot \text{cm}) = 22 \text{ cm}$$

przyjęty rozstaw strzemion

• **Wymiarowanie zbrojenia ze względu na ścinanie nad podporą nr 2**

$$k := \min \left(2, \left(1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{d}} \right) \right) = 1.669$$

współczynnik, p. 6.2.2. [N.4]

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

najmniejsza szerokość strefy rozciąganej przekroju

$$A_{sI} := A_{sI,prov} = 6.032 \text{ cm}^2$$

pole przekroju zbrojenia rozciąganego, które sięga na odległość nie mniejszą niż $(l_{bd}+d)$ poza rozważany przekrój

$$\rho_l := \min \left(0.02, \frac{A_{sI}}{b_w \cdot d} \right) = 0.004$$

współczynnik uwzględniający wpływ zbrojenia rozciąganego, p. 6.2.2. [N.4]

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

siła podłużna

$$A_c := h_f \cdot b = 0.075 \text{ m}^2$$

pole powierzchni rozważanego przekroju

$$\sigma_{cp} := \min \left(0.2 \cdot f_{cd}, \frac{N_{Ed}}{A_c} \right) = 0 \text{ MPa}$$

naprężenia w przekroju betonowym od siły podłużnej, p. 6.2.2. [N.4]

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.129$$

wartość obliczona wg p. 6.4.4(1) [N.4]

$$k_l := 0.15$$

$$V_{Rd,cI} := \left(C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa} + k_l \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,cI} = 68.504 \text{ kN}$$

wartość obliczeniowa nośności na ścinanie, wz. 6.2.a [N.4]

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \text{MPa} = 0.413 \text{ MPa}$$

wz. 6.3N [N.4]

$$V_{Rd,c,min} := (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 55.425 \text{ kN}$$

minimalna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Rd,c} := \max (V_{Rd,cI}, V_{Rd,c,min}) = 68.504 \text{ kN}$$

ostateczna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Ed,2} = 124.7 \text{ kN}$$

siła ścinająca przy podporze nr 2

$$V_{Rd,c} > V_{Ed,2} = 0$$

warunek nie spełniony

Nośność odcinków II rodzaju

$$\theta := \operatorname{acot}(2) = 26.565 \text{ deg}$$

$$\cot(\theta) = 2$$

$$1 \leq \cot(\theta) \leq 2.5 = 1$$

$$\alpha_{cw} := 1$$

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \cdot \text{MPa}} \right) = 0.528$$

$$z := 0.9 \cdot d = 40.23 \text{ cm}$$

$$V_{RD,max} := \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 546.208 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,2} = 124.7 \text{ kN}$$

$$V_{RD,max} > V_{Ed,2} = 1$$

$$n := 2$$

$$A_{sw} := n \cdot \frac{\pi \cdot \phi_s^2}{4} = 1.571 \text{ cm}^2$$

$$V_{Rd,s} := \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta)$$

$$s_{max} := \frac{A_{sw}}{V_{Ed,2}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta) = 21.284 \text{ cm}$$

kąt nachylenia ściskanych krzyżulców betonowych

cotangens kąta nachylenia ściskanych krzyżulców betonowych

warunek spełniony, wz. 6.7N [N.4]

współczynnik zależny od stanu naprężeń w pasie ściskany - dla konstrukcji nie sprężonych, wz. 6.11aN [N.4]

współczynnik redukcji wytrzymałości betonu zarysowanego przy ścinaniu, wz. 6.6N [N.4]

wz. 6.9 [N.4]

siła ścinająca nad podporą nr 2

warunek spełniony

strzemiona dwucięte

pole powierzchni przekroju strzemion dwuciętych

wz. 6.8 [N.4]

obliczeniowy rozstaw strzemion

Maksymalny rozstaw strzemion na odcinkach II rodzaju

$$s_{II} := \min(s_{max}, s_{lpw}, 0.75 \cdot d, 60 \cdot \text{cm}) = 21 \text{ cm}$$

przyjęty rozstaw strzemion

- Wymiarowanie zbrojenia ze względu na ścinanie w pozostałych strefach belki

$$k := \min \left(2, \left(1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{d}} \right) \right) = 1.669$$

współczynnik, p. 6.2.2. [N.4]

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

najmniejsza szerokość strefy rozciąganej przekroju

$$A_{sI} := \min (A_{s1,prov}, A_{s2,prov}, A_{s5,prov}, A_{s6,prov})$$

$$A_{sI} = 4.021 \text{ cm}^2$$

pole przekroju zbrojenia rozciąganego, które sięga na odległość nie mniejszą niż $(l_{bd}+d)$ poza rozważany przekrój

$$\rho_l := \min \left(0.02, \frac{A_{sI}}{b_w \cdot d} \right) = 0.003$$

współczynnik uwzględniający wpływ zbrojenia rozciąganego, p. 6.2.2. [N.4]

$$N_{Ed} := 0 \cdot \text{kN}$$

siła podłużna

$$A_c := h_f \cdot b = 0.075 \text{ m}^2$$

pole powierzchni rozważanego przekroju

$$\sigma_{cp} := \min \left(0.2 \cdot f_{cd}, \frac{N_{Ed}}{A_c} \right) = 0 \text{ MPa}$$

naprężenia w przekroju betonowym od siły podłużnej wg pkt. 6.2.2. PN-EN 1992-1-1

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.129$$

wartość obliczona wg p. 6.4.4(1) [N.4]

$$k_l := 0.15$$

$$V_{Rd,cI} := \left(C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa} + k_l \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d$$

wartość obliczeniowa nośności na ścinanie, wz. 6.2.a [N.4]

$$V_{Rd,cI} = 59.844 \text{ kN}$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \text{MPa} = 0.413 \text{ MPa}$$

wz. 6.3N [N.4]

$$V_{Rd,c,min} := (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 55.425 \text{ kN}$$

minimalna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Rd,c} := \max (V_{Rd,cI}, V_{Rd,c,min}) = 59.844 \text{ kN}$$

ostateczna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Ed} := \max (V_{Ed,3}, V_{Ed,4}) = 72.39 \text{ kN}$$

siła ścinająca

$$V_{Rd,c} > V_{Ed} = 0$$

warunek nie spełniony

Nośność odcinków II rodzaju

$$\theta := \text{acot}(2) = 26.565 \text{ deg}$$

kąt nachylenia ściskanych krzyżulców betonowych

$$\cot(\theta) = 2$$

cotangens kąta nachylenia ściskanych krzyżulców betonowych

$$1 \leq \cot(\theta) \leq 2.5 = 1$$

warunek spełniony, wz. 6.7N [N.4]

$$\alpha_{cw} := 1$$

współczynnik zależny od stanu naprężeń w pasie ściskowym dla konstrukcji nie sprężonych

wz. 6.11aN [N.4]

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \cdot \text{MPa}} \right) = 0.528$$

współczynnik redukcji wytrzymałości betonu zarysowanego przy ścinaniu, wz. 6.6N [N.4]

$$z := 0.9 \cdot d = 40.23 \text{ cm}$$

$$V_{RD,max} := \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 546.208 \text{ kN}$$

wz. 6.9 [N.4]

$$V_{Ed} = 72.39 \text{ kN}$$

siła ścinająca nad podporą nr 2

$$V_{RD,max} > V_{Ed} = 1$$

warunek spełniony

$$n := 2$$

strzemiona dwucięte

$$A_{sw} := n \cdot \frac{\pi \cdot \phi_s^2}{4} = 1.571 \text{ cm}^2$$

pole powierzchni przekroju strzemion dwuciętych

$$V_{Rd,s} := \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta)$$

wz. 6.8 [N.4]

$$s_{max} := \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta) = 36.664 \text{ cm}$$

obliczeniowy rozstaw strzemion

Maksymalny rozstaw strzemion na odcinkach II rodzaju

$$s_{II} := \min(s_{max}, s_{I\rho_w}, 0.75 \cdot d, 60 \cdot \text{cm}) = 34 \text{ cm}$$

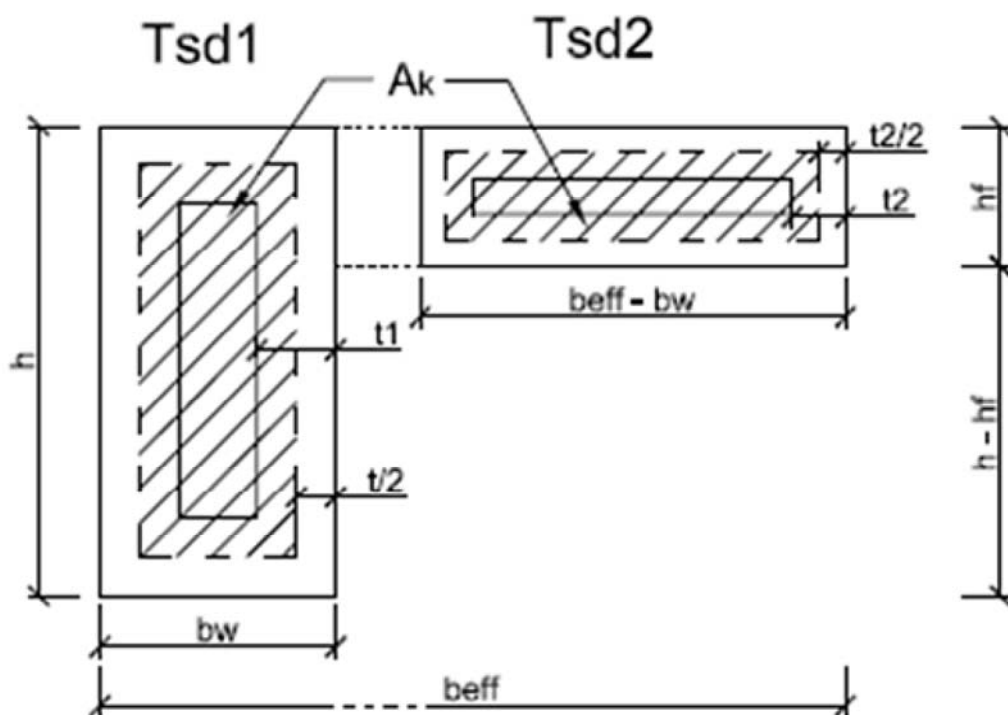
$$s_{II} := 30 \cdot \text{cm}$$

przyjęty rozstaw strzemion

6.4. Wymiarowanie ze względu na stan graniczny nośności - skręcanie

- **Wymiarowanie zbrojenia ze względu na skręcanie przy podporze nr 2**

Określenie geometrii zastępczej przekroju



Rys. 6.9 Podział belki I na elementy składowe

$$u_I := b_w \cdot 2 + h \cdot 2 = 1.6 \text{ m}$$

obwód zewnętrzny przekroju I

$$u_{II} := (b_{eff.I} - b_w) \cdot 2 + h_f \cdot 2 = 2.463 \text{ m}$$

obwód zewnętrzny przekroju II

$$A_{pI} := b_w \cdot h = 0.15 \text{ m}^2$$

pole przekroju I

$$A_{pII} := (b_{eff.I} - b_w) \cdot h_f = 0.245 \text{ m}^2$$

pole przekroju II

$$t_I := \frac{A_{pI}}{u_I} = 9.375 \text{ cm}$$

równoważna grubość ścianki w przekroju I

$$t_{II} := \frac{A_{pII}}{u_{II}} = 9.962 \text{ cm}$$

równoważna grubość ścianki w przekroju II

$$A_{kI} := (b_w - t_I) \cdot (h - t_I) = 0.084 \text{ m}^2$$

pole powierzchni ograniczone linią środkową w przekroju I

$$u_{kI} := 2 \cdot (b_w - t_I) + 2 \cdot (h - t_I) = 1.225 \text{ m}$$

obwód ograniczony linią środkową w przekroju I

$$A_{kII} := (b_{eff.I} - b_w - t_{II}) \cdot (h_f - t_{II}) = 0.133 \text{ m}^2$$

pole powierzchni ograniczone linią środkową w przekroju II

$$u_{kII} := 2 \cdot (b_{eff.I} - b_w - t_{II}) + 2 \cdot (h_f - t_{II}) = 2.064 \text{ m}$$

obwód ograniczony linią środkową w przekroju II

Wyznaczenie momentu skrecającego. dla którego zbrojenie na skrecanie nie jest potrzebne

Wyznaczenie momentu skręcającego, dla którego zbrojenie na skręcanie nie jest potrzebne

$$T_{Rd.c.I} := 2 \cdot A_{kl} \cdot t_I \cdot f_{ctd} = 22.443 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment rysujący dla przekroju I, wz. 6.26 [N.4]

$$T_{Rd.c.II} := 2 \cdot A_{kII} \cdot t_{II} \cdot f_{ctd} = 37.743 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment rysujący dla przekroju II, wz. 6.26 [N.4]

$$T_{Rd.c} := T_{Rd.c.I} + T_{Rd.c.II} = 60.186 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment skręcający dla którego zbrojenie na skręcanie nie jest potrzebne

$$T_{Ed.2} = 102.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment skręcający przy podporze nr 2

$$T_{Rd.c} > T_{Ed.2} = 0$$

warunek nie spełniony - należy wyznaczyć zbrojenie na skręcanie

Rozdział zewnętrznego momentu skręcającego na części składowe przekroju

$$T_{Ed.2.I} := \frac{t_I \cdot A_{kl}}{t_I \cdot A_{kl} + t_{II} \cdot A_{kII}} \cdot T_{Ed.2} = 38.222 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment skręcający w przekroju I

$$T_{Ed.2.II} := \frac{t_{II} \cdot A_{kII}}{t_I \cdot A_{kl} + t_{II} \cdot A_{kII}} \cdot T_{Ed.2} = 64.278 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment skręcający w przekroju II

Wyznaczenie maksymalnej siły ścinającej ściankę

$$\tau_{\tau.I} := \frac{T_{Ed.2.I}}{2 \cdot A_{kl} \cdot t_I} = 2.433 \text{ MPa}$$

wartość naprężeń stycznych w przekroju I, wz. 6.26 [N.4]

$$\tau_{\tau.II} := \frac{T_{Ed.2.II}}{2 \cdot A_{kII} \cdot t_{II}} = 2.433 \text{ MPa}$$

wartość naprężeń stycznych w przekroju II, wz. 6.26 [N.4]

$$V_{Ed.I} := \tau_{\tau.I} \cdot t_I \cdot (h - t_I) = 92.661 \text{ kN}$$

maksymalna siła ścinająca ściankę w przekroju I, wz. 6.27 [N.4]

$$V_{Ed.II} := \tau_{\tau.II} \cdot t_{II} \cdot (h_f - t_{II}) = 36.448 \text{ kN}$$

maksymalna siła ścinająca ściankę w przekroju II, wz. 6.27 [N.4]

Zwymiarowanie zbrojenia na skręcanie

$$A_{sw} := \frac{\pi \cdot \phi_s^2}{4} = 0.785 \text{ cm}^2$$

pole przekroju strzemion skręcanych

$$\alpha_{cw} := 1$$

współczynnik zależny od stanu naprężeń w pasie ściskanym - dla konstrukcji nie sprężonych, wz. 6.11aN [N.4]

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \cdot \text{MPa}} \right) = 0.528$$

współczynnik redukcji wytrzymałości betonu zarysowanego przy ścinaniu, wz. 6.6N [N.4]

$$\theta_I := \frac{1}{2} \cdot \text{asin} \left(\frac{2 \cdot V_{Ed.I}}{\alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot t_I \cdot 0.9 \cdot (h - t_I)} \right) = 14.272 \text{ deg}$$

$$\cot(\theta_I) = 3.931$$

$$\cot(\theta_I) = 3.931$$

$$\cot(\theta_I) < 2 = 0$$

$$\theta_I := \text{acot}(2) = 26.565 \text{ deg}$$

$$\theta_{II} := \frac{1}{2} \cdot \text{asin}\left(\frac{2 \cdot V_{Ed,II}}{\alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot t_{II} \cdot 0.9 \cdot (h_f - t_{II})}\right) = 14.272 \text{ deg}$$

$$\cot(\theta_{II}) = 3.931$$

$$\cot(\theta_{II}) < 2 = 0$$

$$\theta_{II} := \text{acot}(2) = 26.565 \text{ deg}$$

Zaprojektowanie rozstawu strzemion w przekrojach I i II

$$s_{I,I} := \frac{A_{sw}}{V_{Ed,I}} \cdot (h - t_I) \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta_I) = 14.462 \text{ cm}$$

obliczeniowy rozstaw strzemion na skręcanie dla przekroju I

$$s_{I,I} := 12 \cdot \text{cm}$$

przyjęty rozstaw strzemion w przekroju I

$$s_{I,II} := \frac{A_{sw}}{V_{Ed,II}} \cdot (h_f - t_{II}) \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta_{II}) = 13.61 \text{ cm}$$

obliczeniowy rozstaw strzemion na skręcanie dla przekroju II

$$s_{I,II} := 12 \cdot \text{cm}$$

przyjęty rozstaw strzemion w przekroju II

$$V_{RD,s,I} := \frac{A_{sw}}{s_{I,I}} \cdot (h - t_I) \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta_I) = 111.674 \text{ kN}$$

nośność przekroju I

$$V_{RD,s,I} > V_{Ed,I} = 1$$

warunek spełniony

$$V_{RD,s,II} := \frac{A_{sw}}{s_{I,II}} \cdot (h_f - t_{II}) \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta_{II}) = 41.337 \text{ kN}$$

nośność przekroju II

$$V_{RD,s,II} > V_{Ed,II} = 1$$

warunek spełniony

$$V_{Rd,max,I} := \frac{\alpha_{cw} \cdot t_I \cdot (h - t_I) \cdot v \cdot f_{cd}}{\cot(\theta_I) + \tan(\theta_I)} = 172.366 \text{ kN}$$

nośność krzyżulców betonowych w przekroju I

$$V_{Rd,max,I} > V_{Ed,I} = 1$$

warunek spełniony

$$T_{Rd,I} := 2 \cdot \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot A_{kl} \cdot t_I \cdot \sin(\theta_I) \cdot \cos(\theta_I)$$

wz. 6.30 [N.4]

$$T_{Rd,I} = 71.101 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

nośność przekroju na moment skręcający

$$T_{Rd,I} > T_{Ed,2,I} = 1$$

warunek spełniony

$$V_{Rd,max,II} := \frac{\alpha_{cw} \cdot t_{II} \cdot (h_f - t_{II}) \cdot v \cdot f_{cd}}{2} = 67.8 \text{ kN}$$

nośność krzyżulców betonowych w przekroju II

$$V_{Rd,max,II} := \frac{v_w \cdot u \cdot \lambda \cdot A_{kII}}{\cot(\theta_{II}) + \tan(\theta_{II})} = 67.8 \text{ kN}$$

nośność krzyżulców betonowych w przekroju II

$$V_{Rd,max,II} > V_{Ed,II} = 1$$

warunek spełniony

$$T_{Rd,II} := 2 \cdot \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot A_{kII} \cdot t_{II} \cdot \sin(\theta_{II}) \cdot \cos(\theta_{II})$$

wz. 6.30 [N.4]

$$T_{Rd,II} = 119.568 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

nośność przekroju na moment skręcający

$$T_{Rd,II} > T_{Ed,2,II} = 1$$

warunek spełniony

$$T_{Ed,2} = 102.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment skręcający przy podporze nr 2

$$V_{Ed} := V_{Ed,I} + V_{Ed,II} = 129.108 \text{ kN}$$

$$T_{Rd,I} := T_{Rd,I} + T_{Rd,II} = 190.669 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{Rd2,I} := \frac{\alpha_{cw} \cdot 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot v \cdot f_{cd}}{\cot(\theta_{II}) + \tan(\theta_{II})} = 546.208 \text{ kN}$$

nośność obliczeniowa na ścinanie przekroju I, wz.6.9. [N.4]

$$V_{Rd2,I} := \frac{\alpha_{cw} \cdot 0.9 \cdot d_y \cdot (b_{eff,I} - b_w) \cdot v \cdot f_{cd}}{\cot(\theta_{II}) + \tan(\theta_{II})}$$

$$V_{Rd2,I} = 763.5 \text{ kN}$$

nośność obliczeniowa na ścinanie przekroju II

$$V_{Rd2} := V_{Rd2,I} + V_{Rd2,II} = 1527 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{T_{Ed,2}}{T_{Rd,I}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd2}}\right)^2 = 0.296$$

wz. 6.29 [N.4]

$$\left(\frac{T_{Ed,2}}{T_{Rd,I}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd2}}\right)^2 \leq 1 = 1$$

warunek spełniony

Zaprojektowanie dodatkowego zbrojenia podłużnego

$$A_{SL,I} := \frac{T_{Ed,2,I} \cdot u_{kl}}{2 \cdot A_{kl} \cdot f_{yd}} \cdot \cot(\theta_I) = 12.853 \text{ cm}^2$$

dodatkowe zbrojenie podłużne na skręcanie w przekroju I

$$n := \frac{A_{SL,I}}{\left(\frac{\pi \cdot \phi^2}{4}\right)} = 6.392$$

obliczeniowa ilość prętów rozłożonych równomiernie po obwodzie przekroju I

$$n := 8$$

przyjęta ilość prętów rozłożonych równomiernie po obwodzie przekroju I

$$A_{SL,II} := \frac{T_{Ed,2,II} \cdot u_{kII}}{2 \cdot A_{kII} \cdot f_{yd}} \cdot \cot(\theta_{II}) = 23.015 \text{ cm}^2$$

dodatkowe zbrojenie podłużne na skręcanie w przekroju II

$$n := \frac{A_{SL,II}}{\left(\frac{\pi \cdot \phi^2}{4}\right)} = 11.447$$

obliczeniowa ilość prętów rozłożonych równomiernie po obwodzie przekroju II

(4)

$n := 12$

przyjęta ilość prętów rozłożonych równomiernie po obwodzie przekroju II

6.5. Sprawdzenie stanów granicznych użytkowania

• Obliczenie szerokości rys prostopadłych

$$M_{Ek,It} := 100.65 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment przeszły zginający dla kombinacji prawie-stałej - odczytany z programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011

$$A_{s1} := A_{s1,prov} = 8.042 \text{ cm}^2$$

przyjęty przekrój zbrojenia na zginanie (dołem)

$$A_{s2} := 2 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 4.021 \text{ cm}^2$$

przyjęty przekrój zbrojenia na zginanie (górną)

$$a_2 := a_1 = 5.3 \text{ cm}$$

odległość środka ciężkości zbrojenia A_{s2} do krawędzi przekroju

Określenie współczynnika pełzania

$$h_0 := 2 \cdot \frac{b_w \cdot h}{2 \cdot b_w + 2 \cdot h} = 18.75 \text{ cm}$$

miarodajny wymiar przekroju, wz. B.6 [N.4]

$$RH := 50\%$$

wilgotność względna

$$\alpha_1 := \left(\frac{35 \cdot \text{MPa}}{f_{cm}} \right)^{0.7} = 0.944$$

$$\alpha_2 := \left(\frac{35 \cdot \text{MPa}}{f_{cm}} \right)^{0.2} = 0.984$$

$$\phi_{RH} := \begin{cases} \text{if } f_{cm} < 35 \cdot \text{MPa} \\ \left| \left| \left| 1 + \frac{1 - RH}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0 \cdot \text{mm}^{-1}}} \right| \right| \right| \\ \text{else} \\ \left| \left| \left(1 + \frac{1 - RH}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0 \cdot \text{mm}^{-1}}} \cdot \alpha_1 \right) \cdot \alpha_2 \right| \right| \end{cases}$$

$$\phi_{RH} = 1.795$$

współczynnik zależny od wpływu wilgotności względnej na podstawowy współczynnik pełzania, wz. B.3a [N.4]

$$\beta_{f_{cm}} := \frac{16.8}{\sqrt[3]{f_{cm} - 1}} = 2.725$$

współczynnik zależny od wytrzymałości betonu, wz. B.4 [N.4]

$$r_{jcm} = \sqrt{f_{cm} \cdot MPa^{-1}}$$

betonu, wz. B.4 [N.4]

$$\Delta_t := 28$$

ilość dni dojrzewania betonu

$$T_{At} := 15$$

temperatura w jakiej dojrzewał beton w stopniach Celsjusza

$$t_{0,T} := \Delta_t \cdot e^{-\left(\frac{4000}{273 + T_{At}} - 13.65\right)} = 22.05$$

wiek betonu w chwili obciążenia dostosowany do temperatury, wz. B.10 [N.4]

$$\alpha := 0$$

cement klasy N

$$t_0 := \max\left(t_{0,T} \cdot \left(\frac{9}{2 + t_{0,T}^{1.2}} + 1.2\right)^\alpha, 0.5\right) = 22.05$$

wiek betonu w chwili obciążenia, wz. B9 [N.4]

$$\beta_{t0} := \frac{1}{0.1 + t_0^{0.2}} = 0.511$$

współczynnik zależny od wieku betonu w chwili obciążenia, wz. B.5 [N.4]

$$\phi_{oo,t0} := \phi_{RH} \cdot \beta_{jcm} \cdot \beta_{t0} = 2.5$$

podstawowy współczynnik pęcznienia, wz. B.2 [N.4]

$$E_{c,eff} := \frac{E_{cm}}{1 + \phi_{oo,t0}} = 9.142 \text{ GPa}$$

efektywny moduł sprężystości betonu, wz. 5.27 [N.4]

$$\alpha_{e,eff} := \frac{E_s}{E_{c,eff}} = 21.877$$

stosunek modułów sprężystości stali i betonu

Określenie momentu rysującego w fazie I

$$x_I := \frac{0.5 \cdot b_w \cdot h^2 + \alpha_{e,eff} \cdot A_{s1} \cdot d + \alpha_{e,eff} \cdot A_{s2} \cdot a_2}{b_w \cdot h + \alpha_{e,eff} \cdot (A_{s1} + A_{s2})} = 25.983 \text{ cm}$$

$$x_I = 25.983 \text{ cm}$$

wysokość strefy ściskanej w fazie I

$$I_I := \frac{1}{12} \cdot b_w \cdot h^3 + b_w \cdot h \cdot \left(x_I - \frac{h}{2}\right)^2 + \alpha_{e,eff} \cdot A_{s2} \cdot (x_I - a_2)^2 + \alpha_{e,eff} \cdot A_{s1} \cdot (d - x_I)^2$$

$$I_I = (4.132 \cdot 10^5) \text{ cm}^4$$

moment bezwładności przekroju niezarysowanego

$$W_I := \frac{I_I}{(h - x_I)} = 17205.05 \text{ cm}^3$$

wskaźnik przekroju niezarysowanego

$$M_{cr} := f_{ctm} \cdot W_I = 49.834 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment rysujący

$$M_{cr} > M_{Ek,II} = 0$$

warunek nie spełniony - przekrój zarysowany

Określenie charakterystyk geometrycznych w fazie II

$$\rho_1 := \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = 0.006$$

$$\rho_2 := \frac{A_{s2}}{b_w \cdot d} = 0.003$$

$$x_{II} := d \cdot \left(\sqrt{\alpha_{e,eff}^2 \cdot (\rho_1 + \rho_2)^2 + 2 \cdot \alpha_{e,eff} \cdot \left(\rho_1 + \frac{a_2}{d} \cdot \rho_1 \right)} - \alpha_{e,eff} \cdot (\rho_1 + \rho_2) \right)$$

$$x_{II} = 16.969 \text{ cm}$$

wysokość strefy ściskanej
przekroju zarysowanego

$$I_{II} := \frac{b_w \cdot x_{II}^3}{3} + \alpha_{e,eff} \cdot \rho_1 \cdot b_w \cdot d \cdot (d - x_{II})^2 + \alpha_{e,eff} \cdot \rho_2 \cdot b_w \cdot d \cdot (x_{II} - a_2)^2$$

$$I_{II} = 0.002 \text{ m}^4$$

moment bezwładności przekroju zarysowanego

$$\sigma_s := \alpha_{e,eff} \cdot \frac{M_{Ek,II} \cdot (d - x_{II})}{I_{II}} = 311.315 \text{ MPa}$$

naprężenia w zbrojeniu

$$k_t := 0.4$$

współczynnik zależny od czasu trwania
obciążenia - przyjęto wartość dla
obciążenia długotrwałego - wz. 7.9 [N.4]

$$h_{c,eff} := \min \left(2.5 \cdot (h - d), \frac{h - x_{II}}{3} \right) = 11.01 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} := b_w \cdot h_{c,eff} = 330.314 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{p,eff} := \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}} = 2.435 \text{ 1\%}$$

wz. 7.10 [N.4]

$$\Delta \varepsilon_m := \max \left(\frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s}, 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \right)$$

$$\Delta \varepsilon_m = 0.128 \text{ 1\%}$$

odkształcenie w przekroju

$$\sigma_s := \frac{M_{Ek,II} \cdot x_{II}}{I_{II}} = 8.707 \text{ MPa}$$

$$0.45 \cdot f_{ck} = 13.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s < 0.45 \cdot f_{ck} = 1$$

pełzanie liniowe

$$k_1 := 0.8$$

współczynnik zależny od przyczepności zbrojnie - wartość dla prętów o wysokiej przyczepności, p. 7.3.4(3) [N.4]

$$k_2 := 0.5$$

współczynnik zależny od rozkładu odkształceń - wartość dla zginania, p. 7.3.4(3) [N.4]

$$k_3 := 3.4$$

współczynnik, p. 7.3.4(3) [N.4]

$$k_4 := 0.425$$

współczynnik, p. 7.3.4(3) [N.4]

$$s_{r,max} := k_3 \cdot c_{nom} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_2}{\rho_{p,eff}} = 230.714 \text{ mm}$$

$$w_k := s_{r,max} \cdot \Delta \varepsilon_m = 0.296 \text{ mm}$$

obliczeniowa szerokość rysy

$$w_{lim} := 0.3 \cdot \text{mm}$$

graniczna szerokość rysy

$$w_k < w_{lim} = 1$$

warunek spełniony

• Sprawdzenie ugięcia dla belki nr 1

$$d = 0.447 \text{ m}$$

wysokość użyteczna przekroju

$$A_{s,prov} := A_{s,l} = 8.042 \text{ cm}^2$$

przyjęta powierzchnia zbrojenia w rozpatrywanym przekroju

$$\beta := 0.5$$

współczynnik zależny od wpływu czasu trwania obciążenia lub wpływu obciążeń powtarzalnych na średnie odkształcenie, dla obciążeń i wielokrotnie powtarzalnych, p. 7.4.3 (3) [N.4]

Ugięcie dla fazy I

$$x_1 = 25.983 \text{ cm}$$

wysokość strefy ściskanej betonu przekroju nie zarysowanego

$$I_1 = 0.004 \text{ m}^4$$

moment bezwładności przekroju niezarysowanego

$$W := \frac{I_1}{h - x_1} = (1.721 \cdot 10^4) \text{ cm}^3$$

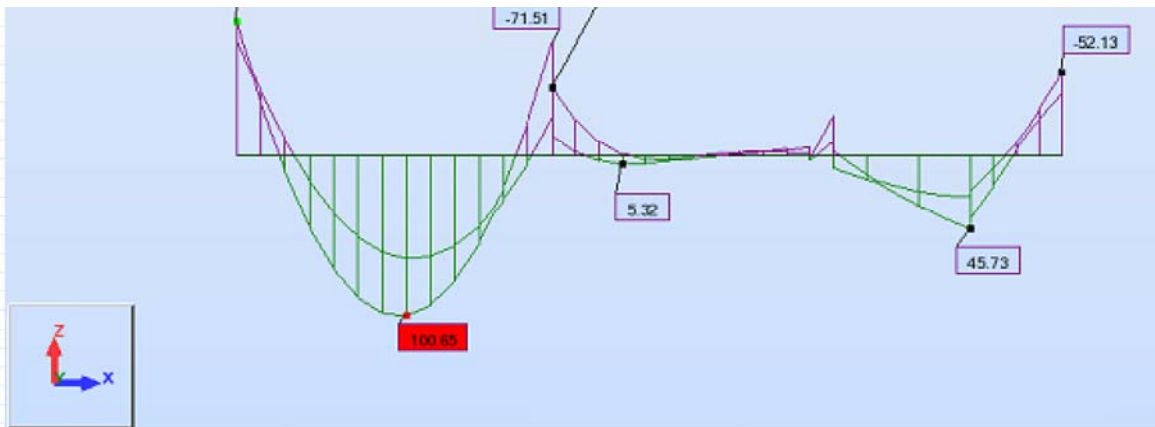
wskaźnik przekroju niezarysowanego

$$B_1 := I_1 \cdot E_{c,eff} = 37.777 \text{ MN} \cdot \text{m}^2$$

szttywność przekoroju nie zarysowanego

$$M_{cr} := f_{ctm} \cdot W = 49.834 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment rysujący



Rys. 6.10 Wykres momentów zginających - SGU

$$l_{eff} := l_{eff,1} = 7.01 \text{ m}$$

długość efektywna przekroju

$$M_A := 85.53 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

wartość momentu nad podporą nr 1

$$M_B := 71.51 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

wartość momentu nad podporą nr 2

$$M_m := M_{Ek,It} = 100.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

wartość momentu w przęśle

$$\zeta := 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_m} \right) = 0.752$$

współczynnik dystrybucji, wz. 7.19 [N.4]

$$\alpha_k := \frac{5}{48} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_A + M_B}{M_m \cdot 10} \right) \right) = 0.088$$

$$a_I := \alpha_k \cdot \frac{M_m \cdot l_{eff}^2}{B_I} = 1.151 \text{ cm}$$

ugięcie dla fazy I

$$I_{II} = (1.961 \cdot 10^5) \text{ cm}^4$$

moment bezwładności przekroju zarysowanego

$$B_{II} := I_{II} \cdot E_{c,eff} = 17.931 \text{ MN} \cdot \text{m}^2$$

wskaźnik przekroju zarysowanego

$$a_{II} := \alpha_k \cdot \frac{M_m \cdot l_{eff}^2}{B_{II}} = 2.425 \text{ cm}$$

$$a := \zeta \cdot a_{II} + (1 - \zeta) \cdot a_I = 2.11 \text{ cm}$$

ugięcie całkowite dla przekroju, wz. 7.18 [N.4]

$$a_{lim} := \frac{l_{eff,1}}{250} = 2.804 \text{ cm}$$

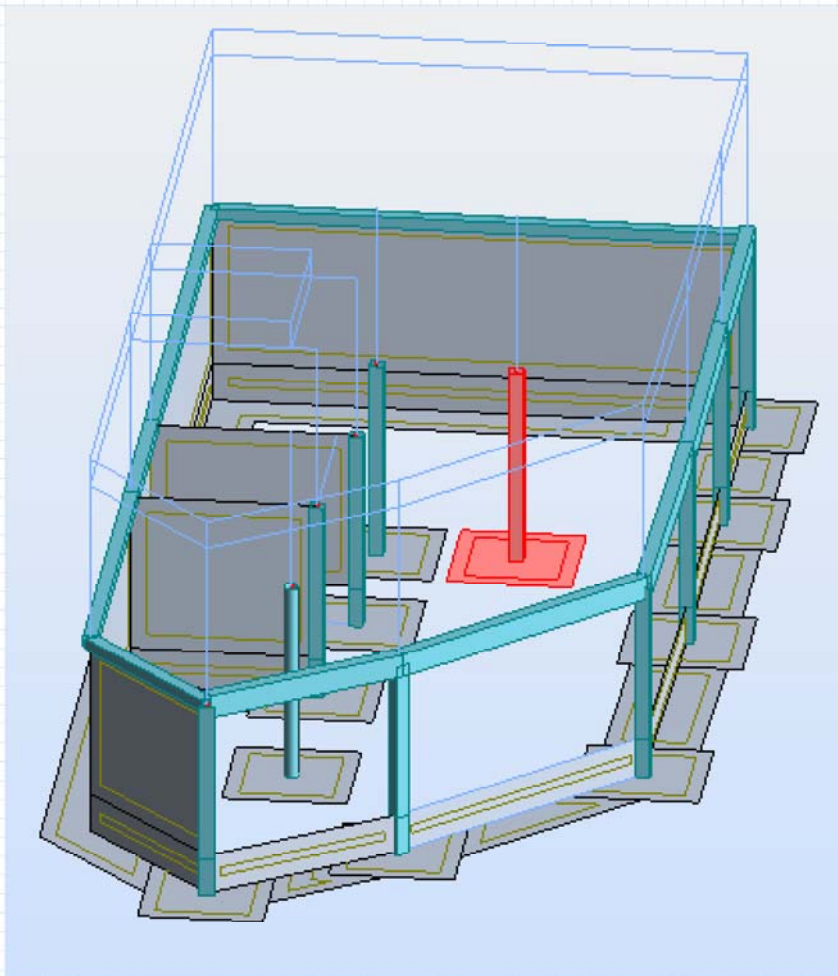
graniczne ugięcie, p. 7.4.1(4) [N.4]

$$a \leq a_{lim} = 1$$

warunek spełniony

π

7. Wymiarowanie słupa S-1 znajdującego się na przecięciu osi C i osi 5 ze względu na mimośrodowe ściskanie



Rys. 7.1 Model wzmiarowanego słupa i stopy fundamentowej

• Parametry przekroju:

$$h := 30 \cdot \text{cm}$$

wysokość przekroju słupa w kierunku x

$$b := 30 \cdot \text{cm}$$

szerokość przekroju słupa w kierunku y

$$l_{col,d} := 4.05 \cdot \text{m}$$

wysokość osiowa słupa na dolnej kondygnacji

$$l_{col,g} := 3.54 \cdot \text{m}$$

wysokość osiowa słupa na górnej kondygnacji

• Materiały:

Beton: C30/37

Stal zbrojeniowa :

• Zbrojenie główne: AIIIIN RB500W

$$\phi := 16 \cdot \text{mm}$$

przyjęta średnica prętów głównych

• Strzemiona: A1-St3S

$$f_{ywd} := 210 \cdot \text{MPa}$$

obliczeniowa granica plastyczności

$$f_{yw} := 240 \cdot \text{MPa}$$

charakterystyczna granica plastyczności

$$\phi_s := 8 \cdot \text{mm}$$

przyjęta średnica dla strzemion

Minimalne i maksymalne zbrojenie podłużne wg. p. 9.5.2

$$\phi_{min} := 8 \cdot \text{mm}$$

minimalna średnica zbrojenia podłużnego

$$\phi = 16 \text{ mm}$$

przyjęta średnica zbrojenia podłużnego

$$\phi \geq \phi_{min} = 1$$

warunek spełniony

$$A_{s,min} := \max \left(\frac{0.10 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}}, 0.002 \cdot b \cdot h \right) = 1.8 \text{ cm}^2$$

minimalna powierzchnia zbrojenia w słupie, w 9.12N [N.4]

$$A_{s,max} := 0.04 \cdot b \cdot h = 36 \text{ cm}^2$$

maksymalna powierzchnia zbrojenia w słupie, p. 9.5.2(3) [N.4]

• Otulina:

Środowisko:

$$c_{min,b} := \phi = 16 \text{ mm}$$

minimalne otulenie ze względu na przyczepność, tabl. 4.2. [N.4]

$$c_{min,dur} := 25 \cdot \text{mm}$$

minimalne otulenie wymagane ze względu na trwałość stali zbrojeniowej, tabl. 4.4N [N.4]

$$\Delta c_{dur,\gamma} := 0$$

składnik bezpieczeństwa, p. 4.4.1.2(6) [N.4]

$$\Delta c_{dur,st} := 0$$

wartość zmniejszenia otulenia ze względu na stosowanie stali nierdzewnej, p. 4.4.1.2(6) [N.4]

$$\Delta c_{dur,add} := 0$$

wartość zmniejszenia otulenia ze względu na dodatkową ochronę betonu, p. 4.4.1.2.(8) [N.4]

$$c_{min} := \max(c_{min.b}, c_{min.dur} + \Delta c_{dur.\gamma} - \Delta c_{dur.st} - \Delta c_{dur.add}, 10 \cdot mm)$$

$$c_{min} = 25 \text{ mm}$$

otulenie minimalne, wz. 4.2 [N4]

$$\Delta c_{dev} := 10 \cdot mm$$

odchyłka otulenia, p. 4.4.1.3(1) [N.4]

$$c_{nom} := c_{min} + \Delta c_{dev} = 35 \text{ mm}$$

otulenie nominalne

Wysokość użyteczna przekroju

$$d_b := b - c_{nom} - \phi_s - \frac{\phi}{2} = 0.249 \text{ m}$$

wzdłuż boku b

$$d_h := h - c_{nom} - \phi_s - \frac{\phi}{2} = 0.249 \text{ m}$$

wzdłuż boku h

Założone zbrojenie

$$A_{s,b} := 6 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 12.064 \text{ cm}^2$$

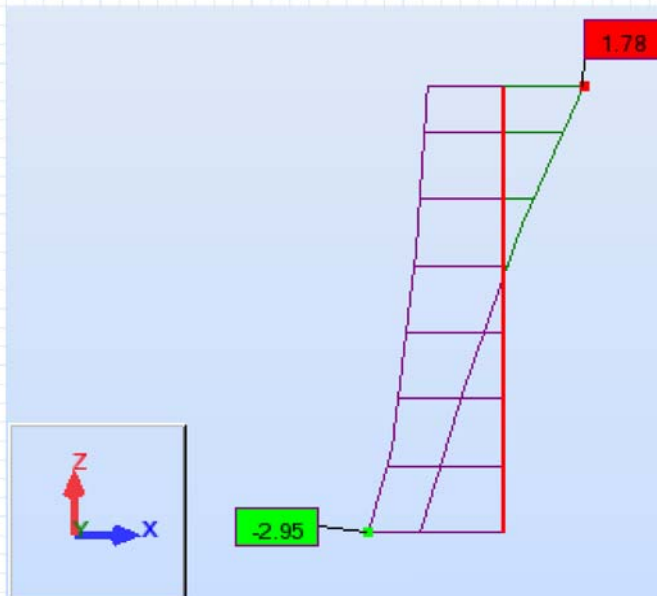
w kierunku b

$$A_{s,h} := 2 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 4.021 \text{ cm}^2$$

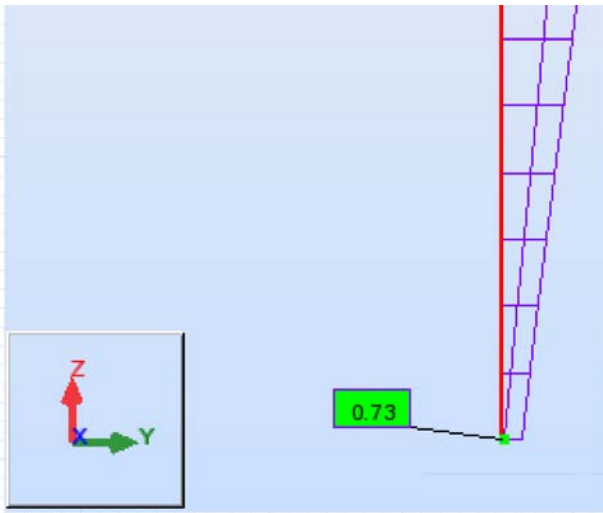
w kierunku h

$$A_s := A_{s,b} + A_{s,h} = 16.085 \text{ cm}^2$$

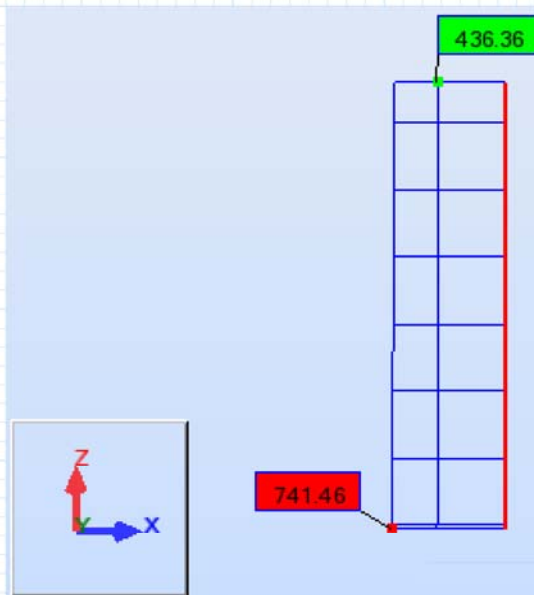
7.1. Wykresy momentów zginających i siły podłużnej



Rys. 7.2 Wykres momentu zginającego w płaszczyźnie X



Rys. 7.3 Wykres momentu zginającego w płaszczyźnie Y



Rys. 7.4 Wykres siły podłużnej

$$M_{Ed.h.g} := 1.78 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.b.g} := 17.02 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.h.d} := -2.95 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.b.d} := 0.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Ed} := 741.46 \cdot \text{kN}$$

moment zginający względem osi x - górą

moment zginający względem osi y - górą

moment zginający względem osi x - dołem

moment zginający względem osi y - dołem

siła podłużna w słupie

7.2. Wyznaczenie długości efektywnej słupa

- Długość efektywna słupa - w płaszczyźnie b

$$I_{s,b} := \frac{h \cdot b^3}{12} = (6.75 \cdot 10^4) \text{ cm}^4$$

moment bezwładności przekroju słupa

$$b_f := 1 \cdot \text{m}$$

szerokość płyty przyjęta do obliczeń

$$I_p := \frac{b_f \cdot h_f^3}{12} = (1.302 \cdot 10^5) \text{ cm}^4$$

moment bezwładności płyty

$$l_{\text{eff},l} := 3.95 \cdot \text{m}$$

rozpiętość efektywna płyty po stronie lewej

$$l_{\text{eff},p} := 2.9 \cdot \text{m}$$

rozpiętość efektywna płyty po stronie prawej

$$k_g := \max \left(\frac{\frac{E_{cm} \cdot I_{s,b}}{l_{col,d}} + \frac{E_{cm} \cdot I_{s,b}}{l_{col,g}}}{\frac{4 \cdot E_{cm} \cdot I_p}{l_{\text{eff},l}} + \frac{4 \cdot E_{cm} \cdot I_p}{l_{\text{eff},p}}}, 0.1 \right) = 0.115$$

$$k_d := 0$$

$$l_{0,b} := 0.5 \cdot l_{col,d} \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_g}{0.45 + k_g}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_d}{0.45 \cdot k_d}\right)}$$

przypadek dla elementu usztywnionego

$$l_{0,b} = ?$$

efektywna długość słupa, p. 5.8.3.2 (2) [N.4]

• Długość efektywna słupa - w płaszczyźnie h

$$I_{s,h} := \frac{b \cdot h^3}{12} = (6.75 \cdot 10^4) \text{ cm}^4$$

moment bezwładności przekroju słupa

$$I_p := \frac{b_f \cdot h_f^3}{12} = (1.302 \cdot 10^5) \text{ cm}^4$$

moment bezwładności płyty

$$l_{\text{eff},l} := 14.2 \cdot \text{m}$$

rozpiętość efektywna płyty po stronie lewej

$$l_{\text{eff},p} := 7.2 \cdot \text{m}$$

rozpiętość efektywna płyty po stronie prawej

$$k_g := \max \left(\frac{\frac{E_{cm} \cdot I_{s,h}}{l_{col,d}} + \frac{E_{cm} \cdot I_{s,h}}{l_{col,g}}}{\frac{4 \cdot E_{cm} \cdot I_p}{l_{\text{eff},l}} + \frac{4 \cdot E_{cm} \cdot I_p}{l_{\text{eff},p}}}, 0.1 \right) = 0.328$$

$$k_d := 0$$

$$l_{0,h} := 0.5 \cdot l_{col,d} \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_g}{0.45 + k_g}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_d}{0.45 \cdot k_d}\right)}$$

przypadek dla elementu usztywnionego

$$l_{0,h} = ?$$

efektywna długość słupa, p. 5.8.3.2 (2) [N.4]

7.3. Obliczenie mimośrodków całkowitych

7.3.1. Obliczenie imperfekcji geometrycznych oraz mimośrodu I rzędu, wg p.5.2.

• płaszczyzna "b"

$$\theta_0 := \frac{1}{200} = 0.005$$

wartość bazowa

$$\alpha_h := \frac{2}{\sqrt{\frac{l_{col,d}}{m}}} = 0.994$$

$$\alpha_h := \begin{cases} \frac{2}{3} & \text{if } \frac{2}{3} < \alpha_h \leq 1 \\ \alpha_h & \\ \frac{2}{3} & \text{if } \alpha_h \leq \frac{2}{3} \\ \frac{2}{3} & \\ 1 & \text{if } \alpha_h > 1 \\ 1 & \end{cases}$$

$$\alpha_h = 0.994$$

współczynnik redukcyjny długość

$$m_b := 1$$

liczba elementów pionowych
przejmujących obciążenie poprzeczne

$$\alpha_m := \sqrt{0.5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m_b}\right)} = 1$$

współczynnik redukcyjny z uwagi na
liczbę elementów

$$\theta_{i,b} := \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = 0.005$$

kąt pochylenia, wz. 5.1 [N.4]

$$e_{i,b} := 0.5 \cdot \theta_{i,b} \cdot l_{0,b} = ? \text{ mm}$$

mimośród przypadkowy, wz. 5.2 [N.4]

• płaszczyzna "h"

$$\theta_0 := \frac{1}{200} = 0.005$$

wartość bazowa

$$\alpha_h := \frac{2}{\sqrt{\frac{l_{col,d}}{m}}} = 0.994$$

$$\alpha_h := \begin{cases} \frac{2}{3} & \text{if } \frac{2}{3} < \alpha_h \leq 1 \\ \alpha_h & \\ \frac{2}{3} & \text{if } \alpha_h \leq \frac{2}{3} \\ \frac{2}{3} & \\ 1 & \text{if } \alpha_h > 1 \\ 1 & \end{cases}$$

$$\alpha_h = 0.994$$

współczynnik redukcyjny długość

$$m_h := 1$$

liczba elementów pionowych
przejmujących obciążenie poprzeczne

$$\alpha_m := \sqrt{0.5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m_h}\right)} = 1$$

$$\theta_{i,h} := \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = 0.005$$

$$e_{i,h} := 0.5 \cdot \theta_{i,b} \cdot \boxed{t_{0,h}} = ? \text{ mm}$$

przejmujących obciążenie poprzeczne
współczynnik redukcyjny z uwagi na
liczbę elementów
kąt pochylenia, wz. 5.1 [N.4]
mimośród przypadkowy, wz. 5.2 [N.4]

7.3.2. Określenie współczynnika pełzania - końcowego i efektywnego

• końcowy współczynnik pełzania

$$h_0 := \frac{2 \cdot b \cdot h}{2 \cdot b + 2 \cdot h} = 15 \text{ cm}$$

miarodajny wymiar przekroju, wz. B.6 [N.4]

$$RH := 50\%$$

wilgotność względna

$$\alpha_1 := \left(\frac{35 \cdot \text{MPa}}{f_{cm}}\right)^{0.7} = 0.944$$

współczynnik zależny od wytrzymałości betonu

$$\alpha_2 := \left(\frac{35 \cdot \text{MPa}}{f_{cm}}\right)^{0.2} = 0.984$$

współczynnik zależny od wytrzymałości betonu

$$\phi_{RH} := \begin{cases} \text{if } f_{cm} < 35 \cdot \text{MPa} \\ \left| \left| \left| 1 + \frac{1 - RH}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0 \cdot \text{mm}^{-1}}} \right| \right| \right| \\ \text{else} \\ \left| \left| \left(1 + \frac{1 - RH}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0 \cdot \text{mm}^{-1}}} \cdot \alpha_1 \right) \cdot \alpha_2 \right| \right| \end{cases}$$

$$\phi_{RH} = 1.858$$

współczynnik zależny od wpływu wilgotności
względnej na podstawowy współczynnik
pełzania, wz. B.3a [N.4]

$$\beta_{f_{cm}} := \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm} \cdot \text{MPa}^{-1}}} = 2.725$$

współczynnik zależny od wytrzymałości
betonu, wz. B.4 [N.4]

$$\Delta_t := 28$$

ilość dni dojrzewania betonu

$$T_{At} := 15$$

temperatura w jakiej dojrzewał beton w
stopniach Celcjusza

$$t_{0,T} := \Delta_t \cdot e^{-\left(\frac{4000}{273 + T_{At}} - 13.65\right)} = 22.05$$

wiek betonu w chwili obciążenia dostosowany
do temperatury, wz. B.10 [N.4]

$$\alpha := 0$$

wartość zależna od klasy cementu - klasa N, p.
B1(2) [N.4]

$$t_0 := \max \left(t_{0,T} \cdot \left(\frac{9}{2 + t_{0,T}^{1.2}} + 1.2 \right)^\alpha, 0.5 \right) = 22.05$$

wiek betonu w chwili obciążenia, wz. B9 [N.4]

$$\beta_{t_0} := \frac{1}{0.1 + t_0^{0.2}} = 0.511$$

współczynnik zależny od wieku betonu w chwili obciążenia, wz. B.5 [N.4]

$$\phi_{oo,t_0} := \phi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{t_0} = 2.588$$

podstawowy współczynnik pełzania, wz. B.2 [N.4]

• **efektywny współczynnik pełzania**

płaszczyzna "b"

$$N_{Eg} := 0.8 \cdot N_{Ed} = 593.168 \text{ kN}$$

obliczeniowa siła od prawie stałych obciążeń (długotrwała)

$$M_{Eg,b} := 0.8 \cdot M_{Ed,b,g} = 13.616 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

obliczeniowy moment od prawie stałych obciążeń (długotrwała)

$$M_{Eqp,b} := \frac{M_{Eg,b}}{\gamma_{G,sup}} = 10.086 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

charakterystyczny moment od prawie stałych obciążeń (długotrwały)

$$N_{Eqp} := \frac{N_{Eg}}{\gamma_{G,sup}} = 439.384 \text{ kN}$$

charakterystyczna siła od prawie stałych obciążeń (długotrwały)

$$M_{0Eqp,b} := M_{Eqp,b} + N_{Eqp} \cdot e_{i,b} = ? \text{ kN} \cdot \text{m}$$

charakterystyczny moment I rzędu od prawie stałych obciążeń

$$M_{0Ed,b} := M_{Eg,b} + N_{Ed} \cdot e_{i,b} = ? \text{ kN} \cdot \text{m}$$

obliczeniowy moment I rzędu od wszystkich obciążeń

$$\phi_{ef} := \phi_{oo,t_0} \cdot \frac{M_{0Eqp,b}}{M_{0Ed,b}} = ?$$

efektywny współczynnik pełzania

W drugiej płaszczyźnie wartość efektywnego współczynnika pełzania ma taką samą wartość

7.3.3. Sprawdzenie, czy należy uwzględnić efekty II rzędu, wg. p. 5.8.3.1 [N.4]

• **płaszczyzna "b"**

$$i_b := \sqrt{\frac{I_{s,b}}{A_c}} = 0.095 \text{ m}$$

promień bezwładności przekroju betonowego

$$\lambda_b := \frac{l_{0,b}}{i_b} = ?$$

smukłość słupa

$$A := \frac{1}{(1 + 0.2 \cdot \phi_{ef})} = ?$$

$$\omega := \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = 0.435$$

moc zbrojenia (całkowite pole przekroju zbrojenia podłużnego)

$$B := \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = 1.368$$

$$M_{Ed,b,d}$$

$$r_m := \frac{M_{Ed,b,d}}{M_{Ed,b,g}} = 0.043$$

$$C := 1.7 - r_m = 1.657$$

$$n := \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = 0.461$$

względna siła normalna

$$\lambda_{lim,b} := \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = ?$$

smukłość graniczna

$$\lambda_{lim,b} \geq \lambda_b = ?$$

warunek spełniony, słup jest krępy
można pominąć efekty II rzędu

• płaszczyzna "h"

$$i_h := \sqrt{\frac{I_{s,h}}{A_c}} = 0.095 \text{ m}$$

promień bezwładności przekroju
betonowego

$$\lambda_h := \frac{l_{0,h}}{i_h} = ?$$

smukłość słupa

$$A := \frac{1}{(1 + 0.2 \cdot \phi_{ef})} = ?$$

$$\omega := \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = 0.435$$

moc zbrojenia (całkowite pole
przekroju zbrojenia podłużnego)

$$B := \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = 1.368$$

$$r_m := \frac{M_{Ed,h,d}}{M_{Ed,h,g}} = -1.657$$

$$C := 1.7 - r_m = 3.357$$

$$n := \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = 0.461$$

względna siła normalna

$$\lambda_{lim,h} := \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = ?$$

smukłość graniczna

$$\lambda_{lim,h} \geq \lambda_h = ?$$

warunek spełniony, słup jest krępy
można pominąć efekty II rzędu

7.4. Wyznaczenie mimośrodków całkowitych

$$e_{e,b} := \left| \frac{M_{Ed,b,g}}{N_{Ed}} \right| = 22.955 \text{ mm}$$

$$e_{0,b} := \max \left(e_{i,b} + e_{e,b}, \frac{b}{30}, 20 \cdot \text{mm} \right) = ? \text{ mm}$$

mimośrodek całkowity w płaszczyźnie b, wg
p. 6.1(4) [N.4]

$$e_{e,h} := \left| \frac{M_{Ed,h,d}}{N_{Ed}} \right| = 3.979 \text{ mm}$$

() h ()

$$e_{0,h} := \max\left(\boxed{e_{i,h}} + e_{e,h}, \frac{h}{30}, 20 \cdot \text{mm}\right) = ? \text{ mm}$$

mimośród całkowity w płaszczyźnie b, wg p. 6.1(4) [N.4]

7.5. Wymiarowanie zbrojenia

• płaszczyzna "b"

$$a_1 := c_{nom} + \phi_s + \frac{\phi}{2} = 5.1 \text{ cm}$$

odległość od środka ciężkości zbrojenia do krawędzi przekroju

$$a_2 := a_1 = 5.1 \text{ cm}$$

odległość od środka ciężkości zbrojenia do krawędzi przekroju

$$d := b - a_1 = 24.9 \text{ cm}$$

wysokość użyteczna przekroju

$$e_{s1} := \boxed{e_{0,b}} + \frac{b}{2} - a_1 = ? \text{ cm}$$

$$\xi_{eff} := \frac{N_{Ed}}{f_{cd} \cdot h \cdot d} = 0.463$$

względna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$$

warunek spełniony

$$\xi_{eff} \geq 2 \cdot \frac{a_2}{d} = 1$$

warunek spełniony

$$x_{eff} := d \cdot \xi_{eff} = 11.534 \text{ cm}$$

wysokość strefy ściskanej

$$A_{s1} := \frac{N_{Ed} \cdot (\boxed{e_{s1}} - d + 0.5 \cdot x_{eff})}{f_{yd} \cdot (d - a_2)}$$

$$\boxed{A_{s1}} = ? \text{ cm}^2$$

obliczone minimalne zbrojenie

• płaszczyzna "h"

$$a_1 := c_{nom} + \phi_s + \frac{\phi}{2} = 5.1 \text{ cm}$$

odległość od środka ciężkości zbrojenia do krawędzi przekroju

$$a_2 := a_1 = 5.1 \text{ cm}$$

odległość od środka ciężkości zbrojenia do krawędzi przekroju

$$d := b - a_1 = 24.9 \text{ cm}$$

wysokość użyteczna przekroju

$$e_{s1} := \boxed{e_{0,h}} + \frac{h}{2} - a_1 = ? \text{ cm}$$

$$\xi_{eff} := \frac{N_{Ed}}{f_{cd} \cdot b \cdot d} = 0.463$$

względna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$$

warunek spełniony

a_2

$$\xi_{eff} \geq 2 \cdot \frac{a_2}{d} = 1$$

warunek spełniony

$$x_{eff} := d \cdot \xi_{eff} = 11.534 \text{ cm}$$

wysokość strefy ściskanej

$$A_{sI} := \frac{N_{Ed} \cdot (e_{sI} - d + 0.5 \cdot x_{eff})}{f_{yd} \cdot (d - a_2)}$$

$$A_{sI} = ? \text{ cm}^2$$

obliczone minimalne zbrojenie

7.6. Sprawdzenie, czy słup należy wymiarować na zginanie ukośne, wg 5.8.9 [N.4]

• Sprawdzenie warunków wg p. 5.38a [N.4]:

$$\lambda_b = ?$$

$$\lambda_h = ?$$

$$\frac{\lambda_b}{\lambda_h} = ?$$

$$\frac{\lambda_b}{\lambda_h} \leq 2 = ?$$

warunek spełniony

$$\frac{\lambda_b}{\lambda_b} = ?$$

$$\frac{\lambda_b}{\lambda_h} \leq 2 = ?$$

warunek spełniony

• Sprawdzenie warunków wg p. 5.38b [N.4]:

$$i_b = 9.487 \text{ cm} \quad b_{eq} := i_b \cdot \sqrt{12} = 0.329 \text{ m}$$

$$i_h = 9.487 \text{ cm} \quad h_{eq} := i_h \cdot \sqrt{12} = 0.329 \text{ m}$$

$$e_z := \left| \frac{M_{Ed.b.g}}{N_{Ed}} \right| = 22.955 \text{ mm}$$

$$e_y := \left| \frac{M_{Ed.h.d}}{N_{Ed}} \right| = 3.979 \text{ mm}$$

$$\frac{e_y}{h_{eq}} = 0.173$$

$$\frac{e_y}{h_{eq}} < 0.2 = 1$$

warunek spełniony

Nie ma konieczności uwzględniania zginania ukośnego

7.7. Wymiarowanie ze względu na ścinanie

Zbrojenie poprzeczne przyjmuję zgodnie z p. 9.5.3 [N.4]

$$\phi_{s,min} := \max(0.25 \cdot \phi, 6 \cdot \text{mm}) = 6 \text{ mm}$$

minimalna średnica zbrojenia poprzecznego

$$\phi_s = 8 \text{ mm}$$

założona średnica zbrojenia poprzecznego

$$\phi_s > \phi_{s,min} = 1$$

warunek spełniony

$$s_{cl.tmax} := \min(20 \cdot \phi, b, h, 400 \cdot mm) = 300 \text{ mm}$$

rozstaw zbrojenia poprzecznego

$$s_{cl.tmax.zaklad} := 0.6 \cdot s_{cl.tmax} = 180 \text{ mm}$$

rozstaw zbrojenia poprzecznego przy
połączeniu na zakład

8. Wymiarowanie stopy fundamentowej znajdującej się na przecięciu osi C i osi 5

$$b_x := 0.3 \cdot m$$

wymiar słupa w kierunku x

$$b_y := 0.3 \cdot m$$

wymiar słupa w kierunku y

$$b_s := 2.6 \cdot m$$

wymiar stopy w kierunku x

$$l_s := 2.6 \cdot m$$

wymiar stopy w kierunku y

$$h_s := 0.6 \cdot m$$

wysokość stopy fundamentowej

$$c_{nom} := 50 \cdot mm$$

otulenie nominalne

- **Odległość środka ciężkości zbrojenia do krawędzi przekroju oraz wysokości efektywne**

$$a_x := c_{nom} + \frac{\phi}{2} = 5.8 \text{ cm}$$

odległość od środka ciężkości zbrojenia do krawędzi przekroju - w kierunku x

$$a_y := c_{nom} + \phi + \frac{\phi}{2} = 7.4 \text{ cm}$$

odległość od środka ciężkości zbrojenia do krawędzi przekroju - w kierunku y

$$d_x := h_s - a_x = 54.2 \text{ cm}$$

wysokość użyteczna przekroju - w kierunku x

$$d_y := h_s - a_y = 52.6 \text{ cm}$$

wysokość użyteczna przekroju - w kierunku y

8.1. Sprawdzenie nośności podłoża

• Parametry podłoża gruntowego

sasi

symbol gruntu

$$\rho := 2120 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

gęstość objętościowa

$$\phi := 22.2 \cdot ^\circ$$

efektywny kąt tarcia wewnętrznego

$$c := 23.1 \cdot \text{kPa}$$

efektywna spójność

$$C_C := 19.5 \cdot \text{kPa}$$

$$C_D := 33.9 \cdot \text{kPa}$$

$$c_u := 60.18 \cdot \text{kPa}$$

wytrzymałość gruntu na ścinanie w warunkach "bez odpływu"

$$D_w := 0.6 \cdot \text{m}$$

poziom zwierciadła wody gruntowej m ppt

$$D := 1.1 \cdot \text{m}$$

poziom posadowienia fundamentu

• Określenie obciążeń działających w poziomie posadowienia

Obciążenia stałe

1. posadzka gresowa

$$h_1 := 0.015 \cdot \text{m}$$

grubość warstwy

$$\gamma_1 := 21 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

ciężar objętościowy wg danych producenta

$$G_1 := h_1 \cdot \gamma_1 = 0.315 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

2. jastrych

$$h_2 := 0.08 \cdot \text{m}$$

grubość warstwy

$$\gamma_2 := 2.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

ciężar objętościowy wg danych producenta

$$G_2 := h_2 \cdot \gamma_2 = 0.184 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

3. styropian FS20 / tłumiący kroki

$$h_3 := 0.1 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_3 := 0.5 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

ciężar objętościowy wg danych producenta

$$G_3 := h_3 \cdot \gamma_3 = 0.05 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

4. 2xpapa termozgrzewalna

$$h_4 := 0.004 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_4 := 13 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

ciężar objętościowy wg danych producenta

$$G_4 := 2 \cdot h_4 \cdot \gamma_4 = 0.104 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

5. Polistylen ekstrudowany

$$h_5 := 0.16 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_5 := 0.5 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

ciężar objętościowy wg danych producenta

$$G_5 := h_5 \cdot \gamma_5 = 0.08 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

6. Płyta betonowa-zbrojna siatką

$$h_6 := 0.15 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_6 := 25 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

ciężar objętościowy, tabl. A.1 [N.4]

$$G_6 := h_6 \cdot \gamma_6 = 3.75 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

6. Podbetonka

$$h_7 := 0.10 \cdot m$$

grubość warstwy

$$\gamma_7 := 24 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

ciężar objętościowy, tabl. A.1 [N.4]

$$G_7 := h_7 \cdot \gamma_7 = 2.4 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

Suma obciążeń

$$G_k := G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_7 = 6.883 \frac{kN}{m^2}$$

wartość obciążenia charakterystycznego od posadzki parteru

$$G_r := b_s \cdot l_s \cdot h \cdot \gamma_s = 1.014 \text{ kN}$$

ciężar stopw

$$G_f := b_s \cdot l_s \cdot h \cdot \gamma_s = 1.014 \text{ kN}$$

ciężar stopy

"bez odpływu"

$$\gamma_g := \rho \cdot g = 20.79 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

ciężar gruntu

$$G_g := (b_s \cdot l_s - b_x \cdot b_y) \cdot (D - h) \cdot \gamma_g = 110.936 \text{ kN}$$

ciężar gruntu na fundamencie

Obciążenia zmienne (technologiczne) na posadzkę parteru

$$Q_k := 4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

wartość obciążenie charakterystycznego,
tabl. 6.10 [N.4]

$$Q_d := Q_k \cdot \gamma_Q = 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

wartość obciążenia obliczeniowego

$$G_{stopa.k} := G_k \cdot l_s \cdot b_s + G_f + G_g + Q_k \cdot l_s \cdot b_s$$

$$G_{stopa.k} = 185.519 \text{ kN}$$

wartość obciążenia charakterystycznego

$$G_{stopa.d} := G_{stopa.k} \cdot \gamma_{G.sup} + Q_k \cdot l_s \cdot b_s \cdot \gamma_Q$$

$$G_{stopa.d} = 291.011 \text{ kN}$$

wartość obciążenia obliczeniowego

$$V_d := N_{Ed} + G_{stopa.d} = (1.032 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

wartość siły pionowej

$$e_B := \frac{|M_{Ed.b.d}|}{V_d} = 0.071 \text{ cm}$$

mimośród działania sił

$$e_L := \frac{|M_{Ed.h.d}|}{V_d} = 0.286 \text{ cm}$$

mimośród działania sił

$$B_0 := b_s - 2 \cdot e_B = 2.599 \text{ m}$$

$$L_0 := l_s - 2 \cdot e_L = 2.594 \text{ m}$$

$$A_0 := L_0 \cdot B_0 = 6.741 \text{ m}^2$$

obliczeniowa powierzchnia fundamentu

$$i_c := 1$$

wsp. nachylenia wypadkowej

$$s_c := 1 + 0.2 \cdot \frac{B_0}{L_0} = 1.2$$

wsp. kształtu fundamentu

$$s_c \leq 1.2 = 0$$

$$b_c := 1$$

współczynnik nachylenia fundamentu
do poziomu

$$\gamma_w := 9.81 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

ciężar wody

$$q_0 := D_w \cdot \gamma_g + (D - D_w) \cdot (\gamma_g - \gamma_w) = 17.964 \text{ kPa}$$

napężenia w poziomie posadowienia

$$R_k := A_0 \cdot ((\pi + 2) \cdot c_u \cdot b_c \cdot i_c + q_0) = (2.207 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

wartość charakterystyczna odporu gruntu

$$\gamma_{rv} := 1.4$$

$$R_d := \frac{R_k}{\gamma_{rv}} = (1.576 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

wartość obliczeniowa odporu gruntu

$$\frac{V_d}{R_d} = 65.493 \text{ \%} \quad \frac{V_d}{R_d} \leq 1 = 1$$

warunek spełniony - nośność podłoża wystarczająca

8.2. Wymiarowanie ze względu na zginanie

$$N_f := V_d - G_f = (1.031 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

siła ponowa zredukowana o ciężar stopy fundamentowej

$$q_{max.x} := \frac{N_f}{b_s \cdot l_s} \cdot \left(1 + \frac{e_L}{l_s}\right) = 152.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

maksymalny odpór gruntu zredukowany o ciężar własny stopy fundamentowej - kierunek x

$$q_{max.y} := \frac{N_f}{b_s \cdot l_s} \cdot \left(1 + \frac{e_B}{b_s}\right) = 152.624 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

maksymalny odpór gruntu zredukowany o ciężar własny stopy fundamentowej - kierunek y

$$q_{min.x} := \frac{N_f}{b_s \cdot l_s} \cdot \left(1 - \frac{e_L}{l_s}\right) = 152.415 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

maksymalny odpór gruntu zredukowany o ciężar własny stopy fundamentowej - kierunek x

$$q_{min.y} := \frac{N_f}{b_s \cdot l_s} \cdot \left(1 - \frac{e_B}{b_s}\right) = 152.541 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

maksymalny odpór gruntu zredukowany o ciężar własny stopy fundamentowej - kierunek y

$$l_x := \frac{b_s - b_x}{2} + c_{nom} = 1.2 \text{ m}$$

$$e_x := \frac{l_x}{2} = 0.6 \text{ m}$$

$$l_y := \frac{b_s - b_y}{2} + c_{nom} = 1.2 \text{ m}$$

$$e_y := \frac{l_y}{2} = 0.6 \text{ m}$$

$$q_{0.x} := q_{max.x} - \frac{q_{max.x} - q_{min.x}}{l_s} \cdot (l_x)$$

$$q_{0.x} = 152.595 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

odpór gruntu w początku wspornika - kierunek x

$$q_{m,x} := \frac{q_{max,x} + q_{0,x}}{2} = 152.673 \frac{kN}{m^2}$$

wartość odporu gruntu obciążający wspornik - kierunek x

$$M_{Ed,x} := l_x \cdot l_s \cdot q_{m,x} \cdot e_x = 285.803 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment zginający w płaszczyźnie x

$$q_{0,y} := q_{max,y} - \frac{q_{max,y} - q_{min,y}}{b_s} \cdot (l_y)$$

$$q_{0,y} = 152.586 \frac{kN}{m^2}$$

odpór gruntu w początku wspornika - kierunek y

$$q_{m,y} := \frac{q_{max,y} + q_{0,y}}{2} = 152.605 \frac{kN}{m^2}$$

wartość odporu gruntu obciążający wspornik - kierunek y

$$M_{Ed,y} := l_y \cdot l_s \cdot q_{m,y} \cdot e_y = 285.676 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

moment zginający w płaszczyźnie y

• Minimalny procent zbrojenia w stopie

$$A_{s,min1} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_s \cdot d_x = 21.225 \text{ cm}^2$$

minimalne pole przekroju zbrojenia, wz. 9.1N [N.4]

$$A_{s,min2} := 0.0013 \cdot b_s \cdot d_x = 18.32 \text{ cm}^2$$

minimalne pole przekroju zbrojenia, wz. 9.1N [N.4]

$$A_{s,min} := \max(A_{s,min1}, A_{s,min2}) = 21.225 \text{ cm}^2$$

minimalne pole powierzchni zbrojenia

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie - kierunek X

$$d_x = 54.2 \text{ cm}$$

użyteczna wysokość przekroju

$$S_{cc,eff} := \frac{M_{Ed,y}}{f_{cd} \cdot b_y \cdot d_x^2} = 0.151$$

moment statyczny efektywnego pola ściskanej strefy przekroju o wysokości x_{eff}

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{cc,eff}} = 0.165$$

względna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pojedynczo zbrojony

$$x_{eff} := d_x \cdot \xi_{eff} = 8.936 \text{ cm}$$

efektywna wysokość strefy ściskanej

$$A_{sx,req} := \frac{x_{eff} \cdot b_y \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 13.212 \text{ cm}^2$$

obliczeniowe pole powierzchni zbrojenia

$$A_{sx,req} := \max(A_{s,min}, A_{sx,req}) = 21.225 \text{ cm}^2$$

wymagane pole powierzchni zbrojenia

$$\phi := 16 \cdot \text{mm}$$

przyjęta średnica prętów

$$n := 11$$

ilość założonych prętów

$$A_{s,x,prov} := \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot n = 22.117 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole zbrojenia w kierunku y

$$M_{Ed,x} = 285.803 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment

$$M_{Rd} := A_{s,x,prov} \cdot f_{yd} \cdot (d_x - 0.5 \cdot x_{eff}) = 478.225 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

nośność przekroju

• Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie - kierunek Y

$$d_y = 52.6 \text{ cm}$$

użyteczna wysokość przekroju

$$S_{cc,eff} := \frac{M_{Ed,y}}{f_{cd} \cdot b_x \cdot d_y^2} = 0.161$$

moment statyczny efektywnego pola ściskanej strefy przekroju o wysokości x_{eff}

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{cc,eff}} = 0.176$$

względna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 1$$

warunek spełniony - przekrój pojedynczo zbrojony

$$x_{eff} := d_y \cdot \xi_{eff} = 9.264 \text{ cm}$$

efektywna wysokość strefy ściskanej

$$A_{sy,req} := \frac{x_{eff} \cdot b_x \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 13.698 \text{ cm}^2$$

obliczeniowe pole powierzchni zbrojenia

$$A_{sy,req} := \max(A_{s,min}, A_{sy,req}) = 21.225 \text{ cm}^2$$

wymagane pole powierzchni zbrojenia

$$\phi := 16 \cdot \text{mm}$$

przyjęta średnica prętów

$$n := 11$$

ilość założonych prętów

$$A_{s,y,prov} := \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot n = 22.117 \text{ cm}^2$$

przyjęte pole zbrojenia w kierunku y

$$M_{Ed,y} = 285.676 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

maksymalny moment

$$M_{Rd} := A_{s,y,prov} \cdot f_{yd} \cdot (d_y - 0.5 \cdot x_{eff}) = 461.26 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

nośność przekroju

8.3. Sprawdzenie nośności przekroju na przebicie

$$d_{eff} := \frac{d_x + d_y}{2} = 0.534 \text{ m}$$

efektywna wysokość użyteczna przekroju

$$M_{Ed} := \sqrt{M_{Ed,h,d}^2 + M_{Ed,b,d}^2} = 3.039 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$e_h := \frac{|M_{Ed,h,d}|}{N_{Ed}} = 0.398 \text{ cm}$$

mimośród

$$e_b := \frac{|M_{Ed,b,d}|}{N_{Ed}} = 0.098 \text{ cm}$$

mimośród

$$\beta := 1 + 1.8 \cdot \sqrt{\left(\frac{e_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{e_h}{h}\right)^2} = 1.025$$

współczynnik wpływu mimośrod, rys 6.43 [N.4]

$$u_1 := 2 \cdot b_x + 2 \cdot b_y + 2 \cdot \pi \cdot d_{eff} = 4.555 \text{ m}$$

długość podstawowego obwodu kontrolnego, rys. 6.13 [N.4]

$$V_{Ed} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{u_1 \cdot d_{eff}} = 0.312 \text{ MPa}$$

maksymalne naprężenie styczne, wz. 6.38 [N.4]

$$k := \min\left(1 + \sqrt{200 \cdot \frac{mm}{d_{eff}}}, 2\right) = 1.612$$

$$\rho_{lx} := \frac{A_{s,x} \cdot (b_x + 6 \cdot d_{eff})}{b \cdot d_x \cdot (b_x + 6 \cdot d_{eff})} = 0.005$$

stopień zbrojenia w kierunku x

$$\rho_{ly} := \frac{A_{s,y} \cdot (b_y + 6 \cdot d_{eff})}{b \cdot d_y \cdot (b_y + 6 \cdot d_{eff})} = 0.005$$

stopień zbrojenia w kierunku y

$$\rho_l := \min(\sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}}, 0.02) = 0.005$$

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.129$$

wartość obliczona wg p. 6.4.4(1) [N.4]

$$k_l := 0.15$$

$$V_{Rd,c1} := C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{MPa}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot MPa$$

wz. 6.2.a [N.4]

$$V_{Rd,c1} = 0.501 \text{ MPa}$$

wartość obliczeniowa nośności na ścinanie

$$V_{Rd,c,min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{MPa}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot MPa = 0.392 \text{ MPa}$$

minimalna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Rd,c} := \max(V_{Rd,c1}, V_{Rd,c,min}) = 0.501 \text{ MPa}$$

ostateczna obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed} = 1$$

warunek spełniony, zbrojenie na przebicie nie jest konieczne

Sprawdzenie warunku maksymalnej nośności na ścinanie na obwodzie słupa

$$u_0 := 2 \cdot b_x + 2 \cdot b_y = 1.2 \text{ m}$$

długość obwodu słupa

$$v_{Ed} := \frac{N_{Ed} \cdot \beta}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1.186 \text{ MPa}$$

wz. 6.53 [N.4]

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \cdot MPa}\right) = 0.528$$

wz. 6.6N [N.4]

$$v_{Rd,max} := 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} = 5.657 \text{ MPa}$$

p. 6.4.5(4) [N.4]

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max} = 1$$

warunek spełniony

9. Obliczenia dodatkowe - wyznaczenie długości zakotwienia i zakładu wg p. 8.4 i 8.7 [N.4]

$$\eta_1 := 1$$

współczynnik zależny od jakości warunków przyczepności pręta w czasie betonowania, dla dobrych warunków, p. 8.4.2(2) [N.4]

$$\eta_2 := 1$$

współczynnik zależny od średnicy pręta, dla prętów $\phi < 32\text{mm}$, p. 8.4.2(2) [N.4]

$$f_{ctk} = 2 \text{ MPa}$$

charakterystyczna wytrzymałość betonu na rozciąganie wg tabl. 3.1 [N.4]

$$f_{ctd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = 1.429 \text{ MPa}$$

obliczeniowa wytrzymałość na rozciąganie

$$f_{bd} := 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 3.214 \text{ MPa}$$

obliczeniowe graniczne naprężenie przyczepności dla prętów zbrojonych, wz. 8.2 [N.4]

$$\alpha_1 := 1$$

współczynnik zależny od kształtu prętów, dla prętów prostych, tabl. 8.2 [N.4]

$$\alpha_2 := 1$$

współczynnik zależny od najmniejszego otulenia betonem, tabl. 8.2 [N.4]

$$\alpha_3 := 1$$

współczynnik zależny od wpływu skrępowania betonu przez zbrojenie poprzeczne, tabl. 8.2 [N.4]

$$\alpha_4 := 0.7$$

współczynnik uwzględniający wpływ prętów poprzecznych przyspojonych na obliczeniowej długości zakotwienia, tabl. 8.2 [N.4]

$$\alpha_5 := 1$$

współczynnik uwzględniający wpływ nacisku poprzecznego do płaszczyzny rozłupywania wzdłuż obliczeniowej długości zakotwienia, tabl. 8.2 [N.4]

$$\alpha_6 := 1.5$$

współczynnik zależny od udziału prętów połączonych na zakład, tabl. 8.2 [N.4]

$$\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 = 1$$

$$\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \geq 0.7 = 1$$

warunek spełniony

• Pręty $\phi 10$

$$\phi := 10 \cdot \text{mm}$$

rozpatrywana średnica pręta

$$l_{b,rqd} := \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = 33.816 \text{ cm}$$

podstawowa długość zakotwienia, wz. 8.3 [N.4]

$$l_{bd} := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 23.671 \text{ cm}$$

obliczeniowa długość zakotwienia, wz. 8.4 [N.4]

$$l_{bd,min,roz} := \max(0.3 \cdot l_{b,rqd}, 10 \cdot \phi, 100 \cdot \text{mm})$$

$$l_{bd,min,roz} = 10.145 \text{ cm}$$

minimalna długość przy kotwieniu prętów rozciąganych, wz. 8.6 [N.4]

prętów rozciąganych, wz. 8.6 [N.4]

$$l_{bd} \geq l_{bd.min.rozc} = 1$$

warunek spełniony

$$l_{bd.min.sc} := \max(0.6 \cdot l_{b.rqd}, 10 \cdot \phi, 100 \cdot \text{mm}) = 20.29 \text{ cm}$$

minimalna długość przy kotwieniu prętów rozciąganych, wz. 8.6 [N.4]

$$l_{bd} \geq l_{bd.min.sc} = 1$$

warunek spełniony

Przyjmuję długość zakotwienia równą 25 cm

$$l_0 := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd} = 50.725 \text{ cm}$$

długość zakładu, wz. 8.10 [N.4]

$$l_{0.min} := \max(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd}, 15 \cdot \phi, 20 \cdot \text{mm}) = 15.217 \text{ cm}$$

minimalna długość zakładu, wz. 8.11 [N.4]

$$l_0 > l_{0.min} = 1$$

warunek spełniony

Przyjmuję długość zakładu równą 51 cm

• **Pręty $\phi 12$**

$$\phi := 12 \cdot \text{mm}$$

rozpatrywana średnica pręta

$$l_{b.rqd} := \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = 40.58 \text{ cm}$$

podstawowa długość zakotwienia, wz. 8.3 [N.4]

$$l_{bd} := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b.rqd} = 28.406 \text{ cm}$$

obliczeniowa długość zakotwienia, wz. 8.4 [N.4]

$$l_{bd.min.rozc} := \max(0.3 \cdot l_{b.rqd}, 10 \cdot \phi, 100 \cdot \text{mm})$$

$$l_{bd.min.rozc} = 12.174 \text{ cm}$$

minimalna długość przy kotwieniu prętów rozciąganych, wz. 8.6 [N.4]

$$l_{bd} \geq l_{bd.min.rozc} = 1$$

warunek spełniony

$$l_{bd.min.sc} := \max(0.6 \cdot l_{b.rqd}, 10 \cdot \phi, 100 \cdot \text{mm}) = 24.348 \text{ cm}$$

minimalna długość przy kotwieniu prętów rozciąganych, wz. 8.6 [N.4]

$$l_{bd} \geq l_{bd.min.sc} = 1$$

warunek spełniony

Przyjmuję długość zakotwienia równą 30 cm

$$l_0 := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd} = 60.87 \text{ cm}$$

długość zakładu, wz. 8.10 [N.4]

$$l_{0.min} := \max(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd}, 15 \cdot \phi, 20 \cdot \text{mm}) = 18.261 \text{ cm}$$

minimalna długość zakładu, wz. 8.11 [N.4]

$$l_0 > l_{0.min} = 1$$

warunek spełniony

Przyjmuję długość zakładu równą 61 cm

• **Pręty $\phi 16$**

$$\phi := 16 \cdot \text{mm}$$

rozpatrywana średnica pręta

$$\phi := 16 \cdot \text{mm}$$

rozpatrywana średnica pręta

$$l_{b.rqd} := \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = 54.106 \text{ cm}$$

podstawowa długość zakotwienia, wz. 8.3 [N.4]

$$l_{bd} := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b.rqd} = 37.874 \text{ cm}$$

obliczeniowa długość zakotwienia, wz. 8.4 [N.4]

$$l_{bd.min.rozc} := \max(0.3 \cdot l_{b.rqd}, 10 \cdot \phi, 100 \cdot \text{mm})$$

$$l_{bd.min.rozc} = 16.232 \text{ cm}$$

minimalna długość przy kotwieniu prętów rozciąganych, wz. 8.6 [N.4]

$$l_{bd} \geq l_{bd.min.rozc} = 1$$

warunek spełniony

$$l_{bd.min.sc} := \max(0.6 \cdot l_{b.rqd}, 10 \cdot \phi, 100 \cdot \text{mm}) = 32.464 \text{ cm}$$

minimalna długość przy kotwieniu prętów rozciąganych, wz. 8.6 [N.4]

$$l_{bd} \geq l_{bd.min.sc} = 1$$

warunek spełniony

Przyjmuję długość zakotwienia równą 40 cm

$$l_0 := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd} = 81.159 \text{ cm}$$

długość zakładu, wz. 8.10 [N.4]

$$l_{0,min} := \max(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd}, 15 \cdot \phi, 20 \cdot \text{mm}) = 24.348 \text{ cm}$$

minimalna długość zakładu, wz. 8.11 [N.4]

$$l_0 > l_{0,min} = 1$$

warunek spełniony

Przyjmuję długość zakładu równą 82 cm

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Andzej Ajdukiewicz, Eurokod 2 - podręczny skrót dla projektantów żelbetowych, Wydawnictwo Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2009*
- [2] *Mieczysław Kamiński, Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych wg Eurokodu 2, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa - Wrocław 1996*
- [3] *Włodzimierz Starosolski, Konstrukcje żelbetowe - Tom I, II, III, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2007*
- [4] *Łapko A., Jensen B.C., Podstawy projektowania i algorytmy obliczeń konstrukcji żelbetowych, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2005*
- [5] *Adam Zybura, Konstrukcje żelbetowe - atlas rysunków, Wydawnictwo naukowe PWN, Gliwice 2009*

Normy

- [N.1] *PN-EN 1990:2004 Eurokod, Podstawy projektowania konstrukcji*
- [N.2] *PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1, Oddziaływania na konstrukcje, Część1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.*
- [N.3] *PN-EN 1991-1-3:2004 Eurokod 1, Oddziaływania na konstrukcje, Część1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar śniegiem.*
- [N.4] *PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2, Projektowanie konstrukcji z betonu, Część1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.*