

12. OBLICZENIA STATYCZNE

1. OBLICZENIE SŁUPA $H=6,00\text{m}$, $L=5,00\text{m}$ (wg PN-90/B-03200)

wysokość słupa $H := 6.00 \cdot \text{m}$

rozstaw słupów $l_o := 5.00 \cdot \text{m}$

1.1 Obciążenia

1.1.1 Obciążenia poziome (wg PN-B-02011:1977. Az1:2009)

charakterystyczne ciśnienie prędkości wiatru	$q_k := 420 \cdot \text{Pa}$	(strefa II)	(tab.3)
współczynnik ekspozycji	$C_e := 1.0$	(teren niezabudowany)	(tab.4)
współczynnik aerodynamiczny	$C_p := 1.4$		(Z1-23)
współczynnik działania porywów wiatru	$\beta := 1.8$		(pkt.5.1)
współczynnik obliczeniowy	$\gamma_f := 1.5$		(pkt.2.3)
obciążenie równomiernie rozłożone działające na słupek			

$$p_x := q_k \cdot C_e \cdot C_p \cdot \beta \cdot l_o \cdot \gamma_f \quad p_x = 7.938 \text{ kN/m}$$

1.1.2 Obciążenia pionowe

ciężar własny słupa HEA200	$F_{y1} := 0.423 \text{ kN/m} \cdot H \cdot 1.1$	$F_{y1} = 2.792 \text{ kN}$
blachy usztywniające	$F_{y2} := 78.50 \text{ kN/m}^3 \cdot 10 \text{ mm} \cdot 60 \text{ mm} \cdot 40 \text{ cm} \cdot 4 \cdot 1.1$	$F_{y2} = 0.083 \text{ kN}$
blacha podstawy	$F_{y3} := 78.50 \text{ kN/m}^3 \cdot 25 \text{ mm} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 1.1$	$F_{y3} = 0.259 \text{ kN}$

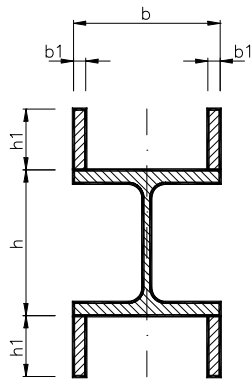
$$\text{razem :} \quad F_y := \sum_{i=1}^3 F_{y_i} \quad F_y = 3.134 \text{ kN}$$

1.1.3 Siły działające w podstawie słupa

Siła pozioma	$F_x := p_x \cdot H$	$F_x = 47.628 \text{ kN}$
Siła pionowa	$F_y := F_y$	$F_y = 3.134 \text{ kN}$
Moment zginający	$M := 0.5 \cdot p_x \cdot H^2$	$M = 142.884 \text{ kNm}$

1.2. Wymiarowanie słupa

1.2.1. Wyznaczenie nośności obliczeniowej przekroju przy jednokierunkowym zginaniu



a) parametry przekroju:

HEA200: $h := 190\text{mm}$ $b := 200\text{mm}$

$h_1 := 100\text{mm}$ $b_1 := 12\text{mm}$

grubość środnika $t_w := 6.5\text{mm}$

grubość półki $t_p := 10\text{mm}$

wysokość środnika $h_w := h - 2 \cdot t_p$ $h_w = 170\text{ mm}$

momenty bezwładności : $I_{x1} := 3690\text{cm}^4$

$I_{y1} := 1340\text{cm}^4$

pole przekroju : $A_1 := 53.8\text{cm}^2$

pole przekroju: $A := A_1 + 4 \cdot h_1 \cdot b_1$ $A = 101.8\text{ cm}^2$

wskaźnik wytrzymałości : $W_{x1} := 389\text{cm}^3$

moment bezwładności przy skręcaniu: $I_{d1} := 25.9\text{cm}^4$

momenty bezwładności przekroju:

$I_x := I_{x1} + 4 \cdot h_1 \cdot b_1 \cdot (0.5 \cdot h + 0.5 \cdot h_1)^2$ $I_x = 13782\text{ cm}^4$

$I_y := I_{y1} + 4 \cdot h_1 \cdot b_1 \cdot (0.5 \cdot b - 0.5 \cdot b_1)^2$ $I_y = 5581.28\text{ cm}^4$

$I_d := I_{d1} + \frac{4}{3} \cdot b_1^3 \cdot h_1$ $I_d = 48.94\text{ cm}^4$

wycinkowy moment bezwładności: $I_{\omega} := \frac{I_y \cdot (h - t_p)^2}{4}$ $I_{\omega} = 452084\text{ cm}^6$

wskaźnik wytrzymałości: $W_x := \frac{I_x}{0.5 \cdot h + h_1}$ $W_x = 706.769\text{ cm}^3$

b) określenie klasy przekroju:

przyjęto stal 18G2A $f_d := 305 \cdot \text{MPa}$

$$\varepsilon := \sqrt{215 \frac{\text{MPa}}{f_d}} \quad \varepsilon = 0.84$$

współczynnik sprężystości podłużnej: $E := 205 \cdot \text{GPa}$

współczynnik sprężystości poprzecznej: $G := 80 \cdot \text{GPa}$

graniczna smukłość ścianki środnika $\frac{h_w}{t_w} = 26.154 < 66 \cdot \varepsilon = 55.413$ przekrój klasy 1 (tab.6)

graniczna smukłość ścianki nakładek $\frac{h_1}{b_1} = 8.333 \quad 9 \cdot \varepsilon = 7.556$ przekrój klasy 1 (tab.6)

c) nośność obliczeniowa przekroju przy jednokierunkowym zginaniu:

$\alpha_p := 1$ obliczeniowy współczynnik rezerwy plastycznej

$M_R := \alpha_p \cdot W_x \cdot f_d \quad M_R = 215.565 \text{ kNm}$ (42)

d) nośność obliczeniowa przekroju przy ścinaniu:

warunek smukłości: $\frac{h_w}{t_w} = 26 < 70 \cdot \varepsilon = 58.772$ (tab.7)

pole przekroju czynnego przy ścinaniu: $A_v := h_w \cdot t_w \quad A_v = 11.05 \text{ cm}^2$ (tab.7)

nośność obliczeniowa przy ścinaniu $V_R := 0.58 \cdot A_v \cdot f_d \quad V_R = 195.475 \text{ kN}$ (47)

siła poprzeczna (z poz. 1.1.3) $F_x = 47.628 \text{ kN} < 0.6 \cdot V_R = 117.285 \text{ kN}$ pominięto wpływ siły poprzecznej

1.2.2. Wyznaczenie momentu krytycznego przy zwichrzeniu.

współczynnik długości wyboczeniowej przy wyboczeniu giętnym: $\mu := 2$

siła krytyczna przy wyboczeniu giętnym: $N_y := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(\mu \cdot H)^2} \quad N_y = 784.197 \text{ kN}$ (Z1-4)

promień bezwładności przekroju: $i_x := \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad i_x = 11.635 \text{ cm} \quad i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad i_y = 7.404 \text{ cm}$

$i_o := \sqrt{i_x^2 + i_y^2} \quad i_o = 13.792 \text{ cm}$

$y_s := 0 \text{ mm}$ (współrzędna środka ścinania)

$i_s := \sqrt{i_o^2 + y_s^2} \quad i_s = 13.792 \text{ cm}$ (współrzędna środka ścinania)

siła krytyczna przy wyboczeniu skrętnym: $N_z := \frac{1}{i_s^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_\omega}{(\mu \cdot H)^2} + G \cdot I_d \right] \quad N_z = 2.392 \text{ MN}$ (Z1-5)

$A_1 := 0 \quad A_2 := 3.4 \quad B := 4.1$

$a_s := 0.5 \cdot h \quad a_s = 9.5 \text{ cm}$ (różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia obciążenia)

$b_y := 0 \text{ cm}$ (jak dla przekroju bisymetrycznego) (tab.Z1-1)

$A_o := A_1 \cdot b_y + A_2 \cdot a_s \quad A_o = 32.3 \text{ cm}$

moment krytyczny przy zwichrzeniu:

$M_{cr} := A_o \cdot N_y + \sqrt{(A_o \cdot N_y)^2 + B^2 \cdot i_s^2 \cdot N_y \cdot N_z} \quad M_{cr} = 1.068 \times 10^3 \text{ kNm}$ (Z1-9)

1.2.3. Sprawdzenie nośności.

smukłość względna przy zwichrzeniu: $\lambda_L := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}} \quad \lambda_L = 0.517$ (50)

współczynnik zwichrzenia: $\phi_L := \left(1 + \lambda_L^4 \right)^{-\frac{1}{2}} \quad \phi_L = 0.966$ (tab.11)

$$\text{nośność: } \frac{M}{\phi_L \cdot M_R} = 0.686 < 1 \quad (52)$$

1.2.4. Wyznaczenie długości nakładek.

moment zginający przenoszony przez belkę bez nakładek: $M_{R1} := \alpha_p \cdot W_{x1} \cdot f_d \cdot \phi_L$ $M_{R1} = 114.633 \text{ kNm}$
 wartość momentu zginającego w zależności od odległości od podstawy "z"

$$M_Z(z) := 0.5 \cdot p_x \cdot (H - z)^2$$

określenie wysokości z, gdzie moment przyjmuje wartość M_{R1}

$$M_Z(z) - M_{R1} = 0 \quad \text{root}(M_Z(z) - M_{R1}, z, 0\text{m}, 4\text{m}) = 0.626 \text{ m}$$

odległość teoretycznego początku nakładek do podstawy $z := 150\text{cm}$

1.2.5. Sprawdzenie ugięcia.

charakterystyczna wartość obciążenia: $p_k := \frac{p_x}{\gamma_f}$ $p_k = 5.292 \text{ kN/m}$

$$f_1 := \frac{p_k \cdot z^4}{8 \cdot E \cdot I_{x1}} \quad f_1 = 0.0119 \text{ cm} \quad f_2 := \frac{p_k \cdot (H - z)^4}{8 \cdot E \cdot I_{x1}} \quad f_2 = 3.586 \text{ cm}$$

odchylenie górnej części słupa przy ugięciu tylko dolnej $f_3 := \frac{f_1}{z} \cdot H$ $f_3 = 0.0474 \text{ cm}$

$$f_{\max} := f_1 + f_2 + f_3 \quad f_{\max} = 3.6452 \text{ cm} < \frac{H}{150} = 4 \text{ cm}$$

1.3. Wymiarowanie podstawy słupa

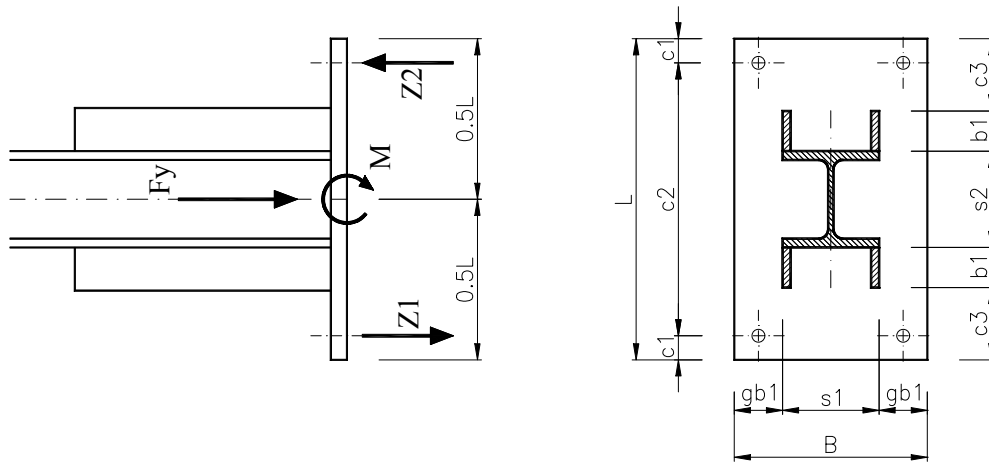
Dane przyjęte do obliczeń

długość podstawy $L := 520\text{mm}$

szerokość podstawy $B := 400\text{mm}$

słup HEA 200 $s_1 := 200\text{mm}$ $s_2 := 190\text{mm}$

odległość kotwy od krawędzi $c_1 := 40\text{mm}$

szerokość nakładki $b_1 := 100\text{mm}$ stal 18G2A $R_a := 295\text{MPa}$ 

$$c_2 := L - 2 \cdot c_1 \quad c_2 = 440\text{ mm} \quad c_3 := \frac{L - s_2 - 2 \cdot b_1}{2} \quad c_3 = 65\text{ mm}$$

$$g_{b1} := \frac{B - s_1}{2} \quad g_{b1} = 100\text{ mm}$$

Siły działające w podstawie słupa (z poz. 1.1.3)

$$F_x = 47.628\text{ kN} \quad F_y = 3.134\text{ kN} \quad M = 142.884\text{ kNm}$$

określenie sił w kotwach:

$$Z_1 := \frac{M - F_y \cdot 0.5 \cdot c_2}{c_2} \quad Z_1 = 323.169\text{ kN}$$

$$Z_2 := \frac{M + F_y \cdot 0.5 \cdot c_2}{c_2} \quad Z_2 = 326.303\text{ kN}$$

Obliczenie grubości płyty podstawy:

$$\text{momenty zginające w częściach płyty:} \quad M_a := Z_2 \cdot \left[\sqrt{(g_{b1} - c_1)^2 + (c_3 - c_1)^2} \right] \quad M_a = 21.21\text{ kNm}$$

$$\text{grubość płyty} \quad g := \sqrt{\frac{6 \cdot M_a}{R_a \cdot B}} \quad g = 32.84\text{ mm} \quad \text{przyjęto} \quad g := 40\text{ mm}$$

1.3 OBLICZENIE PAŁA (wg PN-83/B-02482)Siły sprowadzone do stropu warstwy nośnej: (z := 50cm)

$$H_r := F_x \quad H_r = 47.628\text{ kN}$$

$$N_r := F_y + 25\text{ kN/m}^3 \cdot \pi \cdot (0.40\text{ m})^2 \cdot z \cdot 1.1 \quad N_r = 10.045\text{ kN}$$

$$M_r := M + H_r \cdot z \quad M_r = 166.698\text{ kNm}$$

Obliczeniowe wartości parametrów geotechnicznych (na podstawie dokumentacji o warunkach gruntowo-wodnych podłoża)-nasypy mineralne i spoiste

ciężar objętościowy gruntu: $\gamma_n := 21.00 \text{ kN/m}^3$

kąt tarcia wewnętrznego: $\Phi_n := 19^\circ$

spójność: $c_u := 36 \text{ kPa}$

stopień plastyczności: $I_L := 0.35$

Wartości obliczeniowe parametrów geotechnicznych:

$\gamma_r := 0.9 \cdot 1.1 \cdot \gamma_n$ $\gamma_r = 20.79 \text{ kN/m}^3$

$\Phi_r := 0.8 \cdot 1.1 \cdot \Phi_n$ $\Phi_r = 16.72^\circ$

$c_{ur} := 0.5 \cdot c_u$ $c_{ur} = 18 \text{ kPa}$

przyjęto: średnica pała: $D := 50 \text{ cm}$

zagłębienie pała w gruncie: $h := 6.50 \text{ m}$

Kryterium sztywności pała:

współczynnik sprężystości betonu (B-25) $E := 30 \text{ GPa}$

moment bezwładności przekroju: $J := \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot D^4$ $J = 306796 \text{ cm}^4$

wyznaczenie współczynnika podatności bocznej gruntu (dla gruntów spoistych):

współczynnik uwzględniający stopień naruszenia gruntu w trakcie wykonywania pała $S_n := 1.1$ (tab. 11)

$$k_x := 9600 \cdot \text{kPa} \cdot \frac{1 - I_L}{D} \cdot S_n \quad k_x = 13728 \text{ kN/m}^3 \quad (41)$$

wykładnik potęgi: $n := 1$ (dla gruntów spoistych normalnie skonsolidowanych)

zagłębienie sprężyste pała:

$$h_s := \sqrt[5]{\frac{4 \cdot E \cdot J}{k_x \cdot D} \cdot h^1} \quad h_s = 3.225 \text{ m} \quad (32)$$

$h = 6.5 \text{ m} \sim 1.5 \cdot h_s = 4.837 \text{ m}$ przeprowadzono obliczenia jak dla pała sztywnego

mimośród wypadkowej:

$$h_H := \frac{M_r}{H_r} \quad h_H = 3.5 \text{ m}$$

$$\frac{h}{D} = 13 \quad N_q := 2.8 \quad (\text{rys. 19})$$

$$N_c := 15 \quad (\text{rys. 20})$$

$$\beta_q := 0.2 \quad (\text{rys. 21})$$

$$\beta_c := 0.22 \quad (\text{rys. 22})$$

$$\frac{h_H}{h} = 0.538 \quad i_q := 0.02 \quad (\text{rys. 23})$$

$$i_c := 0.05 \quad (\text{rys. 23})$$

$$S_q := 1 + \beta_q \quad S_q = 1.2 \quad S_c := 1 + \beta_c \quad S_c = 1.22 \quad (35)$$

Obliczeniowa nośność boczna gruntu:

$$H_F := \gamma_r \cdot D \cdot h^2 \cdot N_q \cdot i_q \cdot S_q + c_{ur} \cdot D \cdot h \cdot N_c \cdot i_c \cdot S_c \quad (34)$$

Sprawdzenie stanu granicznego nośności: (wg pkt. 5.3.1)

współczynnik korekcyjny $m := 0.7$ (dla gruntów spoistych)

$$H_r = 47.628 \text{ kN} < m \cdot H_f = 58.129 \text{ kN} \quad (33)$$

Sprawdzenie przemieszczeń pala sztywnego: (wg pkt. 5.3.3)

wartość charakterystyczna siły poziomej:

$$H_n := \frac{H_r}{\gamma_f} \quad H_n = 31.752 \text{ kN}$$

Przemieszczenie osi pala sztywnego w poziomie terenu dla głowicy swobodnej i gruntu spoistego:

$$y_o := \frac{4 \cdot H_n \cdot \left(1 + 1.5 \cdot \frac{h_H}{h}\right)}{D \cdot h \cdot k_x} \quad y_o = 0.515 \text{ cm} < y_d := 1 \text{ cm}$$

Wymiarowanie pala

Wyznaczenie maksymalnego momentu zginającego w palu sztywnym (pkt. 5.3.4)

zagłębienie obliczeniowego poziomu utwierdzenia pala: $h_u := 0.4 \cdot h_s$ $h_u = 1.29 \text{ m}$ (39)

$$M_{\max} := H_r \cdot (h_H + h_u) \quad M_{\max} = 228.13 \text{ kNm} \quad (38)_{\text{(tab. 12)}}$$

przyjęto beton B-25 $R_b := 14.3 \text{ MPa}$, stal A-III $R_a := 350 \text{ MPa}$

zbrojenie policzono jak dla przekroju pierścieniowego o promieniu zewnętrznym $r_2 := \frac{D}{2}$ $r_2 = 0.25 \text{ m}$ (37)

i promieniu wewnętrznym $r_1 := 0.25 \cdot D$ $r_1 = 0.125 \text{ m}$

$$F_b := \pi \cdot (r_2^2 - r_1^2) \quad F_b = 1473 \text{ cm}^2 \quad \frac{r_1}{r_2} = 0.5$$

$$A := \frac{M_{\max}}{r_2^3 \cdot R_b} \quad A = 1.021 \quad \xi := 0.63 \quad (\text{tablice do projektowania konstr. żelbetowych})$$

$$\text{wymagany procent zbrojenia: } \mu := \xi \cdot \frac{R_b}{R_a} \quad \mu = 2.574 \%$$

$$\text{potrzebny przekrój zbrojenia: } F_a := \mu \cdot F_b \quad F_a = 37.91 \text{ cm}^2 \quad \text{przyjęto } 8\phi 25 \quad (F_a = 39.27 \text{ cm}^2)$$

2. OBLICZENIE SŁUPA $H = 5,00$ m (wg PN-90/B-03200)

wysokość słupa	$H := 5,1 \cdot \text{m}$
rozstaw słupów	$l_o := 5,00 \cdot \text{m}$

2.1. Obciążenia2.1.1. Obciążenia poziome (wg PN-B-02011:1977. Az1:2009)

charakterystyczne ciśnienie prędkości wiatru	$q_k := 420 \cdot \text{Pa}$	(strefa II)	(tab.3)
współczynnik ekspozycji	$C_e := 1,0$	(teren niezabudowany)	(tab.4)
współczynnik aerodynamiczny	$C_p := 1,4$		(Z1-23)
współczynnik działania porywów wiatru	$\beta := 1,8$	(budowla niepodatna na dyn. działanie wiatru)	(pkt.5.1)
współczynnik obliczeniowy	$\gamma_f := 1,5$		(pkt.2.3)
obciążenie równomiernie rozłożone działające na słupek			

charakterystyczne	$p_{xk} := q_k \cdot C_e \cdot C_p \cdot \beta \cdot l_o$	$p_{xk} = 5,292 \text{ kN/m}$
obliczeniowe	$p_x := p_{xk} \cdot \gamma_f$	$p_x = 7,938 \text{ kN/m}$

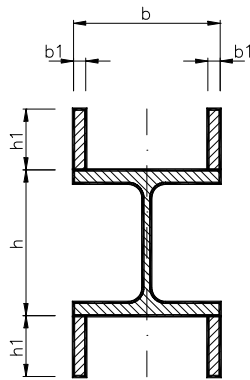
2.1.2. Obciążenia pionowe

ciężar własny słupa HEA180	$F_{y1} := 0,355 \text{ kN/m} \cdot H \cdot 1,1$	$F_{y1} = 1,992 \text{ kN}$
blachy usztywniające	$F_{y2} := 78,50 \text{ kN/m}^3 \cdot 10 \text{ mm} \cdot 60 \text{ mm} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 4 \cdot 1,1$	$F_{y2} = 0,207 \text{ kN}$
blacha podstawy	$F_{y3} := 78,50 \text{ kN/m}^3 \cdot 25 \text{ mm} \cdot 320 \text{ mm} \cdot 460 \text{ mm} \cdot 1,1$	$F_{y3} = 0,318 \text{ kN}$
razem :	$F_y := \sum_{i=1}^3 F_{y_i}$	$F_y = 2,517 \text{ kN}$

2.1.3. Siły działające w podstawie słupa

Siła pozioma	$F_x := p_x \cdot H$	$F_x = 40,484 \text{ kN}$
Siła pionowa	$F_y := F_y$	$F_y = 2,517 \text{ kN}$
Moment zginający	$M := 0,5 \cdot p_x \cdot H^2$	$M = 103,234 \text{ kNm}$

2.2. Wymiarowanie słupa2.2.1. Wyznaczenie nośności obliczeniowej przekroju przy jednokierunkowym zginaniu



a) parametry przekroju:

HEA180: $h := 171\text{mm}$ $b := 180\text{mm}$

$h_1 := 80\text{mm}$ $b_1 := 12\text{mm}$

grubość środnika $t_w := 6\text{mm}$

grubość półki $t_p := 9.5\text{mm}$

wysokość środnika $h_w := h - 2 \cdot t_p$ $h_w = 152\text{mm}$

momenty bezwładności: $I_{x1} := 2510\text{cm}^4$

$I_{y1} := 925\text{cm}^4$

pole przekroju: $A_1 := 45.3\text{cm}^2$

pole przekroju: $A := A_1 + 4 \cdot h_1 \cdot b_1$ $A = 83.7\text{cm}^2$

wskaźnik wytrzymałości: $W_{x1} := 294\text{cm}^3$

moment bezwładności przy skręcaniu: $I_{d1} := 18.3\text{cm}^4$

momenty bezwładności przekroju:

$I_x := I_{x1} + 4 \cdot h_1 \cdot b_1 \cdot (0.5 \cdot h + 0.5 \cdot h_1)^2$ $I_x = 8558.096\text{cm}^4$

$I_y := I_{y1} + 4 \cdot h_1 \cdot b_1 \cdot (0.5 \cdot b - 0.5 \cdot b_1)^2$ $I_y = 3634.504\text{cm}^4$

$I_d := I_{d1} + \frac{4}{3} \cdot b_1^3 \cdot h_1$ $I_d = 36.732\text{cm}^4$

wycinkowy moment bezwładności: $I_{\omega} := \frac{I_y \cdot (h - t_p)^2}{4}$ $I_{\omega} = 236990\text{cm}^6$

wskaźnik wytrzymałości: $W_x := \frac{I_x}{0.5 \cdot h + h_1}$ $W_x = 517.105\text{cm}^3$

b) określenie klasy przekroju:

przyjęto stal 18G2A $f_d := 305 \cdot \text{MPa}$

$\varepsilon := \sqrt{215 \frac{\text{MPa}}{f_d}}$ $\varepsilon = 0.84$

współczynnik sprężystości podłużnej: $E := 205 \cdot \text{GPa}$

współczynnik sprężystości poprzecznej: $G := 80 \cdot \text{GPa}$

$$\text{graniczna smukłość ścianki środknika} \quad \frac{h_w}{t_w} = 25.333 < 66 \cdot \varepsilon = 55.413 \quad \text{przekrój klasy 1} \quad (\text{tab.6})$$

$$\text{graniczna smukłość ścianki nakładek} \quad \frac{h_1}{b_1} = 6.667 \cdot 9 \cdot \varepsilon = 7.556 \quad \text{przekrój klasy 1} \quad (\text{tab.6})$$

c) nośność obliczeniowa przekroju przy jednokierunkowym zginaniu:

$$\alpha_p := 1 \quad \text{obliczeniowy współczynnik rezerwy plastycznej}$$

$$M_R := \alpha_p \cdot W_x \cdot f_d \quad M_R = 157.717 \text{ kNm} \quad (42)$$

d) nośność obliczeniowa przekroju przy ścinaniu:

$$\text{warunek smukłości:} \quad \frac{h_w}{t_w} = 25 < 70 \cdot \varepsilon = 58.772 \quad (\text{tab.7})$$

$$\text{pole przekroju czynnego przy ścinaniu:} \quad A_v := h_w \cdot t_w \quad A_v = 9.12 \text{ cm}^2 \quad (\text{tab.7})$$

$$\text{nośność obliczeniowa przy ścinaniu} \quad V_R := 0.58 \cdot A_v \cdot f_d \quad V_R = 161.333 \text{ kN} \quad (47)$$

$$\text{siła poprzeczna (z poz. 1.1.3)} \quad F_x = 40.484 \text{ kN} < 0.6 \cdot V_R = 96.8 \text{ kN} \quad \text{pominięto wpływ siły poprzecznej}$$

2.2.2. Wyznaczenie momentu krytycznego przy zwichrzeniu.

$$\text{współczynnik długości wyboczeniowej przy wyboczeniu giętnym:} \quad \mu := 2$$

$$\text{siła krytyczna przy wyboczeniu giętnym:} \quad N_y := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(\mu \cdot H)^2} \quad N_y = 706.803 \text{ kN} \quad (Z1-4)$$

$$\text{promień bezwładności przekroju:} \quad i_x := \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad i_x = 10.112 \text{ cm} \quad i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad i_y = 6.59 \text{ cm}$$

$$i_o := \sqrt{i_x^2 + i_y^2} \quad i_o = 12.069 \text{ cm}$$

$$y_s := 0 \text{ mm} \quad (\text{współrzędna środka ścinania})$$

$$i_s := \sqrt{i_o^2 + y_s^2} \quad i_s = 12.069 \text{ cm} (\text{współrzędna środka ścinania})$$

$$\text{siła krytyczna przy wyboczeniu skrętnym:} \quad N_z := \frac{1}{i_s^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_\omega}{(\mu \cdot H)^2} + G \cdot I_d \right] \quad N_z = 2.334 \text{ MN} \quad (Z1-5)$$

$$A_1 := 0 \quad A_2 := 3.4 \quad B := 4.1$$

$$a_s := 0.5 \cdot h \quad a_s = 8.55 \text{ cm} (\text{różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia obciążenia})$$

$$b_y := 0 \text{ cm} \quad (\text{jak dla przekroju bisymetrycznego}) \quad (\text{tab.Z1-1})$$

$$A_o := A_1 \cdot b_y + A_2 \cdot a_s \quad A_o = 29.07 \text{ cm}$$

moment krytyczny przy zwichrzeniu:

$$M_{cr} := A_o \cdot N_y + \sqrt{(A_o \cdot N_y)^2 + B^2 \cdot i_s^2 \cdot N_y \cdot N_z} \quad M_{cr} = 873.387 \text{ kNm} \quad (Z1-9)$$

2.2.3. Sprawdzenie nośności.

$$\text{smukłość względna przy zwichrzeniu:} \quad \lambda_L := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}} \quad \lambda_L = 0.489 \quad (50)$$

$$\text{współczynnik zwichrzenia: } \phi_L := \left(1 + \lambda_L^4\right)^{\frac{-1}{2}} \quad \phi_L = 0.973 \quad (\text{tab.11})$$

$$\text{nośność: } \frac{M}{\phi_L \cdot M_R} = 0.673 < 1 \quad (52)$$

2.2.4. Wyznaczenie długości nakładek.

moment zginający przenoszony przez belkę bez nakładek: $M_{R1} := \alpha_p \cdot W_{x1} \cdot f_d \cdot \phi_L$ $M_{R1} = 87.217 \text{ kNm}$
 wartość momentu zginającego w zależności od odległości od podstawy "z"

$$M_z(z) := 0.5 \cdot p_x \cdot (H - z)^2$$

określenie wysokości z, gdzie moment przyjmuje wartość M_{R1}

$$M_z(z) - M_{R1} = 0 \quad \text{root}(M_z(z) - M_{R1}, z, 0\text{m}, 4\text{m}) = 0.412 \text{ m}$$

odległość teoretycznego początku nakładek do podstawy $z := 110 \text{ cm}$

2.2.5. Sprawdzenie ugięcia.

obciążenie od obciążeń charakterystycznych $p_k := \frac{p_x}{\gamma_f}$ $p_k = 5.292 \text{ kN/m}$

$$f_1 := \frac{p_k \cdot z^4}{8 \cdot E \cdot I_{x1}} \quad f_1 = 0.0055 \text{ cm} \quad f_2 := \frac{p_k \cdot (H - z)^4}{8 \cdot E \cdot I_{x1}} \quad f_2 = 3.291 \text{ cm}$$

odchylenie górnej części słupa przy ugięciu tylko dolnej $f_3 := \frac{f_1}{z} \cdot (H - z)$ $f_3 = 0.0201 \text{ cm}$

$$f_{\max} := f_1 + f_2 + f_3 \quad f_{\max} = 3.3167 \text{ cm} < \frac{H}{150} = 3.4 \text{ cm}$$

2.3. Wymiarowanie podstawy słupa

Dane przyjęte do obliczeń

długość podstawy $L := 520 \text{ mm}$

szerokość podstawy $B := 400 \text{ mm}$

słup HEA 180 $s_1 := 180 \text{ mm}$ $s_2 := 171 \text{ mm}$

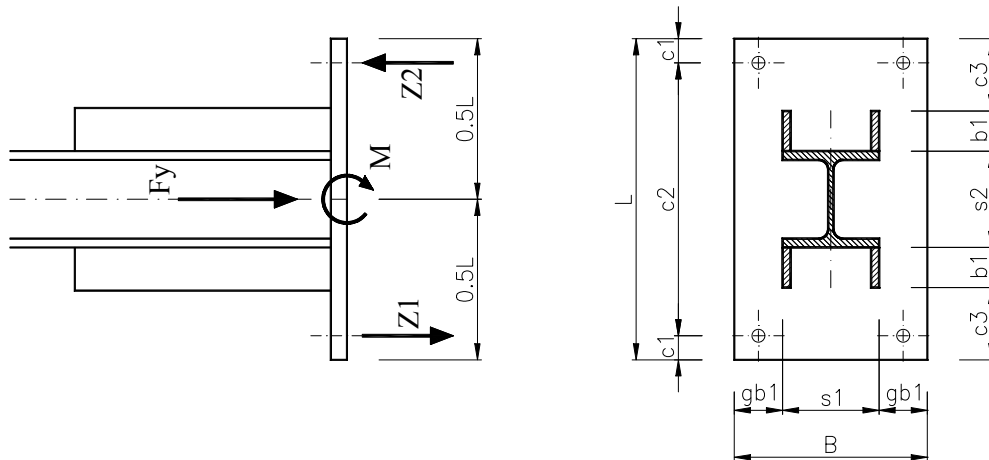
odległość kotwy od krawędzi $c_1 := 40 \text{ mm}$

szerokość nakładki

$$b_1 := 80 \text{ mm}$$

stal 18G2A

$$R_a := 295 \text{ MPa}$$



$$c_2 := L - 2 \cdot c_1 \quad c_2 = 440 \text{ mm} \quad c_3 := \frac{L - s_2 - 2 \cdot b_1}{2} \quad c_3 = 94.5 \text{ mm}$$

$$g_{b1} := \frac{B - s_1}{2} \quad g_{b1} = 110 \text{ mm}$$

Siły działające w podstawie słupa (z poz. 1.1.3)

$$F_x = 40.484 \text{ kN} \quad F_y = 2.517 \text{ kN} \quad M = 103.234 \text{ kNm}$$

określenie sił w kotwach:

$$Z_1 := \frac{M - F_y \cdot 0.5 \cdot c_2}{c_2} \quad Z_1 = 233.364 \text{ kN}$$

$$Z_2 := \frac{M + F_y \cdot 0.5 \cdot c_2}{c_2} \quad Z_2 = 235.88 \text{ kN}$$

Obliczenie grubości płyty podstawy:

$$\text{momenty zginające w częściach płyty:} \quad M_a := Z_2 \cdot (c_3 - c_1) \quad M_a = 12.855 \text{ kNm}$$

$$\text{grubość płyty} \quad g := \sqrt{\frac{6 \cdot M_a}{R_a \cdot B}} \quad g = 25.567 \text{ mm} \quad \text{przyjęto} \quad g := 34 \text{ mm}$$

1.4 OBLICZENIE PAŁA (wg PN-83/B-02482)Siły sprowadzone do stropu warstwy nośnej: (z := 50cm)

$$H_r := F_x \quad H_r = 40.484 \text{ kN}$$

$$N_r := F_y + 25 \text{ kN/m}^3 \cdot \pi \cdot (0.40 \text{ m})^2 \cdot z \cdot 1.1 \quad N_r = 9.428 \text{ kN}$$

$$M_r := M + H_r \cdot z \quad M_r = 123.476 \text{ kNm}$$

Obliczeniowe wartości parametrów geotechnicznych (na podstawie dokumentacji o warunkach gruntowo-wodnych podłoża)-nasypty mineralne i spoiste

ciężar objętościowy gruntu: $\gamma_n := 21.00 \text{ kN/m}^3$

kąt tarcia wewnętrznego: $\Phi_n := 19^\circ$

spójność: $c_u := 36 \text{ kPa}$

stopień plastyczności: $I_L := 0.35$

Wartości obliczeniowe parametrów geotechnicznych:

$\gamma_r := 0.9 \cdot 1.1 \cdot \gamma_n$ $\gamma_r = 20.79 \text{ kN/m}^3$

$\Phi_r := 0.8 \cdot 1.1 \cdot \Phi_n$ $\Phi_r = 16.72^\circ$

$c_{ur} := 0.5 \cdot c_u$ $c_{ur} = 18 \text{ kPa}$

przyjęto: średnica pała: $D := 50 \text{ cm}$

zagłębienie pała w gruncie: $h := 5.00 \text{ m}$

Kryterium sztywności pała:

współczynnik sprężystości betonu (B-25) $E := 30 \text{ GPa}$

moment bezwładności przekroju: $J := \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot D^4$ $J = 306796 \text{ cm}^4$

wyznaczenie współczynnika podatności bocznej gruntu (dla gruntów spoistych):

współczynnik uwzględniający stopień naruszenia gruntu w trakcie wykonywania pała $S_n := 1.1$ (tab. 11)

$$k_x := 9600 \cdot \text{kPa} \cdot \frac{1 - I_L}{D} \cdot S_n \quad k_x = 13728 \text{ kN/m}^3 \quad (41)$$

wykładnik potęgi: $n := 1$ (dla gruntów spoistych normalnie skonsolidowanych)

zagłębienie sprężyste pała:

$$h_s := \sqrt[5]{\frac{4 \cdot E \cdot J}{k_x \cdot D} \cdot h^1} \quad h_s = 3.06 \text{ m} \quad (32)$$

$h = 5 \text{ m} < 1.5 \cdot h_s = 4.59 \text{ m}$ przeprowadzono obliczenia jak dla pała sztywnego

mimośród wypadkowej: $h_H := \frac{M_r}{H_r}$ $h_H = 3.05 \text{ m}$

$$\frac{h}{D} = 10 \quad N_q := 2.9 \quad (\text{rys. 19})$$

$$N_c := 14 \quad (\text{rys. 20})$$

$$\beta_q := 0.18 \quad (\text{rys.21})$$

$$\beta_c := 0.28 \quad (\text{rys.22})$$

$$\frac{h_H}{h} = 0.61 \quad i_q := 0.02 \quad (\text{rys.23})$$

$$i_c := 0.05 \quad (\text{rys.23})$$

$$S_q := 1 + \beta_q \quad S_q = 1.18 \quad S_c := 1 + \beta_c \quad S_c = 1.28 \quad (35)$$

Obliczeniowa nośność boczna gruntu:

$$H_F := \gamma_r \cdot D \cdot h^2 \cdot N_q \cdot i_q \cdot S_q + c_{ur} \cdot D \cdot h \cdot N_c \cdot i_c \cdot S_c \quad (34)$$

Sprawdzenie stanu granicznego nośności: (wg pkt. 5.3.1)

współczynnik korekcyjny $m := 0.7$ (dla gruntów spoistych)

$$H_r = 40.484 \text{ kN} < m \cdot H_f = 40.674 \text{ kN} \quad (33)$$

Sprawdzenie przemieszczeń pala sztywnego: (wg pkt. 5.3.3)

wartość charakterystyczna siły poziomej:

$$H_n := \frac{H_r}{\gamma_f} \quad H_n = 26.989 \text{ kN}$$

Przemieszczenie osi pala sztywnego w poziomie terenu dla głowicy swobodnej i gruntu spoistego:

$$y_o := \frac{4 \cdot H_n \cdot \left(1 + 1.5 \cdot \frac{h_H}{h}\right)}{D \cdot h \cdot k_x} \quad y_o = 0.602 \text{ cm} < y_d := 1 \text{ cm}$$

Wymiarowanie pala

Wyznaczenie maksymalnego momentu zginającego w palu sztywnym

(pkt. 5.3.4)

zagłębienie obliczeniowego poziomu utwierdzenia pala:

$$h_u := 0.4 \cdot h_s \quad h_u = 1.224 \text{ m} \quad (39)$$

$$M_{\max} := H_r \cdot (h_H + h_u) \quad M_{\max} = 173.024 \text{ kNm} \quad (38)$$

przyjęto beton B-25 $R_b := 14.3 \text{ MPa}$, stal A-III $R_a := 350 \text{ MPa}$

zbrojenie policzono jak dla przekroju pierścieniowego o promieniu zewnętrznym $r_2 := \frac{D}{2}$ $r_2 = 0.25 \text{ m}$

i promieniu wewnętrznym $r_1 := 0.25 \cdot D$ $r_1 = 0.125 \text{ m}$

$$F_b := \pi \cdot (r_2^2 - r_1^2) \quad F_b = 1473 \text{ cm}^2 \quad \frac{r_1}{r_2} = 0.5$$

$$A := \frac{M_{\max}}{r_2^3 \cdot R_b} \quad A = 0.774 - \xi := 0.45 \quad (\text{tablice do projektowania konstr. żelbetowych})$$

$$\text{wymagany procent zbrojenia: } \mu := \xi \cdot \frac{R_b}{R_a} \quad \mu = 1.839 \%$$

$$\text{potrzebny przekrój zbrojenia: } F_a := \mu \cdot F_b \quad F_a = 27.08 \text{ cm}^2 \quad \text{przyjęto } 6\phi 25 \quad (F_a = 29.46 \text{ cm}^2)$$

3.1 Prefabrykowana belka nad tunelem

wymiary belki szerokość $b := 60\text{cm}$ wysokość $h := 60\text{cm}$ rozpiętość $l_0 := 13.00\text{m}$

Obciążenia pionowe:

obciążenie równomiernie rozłożone:

$$\text{- słupy (co 2,50 m)} \quad p_1 := \frac{1.8\text{kN}}{2.5\text{m}} \cdot 1.1 \quad p_1 = 0.792 \text{ kN/m}$$

$$\text{- kasety akustyczne} \quad p_2 := 0.3\text{kN/m}^2 \cdot 3.75\text{m} \cdot 1.2 \quad p_2 = 1.35 \text{ kN/m}$$

$$\text{- śnieg} \quad p_3 := 1.2\text{kN/m}^2 \cdot 0.8 \cdot 0.60\text{m} \cdot 1.5 \quad p_3 = 0.864 \text{ kN/m}$$

$$\text{- ciężar własny} \quad p_4 := 25\text{kN/m}^3 \cdot b \cdot h \cdot 1.1 \quad p_4 = 9.9 \text{ kN/m}$$

$$\text{Razem:} \quad p := \sum_{i=1}^4 p_i \quad p = 12.906 \text{ kN/m} \quad (\text{obciążenie równomiernie rozłożone})$$

Obciążenia poziome (wg PN-B-02011:1977. Az1:2009)

$$\text{charakterystyczne ciśnienie prędkości wiatru} \quad q_k := 420 \cdot \text{Pa} \quad (\text{strefa II}) \quad (\text{tab.3})$$

$$\text{współczynnik ekspozycji} \quad C_e := 1.0 \quad (\text{teren niezabudowany}) \quad (\text{tab.4})$$

$$\text{współczynnik aerodynamiczny} \quad C_p := 2.0 \quad (\text{Z1-23})$$

$$\text{współczynnik działania porywów wiatru} \quad \beta := 1.8 \quad (\text{pkt.5.1})$$

$$\text{współczynnik obliczeniowy} \quad \gamma_f := 1.5 \quad (\text{pkt.2.3})$$

obciążenie równomiernie rozłożone działające na belkę

$$p_y := q_k \cdot C_e \cdot C_p \cdot \beta \cdot (3.75\text{m} + h) \cdot \gamma_f \quad p_y = 9.866 \text{ kN/m}$$

Wyznaczenie sił wewnętrznych:

maksymalny moment skręcający

$$M_s := 0.5 \cdot q_k \cdot C_e \cdot C_p \cdot \beta \cdot \gamma_f \cdot 3.75\text{m} \cdot l_0 \cdot (0.5 \cdot 3.75\text{m} + 0.5 \cdot h) \quad M_s = 120.239 \text{ kNm}$$

maksymalny moment zginający od obciążeń pionowych:

$$M_x := 0.125 \cdot p \cdot l_0^2 \quad M_x = 272.639 \text{ kNm}$$

maksymalny moment zginający od obciążeń poziomych:

$$M_y := 0.125 \cdot p_y \cdot l_0^2 \quad M_y = 208.415 \text{ kNm}$$

siły tnące:

$$Q_x := 0.5 \cdot p \cdot l_0 \quad Q_x = 83.889 \text{ kN}$$

$$Q_y := 0.5 \cdot p_y \cdot l_0 \quad Q_y = 64.128 \text{ kN}$$

Wymiarowanie: (stal A-III, beton B-37, otulina 4.0 cm) $R_b := 20.0\text{MPa}$ $R_a := 350\text{MPa}$

Zbrojenie na obciążenie pionowe

$$h_o := h - 6\text{cm} \quad A_o := \frac{M_x}{R_b \cdot b \cdot h_o^2} \quad A_o = 0.078 \quad \zeta := 0.960$$

$$F_a := \frac{M_x}{R_a \cdot \zeta \cdot h_o} \quad F_a = 15.026 \text{ cm}^2 \quad \mu_a := \frac{F_a}{b \cdot h_o} \quad \mu_a = 0.464 \% > \mu_{amin} := 0.10\%$$

$$F_a := \mu_a \cdot b \cdot h_o \quad F_a = 15.026 \text{ cm}^2 \quad (\text{przyjęto } 5\phi 20 \quad Fa=15,70 \text{ cm}^2)$$

Zbrojenie na obciążenie poziome

$$h_o := b - 6\text{cm} \quad A_o := \frac{M_y}{R_b \cdot h \cdot h_o^2} \quad A_o = 0.06 \quad \zeta := 0.968$$

$$F_a := \frac{M_x}{R_a \cdot \zeta \cdot h_o} \quad F_a = 14.902 \text{ cm}^2 \quad \mu_a := \frac{F_a}{h \cdot h_o} \quad \mu_a = 0.46 \% > \mu_{amin} := 0.10\%$$

$$F_a := \mu_a \cdot h \cdot h_o \quad F_a = 14.902 \text{ cm}^2 \quad (\text{przyjęto } 5\phi 20 \quad Fa=15,70 \text{ cm}^2)$$

Ścinanie:

$$\text{maksymalna siła ścinająca} \quad Q := \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} \quad Q = 105.592 \text{ kN}$$

$$\text{wytrzymałość betonu na rozciąganie} \quad R_{bz} := 1.33 \text{ MPa}$$

$$Q_{min} := 0.75 \cdot R_{bz} \cdot b \cdot h_o \quad Q_{min} = 323.19 \text{ kN} > Q = 105.592 \text{ kN} \quad \text{strzemiona przyjęto konstrukcyjnie}$$

Skrećanie:

$$b_t := 60\text{cm} \quad h_t := 60\text{cm} \quad b_j := 52\text{cm} \quad h_j := 52\text{cm} \quad h_o := 54\text{cm}$$

$$\frac{M_s}{0.1 \cdot R_b \cdot b_t^2 \cdot h_t} + \frac{Q_y}{0.25 \cdot R_b \cdot b_t \cdot h_o} = 0.318 < 1$$

$$\frac{h_t}{b_t} = 1 \quad \beta_t := 0.208$$

$$\text{wskaźnik wytrzymałości przekroju na skrećanie} \quad W_t := \beta_t \cdot b_t^2 \cdot h_t \quad W_t = 44928 \text{ cm}^3$$

$$\frac{M_s}{W_t} + \frac{Q}{b_t \cdot h_o} = 3.002 \text{ MPa} > 0.75 \cdot R_{bz} = 0.998 \text{ MPa} \quad \text{konieczne jest dodatkowe zbrojenie na skrećanie}$$

$$\text{obwód rdzenia:} \quad u_j := 2 \cdot (h_j + b_j) \quad u_j = 208 \text{ cm} \quad \text{przekrój rdzenia:} \quad F_j := b_j \cdot h_j \quad F_j = 2.704 \times 10^3 \text{ cm}^2$$

przekrój dodatkowych pretów podłużnych

$$F_{at} := \frac{M_s \cdot u_j}{2 \cdot F_j \cdot R_a} \quad F_{at} = 13.213 \text{ cm}^2 \quad \text{przyjęto } 8\phi 16 \quad (Fa=16,08 \text{ cm}^2)$$

$$\text{rozstaw dodatkowych strzemion } (\phi 10 \text{ dwuramienne}) \quad F_{st} := 2 \cdot 0.79 \text{ cm}^2$$

$$c := \frac{0.8 \cdot R_a \cdot F_{st} \cdot F_j}{M_s} \quad c = 9.949 \text{ cm} \quad \text{przyjęto rozstaw } 10 \text{ cm}$$

3.2 Słup

$$\text{przyjęto słup żelbetowy o wym.} \quad b := 80\text{cm} \quad h := 80\text{cm} \quad \text{wysokość} \quad l_o := 3.10\text{m}$$

obciążenia

a) w poziomie dołu belki

$$\text{siła ściskająca} \quad N_1 := 0.5 \cdot p \cdot 13.80\text{m}$$

$$N_1 = 89.05 \text{ kN}$$

$$\text{obciążenie wiatrem na 1m2} \quad p_w := q_k \cdot C_e \cdot C_p \cdot \beta \cdot \gamma_f \quad p_w = 2.268 \text{ kN/m2}$$

moment zginający

$$M_1 := p_w \cdot (3.75\text{m} + 0.6\text{m}) \cdot 0.5 \cdot (13.80\text{m} + 4.20\text{m}) \cdot 0.5 \cdot (3.75\text{m} + 0.6\text{m}) \quad M_1 = 193.123 \text{ kNm}$$

b) na dole słupa

$$\text{siła ściskająca} \quad N_2 := N_1 + 25\text{kN/m3} \cdot b \cdot h \cdot l_o \cdot 1.1$$

$$N_2 = 143.611 \text{ kN}$$

moment zginający

$$M_2 := p_w \cdot 0.5 \cdot 13.80\text{m} \cdot (3.75\text{m} + 0.6\text{m}) \cdot [l_o + 0.5 \cdot (3.75\text{m} + 0.6\text{m})] + 0.25 \cdot p_w \cdot 4.20\text{m} \cdot (6.0\text{m})^2$$

$$M_2 = 444.82 \text{ kNm}$$

siła pozioma

$$Q := p_w \cdot 0.5 \cdot 13.80\text{m} \cdot (3.75\text{m} + 0.6\text{m}) + 0.5 \cdot p_w \cdot 4.20\text{m} \cdot 6.00\text{m}$$

$$Q = 96.651 \text{ kN}$$

Wymiarowanie słupa w załączniku nr 1

3.3 Pale

obciążenie równomiernie rozłożone belki oczepowej

$$\text{ciężar własny} \quad g_1 := 25\text{kN/m3} \cdot 50\text{cm} \cdot 140\text{cm} \cdot 1.1$$

$$g_1 = 19.25 \text{ kN/m}$$

$$\text{naziom} \quad g_2 := 5\text{kN/m2} \cdot 140\text{cm} \cdot 1.2$$

$$g_2 = 8.4 \text{ kN/m}$$

$$\text{razem :} \quad g := g_1 + g_2 \quad g = 27.65 \text{ kN/m}$$

3.3.1 OBLICZENIE PALA PIONOWEGO d=50 cm(wg PN-83/B-02482)

$$\text{przyjęto:} \quad \text{średnica pala:} \quad D := 50\text{cm}$$

$$\text{zagłębienie pala w gruncie:} \quad h := 4.50\text{m}$$

Sprawdzenie nośności pala obciążonego siłą wciskającą

obciążenie obliczeniowe działające wzdłuż pala:

$$Q_r := 732\text{kN}$$

$$Q_r = 732 \text{ kN}$$

Obliczeniowe wartości parametrów geotechnicznych (na podstawie dokumentacji geotechnicznej
- piaski drobne i średnie zagęszczane od poziomu -3,00 m ppt.

$$\gamma_n := 18.5 \cdot \text{kN/m3} \quad I_{dn} := 0.74 \quad \Phi_n := 32.0 \quad \text{st}$$

$$\text{współczynniki technologiczne:} \quad S_p := 1.0 \quad S_s := 0.8 \quad (\text{tab. 4})$$

jednostkowy opór graniczny pod podstawą pala dla głębokości krytycznej 10 m

$$q := 4077\text{kPa} \quad (\text{tab. 1})$$

głębokość krytyczna dla pali wierconych o średnicy D

$$h_c := 10.00\text{m} \cdot \sqrt{0.4 \frac{\text{m}}{\text{D}}} \cdot 1.3 \quad h_c = 11.628 \text{ m} \quad (7)$$

jednostkowy obliczeniowy opór graniczny na głębokości h:

$$q_r := q \cdot \frac{3 \cdot m + h}{h_c} \cdot \sqrt{\frac{0.4 \cdot m}{D}} \cdot 0.9 \quad q_r = 2116.9 \text{ kPa} \quad (6)$$

pole przekroju poprzecznego podstawy pala: $A_p := \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad A_p = 0.196 \text{ m}^2$

jednostkowy opór graniczny wzdłuż pobocznicy pala dla głębokości 5 m

$$t := 86 \text{ kPa} \quad (\text{tab. 2})$$

jednostkowy obliczeniowy opór graniczny wzdłuż pobocznicy na głębokości 3m:

$$t_{r1} := t \cdot \frac{3.00\text{m}}{5\text{m}} \cdot 0.9 \quad t_{r1} = 46.44 \text{ kPa} \quad (8)$$

jednostkowy obliczeniowy opór graniczny wzdłuż pobocznicy na głębokości 5m :

$$t_{r2} := t \cdot 0.9 \quad t_{r2} = 77.4 \text{ kPa} \quad (8)$$

pole pobocznicy pala zagłębionego w gruncie na odcinku -3 do -5 m : $A_{s1} := \pi \cdot D \cdot 2\text{m} \quad A_{s1} = 3.142 \text{ m}^2$

pole pobocznicy pala zagłębionego w gruncie na odcinku -5m do -h :

$$A_{s2} := \pi \cdot D \cdot (h - 2\text{m}) \quad A_{s2} = 3.927 \text{ m}^2$$

obliczeniowa nośność pala:

$$N_t := S_p \cdot q_r \cdot A_p + 0.5 S_s \cdot (t_{r1} + t_{r2}) \cdot A_{s1} + S_s \cdot t_{r2} \cdot A_{s2} \quad N_t = 814.4 \text{ kN} \quad (2)$$

współczynnik korekcyjny $m_x := 0.9$ (w przypadku oparcia na więcej niż 2 palach) (pkt. 2.1)

sprawdzenie nośności $Q_r = 732 \text{ kN} < m_x \cdot N_t = 733 \text{ kN} \quad (1)$

3.3.2 OBLICZENIE PALA SKOŚNEGO d=50 cm(wg PN-83/B-02482)

przyjęto: średnica pala: $D := 50\text{cm}$

zagłębienie pala w gruncie: $h := 6.50\text{m}$

Sprawdzenie nośności pala obciążonego siłą wyciągającą

obciążenie obliczeniowe działające wzdłuż pala:

$$Q_r := 500\text{kN} \quad Q_r = 500 \text{ kN}$$

jednostkowy opór graniczny wzdłuż pobocznicy pala dla głębokości 5 m

$$t := 86 \text{ kPa} \quad (\text{tab. 2})$$

jednostkowy obliczeniowy opór graniczny wzdłuż pobocznicy na głębokości 3m:

$$t_{r1} := t \cdot \frac{3.00\text{m}}{5\text{m}} \cdot 0.9 \quad t_{r1} = 46.44 \text{ kPa} \quad (8)$$

jednostkowy obliczeniowy opór graniczny wzdłuż pobocznicy na głębokości 5m :

$$t_{r2} := t \cdot 0.9 \quad t_{r2} = 77.4 \text{ kPa} \quad (8)$$

pole poboczniczy pala zagłębionego w gruncie na odcinku -3 do -5 m : $A_{s1} := \pi \cdot D \cdot 2m$ $A_{s1} = 3.142 \text{ m}^2$

pole poboczniczy pala zagłębionego w gruncie na odcinku -5m do -h :

$$A_{s2} := \pi \cdot D \cdot (h - 2m) \quad A_{s2} = 7.069 \text{ m}^2$$

obliczeniowa nośność pala:

$$N_t := 0.5S_s \cdot (t_{r1} + t_{r2}) \cdot A_{s1} + S_s \cdot t_{r2} \cdot A_{s2} \quad N_t = 593.3 \text{ kN} \quad (2)$$

współczynnik korekcyjny $m_x := 0.9$ (w przypadku oparcia na więcej niż 2 palach) (pkt. 2.1)

sprawdzenie nośności $Q_T = 500 \text{ kN} < m_x \cdot N_t = 534 \text{ kN} \quad (1)$

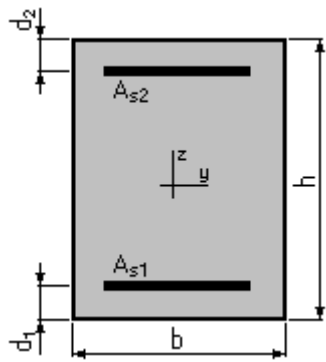
Załącznik nr 1

Projektowanie przekroju mimośrodowo ściskanego

1. Założenia:

- Beton klasy B35
- Stal klasy A-III $R_a = 350,0$ (MPa)
- Struktura o węzłach nieprzesuwnych
- Wysokość słupa $l = 3,1$ (m)
- Długość obliczeniowa $l_0 = 6,2$ (m)
- Względny udział obciążeń długotrwałych $N_d/N = 1,00$
- Współczynnik pełzania betonu $\phi_p = 2,00$
- Przyjęte współczynniki korekcyjne do wytrzymałości betonu:
 $\gamma_{b2} = 1.15$ (element betonowany w pozycji pionowej, warstwami $> 1,5$ m)
- Obliczenia zgodne z PN-84/B-03264

2. Przekrój:



$$b = 80,0 \text{ (cm)}$$

$$h = 80,0 \text{ (cm)}$$

$$d_1 = 5,0 \text{ (cm)}$$

$$d_2 = 5,0 \text{ (cm)}$$

3. Przypadki obciążeniowe:

Przypadek N^0	N (kN)	M (kN*m)
1.	89,00	193,00

4. Wyniki:

Teoretyczna powierzchnia zbrojenia:

$$A_{s1} = 9,0 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$\text{Stopień zbrojenia } \mu = 0,30 \text{ (\%)} \quad \mu_{\min} = 0,30 \text{ (\%)}$$

$$\text{- minimalny } \mu_{\min} = 0,30 \text{ (\%)}$$

$$A_{s2} = 9,0 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$\text{maksymalny } \mu_{\max} = 6,00 \text{ (\%)}$$

Analiza przypadków obciążeniowych:

Przypadek $N^0 1$

Smukłość słupa
Mimośród statyczny siły podłużnej
Mimośród niezamierzony
Mimośród obliczeniowy
Stopień wykorzystania nośności
Polożenie osi obojętnej:
Ramię sił wewnętrznych:
Względna wysokość strefy ściskanej:
Naprężenia w stali zbrojeniowej:
rozciągające
ściskające

$$N = 89,00 \text{ (kN)}$$

$$\lambda = 26,8 < 35$$

$$e_s = 216,9 \text{ (cm)}$$

$$e_n = 2,7 \text{ (cm)}$$

$$e = 219,5 \text{ (cm)}$$

$$= 69,2 \text{ (\%)}$$

$$y = 4,4 \text{ (cm)}$$

$$z = 72,8 \text{ (cm)}$$

$$\xi = 0,06$$

$$\sigma_s = 350,0 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_s' = 0,0 \text{ (MPa)}$$

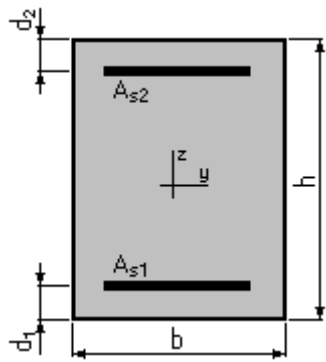
$$M = 193,00 \text{ (kN*m)}$$

Projektowanie przekroju mimośrodowo ściskanego

5. Założenia:

- Beton klasy B35
- Stal klasy A-III $R_a = 350,0$ (MPa)
- Struktura o węzłach nieprzesuwnych
- Wysokość słupa $l = 3,1$ (m)
- Długość obliczeniowa $l_0 = 3,1$ (m)
- Względny udział obciążeń długotrwałych $N_d/N = 1,00$
- Współczynnik pełzania betonu $\phi_p = 2,00$
- Przyjęte współczynniki korekcyjne do wytrzymałości betonu:
 $\gamma_{b2} = 1.15$ (element betonowany w pozycji pionowej, warstwami $> 1,5$ m)
- Obliczenia zgodne z PN-84/B-03264

6. Przekrój:



$$b = 80,0 \text{ (cm)}$$

$$h = 80,0 \text{ (cm)}$$

$$d_1 = 5,0 \text{ (cm)}$$

$$d_2 = 5,0 \text{ (cm)}$$

7. Przypadki obciążeniowe:

Przypadek N^0	N (kN)	M (kN*m)
1.	144,00	445,00

8. Wyniki:

Teoretyczna powierzchnia zbrojenia:

$$A_{s1} = 15,6 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$\text{Stopień zbrojenia } \mu = 0,52 \text{ (\%)} \quad \mu_{\min} = 0,30 \text{ (\%)}$$

$$\text{- minimalny } \mu_{\min} = 0,30 \text{ (\%)}$$

$$A_{s2} = 15,6 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$\text{maksymalny } \mu_{\max} = 6,00 \text{ (\%)}$$

Analiza przypadków obciążeniowych:

Przypadek $N^0 1$

Smukłość słupa
Mimośród statyczny siły podłużnej
Mimośród niezamierzony
Mimośród obliczeniowy
Stopień wykorzystania nośności
Polożenie osi obojętnej:
Ramię sił wewnętrznych:
Względna wysokość strefy ściskanej:
Naprężenia w stali zbrojeniowej:
rozciągające
ściskające

$$N = 144,00 \text{ (kN)}$$

$$\lambda = 13,4 < 35$$

$$e_s = 309,0 \text{ (cm)}$$

$$e_n = 2,7 \text{ (cm)}$$

$$e = 311,7 \text{ (cm)}$$

$$= 100,0 \text{ (\%)}$$

$$y = 5,0 \text{ (cm)}$$

$$z = 72,5 \text{ (cm)}$$

$$\xi = 0,07$$

$$\sigma_s = 350,0 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_s' = 0,0 \text{ (MPa)}$$

$$M = 445,00 \text{ (kN*m)}$$