POLITECHNIKA OPOLSKA

WYDZIAŁ BUDOWNICTWA

Katedra Konstrukcji Budowlanych i Inżynierskich

Data wydania 20.10.13.....

Student.

Rok Studiów.

ĆWICZENIE PROJEKTOWE Z BUDOWLI INŻYNIERSKICH

Temat: ***Zaprojektować komin żelbetowy jednoprzewodowy zbieżny***

Dane:

Wysokość od poziomu 0,00 m	=> ***H = 30 m + 10 * ilość liter w imieniu*** = 80	[m]
Głębokość posadowienia	=> poziom posadowienia fundamentu = ***- 3,20***	[m]
Grubość trzonu komina przy wylocie	=> ***0,20 m (przyrost o 0,02 m co 10 m w dół)***	
Średnica zewnętrzna górna	=> $S_{ZG} = H / 30$ = 2,67	[m]
Średnica zewnętrzna dolna	=> $S_{ZD} = S_{ZG} + 5{,}3$ ***m*** = 7,97	[m]
Rodzaj materiału przewodu wewnętrznego	=> ***cegła klinkierowa***	
Rodzaj i grubość materiału izolacji	=> ***wełna mineralna, grub. 0,10 m***	
Sposób posadowienia	=> ***bezpośredni***	
Rodzaj fundamentu	=> ***płyta fundamentowa***	
Lokalizacja	=> Opole	

Termin oddania:

Prowadzący:

mgr inż. Marek Jurkiewicz

Zakres opracowania	Terminy
1. Geometria komina	
1.1 Założenia projektowe	.....
1.2 Wymiary geometryczne - rysunki i tablica 1	.....
2. Obliczenia statyczne komina	
2.1 Obciążenie ciężarem własnym - tablica 2	.....
2.2 Obciążenie wiatrem	.....
2.2.1 Podstawowa częstotliwość drgań własnych	.....
2.2.2 Obciążenie charakterystyczne wiatrem	.....
2.2.3 Siły i momenty zginające pierwszego rzędu od wiatru - - tablica 3	.....
2.2.4 Sprężyste wychylenie wierzchołka trzonu - metoda Maxwella - Mohra	.....
2.2.5 Momenty zginające drugiego rzędu z uwzględnieniem odkształcenia trzonu - tablica 4	.....
3. Sprawdzenie stateczności ogólnej komina	
4. Wymiarowanie żelbetowego trzonu komina	
4.1 Wymiarowanie zbrojenia pionowego w stadium realizacji - tablica 5	.....
4.2 Wymiarowanie zbrojenia pionowego w stadium eksploatacji - tablica 6	.....
4.3 Określenie zbrojenia poziomego - tablica 7	.....
5. Rysunki konstrukcyjne trzonu i fundamentu komina	

1. DANE WYJŚCIOWE DO OBLICZEŃ

Wysokość od poziomu 0,00 m	*80,00 m*
Głębokość posadowienia	*3,20 m*
Grubość trzonu przy wylocie	*0,20 m*
Zbieżność komina	*3,3 %*
Średnica zewnętrzna górna	*2,67 m*
Średnica zewnętrzna dolna	*7,97 m*
Materiał wymurówki	*Cegła klinkierowa*
Materiał izolacji termicznej	*Wełna żużlowa biała*
Sposób posadowienia	*Bezpośrednie*
Rodzaj fundamentu	*Płyta fundamentowa*
Lokalizacja	*Opole*
Normalna temperatura spalin	*130 °C*
Awaryjna temperatura spalin	*180 °C*
Klasa wytrzymałości betonu	*C25/30*

1.1. Geometria komina:

Nr segmentu	Poziom przekroju	Grubość trzonu	Średnica zewnętrzna trzonu	Grubość izolacji	Średnica zewnętrzna izolacji	Grubość wymurówki	Średnica zewnętrzna wymurówki	Powierzchnia odniesienia
	[m]	[cm]	[m]	[cm]	[m]	[cm]	[m]	[m^2]
I	80	20	2,67	8	2,27	12	2,11	30,0
	70		3,33		2,93		2,77	
II	70	22	3,33	8	2,89	12	2,73	36,6
	60		3,99		3,55		3,39	
III	60	24	3,99	8	3,51	12	3,35	43,2
	50		4,65		4,17		4,01	
IV	50	26	4,65	8	4,13	12	3,97	49,8
	40		5,31		4,79		4,63	
V	40	28	5,31	8	4,75	12	4,59	56,4
	30		5,97		5,41		5,25	
VI	30	30	5,97	8	5,37	12	5,21	63,0
	20		6,63		6,03		5,87	
VII	20	32	6,63	8	5,99	12	5,83	69,6
	10		7,29		6,65		6,49	
VIII	10	34	7,29	8	6,61	12	6,45	76,3
	0		7,97		7,27		7,11	

2. OBLICZENIA STATYCZNE KOMINA

2.1. Obciążenia ciężarem własnym

Ciężar własny trzonu, izolacji i wymurówki obliczono dla poszczególnych segmentów komina za pomocą wzoru:

$$G = \frac{\pi}{2} \cdot d \cdot h \cdot (D_g + D_d - 2d) \cdot \gamma$$

gdzie:

D_g – średnica zewnętrzna górna;

D_d – średnica zewnętrzna dolna;

d – grubość warstwy

h – wysokość segmentu

γ – ciężar objętościowy materiału

Ciężary objętościowe materiałów poszczególnych warstw:

Żelbet	$\gamma = 26$ kN/m^3
Wełna żużlowa biała	$\gamma = 1{,}5$ kN/m^3
Cegła ceramiczna	$\gamma = 19$ kN/m^3

2.1.4. Ciężar wsporników podwykładzinowych

Ciężar wspornika podwykładzinowego obliczam wg wzoru:

$$G_w = \frac{\pi}{2} \cdot D' \cdot a \cdot h_1 \cdot \gamma$$

Gdzie:

D' – odległość między środkami wsporników, m;

a – szerokość wspornika, m;

h_1 – wysokość wspornika, m;

2.1.5. Ciężar głowicy żelbetowej

Ciężar głowicy żelbetowej G_g obliczam ze wzoru

$$G_g = \frac{\pi}{4} \cdot \left[\left(D_g^z\right)^2 - \left(D_g^w\right)^2\right] \cdot h \cdot \gamma;$$

w którym:

D_g^z – średnica zewnętrzna głowicy, $D_g^z = 3{,}17$ m;

D_g^w – średnica wewnętrzna głowicy, $D_g^w = 2{,}67$ m;

h – wysokość głowicy, h = 0,8 m;

γ – ciężar objętościowy, γ = 26 kN/m^3

$$G_g = \frac{3{,}14}{4} \cdot [3{,}17^2 - 2{,}67^2] \cdot 0{,}8 \cdot 26 = 47{,}7\ kN$$

Nr. segmentu	Poziom przekroju [m]	Ciężar segmentu					Ciężar trzonu i wsporników podwykładzinowych ponad rozpatrywanym przekrojem [kN]	Całkowity ciężar komina ponad rozpatrywanym przekrojem [kN]
		Trzon [kN]	Wspornik podwykładzinowy [kN]	Izolacja [kN]	Wymurówka [kN]	Całkowity ciężar segmentu [kN]		
		47,7						
I	70	228,6	-	9,5	166,1	451,9	276,3	451,9
II	60	309,8	27,5	11,6	210,5	559,4	613,6	1011,3
III	50	399,7	33,8	14,2	254,9	702,6	1047,1	1713,9
IV	40	500,9	40,1	16,5	299,3	856,8	1588,1	2570,7
V	30	601,2	46,5	18,8	343,7	1010,2	2235,8	3580,9
VI	20	736,6	52,8	21,2	388,1	1198,7	3025,2	4779,6
VII	10	867,3	59,1	23,0	432,5	1381,9	3951,6	6161,5
VIII	0	1011,8	65,4	25,2	476,9	1579,3	5028,8	7740,8

2.2. Obciążenie wiatrem

2.2.1. Dane wyjściowe do obliczeń

Lokalizacja – Opole => a = 176 m n.p.m. ≤ 300 m => I strefa obciążenia wiatrem

Kategoria terenu II (teren o niskiej roślinności i pojedynczych przeszkodach)

Wysokość komina – 80 m.n.p.t

2.2.2. Wyznaczenie szczytowego ciśnienia prędkości wiatru $q_p(z_e)$

2.2.2.1. Segment I

- **Bazowa prędkość wiatru v_b**

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

gdzie:

c_{dir} – współczynnik kierunkowy (wartość zalecana c_{dir} = 1,0)

c_{season} – współczynnik sezonowy (wartość zalecana c_{season} = 1,0)

$v_{b,0}$ – wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru

$$v_b = 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 22 = 22\ m/s$$

- **Współczynnik chropowatości**

$$c_r(z) = k_r \cdot ln\left(\frac{z}{z_0}\right); \qquad z_{min} = 2\ m \leq z = 75\ m \leq z_{max} = 200\ m$$

gdzie:

z_0 – wysokość chropowatości (teren kat. II => z_0= 0,05 m)

k_r – współczynnik terenu obliczany ze wzoru:

$$k_r = 0{,}19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0{,}07} = 0{,}19 \cdot \left(\frac{0{,}05}{0{,}05}\right)^{0.07} = 0{,}19$$

$$c_r(75) = 0{,}19 \cdot ln\left(\frac{75}{0{,}05}\right) = 1{,}389$$

- **Średnia prędkość wiatru $v_m(z)$**

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

gdzie:

$c_r(z)$ – współczynnik chropowatości, $c_r(z) = 1{,}389$

$c_o(z)$ – współczynnik rzeźby terenu, wartość zalecana $c_o(z) = 1{,}0$

v_b – bazowa prędkość wiatru, $v_b = 22\ m/s$

$$v_m(75) = 1{,}389 \cdot 1{,}0 \cdot 22 = 30{,}57\ m/s$$

- **Intensywność turbulencji $I_v(z)$**

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_o(z) \cdot ln(z/z_0)}$$

gdzie:

k_l – współczynnik turbulencji, wartość zalecana $k_l = 1{,}0$

$c_o(z)$ – współczynnik rzeźby terenu, $c_o(z) = 1{,}0$

z_0 – wysokość chropowatości, $z_0 = 0{,}05\ m$

$$I_v(75) = \frac{1{,}0}{1{,}0 \cdot ln(75/0{,}05)} = 0{,}137$$

- **Wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru**

$$q_p(75) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0{,}137] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 30{,}57^2$$
$$= 1144{,}2\ N = 1{,}144\ kN/m^2$$

– wartość bazowa ciśnienia prędkości:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 22^2 = 302{,}5\ N/m^2 = 0{,}303\ kN/m^2$$

– współczynnik ekspozycji:

$$c_e(75) = 2{,}29 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0{,}265} = 2{,}29 \cdot \left(\frac{75}{10}\right)^{0{,}265} = 3{,}906$$

– szczytowe ciśnienie prędkości

$$q_p(75) = c_e(z) \cdot q_b = 3{,}906 \cdot 0{,}303 = 1{,}184\ kN/m^2 > 1{,}144\ kN/m^2$$

2.2.2.1. Zestawienie wyników obliczeń wartości szczytowej ciśnienia prędkości dla wszystkich segmentów

Nr segmentu	Wysokość odniesienia	Współczynnik chropowatości	Średnia prędkość wiatru	Intensywność turbulencji	Wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru
I	75	1,389	30,558	0,137	1,144
II	65	1,362	29,964	0,139	1,107
III	55	1,330	29,260	0,143	1,071
IV	45	1,292	28,424	0,147	1,024
V	35	1,245	27,390	0,153	0,971
VI	25	1,181	25,982	0,161	0,897
VII	15	1,084	23,848	0,175	0,791
VIII	5	0,875	19,250	0,217	0,583

2.2.3. Określenie współczynnika oporu aerodynamicznego c_f

- **Liczba Reynolds'a**

$$v(75) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p(75)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1144}{1{,}25}} = 42{,}78\ m^2/s^2$$

Lepkość kinematyczna powietrza $v = 15 \cdot 10^{-6}\ m^2/s$

$$R_e = \frac{D \cdot v(75)}{v} = \frac{2{,}67 \cdot 42{,}78}{15 \cdot 10^{-6}} = 0{,}761 \cdot 10^7$$

- **Współczynnik oporu aerodynamicznego walca bez wpływu swobodnego końca $c_{f,0}$**

$$k/b = 1 \div 5320 = 1{,}880 \cdot 10^{-4}$$

$$c_{f,0} = 1{,}2 + \frac{0{,}18\ log(10 \cdot k/b)}{1 + 0{,}4\ log(Re/10^6)} = 1{,}2 + \frac{0{,}18\ log(1{,}880 \cdot 10^{-3})}{1 + 0{,}4\ log 7{,}61} = 0{,}837$$

- **Smukłość efektywna**

$$\lambda = 0{,}7 \cdot \frac{l}{b} = 0{,}7 \cdot \frac{80}{5{,}32} = 10{,}53\ ;\ \varphi = 1{,}0;\ \psi_\lambda = 0{,}70$$

- **Współczynnik oporu aerodynamicznego**

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_\lambda = 0{,}837 \cdot 0{,}70 = 0{,}586$$

2.2.4. Obliczenie współczynnika konstrukcyjnego $c_s c_d$

- **Skala turbulencji $L(z)$**

$$L(z) = L_t \cdot \left(\frac{z_s}{z_t}\right)^{\alpha}$$

gdzie:

L_t – skala odniesienia, $L_t = 300\ m$

z_t – wysokość odniesienia, $z_t = 200\ m$

$z_s = 0{,}6 \cdot h = 0{,}6 \cdot 80 = 48\ m$

$\alpha = 0{,}67 + 0{,}05 ln(z_0) = 0{,}67 + 0{,}05 \cdot ln(0{,}05) = 0{,}52$

$$L(48) = 300 \cdot \left(\frac{48}{200}\right)^{0{,}52} = 142{,}83$$

- **Współczynnik konstrukcyjny B**

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0{,}9 \cdot \left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)} = \frac{1}{1 + 0{,}9 \cdot \left(\frac{5{,}32 + 80}{142{,}83}\right)} = 0{,}650$$

- **Intensywność turbulencji $I_v(z_s)$**

$k_l = 1{,}0;\ c_o = 1{,}0;\ z_s = 48\ m$

$$I_v(48) = \frac{1}{ln(48/0{,}05)} = 0{,}146$$

- **Średnia prędkość wiatru na wysokości z_s**

$$c_r(48) = 0{,}19 \cdot ln\left(\frac{48}{0{,}05}\right) = 1{,}305$$

$v_m(48) = 1{,}305 \cdot 22 = 28{,}71\ m/s$

- **Podstawowa częstotliwość drgań giętnych (Załącznik F.2 p.(3))**

$$n_1 = \frac{\varepsilon_1 \cdot b}{h_{eff}^2} \cdot \sqrt{\frac{W_s}{W_t}}\ [Hz]; \qquad h_{eff} = h_1 + \frac{h_2}{3}; \qquad h_1 = h = 80\ m; \qquad h_2 = 0;$$

gdzie:

$b - średnica\ wierzchołka\ komina\ [m], b = 2{,}67\ m$

$h_{eff} - efektywna\ wysokość\ komina\ [m];$

$W_s - ciężar\ elementów\ konstrukcyjnych\ nadających\ kominowi\ sztywność;$

$W_t - całkowity\ ciężar\ komina;$

$\varepsilon_1 = 700;\ W_s = 5028{,}8\ kN;\ W_t = 7740{,}8\ kN;$

$$h_{eff} = 80 + \frac{0}{3} = 80\ m$$

$$n_1 = \frac{700 \cdot 2{,}67}{80^2} \cdot \sqrt{\frac{5028{,}8}{7740{,}8}} = 0{,}235\ Hz$$

- **Częstotliwość bezwymiarowa**

$$f_L(48; 0{,}237) = \frac{n \cdot L(z)}{v_m(z)} = \frac{0{,}235 \cdot 142{,}83}{28{,}71} = 1{,}169$$

- **Bezwymiarowa funkcja gęstości spektralnej mocy**

$$S_L(54; 0{,}230) = \frac{6{,}8 \cdot f_L(z,n)}{\left(1 + 10{,}2 \cdot f_L(z,n)\right)^{5/3}} = \frac{6{,}8 \cdot 1{,}169}{(1 + 10{,}2 \cdot 1{,}169)^{5/3}} = 0{,}112$$

- **Funkcje admitancji aerodynamicznej**

$$\eta_h = \frac{4{,}6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{4{,}6 \cdot 80}{142{,}83} \cdot 1{,}169 = 3{,}012$$

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot (1 - e^{-2\eta_h}) = \frac{1}{3{,}012} - \frac{1}{2 \cdot 3{,}012^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 3{,}012}) = 0{,}277$$

$$\eta_b = \frac{4{,}6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{4{,}6 \cdot 5{,}32}{142{,}83} \cdot 1{,}169 = 0{,}200$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2\eta_b}) = \frac{1}{0{,}200} - \frac{1}{2 \cdot 0{,}200^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 0{,}200}) = 0{,}879$$

- **Całkowity logarytmiczny dekrement tłumienia**

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d$$

gdzie:

δ_s – logarytmiczny dekrement tłumienia konstrukcyjnego, $\delta_s = 0{,}03$

δ_a – logarytmiczny dekrement tłumienia aerodynamicznego w podstawowej postaci drgań

δ_d – logarytmiczny dekrement tłumienia wynikający z zastosowania specjalnych urządzeń, $\delta_d = 0{,}0$;

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e}$$

gdzie:

c_f – współczynnik siły (oporu aerodynamicznego) w kierunku wiatru, $c_f = 0{,}586$;

m_e– masa równoważna na jednostkę długości

$$m_e = \frac{\pi}{4} \cdot ((D_l^z)^2 - (D_l^w)^2) \cdot \gamma = \frac{3{,}14}{4} \cdot (2{,}67^2 - 2{,}27^2) \cdot 2600 = 4033\ kg/m$$

$$\delta_a = \frac{0{,}586 \cdot 1{,}25 \cdot 2{,}67 \cdot 28{,}71}{2 \cdot 0{,}235 \cdot 4033} = 0{,}0296$$

$$\delta = 0{,}03 + 0{,}0296 + 0 = 0{,}0596$$

- **Współczynnik odpowiedzi rezonansowej**

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_h) = \frac{3{,}14^2}{2 \cdot 0{,}0596} \cdot 0{,}112 \cdot 0{,}277 \cdot 0{,}879$$
$$= 2{,}256$$

- **Częstotliwość przewyższania**

$$v = n_{1,x} \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} = 0{,}235 \cdot \sqrt{\frac{2{,}256}{0{,}650 + 2{,}256}} = 0{,}207$$

$$vT = 0{,}207 \cdot 600 = 124{,}20$$

- **Współczynnik wartości szczytowej k_p**

$$k_p = \sqrt{2 \cdot ln(vT)} + \frac{0{,}6}{\sqrt{2 \cdot ln(vT)}} = \sqrt{2 \cdot ln124{,}20} + \frac{0{,}6}{\sqrt{2 \cdot ln124{,}20}} = 3{,}299$$

- **Współczynnik konstrukcyjny $c_s c_d$**

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} = \frac{1 + 2 \cdot 3{,}299 \cdot 0{,}146 \cdot \sqrt{0{,}650 + 2{,}256}}{1 + 7 \cdot 0{,}146}$$

$$= 1{,}307$$

2.2.5. Obciążenia jednostkowe i siły poprzeczne od wiatru

- **Jednostkowe obciążenie charakterystyczne**

$$p_k = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e)$$

gdzie:

$q_p(z_e)$ – szczytowe ciśnienie prędkości wiatru na wysokości z_e

c_f – współczynnik oporu aerodynamicznego, $c_f = 0{,}586$

$c_s c_d$ – współczynnik konstrukcyjny, $c_s c_d = 1{,}304$

$$p_{k,I} = 1{,}307 \cdot 0{,}586 \cdot 1{,}144 = 0{,}876 kN/m^2$$

$$p_{k,II} = 1{,}307 \cdot 0{,}586 \cdot 1{,}107 = 0{,}848\ kN/m^2$$

$$p_{k,III} = 1{,}307 \cdot 0{,}586 \cdot 1{,}071 = 0{,}820\ kN/m^2$$

$$p_{k,IV} = 1{,}307 \cdot 0{,}586 \cdot 1{,}024 = 0{,}784\ kN/m^2$$

$$p_{k,V} = 1{,}307 \cdot 0{,}586 \cdot 0{,}971 = 0{,}744\ kN/m^2$$

$$p_{k,VI} = 1{,}307 \cdot 0{,}586 \cdot 0{,}897 = 0{,}687\ kN/m^2$$

$$p_{k,VII} = 1{,}307 \cdot 0{,}586 \cdot 0{,}791 = 0{,}606\ kN/m^2$$

$$p_{k,VIII} = 1{,}307 \cdot 0{,}586 \cdot 0{,}583 = 0{,}447\ kN/m^2$$

- **Jednostkowe obciążenie obliczeniowe**

$$p_{d,I} = p_{k,I} \cdot \gamma = 0{,}876 \cdot 1{,}5 = 1{,}314\ kN/m^2$$

$$p_{d,II} = p_{k,II} \cdot \gamma = 0{,}848 \cdot 1{,}5 = 1{,}272\ kN/m^2$$

$$p_{d,III} = p_{k,III} \cdot \gamma = 0{,}820 \cdot 1{,}5 = 1{,}230 kN/m^2$$

$p_{d,IV} = p_{k,IV} \cdot \gamma = 0{,}784 \cdot 1{,}5 = 1{,}176\ kN/m^2$

$p_{d,V} = p_{k,V} \cdot \gamma = 0{,}744 \cdot 1{,}5 = 1{,}116\ kN/m^2$

$p_{d,VI} = p_{k,VI} \cdot \gamma = 0{,}687 \cdot 1{,}5 = 1{,}031\ kN/m^2$

$p_{d,VII} = p_{k,VII} \cdot \gamma = 0{,}606 \cdot 1{,}5 = 0{,}909\ kN/m^2$

$p_{d,VIII} = p_{k,VIII} \cdot \gamma = 0{,}447 \cdot 1{,}5 = 0{,}671\ kN/m^2$

- **Siły poprzeczne od wiatru wywierane na powierzchnię boczną segmentu**

$T_{w,I} = p_{k,I} \cdot A_{ref,I} = 0{,}876 \cdot 30{,}0 = 26{,}3\ kN$

$T_{w,II} = p_{k,II} \cdot A_{ref,II} = 0{,}848 \cdot 36{,}6 = 31{,}0\ kN$

$T_{w,III} = p_{k,III} \cdot A_{ref,III} = 0{,}820 \cdot 43{,}2 = 35{,}4\ kN$

$T_{w,IV} = p_{k,IV} \cdot A_{ref,IV} = 0{,}784 \cdot 49{,}8 = 39{,}0\ kN$

$T_{w,V} = p_{k,V} \cdot A_{ref,V} = 0{,}744 \cdot 56{,}4 = 42{,}0\ kN$

$T_{w,VII} = p_{k,VI} \cdot A_{ref,VI} = 0{,}687 \cdot 63{,}0 = 43{,}3\ kN$

$T_{w,VII} = p_{k,VII} \cdot A_{ref,VII} = 0{,}606 \cdot 69{,}6 = 42{,}2\ kN$

$T_{w,VIII} = p_{k,VIII} \cdot A_{ref,VIII} = 0{,}447 \cdot 76{,}3 = 34{,}1\ kN$

- **Przykładowe wartości momentów zginających od wiatru**

$M_w = T_w \cdot z$

gdzie:

z – ramię siły T_w

$M_{w,I} = T_{w,I} \cdot z_I = 26{,}3 \cdot 5 = 131{,}5\ kNm$

$M_{w,IV} = T_{w,I} \cdot z_I + T_{w,II} \cdot z_{II} + T_{w,III} \cdot z_{III} + T_{w,IV} \cdot z_{IV}$
$= 26{,}3 \cdot 35 + 31{,}0 \cdot 25 + 35{,}4 \cdot 15 + 39{,}0 \cdot 5 = 920{,}5 + 775{,}0 + 531{,}0 + 195{,}0$
$= 2421{,}5\ kNm$

$$M_{w,VIII} = T_{w,I} \cdot z_I + T_{w,II} \cdot z_{II} + T_{w,III} \cdot z_{III} + T_{w,IV} \cdot z_{IV} + T_{w,V} \cdot z_V + T_{w,VI} \cdot z_{VI} + T_{w,VII} \cdot z_{VII} + T_{w,VIII} \cdot z_{VIII}$$

$$= 26{,}3 \cdot 75 + 31{,}0 \cdot 65 + 35{,}4 \cdot 55 + 39{,}0 \cdot 45 + 42{,}0 \cdot 35 + 43{,}3 \cdot 25 + 42{,}2 \cdot 15 + 34{,}1 \cdot 5$$

$$= 1927{,}5 + 2015{,}0 + 1947{,}0 + 1755{,}0 + 1470{,}0 + 1082{,}5 + 633{,}0 + 170{,}5$$

$$= 11001\ kNm$$

- **Zestawienie momentów zginających od wiatru**

Nr segmentu	Poziom przekroju [m]	Obciążenie jednostkowe charakterystyczne od wiatru [kN/m^2]	Pole powierzchni odniesienia [m^2]	Siła poprzeczna od wiatru [kN]	Moment zginający od wiatru [kNm]
I	80 / 70	0,876	30,0	26,3	131,5
II	70 / 60	0,848	36,6	31,0	549,5
III	60 / 50	0,820	43,2	35,4	1299,5
IV	50 / 40	0,784	49,8	39,0	2421,5
V	40 / 30	0,744	56,4	42,0	3948,5
VI	30 / 20	0,687	63,0	43,3	5919,5
VII	20 / 10	0,606	69,6	42,2	8305,5
VIII	10 / 0	0,447	76,3	34,1	11001

2.2.6. Sprężyste wychylenie wierzchołka komina

2.2.6.1. Średni moment bezwładności poszczególnych segmentów

$$I_n = \frac{\pi}{64} \cdot \left(\left(D_z^{śr}\right)^4 - \left(D_w^{śr}\right)^4 \right)$$

Nr segmentu	Średnica zewnętrzna trzonu [m]	$D_z^{śr}$ [m]	Średnica wewnętrzna trzonu [m]	$D_w^{śr}$ [m]	I_n [m^4]	Momenty zginające I-go rzędu M [kNm]	Moment zginający 0,8M [kNm]
I	2,27	3,00	2,27	2,60	1,732	131,5	105,2
	3,33		2,93				
II	3,33	3,66	2,89	3,22	3,529	549,5	439,6
	3,99		3,55				
III	3,99	4,32	3,51	3,84	6,420	1299,5	1039,6
	4,65		4,17				
IV	4,65	4,98	4,13	4,46	10,764	2421,5	1937,2
	5,31		4,79				
V	5,31	5,64	4,75	5,08	16,970	3948,5	3158,8
	5,97		5,41				
VI	5,97	6,30	5,37	5,70	25,498	5919,5	4735,6
	6,63		6,03				
VII	6,63	6,96	5,99	6,32	36,855	8305,5	6644,4
	7,29		6,65				
VIII	7,29	7,62	6,61	6,94	51,601	11001	8800,8
	7,97		7,27				

$$C25/30 => E = 30\ GPa;$$

2.2.6.2. Wychylenie wierzchołka komina

$$y_w \int_H^0 \frac{M \cdot M_1}{EI} dh$$

$$= \frac{1}{E}\left[\left(\frac{131{,}5 \cdot 10}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 10 + \frac{1}{3} \cdot 0\right) \cdot \frac{1}{1{,}732}\right)\right.$$

$$+ \left[\frac{1}{3{,}529}\left(\frac{131{,}5 \cdot 10}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 10 + \frac{1}{3} \cdot 20\right) + \frac{549{,}5 \cdot 10}{2}\left(\frac{2}{3} \cdot 20 + \frac{1}{3} \cdot 10\right)\right)\right]$$

$$+ \left[\frac{1}{6{,}420}\left(\frac{549{,}5 \cdot 10}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 20 + \frac{1}{3} \cdot 30\right) + \frac{1299{,}5 \cdot 10}{2}\left(\frac{2}{3} \cdot 30 + \frac{1}{3} \cdot 20\right)\right)\right]$$

$$+ \left[\frac{1}{10{,}764}\left(\frac{1299{,}5 \cdot 10}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 30 + \frac{1}{3} \cdot 40\right) + \frac{2421{,}5 \cdot 10}{2}\left(\frac{2}{3} \cdot 40 + \frac{1}{3} \cdot 30\right)\right)\right]$$

$$+ \left[\frac{1}{16{,}970}\left(\frac{2421{,}5 \cdot 10}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 40 + \frac{1}{3} \cdot 50\right) + \frac{3948{,}5 \cdot 10}{2}\left(\frac{2}{3} \cdot 50 + \frac{1}{3} \cdot 40\right)\right)\right]$$

$$+ \left[\frac{1}{25{,}498}\left(\frac{3948{,}5 \cdot 10}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 50 + \frac{1}{3} \cdot 60\right) + \frac{5919{,}5 \cdot 10}{2}\left(\frac{2}{3} \cdot 60 + \frac{1}{3} \cdot 50\right)\right)\right]$$

$$+ \left[\frac{1}{36{,}855}\left(\frac{5919{,}5 \cdot 10}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 60 + \frac{1}{3} \cdot 70\right) + \frac{8305{,}5 \cdot 10}{2}\left(\frac{2}{3} \cdot 70 + \frac{1}{3} \cdot 60\right)\right)\right]$$

$$\left.+ \left[\frac{1}{51{,}601}\left(\frac{8305{,}5 \cdot 10}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 70 + \frac{1}{3} \cdot 80\right) + \frac{11001{,}0 \cdot 10}{2}\left(\frac{2}{3} \cdot 80 + \frac{1}{3} \cdot 70\right)\right)\right]\right]$$

$$= \frac{0{,}575 \cdot 10^6}{E} = \frac{0{,}575 \cdot 10^6}{30 \cdot 10^6} = 0{,}0122\ m = 1{,}9\ cm \leq F_{dop} = \frac{H_0}{200} = \frac{80}{200} = 0{,}40\ m$$

Projektowany komin spełnia warunek normowy dotyczący dopuszczalnego wychylenia wierzchołka.

2.2.7. Momenty zginające II-go rzędu z uwzględnieniem odkształcenia trzonu

Wpływ ugięcia II-go rzędu należy uwzględniać wówczas gdy spełniony jest warunek:

$$\alpha = H_0 \sqrt{\frac{N_0}{E \cdot J_n}} \geq 0{,}35$$

gdzie:

H_0 – wysokość trzonu ponad fundamentem

N_0 – całkowite pionowe obciążenie ciężarem własnym komina w poziomie podstawy trzonu komina

E – moduł sprężystości materiału z którego wykonany jest trzon

J_n – moment bezwładności przekroju trzonu w poziomie podstawy trzonu komina

- **Całkowity ciężar komina od obciążeń w fazie realizacji**

  $N_0 = 5028{,}8\ kN$

- **Całkowity ciężar komina od obciążeń w fazie eksploatacji**

  $N_0 = 7740{,}8\ kN$

- **Faza eksploatacji**

$$\alpha = H_0 \sqrt{\frac{N_0}{E \cdot J_n}} = 80 \cdot \sqrt{\frac{5028{,}8}{30 \cdot 10^6 \cdot 51{,}601}} = 0{,}144 < 0{,}35$$

Ponieważ $\alpha < 0{,}35$ pomijamy wpływ ugięcia II-go rzędu

- **Faza realizacji**

$$\alpha = H_0 \sqrt{\frac{N_0}{E \cdot J_n}} = 80 \cdot \sqrt{\frac{7740{,}8}{30 \cdot 10^6 \cdot 51{,}601}} = 0{,}179 < 0{,}35$$

Ponieważ $\alpha < 0{,}35$ pomijamy wpływ ugięcia II-go rzędu

3. SPRAWDZENIE STATECZNOŚCI OGÓLNEJ KOMINA

- **Obliczenie siły krytycznej**

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_n}{4 \cdot H_0^2} \cdot \left(1 + \frac{J_2 - J_1}{J_1} \cdot \frac{z_1^2}{H_0^2}\right)^{-1} \cdot \left(1 + \frac{J_3 - J_2}{J_2} \cdot \frac{z_2^2}{H_0^2}\right)^{-1} \ldots \cdot \left(1 + \frac{J_n - J_{n-1}}{J_{n-1}} \cdot \frac{z_{n-1}^2}{H_0^2}\right)^{-1}$$

$$= \frac{3{,}14^2 \cdot 30 \cdot 10^6 \cdot 51{,}601}{4 \cdot 80^2} \cdot \left(1 + \frac{3{,}529 - 1{,}732}{1{,}732} \cdot \frac{10^2}{80^2}\right)^{-1} \cdot \left(1 + \frac{6{,}420 - 3{,}529}{3{,}529} \cdot \frac{20^2}{80^2}\right)^{-1}$$

$$\cdot \left(1 + \frac{10{,}764 - 6{,}420}{6{,}420} \cdot \frac{30^2}{80^2}\right)^{-1} \cdot \left(1 + \frac{16{,}970 - 10{,}764}{10{,}764} \cdot \frac{40^2}{80^2}\right)^{-1}$$

$$\cdot \left(1 + \frac{25{,}498 - 16{,}970}{16{,}970} \cdot \frac{50^2}{80^2}\right)^{-1} \cdot \left(1 + \frac{36{,}855 - 25{,}498}{25{,}498} \cdot \frac{60^2}{80^2}\right)^{-1}$$

$$\cdot \left(1 + \frac{51{,}601 - 36{,}855}{36{,}855} \cdot \frac{70^2}{80^2}\right)^{-1} = 227920\ kN$$

- **Wartość współczynnika stateczności**

$$\varphi = \frac{P_{kr}}{N_0} = \frac{227920}{7740{,}8} = 29{,}4 > 2{,}5$$

warunek został spełniony

4. OBLICZENIA TERMICZNE

4.1. Dane wyjściowe do obliczeń (z = 15m)

- **Trzon żelbetowy**

grubość $t_ż = 0{,}32\ m$

współczynnik przewodności cieplnej $\lambda_ż = 1{,}74\ W/mK$

- **Izolacja termiczna (wełna żużlowa biała)**

grubość $t_{iz} = 0{,}08\ m$

współczynnik przewodności cieplnej $\lambda_{iz} = 0{,}046\ W/mK$

- **Wymurówka (cegła klinkierowa)**

grubość $t_ż = 0{,}12\ m$

współczynnik przewodności cieplnej $\lambda_ż = 1{,}15\ W/mK$

4.2. Wyznaczenie spadku temperatury w ścianie komina przy temp. zewnętrznej +35°C (lato)

- **Współczynniki napływu i odpływu**

$\alpha_n = 8 + v_s = 16\ W/m^2K$

$\alpha_0 = 8\ W/m^2K$

$r_z = 6{,}96/2 = 3{,}48\ m$

$r_1 = 3{,}08\ m;\ r_2 = 3{,}16\ m;\ r_3 = 3{,}48\ m;$

- **Współczynniki poprawkowe uwzględniające zakrzywienie ścianki**

$\kappa_1 = 0{,}49 + 0{,}57 \cdot (r_z/r_1) - 0{,}06 \cdot (r_z/r_1)^2$

$\kappa_1 = 0{,}49 + 0{,}57(3{,}48/3{,}08) - 0{,}06 \cdot (3{,}48/3{,}08)^2$

$\kappa_1 = 1{,}057$

$\kappa_2 = 0{,}49 + 0{,}57 \cdot (r_z/r_2) - 0{,}06 \cdot (r_z/r_2)^2$

$\kappa_2 = 0{,}49 + 0{,}57(3{,}48/3{,}16) - 0{,}06 \cdot (3{,}48/3{,}16)^2$

$\kappa_2 = 1{,}045$

$\kappa_3 = 0{,}49 + 0{,}57 \cdot (r_z/r_3) - 0{,}06 \cdot (r_z/r_3)^2$

$\kappa_3 = 0{,}49 + 0{,}57(3{,}48/3{,}48) - 0{,}06 \cdot (3{,}48/3{,}48)^2$

$\kappa_3 = 1{,}000$

- **Współczynnik przenikania ciepła**

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_n} + \sum_1 \left(\frac{t_i}{\lambda_i} \cdot \kappa_i \cdot \frac{r_z}{r_i}\right) + \frac{1}{\alpha_0};$$

gdzie:

α_n – współczynnik napływu;

α_0 – współczynnik odpływu;

t_i – grubość warstwy „i";

λ_i – współczynnik przewodności cieplnej materiału warstwy „i";

r_i – promień zewnętrzny warstwy „i";

r_z – promień zewnętrzny trzonu;

κ_i – współczynniki poprawkowe uwzględniające zakrzywienie ścianki;

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{16} + \left(\frac{0{,}12}{1{,}15} \cdot 1{,}057 \cdot 1{,}130\right) + \left(\frac{0{,}10}{0{,}046} \cdot 1{,}045 \cdot 1{,}101\right) + \left(\frac{0{,}32}{1{,}74} \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0\right) + \frac{1}{8}$$

$$\frac{1}{k} = 2{,}997 \Longrightarrow k = 0{,}334$$

- **Różnica temperatury**

$$\Delta t = 180 - 35 = 145\ K$$

- **Spadki temperatury w i-tej warstwie przegrody**

$$\Delta T_1 = k \cdot \frac{t_i}{\lambda_i} \cdot \kappa_i \cdot \frac{r_z}{r_i} \cdot \Delta t$$

$$\Delta T_1 = 0{,}334 \cdot \frac{0{,}12}{1{,}15} \cdot 1{,}057 \cdot \frac{3{,}48}{3{,}08} \cdot 145 = 6{,}04\ K$$

$$\Delta T_2 = 0{,}334 \cdot \frac{0{,}10}{0{,}046} \cdot 1{,}045 \cdot \frac{3{,}48}{3{,}16} \cdot 145 = 121{,}16\ K$$

$$\Delta T_3 = 0{,}334 \cdot \frac{0{,}32}{1{,}74} \cdot 1{,}000 \cdot \frac{3{,}48}{3{,}48} \cdot 145 = 8{,}91\ K$$

- **Spadek temperatury przy napływie i odpływie ciepła**

$$\Delta T_n = k \cdot \frac{1}{\alpha_n} \cdot \Delta T$$

$$\Delta T_0 = k \cdot \frac{1}{\alpha_0} \cdot \Delta T$$

$$\Delta T_n = 0{,}334 \cdot \frac{1}{16} \cdot 145 = 3{,}03\ K$$

$$\Delta T_0 = 0{,}334 \cdot \frac{1}{8} \cdot 145 = 6{,}06\ K$$

- **Sprawdzenie**

$$\Delta T = 6{,}04 + 121{,}16 + 8{,}91 + 3{,}03 + 6{,}06 = 145{,}2 \cong 145\ K$$

4.3. Wyznaczenie spadku temperatury w ścianie komina przy temp. zewnętrznej -25°C (zima)

- **Współczynniki napływu i odpływu**

$$\alpha_n = 8 + v_s = 16\ W/m^2K$$
$$\alpha_0 = 24\ W/m^2K$$
$$r_z = 6{,}96/2 = 3{,}48\ m$$
$$r_1 = 3{,}08\ m;\ r_2 = 3{,}16\ m;\ r_3 = 3{,}48\ m;$$

- **Współczynnik przenikania ciepła**

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{16} + \left(\frac{0{,}12}{1{,}15} \cdot 1{,}057 \cdot 1{,}130\right) + \left(\frac{0{,}10}{0{,}046} \cdot 1{,}045 \cdot 1{,}101\right) + \left(\frac{0{,}32}{1{,}74} \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0\right) + \frac{1}{24}$$
$$\frac{1}{k} = 2{,}914 \Longrightarrow k = 0{,}343$$

- **Różnica temperatury**

$$\Delta t = 180 + 25 = 205\ K$$

- **Spadki temperatury w i-tej warstwie przegrody**

$$\Delta T_1 = k \cdot \frac{t_i}{\lambda_i} \cdot \kappa_i \cdot \frac{r_z}{r_i} \cdot \Delta t$$

$$\Delta T_1 = 0{,}343 \cdot \frac{0{,}12}{1{,}15} \cdot 1{,}057 \cdot \frac{3{,}48}{3{,}08} \cdot 205 = 8{,}76\ K$$
$$\Delta T_2 = 0{,}343 \cdot \frac{0{,}10}{0{,}046} \cdot 1{,}045 \cdot \frac{3{,}48}{3{,}16} \cdot 205 = 175{,}91\ K$$
$$\Delta T_3 = 0{,}343 \cdot \frac{0{,}32}{1{,}74} \cdot 1{,}000 \cdot \frac{3{,}48}{3{,}48} \cdot 205 = 12{,}93\ K$$

- **Spadek temperatury przy napływie i odpływie ciepła**

$$\Delta T_n = k \cdot \frac{1}{\alpha_n} \cdot \Delta T$$
$$\Delta T_0 = k \cdot \frac{1}{\alpha_0} \cdot \Delta T$$

$$\Delta T_n = 0{,}343 \cdot \frac{1}{16} \cdot 205 = 4{,}39\ K$$

$$\Delta T_0 = 0{,}343 \cdot \frac{1}{24} \cdot 205 = 2{,}93\ K$$

- **Sprawdzenie**

$$\Delta T = 9{,}76 + 175{,}91 + 12{,}93 + 4{,}39 + 2{,}93 = 205{,}9 \cong 205\ K$$

Temperatura na wewnętrznej powierzchni żelbetowego trzonu nie przekroczyła 70°C oraz różnica temp. przypadająca na ścianę trzonu nie była większa niż 30 K. Warunki umożliwiające pominięcie wpływu temp. przy obliczaniu trzonu komina zostały spełnione.

5.0. WYMIAROWANIE ŻELBETOWEGO TRZONU KOMINA

5.1. Wymiarowanie zbrojenia pionowego w stadium realizacji

- **Wartości pomocnicze do obliczeń w fazie realizacji**

$$M_{VIII} = 8801\ kNm = 8{,}801\ MNm$$

$$T_{VIII} = 5029\ kN = 5{,}029\ MN$$

$$A_b = 7{,}77\ m^2$$

$$r_{śr} = 3{,}81\ m$$

$$t = 0{,}34\ m$$

$$e_o = \frac{M}{N} = \frac{8{,}801}{5{,}029} = 1{,}750$$

$$\frac{e_o}{r_{śr}} = \frac{1{,}750}{3{,}81} = 0{,}46$$

$$Beton\ C25/30 \Longrightarrow f_{ck} = 25\ MPa$$

$$Stal\ S275 \Longrightarrow f_{yk} = 275\ MPa$$

- **Średni promień zewnętrzny trzonu**

$$r_{śr} = \frac{D_g^z + D_d^z}{4} = \frac{7{,}29 + 7{,}97}{4} = 3{,}81\ m$$

- **Pole powierzchni betonu**

$$A_b = 3{,}14 \cdot (3{,}815^2 - 3{,}475^2) = 7{,}77\ m^2$$

- **Maksymalne naprężenia normalne w fazie realizacji**

Beton

$$\sigma_b \leq 0{,}4 \cdot f_{ck} = 0{,}4 \cdot 25 = 10\ MPa = 10000\ kPa$$

Stal

$$\sigma_s \leq 0{,}6 f_{yk} = 0{,}6 \cdot 275 = 165\ MPa = 165000\ kPa$$

- **Minimalne zbrojenie pionowe trzonu**

$$\rho_{min} = \frac{4{,}2 \cdot f_{ck}}{100 \cdot f_{yk}} = \frac{4{,}2 \cdot 25}{100 \cdot 275} = 0{,}0038 = 0{,}38\ \% \cong 0{,}4\ \% > 0{,}3\ \%$$

Dla segmentu VII-VIII przyjęto $\rho = 0{,}8\%$

Dla segmentów IV-VI przyjęto $\rho = 0{,}6\%$

Dla segmentów I-III przyjęto $\rho = 0{,}4\%$

- **Naprężenia w betonie wywołane działaniem tylko obciążenia pionowego**

$$\sigma_0 = \frac{N}{A_b} = \frac{5{,}029}{7{,}787} = 0{,}646\ MPa$$

Z tablicy w normie PN-88/B-03004 odczytano wartości współczynników B i C dla n=8

B = 1,884; C = 0,019;

- **Największe naprężenia ściskające w betonie płaszcza komina**

$$\sigma_b = \sigma_0 \cdot B = 0{,}646 \cdot 1{,}884 = 1{,}217\ MPa$$

- **Największe naprężenia rozciągające w stali zbrojeniowej**

$$\sigma_s = \sigma_b \cdot C = 1{,}217 \cdot 0{,}019 = 0{,}023\ MPa$$

5.2. Wymiarowanie zbrojenia pionowego w stadium eksploatacji

- **Wartości pomocnicze do obliczeń w fazie eksploatacji**

$$M_{VIII} = 11001\ kNm = 11{,}00\ MNm$$

$$T_{VIII} = 7741 kN = 7{,}74\ MN$$

$A_b = 7{,}77\ m^2$

$r_{śr} = 3{,}81m$

$t = 0{,}34\ m$

$$e_o = \frac{M}{N} = \frac{11001}{7741} = 1{,}421$$

$$\frac{e_o}{r_{śr}} = \frac{1{,}421}{3{,}81} = 0{,}37$$

$Beton\ C25/30 \Longrightarrow f_{ck} = 25\ MPa$

$Stal\ S275 \Longrightarrow f_{yk} = 275\ MPa$

- **Maksymalne naprężenia normalne w fazie eksploatacji**

Beton

$$\sigma_b \leq 0{,}65 \cdot f_{ck} = 0{,}65 \cdot 25 = 16{,}25\ MPa = 16250\ kPa$$

Stal

$$\sigma_s \leq 0{,}7 f_{yk} = 0{,}7 \cdot 275 = 192{,}5\ MPa = 192500\ kPa$$

- **Minimalne zbrojenie pionowe trzonu**

$$\rho_{min} = \frac{4{,}2 \cdot f_{ck}}{100 \cdot f_{yk}} = \frac{4{,}2 \cdot 25}{100 \cdot 275} = 0{,}0038 = 0{,}38\ \% \cong 0{,}4\ \% > 0{,}3\ \%$$

Dla segmentów VII-VIII przyjęto $\rho = 0{,}8\%$

Dla segmentów IV-VI przyjęto $\rho = 0{,}6\%$

Dla segmentów I-III przyjęto $\rho = 0{,}4\%$

- **Naprężenia w betonie wywołane działaniem tylko obciążenia pionowego**

$$\sigma_0 = \frac{N}{A_b} = \frac{7{,}74}{7{,}77} = 0{,}996\ MPa$$

Z tablicy w normie PN-88/B-03004 odczytano wartości współczynników B i C dla n=8

B = 1,884; C = 0,019;

- **Największe naprężenia ściskające w betonie płaszcza komina**

$$\sigma_b = \sigma_0 \cdot B = 0{,}996 \cdot 1{,}884 = 1{,}877\ MPa$$

- **Największe naprężenia rozciągające w stali zbrojeniowej**

$$\sigma_s = \sigma_b \cdot C = 1{,}877 \cdot 0{,}019 = 0{,}036\ MPa$$

5.3. Wymiarowanie zbrojenia poziomego

- **Minimalny stopień zbrojenia w kierunku poziomym**

$$\rho_{min} = \frac{2{,}1 \cdot f_{ck}}{100 \cdot f_{yk}} = \frac{2{,}1 \cdot 25}{100 \cdot 275} = 0{,}0019 \cong 0{,}2\% \leq 0{,}35\%$$

$$przyjęto\ \rho_{min} = 0{,}35\%$$

WYMIAROWANIE ZBROJENIA PIONOWEGO W STADIUM REALIZACJI

Nr. Segmentu	Poziom przekroju	Średni promień zewnętrzny trzonu	Średni promień wewnętrzny trzonu	Pole przekroju betonu	Stopień zbrojenia	Pole przekroju zbrojenia	Osiowa siła pionowa	Moment zginający 0,8M	$e_0 = \frac{M}{N}$	$\frac{e_0}{r_s}$	Wartości pomocnicze		Naprężenia			Przyjęte zbrojenie w kierunku pionowym	
											B	C	Od obc. Pionowego	W betonie	W stali	Zewnętrzne	Wewnętrzne
	m	m	m	m²	%	cm²	kN	kNm					kPa	kPa	kPa		
I	80	1,50	1,30	1,76	0,4	70,40	276,30	105,20	0,381	0,254	1,884	0,019	156,99	295,8	5,6	35 ø 14 co 26 cm	29 ø 14 co 29 cm
II	70	1,83	1,61	2,38	0,4	95,20	613,60	439,60	0,716	0,391	1,884	0,019	257,82	485,7	9,2	40 ø 14 co 26 cm	36 ø 14 co 29 cm
III	60	2,16	1,92	3,07	0,4	122,80	1047,10	1039,60	0,993	0,460	1,884	0,019	341,07	642,6	12,2	51 ø 14 co 26 cm	43 ø 14 co 29 cm
IV	50	2,49	2,23	3,85	0,6	154,00	1588,10	1937,20	1,220	0,490	1,884	0,019	412,49	777,1	14,8	61 ø 14 co 25 cm	51 ø 14 co 28 cm
V	40	2,82	2,54	4,71	0,6	282,60	2235,80	3158,80	1,413	0,501	1,884	0,019	474,69	894,3	17,0	69 ø 18 co 25 cm	58 ø 18 co 28 cm
VI	30	3,15	2,85	5,65	0,6	339,00	3025,20	4735,60	1,565	0,497	1,884	0,019	535,43	1008,8	19,2	81 ø 18 co 24 cm	70 ø 18 co 26 cm
VII	20	3,48	3,16	6,67	0,8	400,20	3951,60	6644,40	1,681	0,483	1,884	0,019	592,44	1116,2	21,2	98 ø 18 co 22 cm	78 ø 18 co 26 cm
VIII	10	3,82	3,48	7,77	0,8	622,40	5028,80	8800,80	1,750	0,458	1,884	0,019	647,21	1219,3	23,2	108 ø 22 co 22 cm	85 ø 22 co 26 cm

WYMIAROWANIE ZBROJENIA PIONOWEGO W STADIUM UŻYTKOWANIA

Nr. Segmentu	Poziom przekroju	Średni promień zewnętrzny trzonu	Średni promień wewnętrzny trzonu	Pole przekroju betonu	Stopień zbrojenia	Pole przekroju zbrojenia	Osiowa siła pionowa	Moment zginający M	$e_0 = \frac{M}{N}$	$\frac{e_0}{r_s}$	Wartości pomocnicze		Naprężenia			Przyjęte zbrojenie w kierunku pionowym	
											B	C	Od obc. Pionowego	W betonie	W stali	Zewnętrzne	Wewnętrzne
	m	m	m	m²	%	cm²	kN	kNm					kPa	kPa	kPa		
I	80	1,50	1,30	1,76	0,4	70,40	451,90	131,50	0,291	0,194	1,884	0,019	256,76	483,7	9,2	35 ø 14 co 26 cm	29 ø 14 co 29 cm
II	70	1,83	1,61	2,38	0,4	95,20	1011,30	549,50	0,543	0,297	1,884	0,019	424,92	800,5	15,2	40 ø 14 co 26 cm	36 ø 14 co 29 cm
III	60	2,16	1,92	3,07	0,4	122,80	1713,90	1299,50	0,758	0,351	1,884	0,019	558,27	1051,8	20,0	51 ø 14 co 26 cm	43 ø 14 co 29 cm
IV	50	2,49	2,23	3,85	0,6	154,00	2570,70	2421,50	0,942	0,378	1,884	0,019	667,71	1258,0	23,9	61 ø 14 co 25 cm	51 ø 14 co 28 cm
V	40	2,82	2,54	4,71	0,6	282,60	3580,90	3948,50	1,103	0,391	1,884	0,019	760,28	1432,4	27,2	69 ø 18 co 25 cm	58 ø 18 co 28 cm
VI	30	3,15	2,85	5,65	0,6	339,00	4779,60	5919,50	1,238	0,393	1,884	0,019	845,95	1593,8	30,3	81 ø 18 co 24 cm	70 ø 18 co 26 cm
VII	20	3,48	3,16	6,67	0,8	400,20	6161,50	8305,50	1,348	0,387	1,884	0,019	923,76	1740,4	33,1	98 ø 18 co 22 cm	78 ø 18 co 26 cm
VIII	10	3,82	3,48	7,77	0,8	622,40	7740,80	11001,00	1,421	0,372	1,884	0,019	996,24	1876,9	35,7	108 ø 22 co 22 cm	85 ø 22 co 26 cm

WYMIAROWANIE ZBROJENIA POZIOMEGO

Nr. Segmentu	Poziom przekroju m	Grubość trzonu cm	Pole powierzchni betonu Ab cm²	Stopień zbrojenia p %	Pole zbrojenia As cm²	Przyjęte zbrojenie w kierunku poziomym	
						Zewnętrzne	Wewnętrzne
I	80	20	20000	0,35	70	50 ø 10 co 20 cm	50 ø 10 co 20 cm
	70						
II	70	22	22000		77	50 ø 10 co 20 cm	50 ø 10 co 20 cm
	60						
III	60	24	24000		84	50 ø 12 co 20 cm	50 ø 12 co 20 cm
	50						
IV	50	26	26000		91	50 ø 12 co 20 cm	50 ø 12 co 20 cm
	40						
V	40	28	28000		98	50 ø 12 co 20 cm	50 ø 12 co 20 cm
	30						
VI	30	30	30000		105	50 ø 12 co 20 cm	50 ø 12 co 20 cm
	20						
VII	20	32	32000		112	50 ø 14co 20 cm	50 ø 14co 20 cm
	10						
VIII	10	34	34000		119	50 ø 14co 20 cm	50 ø 14co 20 cm
	0						