

OBLICZENIA STATYCZNO - WYTRZYMAŁOŚCIOWE
WG PN-93/B-03201
KOMIN STALOWY - 18-610

DANE WYJŚCIOWE :	Schemat statyczny : wspornik zakotwiony w fundamencie ;			
Wysokość komina z cokołem :		18,10	[m]	
Wysokość trzonu komina H :		16,00	[m]	
Segment podstawy NR 1 : średnica zewnętrzna D-1		0,610	[m]	
grubość średnia płaszcza / wykładziny :		0,0120	0,000	[m]
grubość minimalna płaszcza :		0,0080	[m]	
długość segmentu H1 :		9,00	[m]	
Segment NR 2 : średnica zewnętrzna D-2		0,610	[m]	
grubość średnia płaszcza / wykładziny :		0,0120	0,000	[m]
grubość minimalna płaszcza :		0,0080	[m]	
długość segmentu H2 :		2,00	[m]	
Segment NR 3 : średnica zewnętrzna D-3		0,610	[m]	
grubość średnia płaszcza / wykładziny :		0,0120	0,000	[m]
grubość minimalna płaszcza :		0,0060	[m]	
długość segmentu H3 :		5,00	[m]	
Segment NR 4 : średnica zewnętrzna D-4		0,000	[m]	
grubość średnia płaszcza / wykładziny :		0,0000	0,000	[m]
grubość minimalna płaszcza :		0,0000	[m]	
długość segmentu H4 :		0,00	[m]	
Segment NR 5 : średnica zewnętrzna D-5		0,000	[m]	
grubość średnia płaszcza / wykładziny :		0,0000	0,000	[m]
grubość minimalna płaszcza :		0,0000	[m]	
długość segmentu H5 :		0,00	[m]	
Posadowienie : na cokole		2,10	[m]	n.p.t.
Komin usytuowany w strefie obciążenia wiatrem : q_k	I	0,3		
Dodatkowe obciążenia :		5		
Poz. dolnej krawędzi :		9,2	[m npt.]	
Pomost obsługowy + obc. technologiczne :	szt. 1	4,0	[kN]	
Logarytmiczny dekrement tłumienia drgań : δ_s		0,025		
Wysokości nad podstawą :				
Poz. obl. nr 1 / grub. płaszcza / D	0,40	0,0080	0,610	[m]
Poz. obl. nr 2 / grub. płaszcza / D	9,00	0,0080	0,610	[m]
Poz. kołn./grub./szer./odl.żeb.	9,00	0,015	0,080	0,135
Śruby M / N[szt.] / $\Delta R / \Sigma H^2$	M16	16	0,040	2,8566
Przewidywany czas użytkowania :		10	[lat]	
Okres eksploatacji komina :		10	[lat]	
Kotwy M/ N[szt.] / $\Delta R / \Sigma H^2$	M30	8	0,300	4,39
Podst. : szer./grub./rozs.żeber	0,450	0,020	0,475	[m]
Ilość drabin :	szt. 1			
Ocieplenie zewn. grub.[m] / poziom	0,000	0,00	0,00	[m]
Ocieplenie wewn. grub.[m] / poziom	0	0,0	0,0	[m]
Wykładzina: ciężar jedn./grub.	0,0	0,000	[m]	
Maksymalna temp. spalin :		200	[°C]	
Odc.komina osłonięty budynkiem	0,00		[m]	

1. OBCIĄŻENIA .**1.1. Ciężar własny .**

	wykładzina:	stal:
segment NR 1 :	0,00	17,52 [kN]
segment NR 2 :	0,00	3,89
segment NR 3 :	0,00	9,73
segment NR 4 :	0,00	0,00
segment NR 5 :	0,00	0,00
Razem segmenty :	0,00	31,15 [kN]
drabina z koszem osłonowym : 0,3 kN/m		5,04
dodatek na kołnierze : 5% ciężaru trzonu		1,56
podest obsługowy + obc. technologiczne :		9,0
Całkowity ciężar :		51,74 [kN]

1.2. Obciążenie wiatrem w kierunku równoległym do jego działania .

Wielkość obc. charakterystycznych :

$$p_k = q_k \times C_{ie} \times C_e \times C_x \times n \times D \times \beta$$

Obciążenia obliczeniowe :

$$p = 1,5 \times p_k$$

Charakterystyczne ciśnienie prędkości wiatru / I strefa / :

$$q_k = 0,3$$

Współcz. planowanego czasu użytkowania komina :

$$C_{ie} = 0,9$$

Współczynnik ekspozycji dla terenu : A

dla z [m] : 10,0	1,00
20,0	1,20
18,10	1,162

Współczynnik oporu aerodynamicznego :

$$\text{ilość drabin : } m = 1$$

$$C_x = C_{xp} + 2,4 \times m \times A_d / (n \times D)$$

$$H / D = 26,23$$

$$C_{xp} = 0,900$$

$$C_x = 1,4902$$

Okres drgań własnych :

$$T = 0,001 \times H^2 / D \times (m_c / m_t)^{0,5}$$

$$T = 0,541 \text{ [s]}$$

Częstotliwość :

$$n = 1 / T$$

$$n = 1,849 \text{ [Hz]}$$

Współczynnik działania porywów wiatru :

$$\beta = 1 + \psi [r / C_e (k_b + k_0)]^{0,5}$$

$$r = 0,08$$

$$V_H = V_k \times (C_e)^{0,5}$$

$$V_H = 21,559$$

$$K_L = \pi/3 [1 / (1 + 8nH / 3V_H)] : [1 + (10nL / V_H)]$$

$$K_L = 0,1475$$

$$X = 1200 n / V_H$$

$$X = 102,900$$

$$K_0 = X^2 / (1 + X^2)^{4/3}$$

$$K_0 = 0,0457$$

$$k_r = 2 \times \pi \times K_L \times K_0 / (\delta_\Delta + \delta_s)$$

$$\delta_\Delta = \rho T V(H_0) C_x D / 2 m_c$$

$$V_{rk} = V_k \times (C_{ie})^{0,5} = 18,974 \text{ [m/s]}$$

$$V(H_0) = V_{rk} [C_e (H_0)]^{0,5} = 20,453 \text{ [m/s]}$$

	$2 m_c =$	646,8
	$\delta_{\Delta} =$	0,0194
	$\delta_{\Delta} + \delta_s =$	0,0444
	$k_r =$	0,9522
	$k_b = 2,25 - 0,227 (1 + 3,24 D / H) \ln H$	
	$k_b =$	1,5429
	$\Psi = [2 \ln(600 n)]^{0,5} =$	3,7447
	$\beta =$	2,5520
Obciążenie wiatrem :	$p =$	0,940 C_e
Rzędne obciążenia wiatrem :	$z = 10 \Rightarrow p =$	0,940 [kN/m]
	$z = 20 \Rightarrow p =$	1,127 [kN/m]
	$z = H \Rightarrow p =$	1,092 [kN/m]

Wyznaczenie momentów zginających , sił poziomych i pionowych :

	Poz. nad podstawą [m]	"M" [kNm]	P_H [kN]	P_V [kN]
Poziom zakotwienia :	0,00	114,64	13,94	51,74
Poziom NR 1 :	0,40	109,07	13,60	50,45
Poziom NR 2 :	9,00	22,95	6,42	22,64
Połączenie kołnierzowe :	9,00	22,95	6,42	22,64
Przekrój osłabiony :	1,00	101,12	13,10	48,51

Suma obciążeń poziomych : $\Sigma H =$ 13,94 [kN]

1.3. Obciążenie wiatrem w kierunku prostopadłym do jego działania .

Obciążenie wywołane wzbudzeniem wirowym :

	$p_y = 0,05 \rho c_{lat} D^3 / (T^2 \delta_s)$	
	$c_{lat} = 1 - 0,1 v_{cr} D$	
	$v_{cr} = a + D / (T S_t)$	
	$S_t = 0,1 + 0,085 \log (a / D) < 0,2$	
Liczba przewodów :	$n =$	1
	$a =$	0
	$S_t =$	0,2
	$v_{cr} =$	5,639 [m/s]
	$v_{cr} = 5,639$	$< V_{rk} = 18,974$

Trzeba sprawdzić obciążenie wzbudzeniem wirowym .

	$c_{lat} =$	0,656
Obciążenie prostopadłe :	$p_y =$	1,272 [kN/m]
Długość odcinka obc. :	$0,25 \times H =$	4,000 [m]
	$6 \times D =$	3,660 [m]
	$L =$	4,00 [m]

Momenty zginające od obc. poprzecznego :

	Poziom nad podst. [m]	"M" [kNm]
Poziom zakotwienia :	0,00	71,250
Poziom NR 1 :	0,40	69,215
Poziom NR 2 :	9,00	25,447
Połączenie kołnierzowe :	9,00	25,447

Zestawienie maksymalnych obciążeń :

	Poziom nad podst. [m]	"M" [kNm]
Poziom zakotwienia :	0,00	114,640
Poziom NR 1 :	0,40	109,066
Poziom NR 2 :	9,00	25,447
Połączenie kołnierzowe :	9,00	25,447

2. SPRAWDZENIE TRZONU KOMINA .**2.1. Sprawdzenie ugięcia .**

$$U = U_m + U_s$$

Jako wychylenie montażowe przyjęto wychylenie dopuszczalne :

$$U_m = H / 300 = 0,0533 \text{ [m]}$$

Wychylenie sprężyste dla wierzchołka komina :

$$U_s = P b^2 (3 H - b) / 6 E J$$

$$J = \pi / 64 x [D^4 - (D - 2G)^4] = 0,0006852 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$E = 2,05E+08$$

$$6 E J = 842754$$

$$U_s = 0,0382 \text{ [m]}$$

$$\text{Dop. wychylenie całkowite : } U_{\text{dop.}} = H / 100 = 0,1600 \text{ [m]}$$

$$\text{Max wychylenie : } U = 0,0916 < 0,1600 \text{ [m]}$$

Ugięcie komina nie przekracza dopuszczalnego przez PN .

2.2. Sprawdzenie przekroju /NR 1/ na poziomie : 0,40 [m] .

$$\text{Moment od wychylenia trzonu : } M_u = 2,31 \text{ [kNm]}$$

$$\text{Obciążenia w badanym przekroju : poz. [m] } 0,40$$

$$M \text{ [kNm]} 111,38$$

$$P \text{ [kN]} 50,45$$

$$\text{Charakterystyka przekroju : D } 0,610$$

$$\text{grubość płaszcza : G } 0,0080 \text{ [m]}$$

$$\text{pole przekroju : A } 0,0151299 \text{ [m]}$$

$$\text{wskaźnik wytrzymałości : W } 0,0022476 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$\text{moment bezwładności : J } 0,0006855 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$\text{promień bezwładności : i } 0,213 \text{ [m]}$$

$$\text{Długość wyboczeniowa : } l_w = 31,2 \text{ [m]}$$

$$\lambda = l_w / i = 146,58$$

$$\lambda^- = \lambda (\varphi_p)^{0,5} / 2,73 (f_{dt} / E)^{0,5}$$

$$\lambda_p^- = r / t / 1,59 (f_{dt} / E)^{2/3}$$

gdzie : r - promień poboczniczy

t - grubość ścianki

f_{dt} - wytrż. stali w temp. użytkowania

$$f_{dt} = f_d (1,022 - 0,197 \cdot 10^{-3} T - 1,59 \cdot 10^{-6} T^2)$$

$$f_{dt} = 198 \text{ [MPa]}$$

$$\lambda_p^- = 0,234$$

$$\varphi_p = (1 + \lambda_p^{-2,4})^{-0,625} = 0,9813$$

$$\lambda^- = 1,6512$$

$$\alpha_{kor} = 1 / (1 + 0,04 t_c \Delta t) = 0,8333$$

$$\text{Sprawdzenie naprężeń : } N / (\varphi \times N_{RC}) + M / M_R < 1$$

$$M_R = 1,2 \times \varphi_p \times \alpha_{kor} \times W \times f_{dt} < W \times f_{dt}$$

$$M_R = 0,4358$$

$$W \times f_{dt} = 0,4441$$

$$\text{Przyjęto : } M_R = 0,4358$$

$$N_{RC} = \varphi_p \alpha_{kor} A f_{dt}$$

$$N_{RC} = 2,4447 \text{ [kN]}$$

$$\varphi = (1 + \lambda^{-3,2})^{-0,625} = 0,3271$$

$$N / (\varphi \times N_{RC}) + M / M_R < 1$$

$$0,319 < 1$$

Naprężenia w badanym przekroju NR 1 są mniejsze od granicznych .

2.2.1. Sprawdzenie naprężeń z uwzględnieniem zmęczenia stali .

Komin eksploatowany :	10 [lat]
Zakres zmienności naprężeń od obc. charakterystycznych :	
$\sigma_{\max} = P / (1,1 \times A) + M / W =$	33,826 [MPa]
$\sigma_{\min} = P / (1,1 \times A) - M / W =$	-27,764 [MPa]
$\max \Delta \sigma =$	61,590 [MPa]
Przyjęty współcz. niejednorodności widma : $\alpha_K =$	1,0
Ilość cykli : $N = 5 \times 10^6 t_c / T_i [\exp \{ -(0,16 v_{cr})^2 \} - \exp \{ -(0,2 v_{cr})^2 \}] =$	15046296
Równoważny zakres zmienności naprężeń :	
$\Delta \sigma = \max \Delta \sigma / \alpha_K =$	61,59 [MPa]
Normatywna wytrzymałość zmęczeniowa : $\sigma_c =$	180 [MPa]
$\Delta \sigma_R = 0,735 \Delta \sigma (5 E 6 / N)^{1/m} =$	106,14 [MPa]
Przyjęto :	m = 5
$\Delta \sigma_R = \text{MIN.} (\Delta \sigma_c ; \Delta \sigma_R) =$	106,14 [MPa]
$\alpha_t = (1300 - T) / 1200 =$	0,92 < 1
Dla kominów :	$\Delta \sigma_R \alpha_t \alpha_{kor} =$
	81,08
$\Delta \sigma =$	61,59
	<
	81,08 [MPa]

Wytrzymałość stali na zmęczenie w przekroju NR 1 jest zachowana .

2.3. Sprawdzenie przekroju /NR 2/ na poziomie : 9,00 [m] .

Moment od wychylenia trzonu :	$M_u =$	0,45 [kNm]
Obciążenia w badanym przekroju :	poz. [m]	9,00
	M [kNm]	23,40
	P [kN]	22,64
Charakterystyka przekroju : D		0,610
grubość płaszczka : G		0,0080 [m]
pole przekroju : A		0,0151 [m]
wskaźnik wytrzymałości : W		0,0022464 [m ⁴]
moment bezwładności : J		0,0006852 [m ⁴]
promień bezwładności : i		0,213 [m]
Długość wyboczeniowa :	$l_w =$	14 [m]
	$\lambda = l_w / i =$	65,77
	$\lambda^- = \lambda (\varphi_p)^{0,5} / 2,73 (f_{dt} / E)^{0,5}$	
	$\lambda_p^- = r / t / 1,59 (f_{dt} / E)^{2/3}$	
	$f_{dt} =$	198 [MPa]
	$\lambda_p^- =$	0,234
	$\varphi_p = (1 + \lambda_p^{-2,4})^{-0,625} =$	0,9813
	$\lambda^- =$	0,7409
	$\alpha_{kor} = 1 / (1 + 0,04 t_c \Delta t) =$	0,8333
Sprawdzenie naprężeń :	$N / (\varphi \times N_{RC}) + M / M_R < 1$	
	$M_R = 1,2 \times \varphi_p \times \alpha_{kor} \times W \times f_{dt} < W \times f_{dt}$	
	$M_R =$	0,4356
	$W \times f_{dt} =$	0,4439
Przyjęto :	$M_R =$	0,4356
	$N_{RC} = \varphi_p \alpha_{kor} A f_{dt}$	
	$N_{RC} =$	2,4435 [kN]
	$\varphi = (1 + \lambda^{-3,2})^{-0,625} =$	0,8165

$$N / (\varphi \times N_{RC}) + M / M_R < 1$$

$$0,065 < 1$$

Naprężenia w badanym przekroju NR 2 są mniejsze od granicznych .

2.3.1. Sprawdzenie naprężeń z uwzględnieniem zmęczenia stali .

Komin eksploatowany : 10 [lat]

Zakres zmienności naprężeń od obc. charakterystycznych :

$$\sigma_{\max} = P / (1,1 \times A) + M / W = 12,688 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{\min} = P / (1,1 \times A) - M / W = -9,967 \text{ [MPa]}$$

$$\max \Delta \sigma = 22,655 \text{ [MPa]}$$

Przyjęty współczynnik niejednorodności widma : $\alpha_K = 1,0$

$$\text{Ilość cykli : } N = 5 \times 10^6 t_c / T_i [\exp\{-(0,16 v_{cr})^2\} - \exp\{-(0,2 v_{cr})^2\}] = 15046296$$

Równoważny zakres zmienności naprężeń :

$$\Delta \sigma_c = \max \Delta \sigma / \alpha_K = 22,65 \text{ [MPa]}$$

Normatywna wytrzymałość zmęczeniowa : 180 [MPa]

$$\Delta \sigma_R = 0,735 \Delta \sigma_c (5E6 / N)^{1/m} = 106,14 \text{ [MPa]}$$

Przyjęto :

$$m = 5$$

$$\Delta \sigma_R = \text{MIN.}(\Delta \sigma ; \Delta \sigma_R) = 106,14 \text{ [MPa]}$$

$$\Delta \sigma_R \alpha_t \alpha_{kor} = 81,08 \text{ [MPa]}$$

$$\Delta \sigma_c = 22,65 < 81,08 \text{ [MPa]}$$

Wytrzymałość stali na zmęczenie w przekroju NR 2 jest zachowana .

3. Sprawdzenie śrub kotwowych i blachy podstawy .

Zakotwienie w fundamencie przy pomocy śrub :

$$M30 \quad F_r = 0,000561$$

Ilość śrub kotwiących : $N = 8$

Promień usytuowania śrub : $R = 0,605 \text{ [m]}$

Suma kwadratów odległości : $\Sigma h^2 = 4,3923$

Moment przenoszony przez śruby : $M = 148,256 \text{ [kNm]}$

Maksymalna siła w śrubie : $P_{\max} = M h / \Sigma h^2 = 40,84 \text{ [kN]}$

Maks. naprężenia w śrubie : $\sigma_{\max} = 72,80 \text{ [MPa]}$

Naprężenia graniczne dla śrub: 200 [MPa]

$$\sigma_{\max} = 72,80 < 200 \text{ [MPa]}$$

Śruby fundamentowe przenoszą zadane obciążenia .

Przyjęta grubość blachy podstawy : 0,020 [m]

Rozstaw żeber : $a = 0,475 \text{ [m]}$

Szerokość pola : $b = 0,450 \text{ [m]}$

Otwory na śruby : $d = 0,050 \text{ [m]}$

Pole podstawy : $S = 1,499 \text{ [m}^2\text{]}$

Wskaźnik wytrzymałości : $W = 0,839 \text{ [m}^3\text{]}$

Maksymalny docisk : $\sigma_d = 0,171 \text{ [Mpa]}$

Dla betonu B20 $f_{cd} = 10,60 \text{ [Mpa]}$

Wg PN-88/B-03215 : $f_c = 0,8 \cdot f_{cd} = 8,48 \text{ [Mpa]}$

$$\sigma_d = 0,171 < f_c = 8,48 \text{ [Mpa]}$$

Wg wzorów Galerkina : jeżeli : $b / a = 0,948$ to : $\alpha = 0,106$

$$M = \alpha_3 \sigma_d b_1^2 = 0,00368 \text{ [MNm]}$$

$$g = (6M / f_d)^{0,5}$$

Obliczona grub. blachy podstawy : $g = 0,010 \text{ [m]}$

Min. grub. zalecana przez PN : $g = 0,015 \text{ [m]}$

Przyjęta blacha podstawy przenosi zadane obciążenia .

4. Sprawdzenie połączenia kołnierzewego .

Połączenie przy pomocy śrub :		M16	$F_r = 0,000161$
Ilość śrub :	$N =$	16	
Średni promień usytuowania śrub :	$R =$	0,345 [m]	
Suma kwadratów odległości :	$\Sigma h^2 =$	2,857	
Moment przenoszony przez śruby :	$M =$	2,6 [kNm]	
Maksymalna siła w śrubie :	$P_{\max} = M h / \Sigma h^2 =$	0,6 [kN]	
Maks. naprężenia w śrubie :	$\sigma_{\max} =$	3,9 [MPa]	
Naprężenia graniczne dla śrub:		200 [MPa]	
	$\sigma_{\max} =$	3,93	< 200 [MPa]

Śruby przenoszą zadane obciążenia .

Przyjęta grubość blachy kołnierza :		0,015 [m]	
Szerokość pola :	$a =$	0,135 [m]	
Rozstaw żeber :	$b =$	0,080 [m]	
Otwory na śruby :	$d =$	0,018 [m]	
	jeżeli : $b / a =$	0,59	to : $\alpha = 0,072$
	$p =$	75,31	
	$M =$	0,10 [kNm]	
Wyznaczona grubość blachy :	$g =$	0,0017 [mm]	
Minimalna grub. kołnierza zalecana przez PN :		0,015 [mm]	

Przyjęta blacha kołnierza przenosi zadane obciążenia .

UWAGI :

Ugięcie komina nie przekracza dopuszczalnego przez PN .

Naprężenia w badanym przekroju NR 1 są mniejsze od granicznych .

Naprężenia w badanym przekroju NR 2 są mniejsze od granicznych .

Śruby fundamentowe przenoszą zadane obciążenia .

Przyjęta blacha podstawy przenosi zadane obciążenia .

Śruby przenoszą zadane obciążenia .

Przyjęta blacha kołnierza przenosi zadane obciążenia .