

Prof. dr inż. JÓZEF LEDWOŃ, Mgr inż. MARIAN BELA

Katedra Budowli Przemysłowych

FUNDAMENTY PIERŚCIENIOWE, KOŁOWE I WIELOKĄTNE
OBCIĄŻONE PIONOWO - SYMETRYCZNIE

W niektórych typach budowli jak np. chłodniach wieżowych, zbiornikach na gaz, niektórych typach masztów lub innych specjalnych konstrukcjach przemysłowych projektuje się fundamenty o rzucie pierścieniowym - kołowym lub wielokątnym.

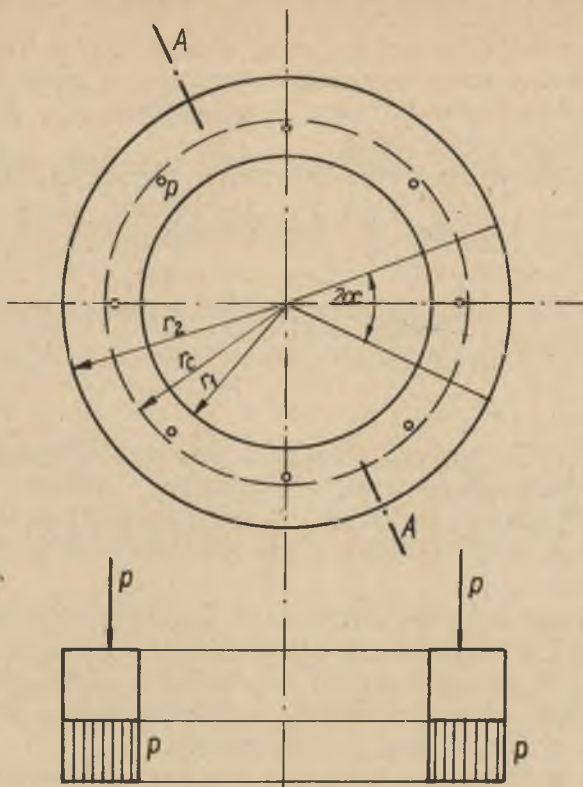
Cechą charakterystyczną tych fundamentów jest ich znaczna sztywność na zginanie i skręcanie, na skutek dość dużych wymiarów poprzecznych pierścieni. Obciążenie jest rozmieszczone wzdłuż obwodu, najczęściej w postaci sił skupionych w jednakowych odstępach.

Z uwagi na opisany powyżej rodzaj konstrukcji, dopuszczalne jest przyjęcie oddziaływań gruntu jako równomiernie rozłożonych, tak w kierunku promieniowym jak i w kierunku obwodowym.

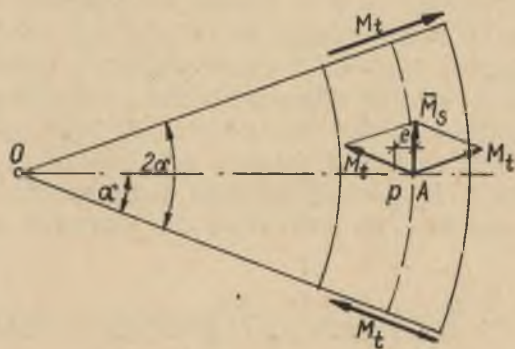
Celem opracowania jest takie rozwiązanie ustroju, przy którym zostanie zapewniony najbardziej racjonalny rozkład zginających momentów obwodowych i występowanie możliwie małych momentów skręcających. Uzyskuje się to, poprzez mimośrodkowe rozmieszczenie sił obciążających w stosunku do środka geometrycznego pierścienia, przy założeniu, że ilość sił obciążających fundament jest wielkością stałą, narzuconą konstrukcją budowli nadziemnej.

1. Fundament pierścieniowy kołowy

Rozpatruje się pierścień kołowy obciążony od góry siłami skupionymi P rozmieszczonymi po obwodzie oraz od dołu równoważnym, równomiernie rozłożonym obciążeniem od poru gruntu (rys. 1).



Rys. 1



Rys. 2

W połowie odległości między siłami P (przekrój A-A), siły poprzeczne oraz momenty skręcające będą równe 0. Wystąpi jedynie obwodowy moment zginający M_t , który w przekroju tym osiąga maksimum.

Rozpatrując wycinek pierścienia (rys. 2) oraz mając na uwadze, że w przekroju przechodzącym przez P moment skręcający jest równy 0, możemy - korzystając z warunków równowagi momentów oraz warunków geometrycznych - obliczyć wielkość obwodowego momentu zginającego M_t oraz M_A .

$$M_t = p (r_2^2 - r_1^2) \left[r_c \left(1 - \frac{\alpha}{\sin \alpha} \right) + e \frac{\alpha}{\sin \alpha} \right] \quad (1)$$

$$M_A = \frac{1}{2} p (r_2^2 - r_1^2) \left[r_c (1 - \cos \alpha + \alpha \cdot \operatorname{ctg} \alpha) - e \cdot \alpha \operatorname{ctg} \alpha \right] \quad (2)$$

Zakładając, że najbardziej racjonalna konstrukcja fundamentu będzie wtedy, gdy momenty zginające przęsłowe będą równe podporowym, czyli gdy $(M_A) = (M_t)$ otrzymamy poszukiwaną wielkość mimośrod e_0 .

$$e_0 = r_c \left[1 - \frac{\sin 2\alpha}{\alpha(1 + \cos \alpha)} \right] \quad (3)$$

Podstawiając

$$r_p = r_c - e_0 \quad (4)$$

oraz

$$r_c = \frac{2}{3} \frac{\sin \alpha}{\alpha} \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2} \quad (5)$$

otrzymamy po przekształceniach

$$r_p = \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{2 \sin 2\alpha \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{3\alpha^2} \quad (6)$$

oraz maksymalny moment zginający

$$M_t^0 = p (r_2^3 - r_1^3) \frac{\sin \alpha \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}{3\alpha} \quad (7)$$

Moment skręcający M_s w dowolnym przekroju wycinka policzymy za pomocą wzoru:

$$\bar{M}_s = M_t \cdot \sin \varphi - \frac{1}{2} p (r_2^2 - r_1^2) \left[r_c (\sin \varphi - \varphi) + e_o \cdot \varphi \right] \quad (8)$$

Przez przyrównanie $\frac{\alpha M_s}{\alpha \varphi} = 0$ otrzymamy kąt φ dla którego występuje maksimum M_s . Rozwiązując równanie trygonometryczne otrzymamy

$$\cos \varphi = \frac{\sin \alpha}{\alpha} \quad (9)$$

Skąd obliczymy φ oraz maksimum M_s .

Podstawiając wartości na α otrzymamy związki podane w tabelicy 1.

Tablica 1

Ilość sił obciążających n	Odległ. kątowa między siłami 2α		$r_p \cdot \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_2^3 - r_1^3}$	$M_t^0 \cdot \frac{100}{p(r_2^3 - r_1^3)}$	$M_s^0 \cdot \frac{100}{p(r_2^3 - r_1^3)}$
	w rad.	w stopn			
1	2	3	4	5	6
4	$\frac{\pi}{2}$	90°	0,44766	5,1490	0,7409
6	$\frac{\pi}{3}$	60°	0,56425	2,2855	0,2663
8	$\frac{\pi}{4}$	45°	0,60805	1,2850	0,11857
10	$\frac{\pi}{5}$	36°	0,62882	0,8225	0,06288

cd. tablicy 1

1	2	3	4	5	6
12	$\frac{\pi}{6}$	30°	0,64030	0,5712	0,03482
16	$\frac{\pi}{8}$	$22^\circ 30'$	0,65080	$\frac{2}{12 \cdot 100}$	0,02043
20 i wię- cej	$\frac{\pi}{10}$ i mniej	18° i mniej	$\frac{2}{3}$	$\frac{\alpha^2}{12 \cdot 100}$	$\frac{\alpha^3}{24 \cdot 100}$

gdzie:

 r_p - promień usytuowania sił obciążających, r_2, r_1 - promień zewnętrzny i wewnętrzny pierścienia,

$$p = \frac{n \cdot p}{\pi (r_2^2 - r_1^2)}$$

 M_t^0 - ekstremalny obwodowy moment zginający przy warunku $(M_t^0) = (M_A^0)$, M_s^0 - ekstremalny moment skręcający.

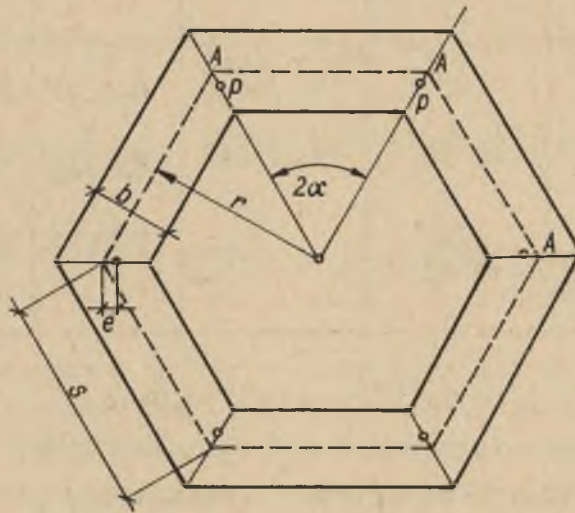
2. Fundament pierścieniowy - wielokątny

Rozpatruje się fundament pierścieniowy - wielokątny, obciążony siłami skupionymi P w narożach (rys. 3).

Korzystając z podobnych założeń jak w punkcie 1 oraz warunków geometrycznych, można wyprowadzić wzory na momenty zginające M_t i M_A

$$M_t = \frac{1}{8} b s^2 p + \frac{1}{12} b^3 p \cdot \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{1}{2} b \cdot s \cdot e \cdot p \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \quad (10)$$

$$M_A = \frac{1}{12} b^3 p \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{1}{2} b \cdot s \cdot e \cdot p \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \quad (11)$$



Rys. 3

Zakładając, że najbardziej racjonalna konstrukcja fundamentu będzie wtedy, gdy zginające momenty przęsłowe będą równe połowie wielkości momentu podporowego otrzymamy poszukiwaną wielkość mimośrodów e_0 .

$$e_0 = \frac{s}{6} \left[\sin \alpha - \left(\frac{b}{s}\right)^2 \operatorname{tg} \alpha \right] \quad (12)$$

podstawiając

$$e_0 = s \cdot \xi_0 \quad \text{i}$$

$$s = 2r \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad \text{otrzymamy}$$

$$\xi_0 = \frac{1}{24} \left[4 \sin \alpha - \left(\frac{b}{r}\right)^2 \operatorname{ctg} \alpha \right] \quad (13)$$

oraz wartości bezwzględne momentów zginających ekstremalnych

$$M_t^0 = \frac{1}{24} p \cdot b \cdot s^2 \quad (14)$$

$$M_A^0 = \frac{1}{12} p \cdot b \cdot s^2 \quad (15)$$

Podstawiając wartości na α otrzymamy:

1° dla 4 sił obciążających (kwadrat)

$$\xi_0 = 0,11785 - \left(\frac{b}{r}\right)^2 0,0416 \quad (16)$$

2° dla 6 sił obciążających (sześciobok)

$$\xi_0 = 0,083 - \left(\frac{b}{r}\right)^2 0,07216 \quad (17)$$

3° dla 8 sił obciążających (ośmiobok)

$$\xi_0 = 0,06378 - \left(\frac{b}{r}\right)^2 0,10059 \quad (18)$$

Dla ułatwienia obliczeń zestawiono wartości ξ_0 w tablicy 2 w zależności od stosunku $\frac{b}{r}$.

Tablica 2

$\frac{b}{r}$	Kwadrat		Sześciobok		Ośmiobok	
	ξ_0	$\Delta\xi_0$	ξ_0	$\Delta\xi_0$	ξ_0	$\Delta\xi_0$
0,1	0,11743	0,00125	0,08261	0,00216	0,06277	0,00301
0,2	0,11618	0,00209	0,08045	0,00361	0,05975	0,00503

cd. tablicy 2

$\frac{b}{r}$	Kwadrat		Sześciobok		Ośmiobok	
	ξ_0	$\Delta\xi_0$	ξ_0	$\Delta\xi_0$	ξ_0	$\Delta\xi_0$
0,3	0,11409		0,07684		0,05472	
		0,00291		0,00505		0,00704
0,4	0,11118		0,07179		0,04768	
		0,00375		0,00550		0,00905
0,5	0,10743		0,06529		0,03863	
		0,00458		0,00793		0,01107
0,6	0,10285		0,05736		0,02756	
		0,00542		0,00938		0,01307
0,7	0,09743		0,04798		0,01449	
		0,00625		0,01083		0,01509
0,8	0,09118		0,03715		-0,00060	
		0,00708		0,01227		-0,01710
0,9	0,08410		0,02488		-0,01770	
		0,00792		0,01371		-0,01912
1,0	0,07618		0,01117		-0,03682	

Ekstremalne momenty zginające policzymy według wzorów (14) i (15).

LITERATURA

- [1] Ledwoń J.: Obliczanie fundamentu pierścieniowego obciążonego symetrycznie" Inżynieria i Budownictwo Nr 6 Rok 1959.
- [2] Schwarz R.: "Über die wirtschaftliche Ausbildung und die Berechnung polygonaler, ringförmiger Turmfundamente", Der Bauingenieur - Zeitschrift 20, Rok 1930.