Ramy eliptyczne*).

Napisał Stefan Bryła.

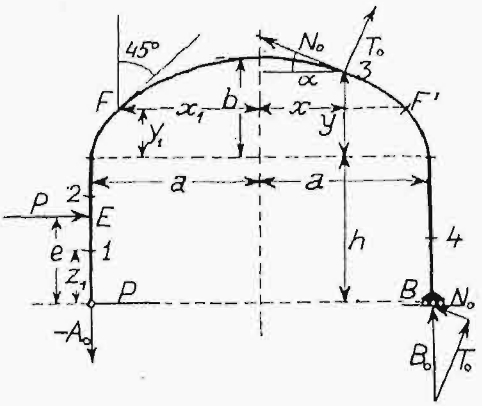
6. Skupiona siła pozioma działająca na słup (rys. 10).

Z równania momentów względem punktu A

$$Pe = B\,.\,2a$$

otrzymamy

$$B = -A = \frac{e}{2a}\,P.$$



Rys. 10.

Rozróżnić należy 4 części ramy, dla których wzory na N_0, T_0 i M_0 mają różną postać:

1) część AE: $N_{01} = A$, $T_{01} = P$, $M_{01} = P\,.\,z_1$;

2) część EC: $N_{02} = A$, $T_{02} = 0$, $M_{02} = Pe$;

3) część CD: $N_{03} = A \sin\vartheta = -P\dfrac{e}{2a}\sin\vartheta$,

$T_{03} = A\cos\vartheta = -P\dfrac{e}{2a}\cos\vartheta$, $M_{03} = B\,(a - x)$;

4) część BD: $N_{04} = B$, $T_{04} = 0$, $M_{04} = 0$.

Z uwagi na (10) jest $S = \int\limits_A^E M_{01} z_1\,dz_1 + \int\limits_E^C M_{02} z_2\,dz_2 =$

$$= \int\limits_0^e P\cdot z_1 z_1\,dz_1 + \int\limits_e^h Pe\,z_2\,dz_2 = Pe\left[\frac{1}{3}e^2 + \frac{h^2 - e^2}{2}\right].$$

Czyli $S = \dfrac{1}{2}\,Pe\left(h^2 - \dfrac{1}{3}e^2\right)$.

Według (11) jest

$$R = \int\limits_C^D M_{03}\,(h + y)\,ds = \varphi_1\,R'. \quad \ldots\ldots \quad (50)$$

Dla $x = -a$, t.j. dla punktu C, $M_{03} = B\,.\,2a$, zatem wyrażenie pod całką, o ile $h > 0$, nie dąży do zera w miarę zbliżania się do punktu C. Nie można więc dla części stromej CF ($\vartheta > 45^0$) przyjąć $ds = dx$. Jeżeli F' jest to punkt symetryczny do punktu F, to dla części FF' przyjmiemy $ds = dx$, zaś dla CF i dla DF' $ds = dy$. Błąd z tego powodu uwzględnimy przy pomocy spółczynnika zwiększającego φ_1.

Będzie tedy

$$R' = \int\limits_C^F M_{03}\,(h + y)\,dy + \int\limits_F^{F'} M_{03}\,(h + y)\,dx + \int\limits_D^{F'} M_{03}\,(h + y)\,dy.$$

Jeżeli M_{03} wyrazimy przez bezwzględną wartość odciętej, to dla części CF $M'_{03} = B\,(a + |x|)$, zaś dla części DF' $M''_{03} = B\,(a - |x|)$, czyli $M'_{03} + M''_{03} = 2\,Ba = Pe$. Zatem suma pierwszej i ostatniej całki przybierze postać

$$\int\limits_C^F M'_{03}\,(h + y)\,dy + \int\limits_D^{F'} M''_{03}\,(h + y)\,dy =$$

$$= \int\limits_0^{y_1} (M'_{03} + M''_{03})\,(h + y)\,dy = Pe\int\limits_0^{y_1}(h + y)\,dy =$$

$$= Pe\left(hy_1 + \frac{1}{2}\,y_1^2\right).$$

Zaś

$$\int\limits_F^{F'} M_{03}\,(h + y)\,dx = B\int\limits_{-x_1}^{+x_1}(a - x)\,(h + y)\,dx =$$

$$= Ba^2\int\limits_{-x_1:a}^{+x_1:a}(1 - x)\,(h + b\sqrt{1 - x^2})\,dx.$$

Ale

$$\int\limits_{-x_1:a}^{+x_1:a}(1 - x)\,dx = 2\,\frac{x_1}{a}.$$

Zaś

$$\int\limits_a^b \sqrt{1 - x^2}\,dx = \int\limits_\alpha^\beta \cos\varphi\,d\sin\varphi = \int\limits_\alpha^\beta \cos^2\varphi\,d\varphi =$$

$$= \frac{1}{2}\Big|_\alpha^\beta(\varphi + \sin\varphi\cos\varphi) = \frac{1}{2}\left[(\beta - \alpha) + b\sqrt{1 - b^2} - a\sqrt{1 - a^2}\right], \quad \ldots \quad (51)$$

przyczem $x = \sin\varphi$, $a = \sin\alpha$, $b = \sin\beta$.

Zatem

$$\int\limits_{-x_1:a}^{+x_1:a}\sqrt{1 - x^2}\,dx = X_1 + \frac{x_1}{a}\,\frac{y_1}{b} \quad \ldots \quad (51a);$$

jeżeli, por. (24),

$$\sin X_1 = \frac{x_1}{a} = \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha^2}} \quad \ldots \quad (52)$$

---

*) Ciąg dalszy do str. 223 w zesz. 11 z r. b.

Wreszcie

$$\int x\sqrt{1-x^2}\,dx = -\frac{1}{2}\int (1-x^2)^{\frac{1}{2}}\,d(1-x^2) = $$
$$= -\frac{1}{3}(1-x^2)^{\frac{3}{2}},$$

zatem

$$\int\limits_{-x_1:a}^{+x_1:a} x\sqrt{1-x^2}\,dx = 0.$$

Będzie tedy

$$\int\limits_{F}^{F'} M_{03}(h+y)\,dx = Ba^2\left[2\frac{x_1}{a}h + b\left(X_1 + \frac{x_1 y_1}{ab}\right)\right],$$

zaś

$$R' = eP\left[h(x_1+y_1) + \frac{1}{2}y_1(x_1+y_1) + \frac{1}{2}ab\,X_1\right].$$

Jeżeli x_1 i y_1 wyrazimy przez a i b według równań (19)

to

$$R' = (\beta h + \frac{1}{2}\gamma b)\,a\,e\,P \quad . \quad . \quad . \quad (53)$$

Tabela 1 podaje wartości β i γ dla $\alpha = \frac{b}{a}$ w granicach od 0 do 2, obliczone według równań (27).

Dla

$$a = b = r$$

czyli

$$\alpha = 1,$$

jest

$$X_1 = 0{,}785$$

$$R'_0 = eP\cdot r\left(h\sqrt{2} + r\,\frac{1{,}785}{2}\right) = e\,Pr\,(1{,}413\,h + 0{,}893),$$

$$M_{03} = \frac{eP}{2r}(r-x).$$

$$R_0 = \frac{eP}{2r}\int\limits_{C}^{D}(r-x)\,(h+y)\,ds =$$

$$= \frac{1}{2}ePr^2\int\limits_0^{\pi}(1-\cos\varphi)\left(\frac{h}{r}+\sin\varphi\right)d\varphi.$$

Ale

$$\int\limits_0^{\pi}\sin\varphi\,d\varphi = 2;\ \int\limits_0^{\pi}\sin\varphi\cos\varphi\,d\varphi = 0;\ \int\limits_0^{\pi}\cos\varphi\,d\varphi = 0,$$

zatem

$$R_0 = \frac{1}{2}ePr^2\left[\frac{h}{r}(\pi - 0) + (2-0)\right] = eP\cdot r^2\left(\frac{\pi}{2}\frac{h}{r}+1\right).$$

Dla $h = 0$,

$$\varepsilon = \frac{R_0 - R'_0}{R'_0} = \frac{1-0{,}893}{0{,}893} = \frac{0{,}107}{0{,}893} = 0{,}12;$$

dla $h = \infty$,

$$\varepsilon = \frac{R_0 - R'_0}{R'_0} = \frac{1{,}571 - 1{,}413}{1{,}413} = \frac{0{,}158}{1{,}413} = 0{,}1118.$$

Zatem ε jest bardzo mało zależne od h i możemy przyjąć średnio

$$\varepsilon_1 = 0{,}116,$$

zaś

$$\varphi_1 = 1 + 0{,}116\,\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (54)$$

Przykład 5. Rama jak wyżej.

$P = 1\,t$,
$e = 7\,m$,
$S = \frac{1}{2}\cdot 7\cdot\left(14^2 - \frac{7^2}{3}\right) = 628\,tm^3$,
$\beta = 1{,}202$,
$\gamma = 0{,}3033$,
$R' = 9\cdot 7\cdot 1\cdot(1{,}202\cdot 14 + \frac{1}{2}0{,}3033\cdot 6) = 1008{,}0\,tm^3$,
$\varphi_1 = 1 + 0{,}116\cdot 0{,}667 = 1{,}077$,
$R = 1{,}077\cdot 1008{,}0 = 1075{,}0\,tm^3$,
$H = \frac{R+S}{10890\,m^3} = \frac{1075+628}{10890} = 0{,}171\,t$,
$B = -A = \frac{7}{2\cdot 9}\cdot 1 = 0{,}388\,t$.

a) Wierzchołek ramy

$\vartheta = 0$,
$y' = 20\,m$,
$M_0 = B\cdot a = 0{,}388\cdot 9 = 3{,}49\,tm$,
$N_0 = 0$,
$T_0 = A = -0{,}388\,t$,
$M = 3{,}49 - 0{,}171\cdot 20 = 0{,}07\,tm$,
$N = -0{,}171\cdot 1 = -0{,}171\,t$,
$T = -0{,}388 - 0{,}171\cdot 0 = -0{,}388\,t$.

b) Wezgłowie od strony siły P.

$y' = 14\,m$,
$\vartheta = \frac{\pi}{2}$,
$M_0 = 1\cdot 7 = 7\,tm$,
$N_0 = A = -0{,}388\,t$,
$T_0 = 0$,
$M = 7{,}0 - 0{,}171\cdot 14 = 4{,}61\,tm$,
$N = -0{,}388 + 0 = -0{,}388\,t$,
$T = 0 - 0{,}171\cdot 1 = -0{,}171\,t$.

c) Wezgłowie przeciwne.

$\vartheta = -\frac{\pi}{2}$,
$M_0 = 0$,
$N_0 = B = 0{,}388$,
$T_0 = 0$,
$M = 0 - 0{,}171\cdot 14 = -2{,}39\,tm$,
$N = 0{,}388 + 0{,}171\cdot 0 = 0{,}388\,t$,
$T = 0 - 0{,}171\cdot(-1) = 0{,}171\,t$,

d) $x = -a/2$, $\sin\vartheta = 0{,}36$, $\cos\vartheta = 0{,}936$, $y' = 19{,}2$.

$M_0 = B\cdot\frac{3}{2}a = \frac{3}{2}3{,}49 = 5{,}26\,tm$,
$M = 5{,}26 - 0{,}171\cdot 19{,}2 = 1{,}98\,tm$,

$N_0 = -0{,}388 \,.\, 0{,}36 = -0{,}139\, t,$
$N = -0{,}139 + 0{,}171 \,.\, 0{,}936 = 0{,}021\, t,$
$T_0 = -0{,}388 \,.\, 0{,}936 = -0{,}363\, t,$
$T = -0{,}363 - 0{,}171 \,.\, 0{,}36 = 0{,}301\, t.$

e) $x = a : 2$, $\sin\vartheta = -0{,}36$, $\cos\vartheta = 0{,}936$, $y' = 19{,}2$.

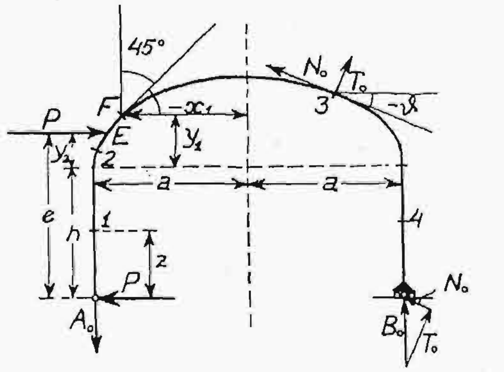
$M_0 = \frac{1}{2} Ba = \frac{1}{2} \,.\, 3{,}49 = 1{,}74\, tm,$
$M = 1{,}74 - 0{,}171 \,.\, 19{,}2 = -1{,}54\, tm,$
$N_0 = -0{,}388 \,.\, (-0{,}36) = 0{,}139,$
$N = 0{,}139 + 0{,}171 \,.\, 0{,}936 = 0{,}299\, t,$
$T_0 = -0{,}388 \,.\, 0{,}936 = -0{,}363,$
$T = -0{,}363 + 0{,}171 \,.\, 0{,}36 = -0{,}301\, t.$

7. Siła pozioma działająca na rozporę.

Oddziaływania pionowe

$$B = -A = \frac{e}{2a} P = \frac{h + y_2}{2a} P.$$

Znowu rozróżnić trzeba cztery części ramy:
1) AC, 2) CE, 3) ED, 4) DB.
Z rys. 11 wynika



Rys. 11.

$N_{01} = A$, $N_{04} = B$, $T_{01} = P$, $T_{04} = 0$,
$N_{03} = A \sin\vartheta$, $T_{03} = A \cos\vartheta$,

$$N_{02} = A \sin\vartheta - P \cos\vartheta = -P \left(\cos\vartheta + \frac{e}{2a} \sin\vartheta\right)$$

$$T_{02} = A \cos\vartheta + P \sin\vartheta = P \left(\sin\vartheta - \frac{e}{2a} \cos\vartheta\right).$$

Uważać należy na znak ujemny A i znak ujemny ϑ dla prawej połowy.

$M_{01} = Pz$, $M_{02} = P(h + y) + A(a + x)$,
$M_{03} = B(a - x)$, $M_{04} = 0$.

$$S = \int_0^h M_{01}\, z\, dz = P \int_0^h z^2\, dz = \frac{1}{3} h^3 P \quad . \quad . \quad (55)$$

$$R = \int_C^E M_{02} (h + y)\, ds + \int_E^D M_{03} (h + y)\, ds = \varphi_5 R'.$$

Niechaj punkt F z lewej, zaś F' z prawej strony odgraniczają część płaską od części stromych. Rozróżnić należy 2 przypadki: I. $y_2 < y_1$ i II. $y_2 > y_1$.

Przypadek I.

$$y_2 < y_1$$

t. j. siła P zaczepia w obrębie części stromej CF, rys. 11. Wtedy

$$R' = \int_C^E M_{02} (h + y)\, dy + \int_E^F M'_{03} (h + y)\, dy +$$
$$+ \int_F^{F'} M_{03} (h + y)\, dx + \int_{F'}^{E'} M''_{03} (h + y)\, dy +$$
$$+ \int_{E'}^{D} M''_{03} (h + y)\, dy.$$

Z powodu symetrji można ściągnąć w jedno całkę pierwszą i ostatnią:

$$I_1 = \int_0^{y_2} (M_{02} + M''_{03})(h + y)\, dy.$$

Tak samo całka druga i czwarta:

$$I_2 = \int_{y_2}^{y_1} (M'_{03} + M''_{03})(h + y)\, dy,$$

przyczem M'_{03} odpowiada lewej $(x < 0)$, zaś M''_{03} prawej części rozpory, dla której $x > 0$.

Jeżeli wprowadzimy absolutną wartość odciętej $|x|$, to

$$M'_{03} = B(a + |x|), \quad M''_{03} = B(a - |x|),$$

zaś

$$M_{02} = P(h + y) + A(a - |x|),$$

zatem

$$M_{02} + M''_{03} = P(h + y),$$

zaś

$$M'_{03} + M''_{03} = 2Ba = eP.$$

Więc

$$I_1 = P \int_0^{y_2} (h + y)^2\, dy = P \left[h^2 y_2 + h y_2^2 + \frac{1}{3} y_2^3\right],$$

zaś

$$I_2 = eP \int_{y_2}^{y_1} (h + y)\, dy = eP \left[h (y_1 - y_2) + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{2} (y_1^2 - y_2^2)\right].$$

Ponieważ

$$e = h + y_2,$$

przeto

$$I_1 + I_2 = P \left\{ h^2 y_1 + h \left[y_1 y_2 + \frac{1}{2} (y_1^2 - y_2^2)\right] + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{2} y_1 \left(y_1^2 - \frac{1}{3} y_2^2\right)\right\}.$$

Całkę zaś środkową obliczyliśmy powyżej

$$I_3 = \int_F^{F'} M_{03} (h + y)\, dx = B \int_{-x_1}^{+x_1} (a - x)(h + y)\, dx =$$
$$= Ba^2 \left\{ 2 \frac{x_1}{a} h + b \left(X_1 + \frac{x_1}{a} \frac{y_1}{b}\right)\right\} \quad . \quad . \quad (56)$$

Jeżeli w wyrażeniu $I_1 + I_2$ i w I_3 wstawimy za x_1, y_1 wartości z równania (19) i zważymy że

$$Ba^2 = \frac{a}{2}(h + y_2) = \frac{a}{2} e,$$

to po przekształceniu otrzymamy:

$$R' = (I_1 + I_2) + I_3 = \frac{P}{2}\Big[ae(2\beta h + \gamma b) - $$
$$- y_2^2\Big(h + \frac{1}{3} y_2\Big)\Big] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (57)$$

Dla

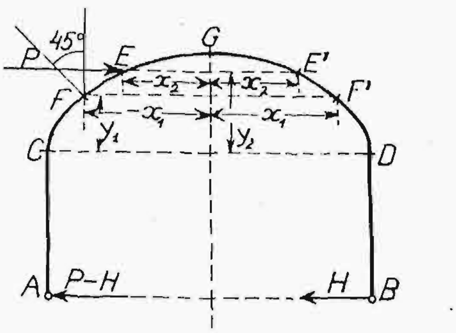
$$y_2 = 0 \qquad e = h$$

$$R' = Pae\Big(\beta h + \frac{1}{2}\gamma b\Big),$$

zgodnie z równaniem (53).

Spółczynniki β i γ, określone równaniami (27), podaje tabela 1.

Przypadek II (rys. 12): $y_2 > y_1$, t. j. siła P zaczepia o płaską część rozpory w obrębie FG.



Rys. 12.

Tutaj będzie znów:

$$R' = I_1 + I_2 + I_3,$$

przyczem

$$I_1 = \int_0^{y_1} (M'_{02} + M''_{03})(h + y)\, dy = P \int_0^{y_1} (h + y)^2\, dy =$$
$$= P\Big(h^2 y_1 + h y_1^2 + \frac{1}{3} y_1^3\Big).$$

$$I_2 = \int_F^E M_{02}(h + y)\, dx + \int_{F'}^{E'} M''_{03}(h + y)\, dx =$$
$$= P\int_{x_2}^{x_1} (h + y)^2\, dx = P\Big\{h^2(x_1 - x_2) +$$
$$+ 2h\int_{x_2}^{x_1} y\, dx + \int_{x_2}^{x_1} y^2\, dx\Big\}.$$

Analogicznie do (51) i (51a) otrzymamy

$$\int_{x_2}^{x_1} y\, dx = ab\int_{x_2 : a}^{x_1 : a} \sqrt{1 - x^2}\, dx = ab\Big(X_1 - X_2 +$$
$$+ \frac{x_1 y_1}{ab} - \frac{x_2 y_2}{ab}\Big),$$

zaś

$$\int_{x_2}^{x_1} y^2\, dx = ab^2 \int_{x_2 : a}^{x_1 : a} (1 - x^2)\, dx = ab^2\Big\{\frac{x_1}{a} - \frac{x_2}{a} -$$
$$- \frac{1}{3}\Big[\Big(\frac{x_1}{a}\Big)^3 - \Big(\frac{x_2}{a}\Big)^3\Big]\Big\} = \Big[b^2(x_1 - x_2) -$$
$$- \frac{1}{3}\frac{b^2}{a^2}(x_1^3 - x_2^3)\Big]P,$$

czyli

$$I_2 = \Big[(h^2 + b^2)(x_1 - x_2) - \frac{1}{3}\frac{b^2}{a^2}(x_1^3 - x_2^3) +$$
$$+ ab(X_1 - X_2) + x_1 y_1 - x_2 y_2\Big]P.$$

Wreszcie zastępując w I_3 (56) znaczek „$_1$“ przez „$_2$“ otrzymamy

$$I_3 = \int_E^{E'} M_{03}(h + y)\, dx = \int_{-x_2}^{+x_2} (a - x)(h + y)\, dx =$$
$$= Ba^2\Big[2\frac{x_2}{a} h + b\Big(X_2 + \frac{x_2 y_2}{ab}\Big)\Big].$$

Oddzielając wyrazy, zawierające x_2, y_2, X_2, od reszty, otrzymamy

$$f_2 = \frac{1}{2}\Big[h x_2 y_2 - \frac{1}{3} x_2 (4b^2 - y_2^2) - ab X_2 (h - y_2)\Big]P.$$

Łatwo można się przekonać, że

$$I_1 + I_2 + I_3 - f_2 = R' - f_2 = K'P$$

(por. równ. 26 i 27 i tab. 1).

Zatem

$$R' = f_2 + K'P \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (58)$$

Symbol X_2 określony jest równaniem

$$\sin X_2 = \frac{x_2}{a} = \sqrt{1 - \Big(\frac{y_2}{b}\Big)^2}.$$

Tab. 6 podaje X_2 dla $\frac{x_2}{a}$ od 0 do 1.

Dla

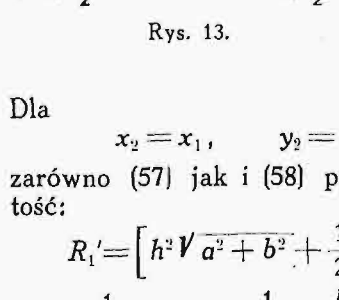
$$y_2 = b, \quad x_2 = 0, \quad X_2 = 0, \quad f_2 = 0, \quad R' = K'P.$$

Z uwagi na (55) i (13) jest

$$H = \frac{1}{2} P,$$

jeżeli $R' = K'$, czyli $\delta = 0{,}113\,\alpha$.

Wynika to zresztą z symetrji (rys. 13).



Rys. 13.

TABELA. 6.

$\frac{x_2}{a}$	X_2
0	0
0,1	0,100
2	0,201
3	0,304
4	0,410
5	0,5245
6	0,645
7	0,775
8	0,925
9	1,117
1,0	1,571

Dla

$$x_2 = x_1, \qquad y_2 = y_1, \qquad X_2 = X_1$$

zarówno (57) jak i (58) przyjmują tę samą wartość:

$$R_1' = \Big[h^2\sqrt{a^2 + b^2} + \frac{1}{2} h b^2 \frac{3a^2 + 2b^2}{a^2 + b^2} +$$
$$+ \frac{1}{2} e a b X_1 + \frac{1}{6}\frac{b^4}{\sqrt{a^2 + b^2}}\frac{3a^2 + 2b^2}{a^2 + b^2}\Big]P.$$

Dla

$$a = b = r \qquad X_1 = \frac{\pi}{4},$$

$$R'_0 = Pr\left[\sqrt{2}\,h^2 + rh\left(\frac{5}{4} + \frac{1}{2}\frac{\pi}{4}\right) + r^2\left(\frac{1}{2\sqrt{2}}\frac{\pi}{4} + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \frac{1}{6}\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{5}{2}\right)\right] = Pr\,(1{,}413\,h^2 + 1{,}643\,hr + 0{,}572\,r^2).$$

Sposobem dokładnym znajdziemy

$$y_1 = y_2 = \frac{r}{\sqrt{2}},$$

$$R_0 = I_1 + I_3,$$

przyczem

$$I_1 = P \cdot \int_0^{y_1} (h + y)^2\, ds = Pr \int_0^{\frac{\pi}{4}} (h + r \sin \vartheta)^2\, d\vartheta =$$

$$= Pr\left[\frac{\pi}{4} h^2 + 2hr \int_0^{\frac{\pi}{4}} \sin\vartheta\, d\vartheta + r^2 \int_0^{\frac{\pi}{4}} \sin^2\vartheta\, d\vartheta\right].$$

Ale

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \sin\vartheta\, d\vartheta = \cos 0 - \cos\frac{\pi}{4} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} =$$

$$= 1 - 0{,}707 = 0{,}293,$$

zaś

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \sin^2\vartheta\, d\vartheta = \frac{1}{2}\left|\frac{\pi}{4} - \sin\frac{\pi}{4}\cos\frac{\pi}{4}\right| =$$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{2} - \frac{1}{2}\right) = 0{,}1427.$$

Zatem

$$I_1 = Pr\left[\frac{\pi}{4} h^2 + 2hr \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) + 0{,}1427\, r^2\right].$$

$$I_3 = B \int_{-x_1}^{+x_1} (r - x)(h + y)\, ds =$$

$$= \frac{Per}{2} \int_{+\frac{\pi}{4}}^{+\frac{3\pi}{4}} (1 - \cos\vartheta)(h + r\sin\vartheta)\, d\vartheta.$$

Ale

$$\int_{+\frac{\pi}{4}}^{\frac{3\pi}{4}} \cos\vartheta\, d\vartheta = \sin\frac{3\pi}{4} - \sin\left(+\frac{\pi}{4}\right) = 0.$$

$$\int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{3\pi}{4}} \sin\vartheta\, d\vartheta = \cos\frac{\pi}{4} - \cos\frac{3\pi}{4} = 2\cos\frac{\pi}{4} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}.$$

$$\int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{3\pi}{4}} \sin\vartheta\cos\vartheta\, d\vartheta = \frac{1}{4}\int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{3\pi}{4}} \sin(2\vartheta)\, d(2\vartheta) =$$

$$= \frac{1}{4}\left[\cos\frac{\pi}{2} - \cos\frac{3\pi}{2}\right] = 0.$$

Zatem

$$I_3 = \frac{Per}{2}\left[h\frac{\pi}{2} + r\sqrt{2}\right] =$$

$$= \frac{Pr}{2}\left[h^2\frac{\pi}{2} + hr\left(\frac{\pi}{2\sqrt{2}} + \sqrt{2}\right) + r^2\right].$$

Zaś

$$R_0 = Pr\left[h^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4}\right) + hr\left(2 - \frac{2}{\sqrt{2}} + \frac{\pi}{4\sqrt{2}} + \frac{\sqrt{2}}{2}\right) + \right.$$

$$\left. + r^2\left(0{,}1427 + \frac{1}{2}\right)\right] = Pr\,(1{,}571\,h^2 +$$

$$+ 1{,}841\,hr + 0{,}6427\,r^2).$$

Poszczególne wyrazy pod nawiasem wyrażenia R_0 są oczywiście większe od odpowiednich wyrazów wyrażenia R_0'. I tak spółczynnik przy h^2 jest większy o 11,18%, przy hr o 12,02%, przy r^2 zaś o 12,4%, średnio o 11,8%, czyli $\delta = 0{,}118$.

Dla $y_2 = 0$ $\delta = 0{,}116$, zaś dla $y_2 = b$ $\delta = 0{,}113$. Przyjmiemy średnio $\delta = 0{,}116$ i będzie

$$\varphi_5 = 1 + 0{,}116\,\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (59).$$

Przykład 6. Rama jak wyżej

$$P = 1\,t.$$

$$x_2 = -0{,}4\,a = -0{,}4 \cdot 9 = 3{,}6\,m,$$

$$y_2 = b\sqrt{1 - \left(\frac{x_2}{a}\right)^2} = 6{,}0\sqrt{1 - \left(\frac{3{,}6}{9}\right)^2} = 5{,}51\,m$$

$$\operatorname{tg}\vartheta_2 = -\frac{b^2}{a^2}\frac{x_2}{y_2} = \frac{6^2}{9^2}\cdot\frac{3{,}6}{5{,}51} = 0{,}290 < 1.$$

Zatem

$$y_2 > y_1$$

$$x_2 : a = 3{,}6 : 9 = 0{,}4$$

Wedł. tab. 6:

$$X_2 = 0{,}410,$$

$$f_2 = \frac{1}{2}\left[14 \cdot 3{,}6 \cdot 5{,}51 - \frac{1}{3}\,3{,}6\,(4 \cdot 6^2 - 5{,}51^2) - \right.$$

$$\left. 9{,}6 \cdot 0{,}410 \cdot (14 - 5{,}51)\right] = \frac{1}{2}\,(278 - 136{,}6 -$$

$$- 187{,}8) = \qquad -23{,}2.$$

Wedł. przykładu 1

$$K' = 4215\,m^3, \qquad K'P = 4215{,}0$$

Wedł. (58) $\qquad R' = 4191{,}8$

Wedł. (59)

$$\varphi_5 = 1 + 0{,}116 \cdot 0{,}667 = 1{,}077$$

$$R = 1{,}077 \cdot 4191{,}8 = 4520{,}0.$$

Wedł. (55)

$$S = \frac{1}{3}\,14^3 \cdot 1 = 918{,}0$$

$$5438{,}0$$

Wedł. (13) i przykł. 1.

$$H = \frac{5438{,}0}{10890} = 0{,}50\,t.$$

Jeżeli na rozporę działa siła ukośna P (rys. 2), to możemy ją rozłożyć na składowe pionowe i poziome i wpływ obu składowych traktować oddzielnie (superpozycja).

(d. n.).