

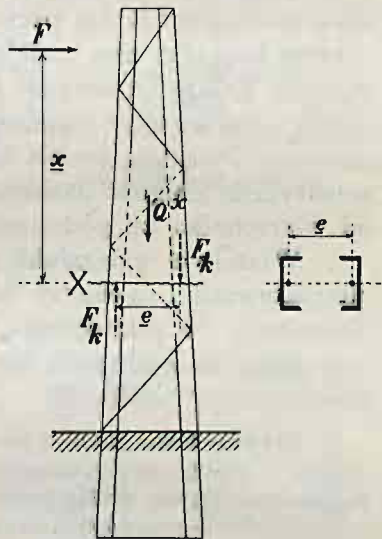
§ 9. Słup kratowy z dwóch korytek.

Najprostszy słup kratowy buduje się z dwóch korytek, zwróconych ku sobie wnątkami, przez powiązanie ich w jedną całość zapomocą ukośników z płaskownika (rys. 32). Siła pozioma F zgina słup, a wskutek tego w belce lewej występują naprężenia rozciągania, a w belce prawej ściskania. Im bliżej poziomu ziemi, tem większy występuje moment zginania i większe panują naprężenia. Wysiłki, panujące w belkach krawędziowych, moglibyśmy obliczyć wykreślić tak, jak w § 8, jednak w przykładzie niniejszym zastosujemy sposób rachunkowy.

W dowolnym przekroju X panuje moment zginania

$$M^x = F \cdot x.$$

Moment ten zastępujemy momentem pary umyślonych sił F_k , rozstawionych na odstęp e



Rys. 32.

$$\boxed{F \cdot x = F_k \cdot e}, \quad (35)$$

przyczem e jest odległością między środkami ciężkości przekroju korytek (rys. 32).

Pozatem belki korytkowe znoszą jeszcze siły pionowe, które w przekroju X wynoszą Q^x kg. Na każdą belkę przypada zatem połowa tych sił — $\frac{1}{2} Q^x$. Sumując siły algebraicznie, znajdujemy, że belka lewa jest rozciągana wysiłkiem

$$F_k - \frac{1}{2} Q^x,$$

a belka prawa jest ściśkana wysiłkiem

$$F_h + \frac{1}{2} Q^X.$$

Co się tyczy ukośników, to ze względów praktycznych wszystkie ukośniki budujemy z jednakowego przekroju. Ścisłe obliczanie wysiłków, działających w ukośnikach, jest zbyt ciężkie. Wystarczy, gdy obliczymy ukośnik najdłuższy na umyślony wysiłek ze wzoru (30)

$$\frac{F + S}{\sin \alpha}.$$

Przy projektowaniu słupa kratowego musimy przedewszystkiem wyznaczyć: 1) rozstęp korytek u wierzchołka, 2) rozstęp korytek u podstawy i 3) kąt pochylenia ukośników. Im większy dajemy rozstęp korytek, tem mniejsze wypadają profile korytek, ale zato większe profile ukośników ze względu na większą długość wybożenia. Im większy wyznaczamy kąt pochylenia ukośników, tem mniejsze wypadają profile korytek i ukośników, ale zato większa sumaryczna długość ukośników. Przyrost szerokości słupa, licząc od wierzchołka ku podstawie, ma także wpływ na wymiary belek.

Właściwie należałoby obliczać każdy słup kratowy w kilku alternatywach i wybierać taki ustrój, przy którym słup wypada najłżejszy. W podręczniku niniejszym będziemy wyznaczali kontury słupa na podstawie danych, zaczerpniętych z praktyki, a zestawionych w tablicy III.

Przykład 13. Linja jednotorowa prądu trójfazowego o napięciu 6000 V, złożona z trzech linek miedzianych po 50 mm², przechodzi przez staw. Na wyspie (rys. 33), na środku stawu ma być postawiony słup przelotowy z dwóch ek. Rozpiętości 200-metrowe.

Wyznaczenie wysokości. Zwis przy + 40° C wynosi 640 cm, przy sady 660 cm. Odstęp między przewodami wg wzoru empirycznego (f_u — zwis przy upale w cm, E — napięcie w kV):

$$7,5 \cdot \sqrt{f_u} + \frac{E^2}{200} = 7,5 \cdot \sqrt{640} + \frac{6^2}{200} = 190 \text{ cm.}$$

Jeden z izolatorów umieścimy na wierzchołku słupa, a dwa pozostałe na poprzeczniku, który umocowany będzie w odstępnie

$$190 \cdot \sin 60^\circ = 165 \text{ cm}$$

od wierzchołka słupa.

Od zwierciadła wody do najniższego punktu przewodu zostawiamy odstęp 600 cm. Do najwyższego punktu wsporczege od zwierciadła wody wypadnie

$$600 + 660 + 165 = 1425 \text{ cm,}$$

a od poziomu gruntu

$$1425 - 245 = 1180 \text{ cm.}$$

Średnia wysokość zawieszenia przewodów nad poziomem gruntu

$$h_0 = \frac{1180 + 2 \cdot (1180 - 165)}{3} = 1070 \text{ cm,}$$

a wysokość nadziemnej części słupa (licząc 20 cm od główki izolatora do wierzchołka słupa)

$$h_W = 1180 - 20 = 1160 \text{ cm.}$$

Wyznaczenie konturów. Główna siła, działająca na słup, — to parcie wiatru na przewody

$$P = 3 \cdot 9 \cdot 0,001 \cdot 200 \cdot 0,5 \cdot 125 = 340 \text{ kg.}$$

Wg tablicy III dla słupa o wysokości 1200 cm

| | | |
|------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| przy obciążeniu 200 kg | $u^W = 13 \text{ cm}$ | $\Delta = 0,023 \text{ cm/cm}$ |
| „ „ 600 „ | $u^W = 14 \text{ „}$ | $\Delta = 0,034 \text{ „}$ |

Dla naszego słupa wyznaczamy

$$u^W = 13 \text{ cm; } \Delta = 0,03 \text{ cm/cm; } u^Z = 13 + 0,03 \cdot 1160 = 48 \text{ cm.}$$

Wyznaczenie profilów.

Przypadek b). Wiatr w kierunku linii (rys. 6—b).

Parcie wiatru na izolatory, trzony i poprzecznik (obrysie izolatora 150 cm², poprzecznik z korytka Nr. 10) $I = 30 \text{ kg}$.

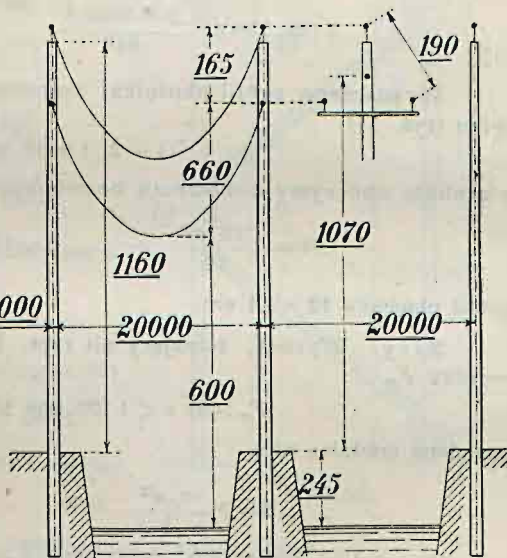
Parcie wiatru na słup, gdyby ścianki były pełne, wynosiłoby

$$\frac{13 + 48}{2} \cdot 1160 \cdot 0,0001 \cdot 125 = 442 \text{ kg,}$$

a że ścianki są ażurowe wyniesie przypuścimy 60% tej wartości $S_1 = 265 \text{ kg}$.

Belki krawędziowe. Moment zginania słupa dla przekroju przyziemnego

$$M_Z = 30 \cdot 1070 + 265 \cdot 580 = 185800 \text{ kg/cm.}$$



Rys. 33.

Obliczymy zgruba pożądaný moment wytrzymałości, pomijając zupełnie siły pionowe

$$pZ > \frac{MZ}{2 \cdot W_x}; \quad 1500 > \frac{185800}{2 \cdot W_x}; \quad W_x > 62 \text{ cm}^3.$$

Moment wytrzymałości profilu Nr. 12 (tabl. V) wynosi $364:6 = 60,6 \text{ cm}^3$, a Nr. 14... $605:7 = 86,4 \text{ cm}^3$. Wybieramy profil **Nr. 14**.

Przypadek a). Wiatr prostopadły do linii (rys. 6—a).

Parcie wiatru na słup (rys. 33, rys. 34)

$$S_1 = 14 \cdot 1160 \cdot 0,0001 \cdot 1,5 \cdot 125 = 305 \text{ kg}.$$

Ukośniki. Wyznaczamy kąt pochyłu dla wszystkich ukośników jednakowy

$$\alpha = 35^\circ$$

i obliczamy największą siłę w ukośniku wg wzoru (30)

$$F_u < \frac{340 + 305}{\sin 35^\circ} = 1120 \text{ kg}.$$

Rozpatrujemy ukośnik u samej podstawy słupa i obliczamy jego długość (rys. 35)

$$l_u = \frac{48 - 2 \cdot 0,7}{\sin 35^\circ} = 81 \text{ cm};$$

wyboczenie ukośnika

$$1120 \cdot 3 = \pi^2 \frac{2150000 J}{81^2} \quad J = 1,04 \text{ cm}^4.$$

Wyznaczamy profil ukośnika; szerokość dostosujemy do wnęki w korytku (rys. 34)

$$14 - 2 \cdot 1 = 12 \text{ cm},$$

a grubość obliczymy z momentu bezwładności

$$1,04 = \frac{12 \cdot c^3}{12} \quad c = 1,02 \text{ cm} \approx 1,1 \text{ cm};$$

profil ukośnika $12 \times 1,1 \text{ cm}$.

Nity. Wysiętek, ścinający nit (rys. 35), jest składnikiem pionowym wysiłku F_u

$$F_u \cdot \cos \alpha < 1120 \cdot \cos 35^\circ = 920 \text{ kg};$$

pożądana średnica nitu

$$920 > \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 1200 \quad d < 1 \text{ cm};$$

największa dopuszczalna średnica dla belki o szerokości 12 cm wynosi $d_{max} = 2,6 \text{ cm}$, a najmniejsza dopuszczalna średnica wogóle $d_{min} = 1,3 \text{ cm}$. Wyznaczamy nity o średnicy **1,3 cm**.

Sprawdzenie naprężeń.

Waga przewodów 270 kg, sadzi 480 kg, izolatorów, trzonów i poprzecz-
nika 30 kg, wreszcie waga nadziemnej części słupa (2320 cm korytka; 23 ukoś-
niki o sumarycznej długości 1360 cm)

$$23,2 \cdot 15,9 + 13,6 \cdot 10,3 = 510 \text{ kg};$$

siła pionowa wynosi w sumie

$$Q = 270 + 480 + 30 + 510 = 1290 \text{ kg}.$$

Przypadek a). Wiatr prostopa-
dły do linii (rys. 6-a).

$$P = 340 \text{ kg}; S_L = 305 \text{ kg}; Q = 1290 \text{ kg}.$$

Belki krawędziowe. Mo-
ment zginania w przekroju przy-
ziemnym

$$\begin{aligned} MZ &= 340 \cdot 1070 + 305 \cdot 580 = \\ &= 540700 \text{ kgcm}; \end{aligned}$$

odstęp między środkami ciężkości
obu profilów w przekroju przyziem-
nym (rys. 34)

$$eZ = 48 - 2 \cdot 1,75 = 44,5 \text{ cm};$$

para umyślonych wysiłków F_k

$$F_k = \frac{540700}{44,5} = 12150 \text{ kg};$$

wysiłki ściskające i rozciągające:

$$12150 + \frac{1290}{2} = 12795 \text{ kg},$$

$$12150 - \frac{1290}{2} = 11505 \text{ kg};$$

przekrój korytka bez uwzględnienia otworu
na nit

$$S_{brutto} = 20,4 \text{ cm}^2,$$

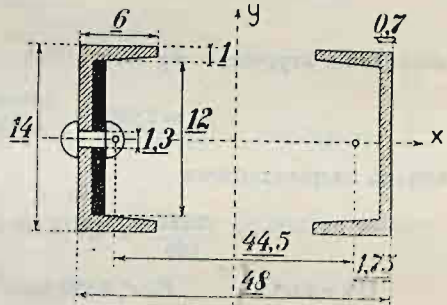
a przy uwzględnieniu tego otworu (rys. 34)

$$S_{netto} = 20,4 - 1,3 \cdot 0,7 = 19,49 \text{ cm}^2;$$

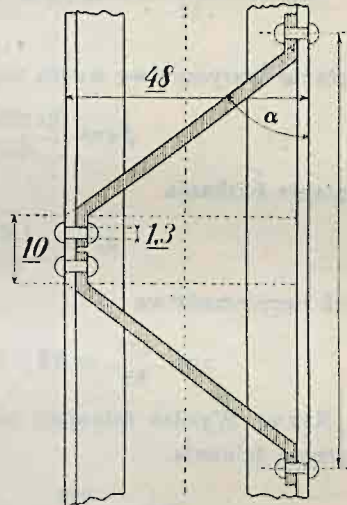
naprężenia w korytku ściskanem i rozcią-
ganem:

$$p_s^Z = \frac{12795}{20,4} = 625 \text{ kg/cm}^2 < 1500 \text{ kg/cm}^2,$$

$$p_r^Z = \frac{11505}{19,49} = 590 \text{ kg/cm}^2 < 1500 \text{ kg/cm}^2.$$



Rys. 34.



Rys. 35.

Sprawdzamy belkę na wyboczenie. Najwięcej narażony jest odcinek najdłuższy, a więc w dolnym przęśle. Aby można było przymocować ukośniki zapomocą nitów, muszą ukośniki przylegać do korytek na pewnym odcinku, którego długość (rys. 35) oszacujemy na 10 cm (mniej więcej 8-krotna średnica nitu). Długość wyboczenia liczymy od nitu do nitu

$$l = 2 \cdot 48 \cdot \text{ctg } 35^\circ + 10 = 147 \text{ cm.}$$

Korytko może się wybaczać w kierunku najmniejszego oporu, a więc

$$J_{\min} = J_y = 62,7 \text{ cm}^4; \quad \lambda = \frac{147}{\sqrt{62,7 : 20,4}} = 83,9 < 102;$$

naprężenie krytyczne wg wzoru (34)

$$p_w = 2000 + \frac{850000}{83,9^2} = 2121 \text{ kg/cm}^2;$$

stopień bezpieczeństwa

$$\sigma = \frac{2121}{625} = 3,4 > 2 \text{ (tabl. I; wyb. niesprężyste).}$$

Ukośniki. $F_u < 1120 \text{ kg}; \quad l_u = 81 \text{ cm.}$

Ukośnik może się wybaczać w kierunku najmniejszego oporu

$$J_{\min} = \frac{12 \cdot 1,1^3}{12} = 1,33 \text{ cm}^4; \quad \lambda = \frac{81}{\sqrt{1,33 : 13,2}} = 255 > 102;$$

naprężenie krytyczne wg wzoru (32)

$$p_w = \frac{21220000}{255^2} = 327 \text{ kg/cm}^2;$$

naprężenie ściskania

$$p_s = \frac{1120}{13,2} = 85 \text{ kg/cm}^2;$$

stopień bezpieczeństwa

$$\sigma = \frac{327}{85} = 3,8 > 3 \text{ (tabl. I; wyb. sprężyste).}$$

Nity. Wysilek ścinający nit, jak wyżej, — 920 kg;

naprężenie ścinania

$$p_t = \frac{920}{\frac{\pi \cdot 1,3^2}{4}} = 690 \text{ kg/cm}^2 < 1200 \text{ kg/cm}^2;$$

nacisk nitu na ściankę korytka

$$p_s = \frac{920}{1,3 \cdot 0,7} = 1000 \text{ kg/cm}^2 < 3000 \text{ kg/cm}^2.$$

Przypadek b). Wiatr w kierunku linii (rys. 6—b).

$$I = 30 \text{ kg}; \quad Q = 1\,290 \text{ kg};$$

parcie wiatru na belki korytkowe

$$2.6 \cdot 1\,160 \cdot 0,0001 \cdot 1,5 \cdot 125 = 261 \text{ kg},$$

a na ukośniki (ogólna długość 650 cm) około 9 kg; razem

$$S_{||} = 270 \text{ kg};$$

moment zginania w przekroju przyziemnym

$$MZ = 30 \cdot 1070 + 270 \cdot 580 = 188\,700 \text{ kg cm};$$

naprężenie sumaryczne

$$p_z = \frac{188\,700}{2.86,4} + \frac{1\,290}{2.20,4} = 1\,090 + 32 = 1\,122 \text{ kg/cm}^2 < 1500 \text{ kg/cm}^2.$$

Przypadek c). Wiry wiatrowe (rys. 6—c).

Ponieważ słup jest wyższy od 10 m, przeto liczymy go jeszcze na umyśloną siłę

$$\frac{1}{4} P = \frac{340}{4} = 85 \text{ kg};$$

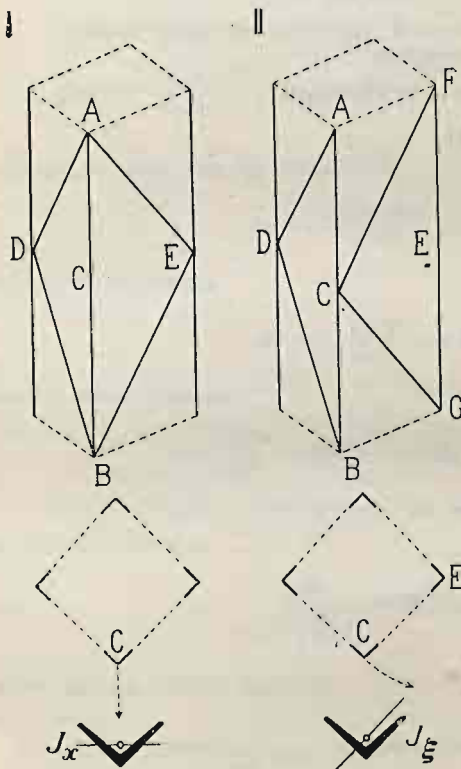
moment zginania w przekroju przyziemnym

$$MZ = 85 \cdot 1070 = 90\,950 \text{ kg cm}$$

wypada mniejszy, niż w przypadku b).

§ 10. Słup kratowy z czterech kątowników.

Solidniejsze słupy kratowe buduje się z czterech kątowników, zwróconych wewnątrz do środka słupa, a powiązanych na wszystkich czterech ściankach ukośnikami z płaskownika lub kątownika. Słup ma kształt obeliska o przekroju kwadratowym lub prostokątnym. Belki krawędziowe mogą mieć na całej wysokości przekrój jednostajny, a mogą też być wykonane u góry z profili lżejszych, u dołu — z cięższych.



Rys. 36.

Układ ukośników. Ukośniki mogą być rozmieszczone w sposób dwojaki: jak na rys. 36— I, albo, jak na rys. — II. Jeżeli będziemy rozpatrywali wszystkie cztery ukośniki, założone wokoło słupa na tej samej wysokości, to w pierwszym przypadku ukośniki te będą pochylone naprzemian to w tę, to w inną stronę, natomiast w drugim przypadku — wszystkie będą pochylone w tę samą stronę.

Długość wybożenia belki krawędziowej będzie w jednym i drugim przypadku ta sama — AB , jednak w sposobie wybożenia będzie poważna różnica. W przypadku pierwszym (rys. 36— I) belka AB jest niczem nieskrępowana i będzie się wybaczać w kie-

runku przekątnej (p. przekrój słupa, punkt C), a w drugim przypadku (rys. 36 — II) belka AB , trzymana ukośnikami w środkowym punkcie C , będzie się mogła wybaczać tylko w płaszczyźnie ścianki (p. przekrój słupa, punkt C zatacza łuk o promieniu EC).

W pierwszym przypadku belka krawędziowa musi być obliczona na najmniejszy moment bezwładności J_x (p. rys.), natomiast w drugim przypadku może być liczona na moment względem osi, równoległej do ścianki, J_ξ (p. rys.).

Ponieważ pierwszy układ ukośników wymaga od belek krawędziowych większego profilu, przeto należy go uważać za układ błędny. Na rozwiniętej zewnętrznej powierzchni słupa ukośniki w układzie poprawnym powinny być w każdym przęśle pochylone w tę samą stronę.

Co się tyczy samych ukośników, to przy wybaczeniu są one niczem nieskrępowane i powinny być zawsze liczone na najmniejszy moment bezwładności.

Obciążenie skośne. Gdy na słup czterożebrowy działa siła pozioma F skośnie (rys. 20), to rozkładamy ją na siły: F_x (wzdłuż osi x), F_y (wzdłuż osi y), obliczamy słup osobno na składową podłużną i osobno na składową poprzeczną, a znalezione naprężenia dodajemy arytmetycznie (patrz § 5).

Zasadniczo należy unikać obciążeń skośnych, gdyż wytrzymałość słupa jest w tym przypadku mniejsza. Np. słup o przekroju kwadratowym, ustawiony pod kątem 45° , może znieść tylko 70% naciągu, dopuszczalnego dla słupa w położeniu normalnem.

Słupy narożne należy ustawiać tak, aby ścianki były równoległe (wzgl. prostopadłe) do wypadkowego naciągu.

Natomiast ukośniki w słupach czterożebrowych, obciążonych skośnie, oblicza się tylko na jeden ze składników; ukośniki na ściankach (rys. 20): da , cb oblicza się tylko na siłę F_x , a ukośniki na ściankach: cd , ba — tylko na siłę F_y .

Przykład 14. Linja ta sama, co w przykładzie 13-ym. Na brzegu stawu ma być postawiony słup (rys. 33) między rozpiętością 40 m, a 200 m.

Obliczenie naciągu. Słup, stojący między nierównymi rozpiętościami, znosi zmienne obciążenie, zależnie od warunków atmosferycznych. W naszym przykładzie naprężenia są następujące:

| Warunki atmosferyczne | Napężenie w kg/mm^2 po stronie | | Różnica napreżeń |
|-----------------------|--|---------------------|-------------------|
| | $a = 40 \text{ m}$ | $a = 200 \text{ m}$ | |
| $t = -30^\circ$ | $p = 19$ | $p = 8,8$ | $\leftarrow 10,2$ |
| -10° | 14,8 | 8,2 | $\leftarrow 6,6$ |
| -5° bez sadzi | 13,8 | 8 | $\leftarrow 5,8$ |
| -5° z sadzią | 15,7 | 19 | 3,3 \rightarrow |
| 0° | 12,7 | 7,9 | $\leftarrow 4,8$ |
| $+30^\circ$ | 7,3 | 7,2 | $\leftarrow 0,1$ |
| $+40^\circ$ | 5,8 | 7 | 1,2 \rightarrow |

Z powyższego zestawienia widać, że słup jest ciągniony przeważnie w stronę mniejszej rozpiętości, a podczas najobfitszej sadzi i podczas najwyższej temperatury — w stronę większej rozpiętości. Największy naciąg słup znosi przy najostrejszym mrozie; naciąg ten wynosi

$$3 \cdot 50 \cdot 10,2 = 1530 \text{ kg.}$$

Gdyby słup miał być odporowym, należałoby go obliczyć na

$$\frac{2}{3} N = \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 50 \cdot 19 = 1900 \text{ kg.}$$

Różnica jest tak niewielka, że postanawiamy słup obliczyć na 1900 kg i uważać go za odporowy.

Wyznaczenie konturów. W kierunku linii słup ma znosić naciąg 1900 kg. Wg tablicy III dla słupa o wysokości 1200 cm przy obciążeniu 2000 kg

$$u^W = 25 \text{ cm} \quad \Delta = 0,039 \text{ cm/cm.}$$

Dla naszego słupa wyznaczamy

$$u^W = 24 \text{ cm}; \quad \Delta = 0,039 \text{ cm/cm}; \quad u^Z = 24 + 0,039 \cdot 1160 = 69 \text{ cm.}$$

Właściwie moglibyśmy te same wymiary dać również w kierunku prostopadłym do linii i otrzymalibyśmy słup o przekroju kwadratowym. W przykładzie niniejszym jednak obliczymy słup o przekroju prostokątnym.

W kierunku prostopadłym do linii słup ma znosić parcie na przewody

$$P = 3 \cdot 9 \cdot 0,001 \cdot \frac{1}{2} (40 + 200) \cdot 0,5 \cdot 125 = 204 \text{ kg}$$

i parcie na słup (p. str. 73) 400 kg. Obie siły, przełożone do wierzchołka dadzą w sumie 388 kg.

Wg tablicy III dla słupa o wysokości 1200 cm przy obciążeniu 400 kg

$$v^W = 15 \text{ cm} \quad \Delta = 0,03 \text{ cm/cm.}$$

Dla naszego słupa wyznaczamy

$$v^W = 15 \text{ cm}; \quad \Delta = 0,03 \text{ cm/cm}; \quad v^Z = 15 + 0,03 \cdot 1160 = 50 \text{ cm.}$$

Dla zaoszczędzenia materiału projektujemy słup dwupiętrowy (rys. 37): 1) górne piętro WA o wysokości 500 cm i 2) dolne piętro AZ o wysokości 660 cm. Wymiary słupa na granicy obu pięter w przekroju A

$$u^A = 43,5 \text{ cm}; \quad v^A = 30 \text{ cm.}$$

Wyznaczenie profili.

Przyпускаjąc, że parcie wiatru na kratownicę wynosi 60% parcia na powierzchnię pełną. Parcie na cały słup

$$S_{\perp} \approx \frac{24 + 69}{2} \cdot 1160 \cdot 0,0001 \cdot 0,6 \cdot 125 = 400 \text{ kg,}$$

a na samą górną część słupa

$$S'_{\perp} \approx \frac{24 + 43,5}{2} \cdot 500 \cdot 0,0001 \cdot 0,6 \cdot 125 = 130 \text{ kg.}$$

Przypadek b). Słup jako odporowy. Wiatr prostopadły do linii (rys. 7).

Belki krawędziowe w piętrze dolnym.

$$\frac{2}{3} N = 1900 \text{ kg; } S_{\perp} \approx 400 \text{ kg;}$$

pomijamy siły pionowe i zgruba obliczamy siły, działające w kątownikach krawędziowych w przekroju przyziemnym

$$F_k \approx \frac{1900 \cdot 1070}{2 \cdot 69} + \frac{400 \cdot 580}{2 \cdot 50} = 14700 + 2320 = 17020 \text{ kg;}$$

ukośniki dajemy z pochyłością $\alpha = 35^\circ$; największa długość wyboczenia belki krawędziowej (odcinek przyziemny) wyniesie w przybliżeniu

$$l \approx 2 \cdot 69 \cdot \text{ctg } 35^\circ + 10 = 207 \text{ cm;}$$

ukośniki—wg układu poprawnego (rys. 36—II), a więc belki krawędziowe liczymy na moment bezwładności J_{ξ}

$$17020 \cdot 3 = \pi^2 \frac{2 \cdot 150000 \cdot J_{\xi}}{207^2}; \quad J_{\xi} = 104 \text{ cm}^4;$$

mamy do wyboru (tabl. IV) profile:

$$9 \times 9 \times 0,9 \dots J_{\xi} = 116 \text{ cm}^4; \quad 9 \times 9 \times 1,1 \dots J_{\xi} = 138 \text{ cm}^4;$$

dla pewności wybieramy

$$9 \times 9 \times 1,1.$$

Belki krawędziowe w piętrze górnym.

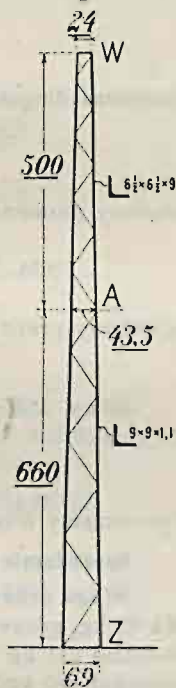
$$\frac{2}{3} N = 1900 \text{ kg; } S_{\perp} \approx 130 \text{ kg;}$$

$$F'_k \approx \frac{1900 \cdot 410}{2 \cdot 43,5} + \frac{130 \cdot 250}{2 \cdot 30} = 8950 + 540 = 9490 \text{ kg;}$$

$$l \approx 2 \cdot 43,5 \cdot \text{ctg } 35^\circ + 10 = 134 \text{ cm; } 9490 \cdot 3 = \pi^2 \frac{2 \cdot 150000 \cdot J_{\xi}}{134^2}; \quad J_{\xi} = 24 \text{ cm}^4;$$

dla pewności wybieramy profil o momencie $J_{\xi} = 41,3 \text{ cm}^4$

$$6 \frac{1}{2} \times 6 \frac{1}{2} \times 0,9.$$



Rys. 37.

Ukośniki. Dla uproszczenia dajemy wszystkie ukośniki zarówno na górnem, jak dolnem piętrze, tak na ściankach równoległych do linii, jak i prostopadłych, z jednakowego profilu. Najbardziej obciążone są ukośniki na ściance równoległej do linii; największy wysiłek

$$F_u < \frac{\frac{1}{2} \cdot 1900}{\sin 35^\circ} = 1655 \text{ kg};$$

największa długość wyboczenia ukośnika przyziemnego, licząc zgruba

$$l_u \approx \frac{69}{\sin 35^\circ} = 120 \text{ cm};$$

pożądany moment bezwładności

$$1655 \cdot 3 \approx \pi^2 \frac{2 \cdot 150 \cdot 000 \cdot J_{min}}{120^2}; \quad J_{min} \approx 3,37 \text{ cm}^4;$$

wybieramy profil o momencie $J_{min} = 3,25 \text{ cm}^4$

$$4,5 \times 4,5 \times 0,5.$$

Nity obliczamy na ścinanie

$$1655 \approx \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 1200; \quad d = 1,33 \text{ cm}.$$

Wyznaczamy nity o średnicy **1,6 cm**.

Sprawdzenie naprężeń.

Waga przewodów 165 kg, sadzi 290 kg, izolatorów, trzonów i poprzecz- nika 60 kg, górnej części słupa (rys. 37; 2000 cm belki krawędziowej i 1800 cm ukośnika) 235 kg i dolnej części słupa (2640 cm belki krawędziowej i 2660 cm ukośnika) 480 kg;

$$Q = 165 + 290 + 60 + 235 + 480 = 1230 \text{ kg}; \quad Q' = 165 + 290 + 60 + 235 = 750 \text{ kg}$$

Parcie wiatru (prostopadłe do linii) na górną część belek krawędziowych wynosi

$$2 \cdot 6,5 \cdot 500 \cdot 0,0001 \cdot 1,5 \cdot 125 = 122 \text{ kg},$$

a na część dolną —

$$2 \cdot 9 \cdot 660 \cdot 0,0001 \cdot 1,5 \cdot 125 = 223 \text{ kg};$$

parcie zaś na 8 ukośników górnego piętra (rys. 37; średnia długość wysta- wiona na parcie = 36 cm) —

$$8 \cdot 36 \cdot 4,5 \cdot 0,0001 \cdot 1,5 \cdot 125 = 25 \text{ kg},$$

a na 7 ukośników dolnego piętra (średnia długość 67 cm) —

$$7 \cdot 67 \cdot 4,5 \cdot 0,0001 \cdot 1,5 \cdot 125 = 40 \text{ kg};$$

a zatem parcie na słup wynosi w sumie na górną część

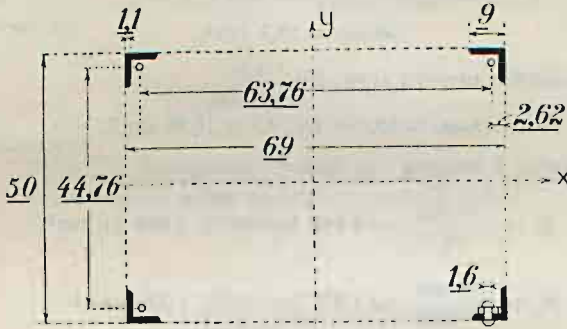
$$S'_1 = 122 + 25 = 147 \text{ kg},$$

a na dolną

$$S''_1 = 223 + 40 = 263 \text{ kg}.$$

Przypadek b). Słup jako odporowy; wiatr prostopadły do linii (rys. 7).
Belki krawędziowe w przekroju przyziemnym Z.

$$\frac{2}{3} N = 1900 \text{ kg}; \quad S_{\perp} = 147 + 263 = 410 \text{ kg}; \quad Q = 1230 \text{ kg}.$$



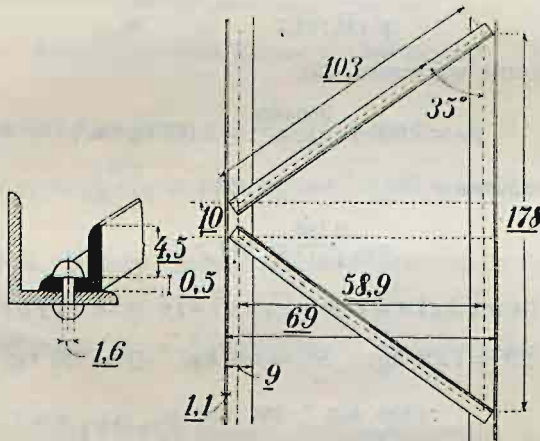
Rys. 38.

Obliczamy dla przekroju przyziemnego odstęp między środkami ciężkości obu profilów wzdłuż osi x i wzdłuż osi y (rys. 38):

$$e_x^Z = 69 - 2.2,62 = 63,76 \text{ cm}; \quad e_y^Z = 50 - 2.2,62 = 44,76 \text{ cm};$$

wysiłek F_k

$$F_k = \frac{1900 \cdot 1070}{2 \cdot 63,76} + \frac{410 \cdot 580}{2 \cdot 44,76} = 15\,944 + 2\,656 = 18\,600 \text{ kg};$$



Rys. 39.

wysiłek ściskania równa się sumie

$$18\,600 + \frac{1\,230}{4} = 18\,908 \text{ kg};$$

wysiłek rozciągania równa się różnicy

$$18\,600 - \frac{1\,230}{4} = 18\,293 \text{ kg};$$

przekrój belki bez uwzględnienia otworu na nit

$$S_{\text{brutto}} = 18,7 \text{ cm}^2,$$

a przy uwzględnieniu otworu (rys. 39)

$$S_{\text{netto}} = 18,7 - 1,6 \cdot 1,1 = 16,94 \text{ cm}^2;$$

naprężenia w belce ściskanej i w belce rozciąganej

$$p_s = \frac{18\,908}{18,7} = 1\,010 \text{ kg/cm}^2 < 1\,500 \text{ kg/cm}^2;$$

$$p_r = \frac{18\,293}{16,94} = 1\,075 \text{ kg/cm}^2 < 1\,500 \text{ kg/cm}^2;$$

odstęp między osiami nitów (rys. 39)

$$69 - 2 \cdot \left(1,1 + \frac{9 - 1,1}{2} \right) = 58,9 \text{ cm},$$

długość wyboczenia (rys. 39)

$$l = 2 \cdot 58,9 \text{ ctg } 35^\circ + 10 = 178 \text{ cm};$$

smukłość

$$\lambda = \frac{178}{\sqrt{138 : 18,7}} = 65,5 < 102;$$

naprężenie krytyczne wg wzoru (34)

$$p_w = 2\,000 + \frac{850\,000}{65,5^2} = 2\,198 \text{ kg/cm}^2;$$

stopień bezpieczeństwa

$$\sigma = \frac{2\,198}{1\,010} = 2,18 > 2.$$

Belki krawędziowe w przekroju międzypiętrowym A

$$\frac{2}{3} N = 1\,900 \text{ kg}; \quad S'_L = 147 \text{ kg}; \quad Q' = 750 \text{ kg};$$

$$F_k = \frac{1\,900 \cdot 410}{2 \cdot 39,64} + \frac{147 \cdot 250}{2 \cdot 26,14} = 10\,530 \text{ kg};$$

$$p_s = \frac{10\,530 + 188}{11} = 974 \text{ kg/cm}^2 < 1\,500 \text{ kg/cm}^2;$$

$$p_r = \frac{10\,530 - 188}{9,56} = 1\,081 \text{ kg/cm}^2 < 1\,500 \text{ kg/cm}^2;$$

$$l = 2 \cdot 36,1 \cdot \operatorname{ctg} 35^\circ + 10 = 103 \text{ cm}; \quad \lambda = \frac{103}{\sqrt{41,3:11}} = 53,2;$$

$$p_w = 2000 + \frac{850\,000}{53,2^2} = 2\,300 \text{ kg/cm}^2; \quad \sigma = \frac{2\,300}{974} = 2,35 > 2.$$

Ukośniki na ściankach równoległych do linii. Długość wybożenia (rys. 39)

$$l_u = \frac{58,9}{\sin 35^\circ} = 103 \text{ cm};$$

naprężenie ściskania

$$p_s = \frac{1\,655}{4,3} = 385 \text{ kg/cm}^2 < 1\,500 \text{ kg/cm}^2;$$

smukłość

$$\lambda = \frac{103}{\sqrt{3,25:4,3}} = 118,5 > 102;$$

naprężenie krytyczne

$$p_w = \frac{21\,220\,000}{118,5^2} = 1\,550 \text{ kg/cm}^2;$$

stopień bezpieczeństwa

$$\sigma = \frac{1\,550}{385} = 4 > 3.$$

Nity. Naprężenie ścinania

$$p_t = \frac{1\,655}{\frac{\pi \cdot 1,6^2}{4}} = 825 \text{ kg/cm}^2 < 1\,200 \text{ kg/cm}^2;$$

nacisk nitu na ściankę ukośnika

$$p_s = \frac{1\,655}{1,6 \cdot 0,5} = 2\,070 \text{ kg/cm}^2 < 3\,000 \text{ kg/cm}^2.$$

Przypadek a). Słup jako przelotowy; wiatr prostopadły do linii (rys. 6—a).
Belki krawędziowe w przekroju przyziemnym Z.

$$P = 204 \text{ kg}; \quad S_{\perp} = 410 \text{ kg}; \quad Q = 1\,230 \text{ kg}.$$

Wysiłek F_k

$$F_k = \frac{204 \cdot 1\,070}{2 \cdot 44,76} + \frac{410 \cdot 580}{2 \cdot 44,76} = 2\,440 + 2\,656 = 5\,096 \text{ kg} < 18\,600 \text{ kg},$$

a więc przypadek a) jest znacznie korzystniejszy dla słupa, niż przypadek b).

Ukośniki na ściankach prostopadłych do linii. Liczba ukośników na ściankach bocznych ma być taka sama, jak na frontowych.

Wobec tego kąt pochyłu α ukośników bocznych będzie inny i wyniesie u podstawy słupa

$$uZ - 10,1 = 58,9 \text{ cm (p. rys. 39);} \quad vZ - 10,1 = 39,9 \text{ cm;}$$

$$\alpha Z = \text{arctg} \left(\frac{39,9}{58,9} \text{tg } 35^\circ \right) = 25^\circ 30',$$

a u wierzchołka

$$uW - 7,4 = 16,6 \text{ cm;} \quad vW - 7,4 = 7,6 \text{ cm;}$$

$$\alpha W = \text{arctg} \left(\frac{7,6}{16,6} \text{tg } 35^\circ \right) = 18^\circ.$$

A zatem największy wysiłek w ukośniku

$$F_u < \frac{\frac{1}{2}(204 + 410)}{\sin 18^\circ} = 993 \text{ kg,}$$

a największa długość wybożenia

$$l_u = \frac{39,9}{\sin 25^\circ 30'} = 93 \text{ cm.}$$

Obliczamy ukośnik na wybożenie

$$p_a = \frac{993}{4,3} = 231 \text{ kg/cm}^2; \quad \lambda = \frac{93}{\sqrt{3,25 : 4,3}} = 107 > 102;$$

$$p_w = \frac{21 \cdot 220 \cdot 000}{107^2} = 1860 \text{ kg/cm}^2; \quad \sigma = \frac{1860}{231} = 8 > 3.$$

Przekroje jednocześnie zginane i ściskane. We wszystkich wymienionych wyżej wywodach i przykładach liczyliśmy, że słupy są zginane siłami poziomymi: F i S

$$MZ = F \cdot h^0 + S \cdot \frac{hW}{2},$$

a ściskane siłą pionową Q . Znalezione naprężenia zginania i ściskania sumowaliśmy (wzór 17)

$$pZ = \frac{MZ}{WZ} + \frac{Q}{SZ}.$$

Jeżeli jednak uwzględnimy, że w zgiętym słupie siła pionowa nie tylko ciśnie, lecz również potęguje zginanie, to moment zginania MZ wypadnie nam liczyć wg ściślejszego wzoru

$$MZ = \frac{1}{\omega} \left[F \cdot \text{tg} \left(\omega h^0 \right) + S \cdot \text{tg} \left(\omega \cdot \frac{hW}{2} \right) \right], \quad (\text{a})$$

przyczem

$$\omega = \sqrt{\frac{Q}{EJ}} \quad (\text{b})$$

Wróćmy do przykładu 3-go i obliczmy naprężenie przekroju Z w przypadku a).

$$F = P = 173 \text{ kg}; \quad S = 64 \text{ kg}; \quad Q = 555 \text{ kg}; \quad hO = 683 \text{ cm};$$

$$hW = 775 \text{ cm}; \quad WZ = 80 \text{ cm}^3; \quad sZ = 22,7 \text{ cm}^2.$$

Bieg obliczenia będzie następujący:

$$J = \frac{\pi(15^4 - 14^4)}{64} = 600 \text{ cm}^4; \quad \omega = \sqrt{\frac{555}{2 \cdot 250 \cdot 000 \cdot 600}} = 0,000 \text{ 641};$$

$$\omega \cdot hO = 0,000 \text{ 641} \cdot 683 = 0,4378 = 25^{\circ}5'; \quad \text{tg } 25^{\circ}5' = 0,468;$$

$$\omega \cdot \frac{hW}{2} = 0,000 \text{ 641} \cdot 387,5 = 0,2484 = 14^{\circ}14'; \quad \text{tg } 14^{\circ}14' = 0,254;$$

$$MZ = \frac{1}{0,000 \text{ 641}} (173 \cdot 0,468 + 64 \cdot 0,254) = 151 \text{ 670 kgcm};$$

$$\rho Z = \frac{151 \text{ 670}}{80} + \frac{555}{22,7} = 1896 + 25 = 1 \text{ 921 kg/cm}^2 < 2000 \text{ kg/cm}^2.$$

W przykładzie tym wartość naprężenia wzrosła w porównaniu z wartością poprzednią (1815 kg/cm^2) o 6%.

Uwzględnienie powyższej korekcji dla przykładów, podanych w niniejszej książce (przykl. 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14), powiększa znalezione poprzednio naprężenia sumaryczne średnio o 4%, a maximum o 10%.

§ 11. Ugięcie słupa.

Słup o jednostajnym momencie bezwładności. Słup WZ na rys. 13 jest obciążony: 1) siłą $F = F^O$ skupioną w punkcie O na wysokości h^O i 2) siłą S rozłożoną równomiernie na całej wysokości h^W . Ugięcie słupa o jednostajnym momencie bezwładności J przy takim obciążeniu wynosi u wierzchołka

$$y^W = \frac{1}{E \cdot J} \left\{ F^O \left[\frac{(h^O)^2 \cdot (h^W)}{2} - \frac{(h^O)^3}{6} \right] + \frac{1}{8} S (h^W)^3 \right\}. \quad (36)$$

Przykład 15. Słup kratowy przelotowy z przykładu 13-go, pozbawiony przewodów, ugina się w kierunku linii pod wpływem parcia wiatru na słup tudzież parcia wiatru na poprzecznik, trzony i izolatory. Obliczyć ugięcie wierzchołka.

$$S_{||} = 270 \text{ kg}; \quad I = 30 \text{ kg}; \quad h^W = 1160 \text{ cm}; \quad h^O = 1070 \text{ cm}.$$

Moment bezwładności przy zginaniu względem osi x ma wartość stałą na całej wysokości słupa (podwójny moment korytka Nr. 14)

$$J = 2 J_x = 2 \times 605 = 1210 \text{ cm}^4.$$

Ugięcie wierzchołka

$$y^W = \frac{1}{215000 \cdot 1210} \left\{ 30 \left[\frac{1070^2 \cdot 1160}{2} - \frac{1070^3}{6} \right] + \frac{270 \cdot 1160^3}{8} \right\} =$$

$$= 5,3 + 20,2 = \mathbf{25,5 \text{ cm}}, \text{ czyli } 2,2\% \text{ wysokości słupa.}$$

W razie, gdy siła F skupiona jest u wierzchołka W , to

$$h^O = h^W,$$

a wzór (36) przybiera uproszczoną formę

$$y^W = \frac{(h^W)^3}{E \cdot J} \left(\frac{FW}{3} + \frac{S}{8} \right). \quad (a)$$

Słup o zmiennym momencie bezwładności. Wszystkie słupy, z wyjątkiem dwukorytkowych, zginanych względem osi x (jak w przykładzie 15-ym), mają zmienny moment bezwładności:

najmniejszy u wierzchołka, największy u podstawy. Ugięcie słupa, zwężającego się ku wierzchołkowi, można obliczyć z pewnym przybliżeniem zapomocą wzoru empirycznego

$$\left[y^w \approx \frac{(h^w)^3}{E J^z} \left(\frac{3}{5} F^w + \frac{3}{8} S \right) \right], \quad (37)$$

w którym J^z oznacza moment bezwładności przekroju przyziemnego, a F^w — siłę skupioną u wierzchołka.

Przykład 16. Słup kratowy przelotowy z przykładu 13-go, pozbawiony przewodów, ugina się w kierunku prostym do linii pod wpływem parcia wiatru na słup. Obliczyć ugięcie wierzchołka.

$$F^w = 0; \quad S_1 = 305 \text{ kg}; \quad h^w = 1160 \text{ cm.}$$

Moment bezwładności przekroju przyziemnego (rys. 34)

$$J^z = 2 \cdot 62,7 + 2 \cdot 20,4 \cdot 22,25^2 = 20321 \text{ cm}^4;$$

ugięcie u wierzchołka

$$y^w \approx \frac{1160^3}{215000 \cdot 20321} \left(\frac{3}{8} \cdot 305 \right) = 4,1 \text{ cm.}$$

Przykład 17. Słup kratowy odporowy z przykładu 14-go, wobec pęknięcia przewodów z jednej strony, ugiął się w kierunku linii, przyczem siła jednostronnego naciągu osiągnęła w stanie ustalonym wartość $\frac{2}{3} N$. Obliczyć ugięcie wierzchołka.

$$\frac{2}{3} N = 1900 \text{ kg}; \quad S = 0; \quad h^w = 1160 \text{ cm}; \quad h^o = 1070 \text{ cm}$$

Silę naciągu przekładamy do wierzchołka wg wzoru (16)

$$F^w = 1900 \cdot \frac{1070^3}{1160^3} \left(1 + \frac{3 \cdot 90}{2 \cdot 1070} \right) = 1670 \text{ kg};$$

moment bezwładności przekroju przyziemnego (rys. 38)

$$J^z = 4 \cdot 138 + 4 \cdot 18,7 \cdot 31,88^2 = 76571 \text{ cm}^4;$$

ugięcie u wierzchołka

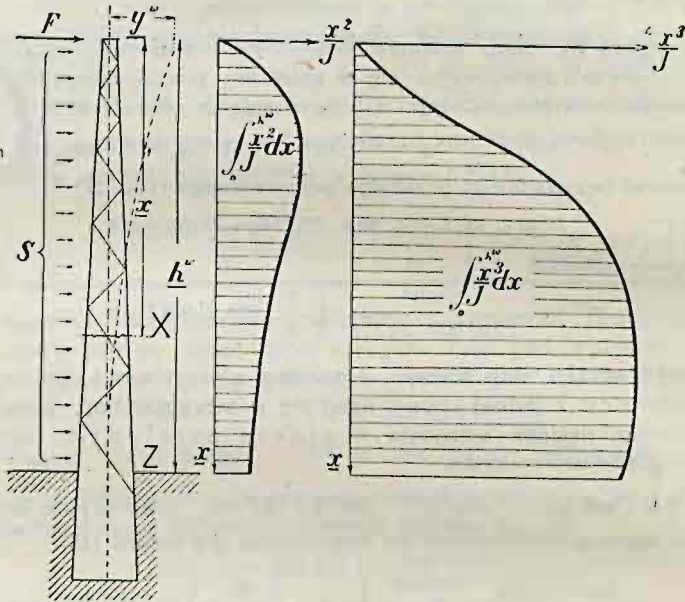
$$y^w \approx \frac{1160^3}{215000 \cdot 76571} \left(\frac{3}{5} \cdot 1670 \right) = 9,5 \text{ cm.}$$

Teoretyczny wzór, uwzględniający zmienność momentu bezwładności, jest następujący:

$$\left[y^w = \frac{1}{E} \left\{ F^w \cdot \int_0^{h^w} \frac{x^2}{J^x} dx + \frac{S}{2h^w} \int_0^{h^w} \frac{x^3}{J^x} dx \right\} \right], \quad (38)$$

przyczem x oznacza odległość od wierzchołka dowolnego przekroju słupa na poziomie X (rys. 40), a J^X — moment bezwładności tego przekroju.

Całki, występujące we wzorze, wypada rozwiązać wykreślnie (rys. 40) przez planimetrowanie, zapomocą wzoru Simpsona lub innego.



Rys. 40.

Przykład 18. Słup ten sam i te same warunki, co w przykładzie 17-ym.

$$FW = 1670 \text{ kg}; \quad S = 0; \quad h^w = 1160 \text{ cm}.$$

W przykładzie niniejszym nie występuje siła parcia wiatru S , a więc wypada rozwiązać tylko jedną całkę

$$\int_0^{h^w} \frac{x^2}{J^X} \cdot dx.$$

Wysokość słupa dzielimy na dowolną ilość (np. 10) równych sobie odcinków i przecinamy słup na środku każdego odcinka. Otrzymujemy 10 przekrojów, odległych od wierzchołka o

$$58 \text{ cm}, \quad 174 \text{ cm}, \quad 290 \text{ cm}, \quad \dots \dots \dots \quad 1102 \text{ cm}.$$

Są to rzędne x . Dla każdego przekroju obliczamy moment bezwładności; tak np. dla przekroju o rzędnej $x = 58$ cm

$$J^x = 4 \cdot 41,3 + 4 \cdot 11,0 \cdot \left[\frac{1}{2} (24 + 0,039 \cdot 58) - 1,93 \right]^2 = 5690 \text{ cm}^4 \text{ i t. d.}$$

Następnie obliczamy dla wszystkich dziesięciu przekrojów iloraz $\frac{x^2}{J^x}$; dla $x = 58$ cm

$$\frac{x^2}{J^x} = \frac{58^2}{5690} = 0,60 \text{ cm}^{-2} \text{ i t. d.}$$

Wyniki zestawiamy w postaci tablicy i obliczamy wartość całki:

$$\int_0^{h^W} \frac{x^2}{J^x} dx \approx \frac{1}{10} (0,60 + 3,70 + 7,65 + 11,45 + 9,35 + 11,2 + 12,9 + 14,4 + 15,7 + 17,0) = 12058 \text{ cm}^{-1}.$$

Ugięcie słupa u wierzchołka

$$y^W = \frac{1}{2 \cdot 150000} \cdot 1670 \cdot 12058 = 9,4 \text{ cm.}$$

wobec 9,5 cm, znalezionych w przykładzie poprzednim.

| x | J^x | $\frac{x^2}{J^x}$ |
|-------|-----------------------|-----------------------|
| 58 cm | 5 690 cm ⁴ | 0,60 cm ⁻² |
| 174 | 8 180 | 3,70 |
| 290 | 11 000 | 7,65 |
| 406 | 14 400 | 11,45 |
| 522 | 29 200 | 9,35 |
| 638 | 36 200 | 11,2 |
| 754 | 44 000 | 12,9 |
| 870 | 52 500 | 14,4 |
| 986 | 61 700 | 15,7 |
| 1102 | 71 600 | 17,0 |

Z ogólnego równania (38) możemy wyprowadzić poprzedni wzór (a) na ugięcie słupa o jednostajnym momencie bezwładności J ;

$$\int_0^{h^W} \frac{x^2}{J} dx = \frac{(h^W)^3}{3J}; \quad \int_0^{h^W} \frac{x^3}{J} dx = \frac{(h^W)^4}{4J}; \quad y^W = \frac{(h^W)^3}{EJ} \left(\frac{FW}{3} + \frac{S}{8} \right).$$

W przykładach od 15-go do 18-go słupy były bądź zupełnie pozbawione przewodów, bądź też były ciągnięte przewodami w jedną stronę, przyczem w zadaniu podany był naciąg, panujący w stanie ustalenia t. j. już po zgięciu się słupa. Strzałka ugięcia w tych warunkach jest poniekąd miarą wiotkości słupa i w zasadzie nie powinna przekraczać

$$2\%$$

wysokości słupa.

Obliczenie ugięcia słupa wraz z przewodami, gdy siły postronne zmagają się z naciągami przewodów, nastęrczałoby daleko więcej trudności. Również byłoby rzeczą zmusną obliczanie ugięcia w razie zerwania się przewodów. Należałoby bowiem uwzględ-

nić, że naciąg w stanie ustalenia (gdy słup się pochyli, a rozpiętość zmaleje) będzie mniejszy od naciągu, który powstaje w pierwszej chwili pęknięcia przewodów.

Wartości ugięcia, obliczone ze wzorów (36) i (38), należałoby w zasadzie skorygować na wyboczenie, dzieląc przez

$$1 - \frac{Q^0 \cdot (h^0)^2}{\pi^2 E J Z}. \quad (b)$$

Q^0 jest wagą przewodów, sadzi i poprzeczników z izolatorami.

A więc w przykładzie 15-ym otrzymalibyśmy

$$1 - \frac{780 \cdot 1070^2}{\pi^2 \cdot 2150000 \cdot 1210} = 0,965 \quad y^W = \frac{25,5}{0,965} = 26,4 \text{ cm},$$

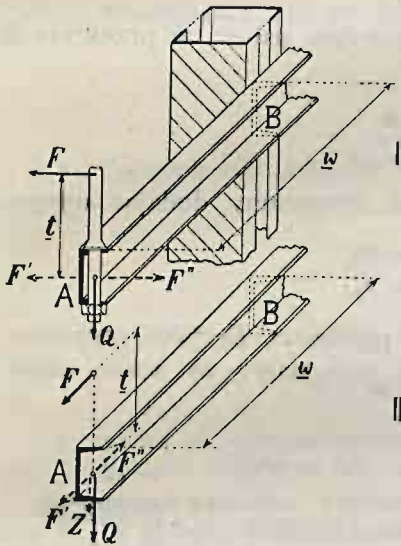
a w przykładzie 18-ym

$$1 - \frac{515 \cdot 1070^2}{\pi^2 \cdot 2150000 \cdot 76576} = 0,999 \quad y^W = \frac{9,4}{0,999} = 9,41 \text{ cm}.$$

Poprawka tak nieznaczna, że możemy jej nie uwzględniać

§ 12. Poprzeczniki.

Poprzecznik pojedynczy. Rys. 41 przedstawia widok perspektywny poprzecznika, zbudowanego z korytka, a przeznaczonego do dwóch izolatorów (na rys. widać tylko część poprzecznika). Na poprzeczniku interesują nas dwa przekroje:



Rys. 41.

przewodów, sadzi, izolatora i trzonu) w osi trzonu izolatorowego.

W obciążeniu poprzecznika nic się nie zmienia, jeżeli do trzonu izolatorowego na wysokości osi poprzecznika przyłożymy dwie siły o przeciwnych kierunkach F' i F'' (rys. 41 — I), równoległe do siły F i równe tej sile co do wartości

$$F' = F'' = F.$$

Dodane siły znoszą się wzajemnie.

Wyznaczymy siły, działające na poprzecznik: F , F' , F'' , Q ,

1) przekrój A w osi trzona izolatorowego i

2) przekrój B w miejscu przymocowania poprzecznika do słupa.

Odstęp w między temi przekrojami nazywa się **wysięgiem**. Wysokość zawieszenia przewodu względem osi poprzecznika oznaczamy literą t .

Siła pozioma wzdłuż linii. Na rys. 41 — I poprzecznik jest obciążony za pośrednictwem trzonu izolatorowego

1) poziomą siłą F na wysokości zawieszenia przewodów w kierunku linii i

2) pionową siłą Q (ciężkość

będziemy mogli obliczyć naprężenia: 1) od skręcania parą sił F, F'' , 2) od zginania siłą F' i 3) od zginania siłą Q .

1) *Skręcanie* parą sił F, F'' o ramieniu t ; naprężenie p_1 oblicza się wg wzoru

$$p_1 = \frac{F \cdot t}{\frac{2}{3} c^2 (h + 2 \cdot b_0)}, \quad (39)$$

w którym (rys. 42) c oznacza grubość ścianki środkowej w cm, h — wysokość korytka w cm, b_0 — głębokość wnęki w cm.

2) *Zginanie siłą poziomą F'* względem osi y (rys. 42); w przekroju B naprężenie zginania wynosi (rys. 41)

$$p_2 = \frac{F \cdot w}{W_y}$$

3) *Zginanie siłą ciężkości Q* względem osi x ; w przekroju B naprężenie wynosi

$$p_3 = \frac{Q \cdot w}{W_x}$$

Sumaryczne naprężenie zginania otrzymamy, dodając arytmetycznie naprężenia p_2, p_3

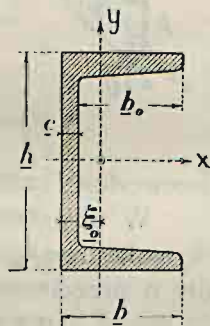
$$p_{2,3} = p_2 + p_3,$$

a całkowite naprężenie, panujące w przekroju B , jako wypadkowe z naprężeń skręcania i zginania, otrzymamy ze wzoru empirycznego

$$p = \frac{2}{3} p_{2,3} + \frac{1}{3} \sqrt{(p_{2,3})^2 + 4 p_1^2}. \quad (40)$$

Siła pozioma prostopadła do linii. Poprzecznik na rys. 41 — II jest obciążony również dwiema siłami: poziomą F i pionową Q , lecz siła pozioma jest tym razem prostopadła do linii. I znów przykładamy do trzonu izolatorowego na wysokości osi poprzecznika dwie siły o przeciwnych kierunkach F' i F'' , równoległe do siły F i równe tej sile co do wartości

$$F' = F'' = F.$$



Rys. 42.

Dodane siły znoszą się wzajemnie.

Wyznaczywszy siły działające na poprzecznik: F, F', F'', Q .

będziemy mogli obliczyć naprężenia: 1) od zginania parą sił F , F'' , od rozciągania siłą F' i 3) od zginania siłą Q .

1) *Zginanie parą sił F , F''* . Siły te starają się zgiąć poprzecznik w dół. Możemy sobie wystawić taką siłę pionową Z w osi trzonu izolatorowego, która będzie zginać poprzecznik z takim samym momentem

$$F \cdot t = Z \cdot w \quad (41)$$

i z takim samym skutkiem dla niebezpiecznego przekroju B ; naprężenie

$$p_1 = \frac{Z \cdot w}{W_x}.$$

2) *Rozciąganie siłą F'* daje naprężenie

$$p_2 = \frac{F}{s}.$$

3) *Zginanie siłą ciężkości Q* takie samo, jak poprzednio; naprężenie

$$p_3 = \frac{Q \cdot w}{W_x}.$$

Sumaryczne naprężenie w górnych włóknach przekroju B

$$p = p_1 + p_2 + p_3.$$

Przykład 19. Obliczyć poprzecznik na 2 izolatory do słupa przelotowego z przykładu 13-go (rys. 33).

Wyznaczenie wymiarów. Tytułem próby projektujemy poprzecznik z korytka Nr. 10. Odstęp między przewodami 190 cm, a więc długość poprzecznika może wynosić np. 200 cm. Wybieramy z tabl. VII—izolator H. 6, a z tablicy IX—trzon do tego izolatora Nr. 5, 6 lub 7. Wysokość f dla powyższych trzonów wynosi 14 cm, a więc odległość od punktu przyłożenia siły do osi poprzecznika z profilu Nr. 10

$$t = 14 + \frac{10}{2} = 19 \text{ cm.}$$

Oś poprzecznika wypada na wysokości (rys. 33)

$$600 + 660 - 245 - 19 = 996 \text{ cm}$$

od poziomu gruntu, czyli na odległości od wierzchołka słupa

$$1160 - 996 = 164 \text{ cm;}$$

szerokość słupa w miejscu przytwierdzenia poprzecznika wyniesie

$$13 + 0,03 \cdot 164 = 18 \text{ cm.}$$

Poprzecznik będzie przynitowany do obu korytek; rozstęp osi nitów będzie mniejszy od szerokości słupa i wyniesie

$$18 - 2 \left[0,7 + \frac{6 - 0,7}{2} \right] = 11,3 \text{ cm,}$$

a wysięg czyli odstęp od osi trzonu do osi nitów

$$w = \frac{190 - 11,3}{2} = 89,4 \text{ cm.}$$

Sprawdzenie naprężeń. Waga jednego przewodnika 90 kg, sadzi 160 kg, izolatora (tabl. VII) ≈ 1 kg, trzonu (tabl. IX; na 120 kg) 1 kg, razem

$$Q = 252 \text{ kg.}$$

Poza tem na poprzecznik działa jeszcze waga własna poprzecznika na długości $89,4 + 5 = 94,4$ cm

$$94,4 \cdot 0,105 = 10 \text{ kg.}$$

Przypadek a). Wiatr prostopadły do linii (rys. 6 — a). Parcie wiatru na jeden z trzech przewodów

$$P = \frac{1}{3} \cdot 340 = 113 \text{ kg.}$$

Kierunek tego parcia jest prostopadły do linii (rys. 41—II). Naprężenie w przekroju *B*: 1) od zginania siłą poziomą

$$p_1 = \frac{113 \cdot 19}{41,2} = 52 \text{ kg/cm}^2;$$

2) od rozciągania; przekrój *B* jest osłabiony przez założenie dwóch nitów o średnicy 2 cm

$$s_{\text{netto}} = 13,5 - 2 \cdot 2 \cdot 0,6 = 11,1 \text{ cm}^2; \quad p_2 = \frac{113}{11,1} = 10 \text{ kg/cm}^2$$

3) od zginania siłami ciężkości

$$p_3 = \frac{252 \cdot 89,4 + 10 \cdot \frac{94,4}{2}}{41,2} = 558 \text{ kg/cm}^2;$$

razem

$$p = 52 + 10 + 558 = 620 \text{ kg/cm}^2 < 1500 \text{ kg/cm}^2.$$

Przypadek b). Wiatr w kierunku linii (rys. 6 — b). Parcie wiatru na korytko o długości 94,4 cm, na izolator i trzon (150 cm²)

$$I = (94,4 \cdot 10 + 150 \cdot 0,5) \cdot 0,0001 \cdot 125 = 13 \text{ kg.}$$

Kierunek tego parcia jest równoległy do linii (rys. 41—I). Naprężenie w przekroju *B*: 1) od zginania siłą poziomą *I*

$$W_y = \frac{29,3}{5 - 1,55} = 8,5 \text{ cm}^3; \quad \rho_1 = \frac{13 \cdot \frac{94,4}{2}}{8,5} = 72 \text{ kg/cm}^2;$$

2) od zginania siłami ciężkości (jak wyżej)

$$\rho_2 = 558 \text{ kg/cm}^2;$$

razem

$$\rho = 72 + 558 = 630 \text{ kg/cm}^2 < 1500 \text{ kg/cm}^2.$$

Przypadek c). Wiry wiatrowe (rys. 6—c). Umyślona siła

$$\frac{1}{4} P = \frac{1}{4} \cdot 113 \approx 28 \text{ kg}$$

działa w kierunku linii (rys. 41—I). Naprężenie 1) od skręcania

$$\rho_1 = \frac{2}{9} \cdot \frac{28 \cdot 19}{0,6^2 \cdot (10 + 2 \cdot 4,4)} = 353 \text{ kg/cm}^2;$$

2) od zginania siłą poziomą

$$\rho_2 = \frac{28 \cdot 89,4}{8,5} = 295 \text{ kg/cm}^2;$$

3) od zginania siłami ciężkości (jak wyżej)

$$\rho_3 = 558 \text{ kg/cm}^2.$$

Naprężenie sumaryczne w przekroju *B*

$$\rho_{2,3} = 295 + 558 = 853 \text{ kg/cm}^2$$

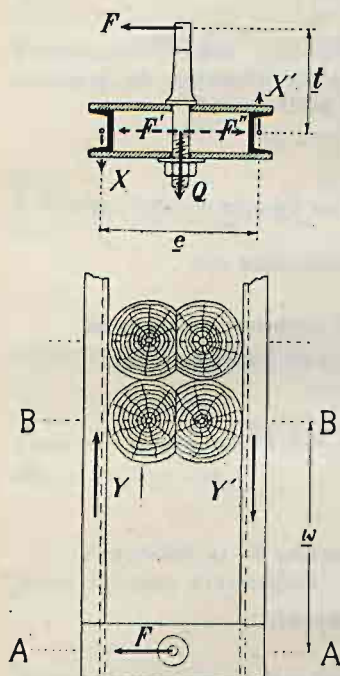
$$\rho = \frac{2}{3} 853 + \frac{2}{3} \sqrt{853^2 + 4 \cdot 353^2} = 1012 \text{ kg/cm}^2 < 1500 \text{ kg/cm}^2.$$

Poprzecznik z dwóch korytek równoległych.

Poprzeczniki do większych obciążeń buduje się z dwóch korytek, zakładając je z obu stron słupa (rys. 43). Izolatory umieszcza się na kładkach z płaskownika, przerzuconych z korytka na korytko, z góry i z dołu. Przebieg obliczenia poprzecznika dwukorytkowego jest w zasadzie taki sam, jak jednokorytkowego. Pewne różnice zachodzą tylko w tym przypadku, gdy siła pozioma jest równoległa do linii.

Siła pozioma wzdłuż linii. Rys. 43 przedstawia przekrój pionowy i rzut poziomy poprzecznika na dwa izolatory (na rys. część

poprzecznika z jednym izolatorem). Za pośrednictwem trzonu działają na poprzecznik dwie siły:



Rys 43.

- 1) pozioma siła F na wysokości t ponad osią poprzecznika i
- 2) pionowa siła Q .

Poprzecznik umocowany jest do wierzchołka podwójnego słupa A-owego (na rys. przekrój czterech drzew) zapomocą sworzni śrubowych (prosta $B-B$ jest osią sworzni). Odstęp osi trzonu izolatorowego (przekrój $A-A$) od osi sworzni jest wysięgiem poprzecznika w .

W obciążeniu poprzecznika nic się nie zmieni, jeżeli do trzonu izolatorowego na wysokości osi poprzecznika przyłożymy dwie siły, znoszące się wzajemnie: F' i F'' i równe sile F

$$F' = F'' = F.$$

Wyznaczywszy siły działające na poprzecznik: F , F' , F'' , Q , będziemy mogli obliczyć naprężenia: 1) od skręcania parą sił F F'' , 2) od zginania siłą F' i 3) od zginania siłą Q .

1) *Skręcanie parą sił F , F''* . Poziome te siły o ramieniu t starają się poprzecznik skrócić. Taki sam skutek osiąga para umyślonych sił pionowych X , X' , przyłożonych w środkach ciężkości profilów korytek w przekroju $A-A$ (rys. 43). Odstęp między środkami ciężkości— e . Momenty muszą być sobie równe

$$F \cdot t = X \cdot e. \quad (42)$$

Siła X zgina korytko lewe w dół, siła X' zgina korytko prawe w górę. Tak więc skręcanie zastąpiliśmy zginaniem korytek względem osi x ; naprężenie w przekroju $B-B$ wyniesie

$$\rho_1 = \frac{X \cdot w}{W_x}.$$

2) *Zginanie siłą poziomą F'* . Siła F' zgina poprzecznik, przyczem w korytku lewym występują naprężenia ściskania, w koryt-

ku prawem — rozciągania. Możemy sobie wystawić parę umyślonych sił poziomych Y, Y' (działających na poprzeczniki wzdłuż ich osi, a przyłożonych w przekroju $B-B$), które będą działać tak, jak zginanie pod wpływem siły F' . Odstęp między środkami ciężkości profilów — e . Momenty muszą być sobie równe

$$F \cdot w = Y \cdot e. \quad (43)$$

Zginanie siłą poziomą zastąpiliśmy ścisaniem jednego korytka, a rozciąganiem drugiego; naprężenie w przekroju $B-B$ wyniesie

$$p_2 = \frac{Y}{s}.$$

3) *Zginanie siłą ciężkości Q względem osi x*

$$p_3 = \frac{Q \cdot w}{2 \cdot W_x}.$$

W korytku prawem siły X' i Q mają kierunki przeciwne a więc naprężenia p_1 i p_3 częściowo się znoszą, natomiast w korytku lewym siły X i Q mają ten sam kierunek; największe naprężenie wynosi zatem

$$p = p_1 + p_2 + p_3.$$

Przykład 20. Obliczyć górny poprzecznik w postaci dwóch korytek równoległych, na dwa izolatory dla słupa krańcowego z przykładu 10-go.

Wyznaczenie wymiarów. Mamy do czynienia z podwójnym słupem A-owym. U wierzchołka średnica każdego drzewa ma wynosić, jak to obliczyliśmy w przykl. 10-ym, — 15 cm. Oś górnego poprzecznika znajduje się w odstępnie za ledwie 27 cm od wierzchołka. Szerokość słupa A-owego na tej wysokości będzie mniejsza od podwójnej grubości drzewa (oba drzewa są ściosane rys. 43) i wyniesie około 25 cm. Odległość między dwoma sworzniami śrubowemi, łączącemi poprzecznik ze słupem, będzie się równać grubości jednego drzewa, a więc około 15 cm.

Rozstępn przewodów o przekroju 16 mm^2 przy rozpiętości 80 m (zwis przy $+40^\circ$ wypada 170 cm) dla napięcia 3000 woltów wypada (p. przykl. 13)

$$7,5 \cdot \sqrt{170} + \frac{32}{200} = 100 \text{ cm.}$$

Długość poprzecznika, licząc na krańce po 5 cm

$$100 + 2 \cdot 5 = 110 \text{ cm.}$$

Tytułem próby projektujemy profil korytka Nr. 8. Odległość między środkami ciężkości obu profilów (rys. 43)

$$e = 25 + 2 \cdot 1,45 = 27,9 \text{ cm,}$$

a wysięg

$$w = \frac{100 - 15}{2} = 42,5 \text{ cm.}$$

Całkowity naciąg jednego przewodu

$$N = 16 \cdot 19 = 304 \text{ kg.}$$

Wybieramy z tabl. VII izolator H.6, a z tabl. IX—trzon dla powyższego izolatora na 560 kg, typu Nr. 7.

Wysokość zawieszenia przewodu nad osią poprzecznika (rys. 43) składa się z wysokości trzonu $f = 14$ cm, z grubości kładki 1 cm i połowy wysokości korytka $\frac{1}{2} \cdot 8$

$$t = 14 + 1 + \frac{1}{2} \cdot 8 = 19 \text{ cm.}$$

Sprawdzenie naprężeń.

Waga jednego przewodu 12 kg, sadzi 48 kg, izolatora ok. 1 kg, trzonu 2 kg, wreszcie waga dwóch kładek z płaskownika 10×1 cm, każda o długości 34 cm, — 6 kg, razem

$$Q = 12 + 48 + 1 + 2 + 6 = 69 \text{ kg.}$$

Poza tem na poprzecznik działa waga własna na długości 47,5 cm

$$2 \cdot 47,5 \cdot 0,01 \cdot 8,6 = 8 \text{ kg.}$$

Przypadek a). Wiatr w kierunku linii (rys. 8—a). Parcie wiatru na podwójne korytko, izolator i trzon

$$I = (1,5 \cdot 47,5 \cdot 8 + 150 \cdot 0,5) \cdot 0,0001 \cdot 125 = 8 \text{ kg.}$$

1) Skręcanie.

$$X = \frac{304 \cdot 19}{27,9} = 207 \text{ kg; } p_1 = \frac{207 \cdot 42,5}{26,5} = 333 \text{ kg/cm}^2$$

2) Zginanie siłami poziomemi. Parcie wiatru w tym samym kierunku, co naciąg.

$$M = 304 \cdot 42,5 + 8 \cdot \frac{47,5}{2} = 13\,110 \text{ kg/cm; } Y = \frac{13\,110}{27,9} = 470 \text{ kg;}$$

przypuścmy, że sworzeń, łączący poprzecznik ze słupem, będzie miał średnicę 2,6 cm (1"); przekrój korytka

$$S_{brutto} = 11 \text{ cm; } S_{netto} = 11 - 0,6 \cdot 2,8 = 9,32 \text{ cm}^2;$$

naprężenie ściskania

$$p_2 = \frac{470}{11} = 43 \text{ kg/cm}^2.$$

3) Zginanie siłami ciężkości względem osi x

$$p_3 = \frac{69 \cdot 42,5 + 8 \cdot \frac{47,5}{2}}{2 \cdot 26,5} = 59 \text{ kg/cm}^2.$$

Największe naprężenie sumaryczne ściskania w przekroju $B-B$ (na rys. 43 w korytku lewym u dołu)

$$p = 333 + 43 + 59 = 435 \text{ kg/cm}^2 < 1500 \text{ kg/cm}^2.$$

Poprzecznik z dwóch korytek zbieżnych. Rys. 44 przedstawia poprzecznik, zbudowany z korytek, zbiegających się ku sobie na obu krańcach. Przebieg obliczenia jest w zasadzie taki sam, jak poprzednio; różnica zachodzi tylko w tym przypadku, gdy siła pozioma jest prostopadła do osi poprzecznika.

Siła pozioma wzdłuż liny.

Przekrój $B-B$. Naprężenie w przekroju $B-B$ oblicza się w ten sam sposób, co w poprzeczniku z korytek równoległych.

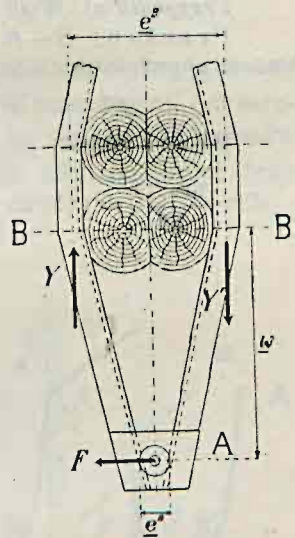
Przekrój $A-A$. Skręcanie. Moment skręcania $F \cdot t$ zastępujemy momentem pary sił $Z-Z'$, przyłożonych w środku przekroju głównych ścianek obu korytek w odstępnie wzajemnym e^A (rys. 45);

$$F \cdot t = Z \cdot e^A. \quad (44)$$

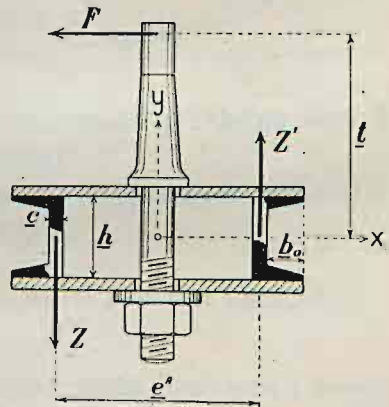
W poprzecznikach, zwężonych na końcach, wysiłki Z, Z' wobec małego ramienia e^A są tak wielkie, że mogą skrócić końce poprzecznika. Dla uproszczenia sprawy wyobrażamy sobie, że wysiłki te ścinają korytka i że na ścinanie pracują nie całe profile, lecz tylko główne ścianki środkowe o przekrojach $h \cdot c$. Naprężenie ścinania dla większej ostrożności obliczamy wg wzoru

$$p^A = \frac{2 \cdot Z}{h \cdot c}. \quad (45)$$

Przykład 21. Obliczyć górny poprzecznik na 2 izolatory do słupa krańcowego z przykładu 10-go w postaci dwóch korytek zbieżnych.



Rys. 44.



Rys. 45.

Wyznaczenie wymiarów. W zasadzie pozostają te same wymiary, co w przykładzie 20-ym:

$$\text{profil Nr. 8; } e = 27,9 \text{ cm; } w = 42,5 \text{ cm; } t = 19 \text{ cm.}$$

Odstęp między korytkami (w świetle) w przekroju $A-A$ wyznaczamy na 5 cm

$$e^A = 5 + 0,6 = 5,6 \text{ cm.}$$

Sprawdzenie naprężeń.

Przypadek a). Wiatr w kierunku linii (rys. 8—a).

Przekrój $B-B$. Największe naprężenie sumaryczne, jak w przykładzie poprzednim

$$p^B = 333 + 43 + 59 = 435 \text{ kg/cm}^2 < 1500 \text{ kg/cm}^2.$$

Przekrój $A-A$.

$$Z = \frac{304 \cdot 19}{5,6} = 1032 \text{ kg; } p^A = \frac{2 \cdot 1032}{8 \cdot 0,6} = 430 \text{ kg/cm}^2 < 1200 \text{ kg/cm}^2.$$