

## § 5. Słup na szczudłach; słup bliźniaczy.

Wymiary słupów drewnianych są ograniczone (§ 3). Większą wysokość można osiągnąć przez ustawienie słupa na szczudłach, a większą średnicę — przez zespolenie dwóch lub kilku drzew w jedną całość. Szczudła mogą być drewniane, żelazne i betonowe.

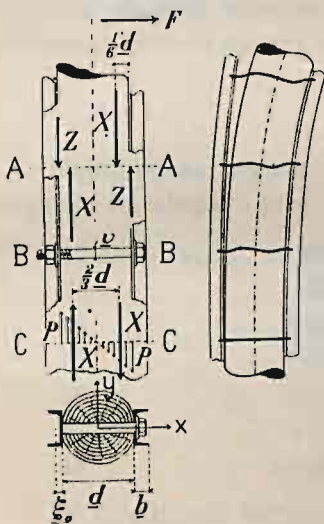
**Słup na szczudłach.** Szczudła na rys. 18 są to dwie belki korytkowe, powiązane z odziomkiem słupa pięcioma sworzniami. Litera *N* oznacza poziom górnej śruby, *T* — poziom stopy słupa, *Z* — poziom przyziemny. Oś, leżąca w płaszczyźnie rysunku, oznaczona jest literą *x*, a prostopadła do tej płaszczyzny — literą *y* (na rys. oś *y* — w perspektywie). Podziemne części szczudeł objęte są fundamentem betonowym.

*Szczudła* doznają największego naprężenia w przekroju przyziemnym *Z*. Oba szczudła będziemy rozpatrywali, jako jedną całość, a to wskutek tego, że luka między szczudłami jest całkowicie wypełniona (bądź drzewem, bądź betonem) i że szczudła u góry powiązane są sworzniami, a u dołu obsadzone w fundamencie betonowym. Natomiast dla większego bezpieczeństwa nie będziemy uwzględniali przekroju betonu przy obliczaniu momentu wytrzymałości.

Gdy słup będzie zginany siłą w kierunku osi *x*, to moment wytrzymałości obu korytek względem osi *y* wyrazi się wzorem (rys. 17)

$$W_y = \frac{2 J_y + 2 s \left( \frac{d}{2} + \xi_0 \right)^2}{\frac{d}{2} + b}, \quad (20)$$

a gdy będzie zginany siłą w kierunku osi *y*, to moment względem osi *x* wyniesie



Rys. 17.

$$W_x = 2 \frac{J_x}{\frac{1}{2}h} \quad (21)$$

( $J_x, J_y$  — momenty bezwł. w  $\text{cm}^4$ ,  $s$  — przekrój korytka w  $\text{cm}^2$ ,  $d$  — średnica słupa w  $\text{cm}$ ,  $h$  — wysokość korytka w  $\text{cm}$ ,  $b$  — szerokość korytka w  $\text{cm}$ ,  $\xi_0$  — odległość środka ciężkości w  $\text{cm}$ ; tabl. V).

*Sworznie.* Wskutek momentu, wywołanego siłą poziomą  $F$ , drzewo przesuwają się względem szczudeł: z jednej strony (na rys. 17 — z lewej) drzewo rozciąga się i zmierza w górę, z drugiej (prawej) — kurczy się i zmierza w dół. Szczudła względem drzewa przesuwają się w kierunkach odwrotnych. Wysiłki przesuwu szczudeł oznaczyliśmy (rys. 17, sworznie  $AA$ ) przez  $Z$ . Moment pary wysiłków  $Z$  o ramieniu  $d$  (odstęp między szczudłami, równy średnicy drzewa  $d$ ) równa się momentowi siły poziomej  $F$  względem poziomu sworznia środkowego (na rys. 18 — sworznie trzeciego);

$$Z \cdot d = M.$$

Drzewo zginane wywiera na sworznie nacisk; na połowie długości sworznia nacisk ten idzie w górę, na drugiej połowie — w dół. Wykres naprężeń (rys. 17, sworznie  $CC$ ) daje dwa trójkąty. Wypadkowe z naprężeń  $X$ ,  $X$  przechodzą przez środki ciężkości tych trójkątów, a więc są oddalone od siebie o dwie trzecie średnicy słupa  $d$ . Moment pary wysiłków  $X$ ,  $X$  musi się równać momentowi  $M$  siły poziomej  $F$ , jak wyżej;

$$X \cdot \frac{2}{3}d = M.$$

Oznaczmy największe naprężenie nacisku krańcowych włókien drzewa na sworznie przez  $p$ , a otrzymamy wartość naprężenia średniego  $\frac{1}{2}p$ . Wysilek  $X$  jest wypadkową z naprężeń, rozłożonych na połowie długości sworznia  $\frac{1}{2}d$  i na całej grubości sworznia  $v$ . A zatem wypadkowa  $X$  wynosi

$$X = \left(\frac{1}{2}p\right) \cdot \left(\frac{1}{2}d \cdot v\right),$$

a moment  $M$  —

$$M = X \cdot \frac{2}{3}d = \frac{p \cdot v \cdot d}{4} \cdot \frac{2}{3}d;$$

stąd znajdujemy wartość największego naprężenia

$$\boxed{p = \frac{6 \cdot M}{v \cdot d^2}} \quad (22)$$

Wróćmy do sworznia  $AA$  na rys. 17. Wobec przyłożonych wysiłków  $Z, Z$ , wysiłki  $X, X$  są jakby odporami. Krańcowy odcinek sworznia między punktami przyłożenia wysiłków  $X$  i  $Z$  o długości  $\frac{1}{6} d$  jest zginany wysiłkiem  $Z$ , przyczem największe naprężenie wynosi

$$b_g = \frac{Z \cdot \frac{1}{6} d}{W} \quad (23)$$

A więc wysiłek  $Z$  ma dwojakie działanie: 1) ścina przekrój sworznia u powierzchni słupa i 2) zgina przekrój, leżący wewnątrz słupa na głębokości  $\frac{1}{6} d$ . Po sprawdzeniu sworznia na ścinanie i zginanie należy jeszcze obliczyć naprężenie nacisku sworznia na drzewo (wzór 22) i nacisku sworznia na szczudło.

**Przykład 7.** Obliczyć słup narożny (z drzewa nienasyconego) na szczudłach żelaznych. Linja zalamuje się, tworząc kąt  $175^\circ$ . Na słupie wiszą trzy druty miedziane o przekroju  $10 \text{ mm}^2$ . Wysokość słupa  $1390 \text{ cm}$ , średnia wysokość zawieszenia  $1350 \text{ cm}$ , rozpiętość  $80 \text{ m}$ , napięcie robocze  $3000 \text{ V}$ .

**Wyznaczenie wymiarów.** Aby zabezpieczyć słup drewniany od gnicia, nadajemy mu taką długość, aby odstawał od ziemi przynajmniej o  $50 \text{ cm}$ ;

$$1390 - 50 = 1340 \text{ cm.}$$

Szczudła będą wystawały ponad poziom ziemi przypuśćmy o  $250 \text{ cm}$  i będą połączone pięciorami śrubami  $1\frac{1}{8}"$ , przechodzącymi przez drzewo nawskroś na wysokości np.  $85 \text{ cm}$ ,  $120 \text{ cm}$ ,  $155 \text{ cm}$ ,  $190 \text{ cm}$  i  $225 \text{ cm}$  (rys. 18).

Za przekrój niebezpieczny żerdzi drewnianej będziemy uważali poziom najwyższej śruby  $N$  ( $225 \text{ cm}$  ponad ziemią), a za przekrój niebezpieczny szczudła żelaznych — powierzchnię ziemi  $Z$ .

Naciąg jednostronny wynosi

$$N = 3 \cdot 10 \cdot 12 = 360 \text{ kg,}$$

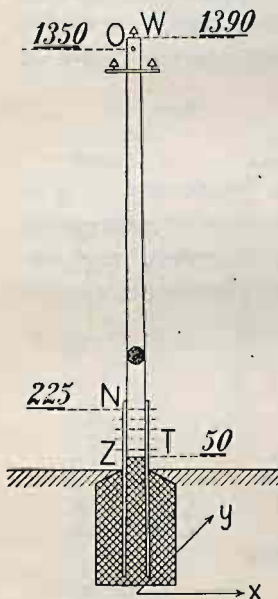
wypadkowa naciągów przy załamie  $175^\circ$  —

$$N_w = 2 \cdot 360 \cdot \cos \frac{175^\circ}{2} = 31,4 \text{ kg.}$$

*Przypadek a).* Wiatr w kierunku wypadkowego naciągu (rys. 19 — a).

Parcie wiatru na przewody w kierunku wypadkowego naciągu (rys. 3) wg wzoru (4) wynosi

$$P = 3 \cdot 3,55 \cdot 80 \cdot 0,001 \cdot 0,5 \cdot \sin \frac{175^\circ}{2} \cdot 125 = 53,2 \text{ kg.}$$



Rys. 18.

Z porównania sił:  $N_w$  i  $P$  wynika, że w tym przykładzie przeważa wartość parcia wiatru na przewody

$$P > N_w.$$

Stąd wniosek, że słup należy liczyć nie na naciąg, lecz na parcie wiatru na przewody (p. § 2, punkt 4, przypadek „a”).

Przekrój  $N$ . Najmniejsza dopuszczalna średnica odgórna wynosi 15 cm, a więc parcie wiatru na słup może wynosić co najmniej 140 kg

$$S^N \geq 140 \text{ kg};$$

moment zginania

$$M^N \geq 53,2 \cdot (1350 - 225) + 140 \cdot \frac{(1390 - 225)}{2} = 141\,400 \text{ cm};$$

pożądana średnica w przekroju  $N$  wg wzoru (18) przy dopuszczalnym naprężeniu  $k = 100 \text{ kg/cm}^2$  (drzewo nienasycone, lecz nienarażone na gnicie; tabl. I)

$$d^N \geq 2,15 \sqrt[3]{\frac{141\,400}{100}} = 24 \text{ cm},$$

a średnica u wierzchołka

$$d^W \geq 24 - 0,007 \cdot (1390 - 225) = 15,8 \text{ cm}.$$

Wyznaczamy wymiary z pewnym zapasem

$$d^W = 18 \text{ cm}; \quad d^N = 26,2 \text{ cm}; \quad d^T = 27,4 \text{ cm}.$$

*Przypadek b).* Wiatr w kierunku prostym do wypadkowego naciągu (rys. 19 — b).

Przekrój  $Z$ . Parcie na słup wyniesie mniej więcej

$$S^Z \approx \frac{18 + 27,4}{2} \cdot 1390 \cdot 0,0001 \cdot 0,5 \cdot 125 = 200 \text{ kg},$$

a parcie na izolatory, trzony i poprzecznik — około 20 kg;  
moment zginania względem osi  $x$

$$M_x^Z = 20 \cdot 1350 + 200 \cdot \frac{1390}{2} = 166\,000 \text{ kgcm};$$

narazie pomijamy wpływ naciągu i obliczamy moment wytrzymałości przekroju obu szczudeł przy dopuszczalnym naprężeniu  $1500 \text{ kg/cm}^2$

$$W_x = \frac{166\,000}{1\,500} = 110 = 2 \times 55 \text{ cm}^3.$$

Z tablicy V wybieramy korytko o odpowiednim profilu. Wprowadzie № 12 jużby wystarczył, lecz dla pewności wybieramy № 14;

$$W_x = 2 \cdot \frac{605}{\frac{1}{2} \cdot 14} = 2 \cdot 86,4 \text{ cm}^3 = 172,8 \text{ cm}^3.$$

**Sprawdzenie naprężeń.** Siły pionowe składają się z wagi przewodów (22 kg), wagi osadów lodowych na przewodach (144 kg), wagi izolatorów, trzo-

nów i poprzecznika (30 kg), wagi górnej części słupa od  $W$  do  $N$  (270 kg) i wagi odjemnej części, złożonej z drzewa (60 kg) i dwóch korytek ( $2 \cdot 2,5 \cdot 15,9 = 80$  kg). W sumie na przekrój  $N$  działa siła pionowa

$$Q^N = 22 + 144 + 30 + 270 = 466 \text{ kg,}$$

a na przekrój  $Z$

$$Q^Z = 466 + 60 + 80 = 606 \text{ kg.}$$

Wysokość słupa nad poziomem  $N$  wynosi

$$1390 - 225 = 1165 \text{ cm,}$$

a długość krytyczna przy uwzględnieniu tylko jednej siły skupionej w punkcie  $O$  —

$$x_{kr} = \frac{18}{2 \cdot 0,007} + 1,5 \cdot 40 = 1346 \text{ cm} > 1165 \text{ cm.}$$

W rzeczywistości wobec parcia wiatru na słup długość ta będzie jeszcze większa. W każdym razie widzimy, że przekrój niebezpieczny dla drzewa wypada na poziomie  $N$ .

*Przypadek a).* Wiatr w kierunku wypadkowego naciągu (rys. 19-a).

Parcie wiatru na górną część słupa (średnice: 18 i 26,2 cm, wysokość 1165 cm) wynosi 161 kg, a na część dolną — około 50 kg (gdyby drzewo nie było osłonięte korytkiem wynosiłoby 38 kg, a gdyby było osłonięte całkowicie — 77 kg).

Przekrój  $N$ .  $P = 53,2$  kg;  $S_{\perp}^N = 161$  kg;  $Q^N = 466$  kg.

$$M_y^N = 53,2 \cdot 1125 + 161 \cdot \frac{1165}{2} = 153\,630 \text{ kgcm;}$$

$$\begin{aligned} p^N &= \frac{153\,630}{\frac{\pi}{32} \cdot 26,2^3} + \frac{466}{\frac{\pi}{4} \cdot 26,2^2} = \\ &= 87 + 1 = 88 \text{ kg/cm}^2 < 100 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

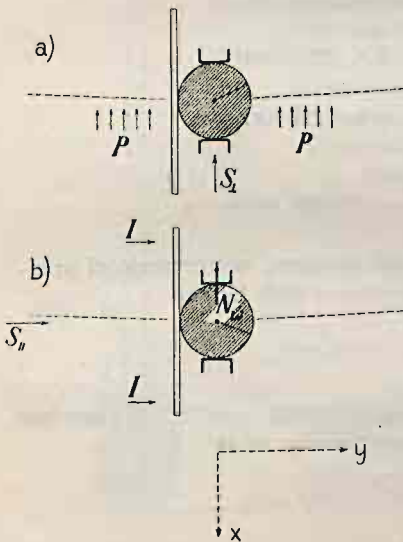
Przekrój  $Z$ .  $P = 53,2$  kg;

$$S_{\perp}^Z = 161 + 50 = 211 \text{ kg; } Q^Z = 606 \text{ kg.}$$

$$\begin{aligned} M_y^Z &= 53,2 \cdot 1350 + 211 \cdot \frac{1390}{2} = \\ &= 218\,465 \text{ kgcm;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_y^Z &= \frac{2 \cdot 62,7 + 2 \cdot 20,4 \cdot (\frac{1}{2} \cdot 27,4 + 1,75)^2}{\frac{1}{2} \cdot 27,4 + 6} = \\ &= 501 \text{ cm}^3; \end{aligned}$$

naprężenie w korytku ściskanem równa się sumie naprężenia od momentu  $M_y^Z$  i naprężenia ściskania od siły pionowej  $\frac{1}{2} Q^Z$



Rys. 19.

$$bZ = \frac{218\,465}{501} + \frac{\frac{1}{2} \cdot 606}{20,4} = 451 \text{ kg/cm}^2 < 1\,500 \text{ kg/cm}^2,$$

a w korytku rozciąganiem — różnicy tych naprężeń.

Sworznie. Moment zginania względem poziomu sworznia środkowego (155 cm nad powierzchnią ziemi) wynosi

$$M = 53,2 \cdot 1\,195 + (161 + 34) \cdot 617 = 183\,890 \text{ kgcm};$$

na jeden z pięciu sworzni przypada moment

$$\frac{1}{5} \cdot 183\,890 = 36\,780 \text{ kg};$$

średnica słupa  $d^N = 26,2$  cm; jest to jednocześnie odstęp między korytkami.

Para wysiłków ścinających  $Z$

$$Z = \frac{36\,780}{26,2} = 1\,400 \text{ kg};$$

przekrój sworznia  $17/8''$  (tabl. VI)

$$\frac{\pi \cdot 4,04^2}{4} = 12,8 \text{ cm}^2;$$

naprężenie ścinania sworznia

$$p_t = \frac{1\,400}{12,8} = 110 \text{ kg/cm}^2 < 900 \text{ kg/cm}^2.$$

Te same wysiłki  $Z$  starają się sworzeń zgiąć; ramię wynosi

$$\frac{1}{6} \cdot 26,2 = 4,4 \text{ cm},$$

a naprężenie zginania

$$p_g = \frac{1\,400 \cdot 4,4}{\frac{1}{32} \cdot \pi \cdot 4,04^3} = 952 \text{ kg/cm}^2 < 1\,500 \text{ kg/cm}^2.$$

Sworzeń naciska na ściankę korytka; wysiłek ten sam —  $Z$ ; powierzchnia parcia jest iloczynem średnicy zewnętrznej sworznia 4,76 cm (tabl. VI) przez grubość ścianki środkowej w korytku 0,7 cm (tabl. V, profil № 14)

$$4,76 \cdot 0,7 = 3,33 \text{ cm}^2;$$

naprężenie nacisku

$$p_s = \frac{1\,400}{3,33} = 420 \text{ kg/cm}^2 < 1\,800 \text{ kg/cm}^2.$$

Sworzeń naciska na drzewo; średnica słupa j. w. 26,2 cm, a średnica zewnętrzna sworznia j. w. 4,76 cm; największe naprężenie w końcowych włóknach obliczamy ze wzoru (22)

$$p_s = \frac{6 \cdot 36\,780}{4,76 \cdot 26,2^2} = 68 \text{ kg/cm}^2;$$

właściwie naprężenie dopuszczalne wynosi  $\frac{1}{2} \cdot 100 = 50 \text{ kg/cm}^2$  (tabl. I); prze-

kroczenie nieznaczące, a przytem część momentu  $M$  wobec silnego skręcenia śrubami będzie zniweczona tarcie drzewa o korytka żelazne.

*Przypadek b).* Wiatr wieje w kierunku prostopadłym do wypadkowego naciągu (rys. 19 — b).

Parcie wiatru na górną część słupa będzie takie, jak poprzednio, 161 kg. Parcie na część dolną należy obliczyć. Szerokość powierzchni parcia składa się z szerokości słupa (27,4 cm) i z podwójnej szerokości korytka № 14 (z tabl. V .... 6 cm).

$$(27,4 + 2 \cdot 6) \cdot 225 \cdot 0,0001 \cdot 125 = 111 \text{ kg.}$$

Przekrój  $N$ .  $N_w = 31,4 \text{ kg}$ ;  $I = 20 \text{ kg}$ ;  $S_{||}^N = 161 \text{ kg}$ ;  $Q^N = 466 \text{ kg}$ .

Moment zginania względem osi  $y$

$$M_y^N = 31,4 \cdot 1125 = 35\,325 \text{ kgcm,}$$

moment względem osi  $x$

$$M_x^N = 20 \cdot 1125 + 161 \cdot \frac{1165}{2} = 116\,280 \text{ kgcm,}$$

a moment wypadkowy

$$M^N = \sqrt{35\,325^2 + 116\,280^2} = 121\,540 \text{ kgcm.}$$

Napężenie sumaryczne wynosi

$$p^N = \frac{121\,540}{\frac{\pi}{32} \cdot 26,2^3} + \frac{466}{\frac{\pi}{4} \cdot 26,2^2} = 69 + 1 = 70 \text{ kg/cm}^2 < 100 \text{ kg/cm}^2.$$

Przekrój  $Z$ .  $N_w = 31,4 \text{ kg}$ ;  $I = 20 \text{ kg}$ ;  $S_{||}^Z = (161 + 111) \text{ kg}$ ;

$$Q^Z = 606 \text{ kg.}$$

Moment zginania względem osi  $x$

$$M_x^Z = 20 \cdot 1350 + 161 \cdot \left( \frac{1\,165}{2} + 225 \right) + 111 \cdot 112,5 = 169\,500 \text{ kgcm,}$$

a moment wytrzymałości przekroju obu korytek względem osi  $x$  j. w.  $W_x^Z = 172,8 \text{ cm}^3$ .

Moment zginania względem osi  $y$

$$M_y^Z = 31,4 \cdot 1350 = 42\,390 \text{ kgcm,}$$

a moment wytrzymałości j. w.  $W_y^Z = 501 \text{ cm}^3$ .

Napężenie sumaryczne krańcowych włókien

$$p^Z = \frac{169\,500}{172,8} + \frac{42\,390}{501} + \frac{606}{2 \cdot 20,4} = 980 + 85 + 15 = 1080 \text{ kg/cm}^2 < 1500 \text{ kg/cm}^2.$$

Śwornice w przypadku b) pracują korzystniej, niż w a).

**Słup bliźniaczy** (rys. 21) składa się z dwóch jednakowych drzew, stykających się ze sobą na całej długości i zespolonych w jedną całość.

Gdy słup bliźniaczy jest obciążony siłą poziomą w kierunku krótszej osi (na rys. 21 — osi  $y$ ), to moment bezwładności  $J_x$  i moment wytrzymałości  $W_x$  jest

**2 — krotny**

w porównaniu ze słupem pojedynczym.

Gdy zaś pozioma siła działa w kierunku osi dłuższej (na rys. —  $x$ ), to teoretycznie przy idealnym połączeniu obu drzew w jednolitą całość moment bezwładności byłby 10 — krotny, a moment wytrzymałości 5 — krotny. W praktyce zespolenie dwóch drzew w jednolitą całość nie da się wykonać. To też słupy bliźniacze obciążone w kierunku  $x$ , liczy się na moment bezwładności

**4 — krotny,**

a wytrzymałości

**2 — krotny,**

jeżeli połączenie drzew jest mniej pewne, natomiast przy bardzo dokładnym i solidnym połączeniu wolno liczyć na

**6 — krotny**

moment bezwładności i

**3 — krotny**

moment wytrzymałości.

Solidny słup bliźniaczy musi być zespolony, zależnie od długości, przynajmniej w czterech (rys. 21), pięciu lub sześciu punktach zapomocą klinów (z drzewa twardego) i sworzni śrubowych. Pierwszy i ostatni punkt zespolenia musi być położony w pobliżu końców słupa, natomiast przy niebezpiecznym przekroju (u powierzchni ziemi) nie wolno zakładać ani klinów, ani sworzni. Sworznie mogą przechodzić przez klin nawskroś albo tuż przy klinie. Najlepiej dawać po dwa sworznie: jeden nad klinem, drugi pod klinem (rys. 21). Przepisy wymagają, aby w pobliżu każdego klina był przynajmniej jeden sworznień.

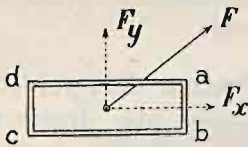
Co się tyczy grubości sworzni, to drzewa o średnicy odgórnej

do 13 cm	wymagają	śrub co najmniej	$\frac{1}{2}$ "
od 14 do 16 cm	"	"	$\frac{5}{8}$ "
większej od 16 cm	"	"	$\frac{3}{4}$ "



Licząc słupy bliźniacze na 3 lub 2—krotny moment wytrzymałości, zamiast 5—krotnego, możemy już nie uwzględniać osłabienia przekroju od wrębów na kliny i od otworów na sworznie.

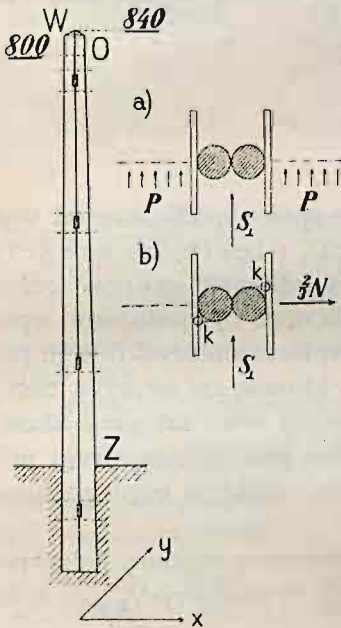
Słupy o przekroju prostokątnym (rys. 20), zginane w kierunku skośnym (siłą  $F$ ), oblicza się w sposób następujący. Rozłożywszy siłę na składowiki ( $F_x$ ,  $F_y$ ) w kierunku podłużnym i poprzecznym, obliczamy osobno naprężenie wywołane siłą jedną ( $F_x$ ) i osobno — wywołane siłą drugą ( $F_y$ ). Obliczone wartości dodajemy arytmetycznie i otrzymujemy naprężenia, panujące w narożnikach ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ).



Rys. 20.

Słupy bliźniacze mają przekrój dwóch stykających się kół. Opiszemy wokoło nich prostokąt i obliczymy naprężenia tak, jakby przekrojem słupa był właśnie ten prostokąt. Naprężenia wewnątrz kół będą wszędzie mniejsze, niż w narożnikach  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ . A więc popełniliśmy przesadę, która jednak nie jest szkodliwa, gdyż wpływa tylko na zwiększenie wymiarów słupa i na zwiększenie bezpieczeństwa.

Parcie wiatru na słup bliźniaczy omówiliśmy wyżej (§ 1, rys. 2 — III).



Rys. 21.

**Przykład 8.** Słup odporowy bliźniaczy z drzewa nienasyconego. Trzy druty miedziane o przekroju  $10 \text{ mm}^2$ . Wysokość słupa 840 cm, średnia wysokość zawieszenia 800 cm, rozpiętość 80 m, napięcie 3000 V.

Średnica u wierzchołka każdej żerdzi 21 cm, średnica przyziemna 26,9 cm. Sprawdzić naprężenia.

Całkowity naciąg  $N = 3 \cdot 10 \cdot 12 = 360 \text{ kg}$ ;  
parcie wiatru na przewody  $P = 53,2 \text{ kg}$ ;  
parcie wiatru na słup prostopadle do linii (wzór 3)

$$S_{\perp} = \left( \frac{21 + 26,9}{2} \right) \cdot 840 \cdot 0,0001 \cdot 1,5 \cdot 125 = 377 \text{ kg}.$$

Siła pionowa  $Q$  składa się z wagi przewodów (22 kg), sadzi (144 kg), izolatorów, trzonów, poprzecznika (30 kg) i obu żerdzi (452 kg);

$$Q = 22 + 144 + 30 + 452 = 648 \text{ kg}.$$

*Przypadek a).* Słup w roli słupa przelotowego (rys. 21 — a).

$$P = 53,2 \text{ kg};$$

$$S_1 = 377 \text{ kg};$$

$$Q = 648 \text{ kg};$$

$$p = \frac{53,2 \cdot 800 + 377 \cdot \frac{840}{2}}{2 \cdot \frac{\pi}{32} \cdot 26,9^3} + \frac{648}{2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 26,9^2} = 52,4 + 0,6 = 53 \text{ kg/cm}^2 < 80 \text{ kg/cm}^2$$

*Przypadek b).* Słup w roli słupa odporowego (rys. 21 - b).

$$\frac{2}{3} N = 240 \text{ kg};$$

$$S_1 = 377 \text{ kg};$$

$$Q = 648 \text{ kg};$$

$$p = \frac{240 \cdot 800}{3 \cdot \frac{\pi}{32} \cdot 26,9^3} + \frac{377 \cdot \frac{840}{2}}{2 \cdot \frac{\pi}{32} \cdot 26,9^3} + \frac{648}{2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 26,9^2} = 33,6 + 41,5 + 0,6 =$$

$$= 75,7 \text{ kg/cm}^2 < 80 \text{ kg/cm}^2.$$

## § 6. Słup rozkraczny; słup A-owy.

W słupie bliźniaczym dwa drzewa przylegają do siebie na całej długości, w słupie zaś rozkracznym—stykają się tylko wierzchołkami, a stopy mają rozstawione.

**Słup rozkraczny** na rys. 22 jest obciążony siłą poziomą  $F$ , skupioną u wierzchołka, i siłą pionową  $Q$ . Siły te rozkładają się na obie nogi po równu; siła  $F$  rozkłada się na dwie składowe  $F_u$ , siła  $Q$  — na dwie składowe  $Q_u$ . Na rysunku rozkład sił wykonano wykreślnie. Oznaczywszy kąt pochyłu względem pionu przez  $\alpha$ , otrzymamy z trójkątów sił następujące wartości dla składowych  $F_u$  i  $Q_u$ :

$$\left| F_u = \frac{F}{2 \sin \alpha} \right| \quad (24)$$

$$\left| Q_u = \frac{Q}{2 \cos \alpha} \right|. \quad (25)$$

Na trójkątach sił stawiamy strzałki obiegowe, przenosimy je na rysunek i widzimy, że wysilek  $F_u$  lewą nogę rozciąga, a prawą ściska i że wysilek  $Q_u$  ściska obie nogi. Sumując algebraicznie, znajdujemy, że lewa noga jest rozciągana wysiłkiem

$$F_u - Q_u,$$

a prawa noga jest ściskana (na rys. — nogę ściskaną oznaczyliśmy linią podwójną) wysiłkiem

$$F_u + Q_u.$$

Żerdź ściskana jest narażona na wyboczenie. Jak zaznaczyliśmy wyżej (§ 3), ściskaną żerdź w słupie rozkracznym uważamy za osadzoną na połowie głębokości zakopania i za prowadzoną u wierzchołka (3-ci wzór Eulera).

Kąt pochyłu żerdzi względem pionu ( $\alpha$ ) wynosi w praktyce od  $3^\circ 30'$  do  $5^\circ$ .

Z dwóch żerdzi więcej pracuje żerdź ściskana. W słupie przelotowym żerdzie zmieniają rolę, zależnie od kierunku wiatru; żerdź ściskana staje się rozciągana i odwrotnie. W słupie odpor-

wym nigdy nie wiadomo, która żerdź będzie ściskana, a która — rozciągana, gdyż nie można przewidzieć, z której strony słupa pęknięć przewody. To też zarówno w słupach przelotowych, jak odporowych, obie nogi muszą być obliczone na wyboczenie.

W słupach krańcowych i narożnych, wystawionych na naciąg jednostronny, żerdź stale rozciągana mogłaby być cieńsza od żerdzi ściskanej. Jednak i tu ze względów estetycznych obie żerdzie otrzymują średnice jednakowe.

**Przykład 9.** Słup narożny, rozkraczny, z drzewa nienasyconego. Kąt załomu linii 135°. Linia ta sama, co w przykładzie 8-ym.

$$N = 360 \text{ kg}; h'' = 840 \text{ cm};$$

$$h^0 = 800 \text{ cm}; a = 80 \text{ m}.$$

**Wyznaczenie wymiarów.**

*Przypadek a).* Wiatr w kierunku naciągu (rys 23-a)

Naciąg wypadkowy (wzór 9)

$$N_w = 2 \cdot 360 \cdot \cos \frac{135^\circ}{2} = 276 \text{ kg};$$

najmniejsza dopuszczalna średnica żerdzi u wierzchołka dla słupów rozkracznych wynosi 10 cm; średnica u poziomu ziemi wypada wówczas

$$dZ = 10 + 0,007 \cdot 840 = 15,88 \text{ cm};$$

a zatem parcie wiatru na słup może wynosić

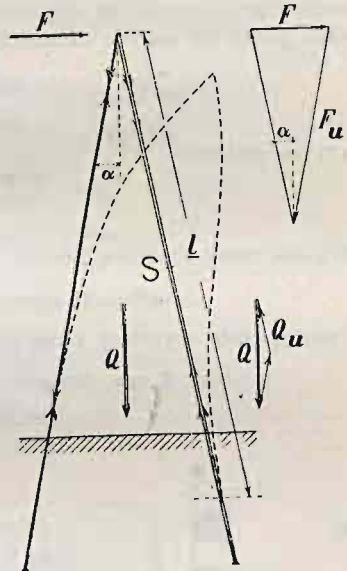
$$S_{\perp} \geq \frac{10 + 15,88}{2} \cdot 840 \cdot 0,0001 \cdot 0,5 \cdot 125 \cdot 1,5 = 102 \text{ kg};$$

siły  $N_w$  i  $S_{\perp}$ , przełożone na wierzchołek sposobem przybliżonym (§ 3), dają w sumie

$$F \geq 276 \cdot \frac{800}{840} + 102 \cdot \frac{420}{840} = 314 \text{ kg};$$

zakładamy kąt pochyłu  $\alpha = 30^\circ 30'$ ; przy obliczaniu zgruba nie bierzemy na uwagę sił pionowych; wobec tego wysiłek ściskania oszacujemy na

$$\frac{314}{2 \cdot \sin 30^\circ 30'} = 2536 \text{ kg};$$



Rys. 22.

głębokość zakopania słupa 200 cm; długość wybočenja

$$l = \frac{840 + \frac{200}{2}}{\cos 30' 30''} = 942 \text{ cm};$$

stopień bezpieczeństwa dla drzewa nienasyconego — 5 (tabl. I); pożądana grubość żerdzi na środku długości wybočenja

$$2536 \cdot 5 \leq \frac{106000 \cdot (dS)^4}{942^2} \quad dS \geq 18,1 \text{ cm},$$

a u wierzchołka

$$dW \geq 18,1 - 0,007 \cdot \frac{942}{2} = 14,8 \text{ cm}.$$

Wyznaczamy średnice żerdzi

$$dW = 16 \text{ cm}; \quad dS = 19,3 \text{ cm}; \quad dZ = 21,9 \text{ cm}$$

i następujące wymiary klina (rys. 24):

grubość 8 cm, długość = szerokości słupa = 16 cm i wysokość od 15 cm do  $15 + 16 \operatorname{tg} \gamma$ .

#### Sprawdzenie naprężeń.

Sily pionowe: waga przewodów 22 kg, — sady 144 kg, — izolatorów, trzonów, poprzeczника 30 kg i waga obu żerdzi 285 kg;

$$Q = 22 + 144 + 30 + 285 = 481 \text{ kg}.$$

*Przypadek a.* Wiatr w kierunku naciągu  $N_w$  (rys. 23 — a). Parcie wiatru na słup

$$S_{\perp} = \left( \frac{16 + 21,9}{2} \right) \cdot 840 \cdot 0,0001 \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot 125 = 148 \text{ kg};$$

sily  $N_w$  i  $S_{\perp}$ , przełożone na wierzchołek, dają w sumie siłę

$$F \approx 276 \cdot \frac{800}{840} + 148 \cdot \frac{420}{840} = 337 \text{ kg};$$

Rys. 23.

wysilki  $F_u$  i  $Q_u$ , działające wzdłuż żerdzi, wyniosą (wzory 24, 25)

$$F_u = \frac{337}{2 \sin 30' 30''} = 2760 \text{ kg}, \quad Q_u = \frac{481}{2 \cos 30' 30''} = 241 \text{ kg}.$$

Słup na wybočenje. Wysiłek ściskający przekrój przyziemny

$$F_u + Q_u = 2760 + 241 = 3001 \text{ kg};$$

wybočenje wg wzoru (12)

$$3001 \cdot \sigma = \frac{106000 \cdot 19,3^4}{942^2}, \quad \sigma = 5,5 > 5.$$

Klin na ścinanie i nacisk. Wysilek ściskający żerdź u podnóża słupa wynosi, jak obliczyliśmy wyżej,  $F_u + Q_u = 3001$  kg. Wysilek ściskający żerdź w miejscu umocowania klina, a więc w pobliżu wierzchołka, będzie mniejszy. Obliczymy go, odrzucając wpływ wagi samego słupa — 285 kg. Przyпускаmy, że  $F_u$  pozostanie bez zmiany, a zamiast  $Q_u$  wejdzie siła  $Q'_u$ ;

$$Q'_u = \frac{481 - 285}{2 \cos 30'30''} = 99 \text{ kg}; \quad F_u + Q'_u = 2760 + 99 = 2859 \text{ kg};$$

składnik pionowy  $F_k$  powyższego wysiłku  $F_u + Q'_u$  (rys. 24) wynosi

$$F_k = (F_u + Q'_u) \cos \alpha = 2859 \cdot \cos 30'30'' = 2853 \text{ kg};$$

wysilek  $F_k$  ścina klin, wywołując w nim naprężenie

$$p_l = \frac{2853}{15 \cdot 16} = 12 \text{ kg/cm}^2 < 20 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tabl. I)};$$

klin wywiera nacisk na wręb w drzewie, wytwarzając naprężenie

$$p_s = \frac{2853}{(\frac{1}{2} \cdot 8) \cdot 16} = 45 \text{ kg/cm} < \frac{1}{2} \cdot 100 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tabl. I)}.$$

*Przypadek b).* Wiatr prostopadły do naciągu  $N_w$  (rys. 23--b).

Parcie wiatru na słup

$$S_{||} = \left( \frac{16 + 21,9}{2} \right) \cdot 840 \cdot 0,0001 \cdot 0,5 \cdot 2,125 = 193 \text{ kg},$$

a parcie na izolatory, trzony i poprzecznik  $I = 20$  kg; naciąg  $N_w$  wraz z siłą pionową  $Q$  wywierają największe naprężenie w nodze ściskanej, parcie zaś wiatru  $S_{||}$  wraz z  $I$  zginają obie nogi jednakowo.

Przekładamy  $N_w$  na wierzchołek

$$F \approx 276 \frac{800}{840} = 263 \text{ kg}$$

i obliczamy wysiłki  $F_u$  i  $Q_u$ , działające wzdłuż osi żerdzi

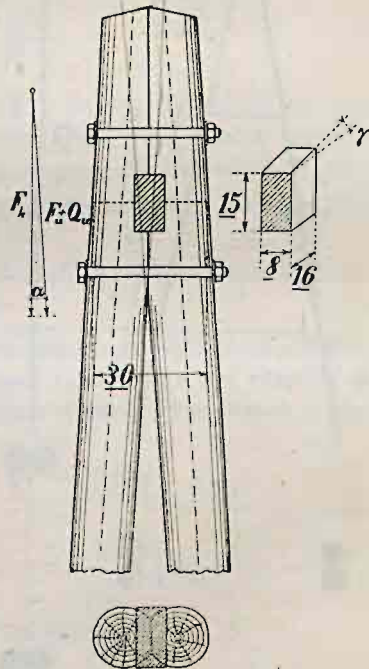
$$F_u = \frac{263}{2 \cdot \sin 30'30''} = 2156 \text{ kg},$$

$$Q_u = \frac{481}{2 \cos 30'30''} = 241 \text{ kg};$$

siła ściskająca w przekroju przyziemnym

$$F_u + Q_u = 2156 + 241 = 2397 \text{ kg}.$$

Pod względem wyboczenia przypadek b) jest korzystniejszy od przypadku a), gdyż  $2397 < 3001$ .



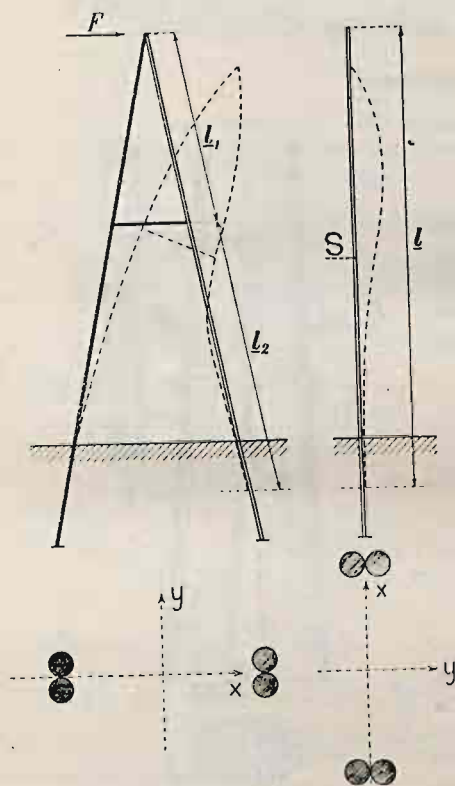
Rys. 24.

Naprężenie w przekroju przyziemnym nogi ściskanej składa się z naprężenia zginania od parcia wiatru ( $S_{||}$ ,  $I$ ) i naprężenia ściskania od siły  $F_u + Q_u$

$$p^z = \frac{198 \cdot 420 + 20 \cdot 800}{2 \cdot \frac{\pi}{32} \cdot 21,9^3} + \frac{2397}{\frac{\pi}{4} \cdot 21,9^2} = 48 + 7 = 55 \text{ kg/cm}^2 < 80 \text{ kg/cm}^2.$$

**Słup A-owy.** Słup rozkraczny można wzmocnić, zakładając na pewnej wysokości szczebel drewniany i tuż pod szczeblem żelazny sworzeń ściągający. Szczebel (inaczej rozpóra) nie pozwala zbliżyć się żerdziom ku sobie czyli rozpiera je, natomiast sworzeń nie pozwala żerdziom rozchodzić się czyli ściąga je ku sobie.

Słup rozkraczny ze szczeblem ma kształt litery *A* i nazywa się słupem *A*-owym.



Rys. 25.

Szczebel utrudnia wybaczanie się nogi ściskanej w pionowej płaszczyźnie osi  $x$  (rys. 25; rzut przedni), ale nie ma prawie żadnego wpływu przy wybaczaniu się w pionowej płaszczyźnie osi  $y$  (rys. 25, rzut boczny). To też żerdź ściskaną w pojedynczych słupach *A*-owych obliczamy na wybaczanie tak, jak w słupach rozkracznych, nie uwzględniając obecności szczebla.

**Podwójny słup A-owy** składa się z dwóch jednakowych słupów *A*-owych, przylegających do siebie na całej wysokości i zespolonych tak, jak słupy bliźniacze, za pomocą klinów i sworzni. A zatem każda noga w podwójnym słupie *A*-owym jest jakby słupem bliźniaczym, złożonym z dwóch żerdzi (rys. 25, przekroje).

Nogę ściskaną sprawdzamy na wyboczenie dwukrotnie:

- 1) w pionowej płaszczyźnie osi  $x$  (rys. 25, rzut przedni) i
- 2) w pionowej płaszczyźnie osi  $y$  (rys. 25, rzut boczny).

W pierwszym przypadku przypuszczamy, że punkt zamocowania szczebla dzieli nogę na dwa odcinki, z których górny (na rys. o długości  $l_1$ ) wybacza się wg 2-go wzoru Eulera

$$F_1 \cdot \sigma_1 = \pi^2 \frac{E \cdot J_1}{(l_1)^2}, \quad (a)$$

a dolny (na rys. o długości  $l_2$ ), zamocowany w ziemi, — wg 3-go wzoru

$$F_2 \cdot \sigma_2 = 2 \pi^2 \frac{E \cdot J_2}{(l_2)^2}. \quad (b)$$

Momenty bezwładności  $J_1$ ,  $J_2$  względem osi  $y$  równają się 2-krotnemu momentowi przekroju pojedynczej żerdzi.

W drugim zaś przypadku, w płaszczyźnie osi  $y$ , nie uwzględniamy obecności szczebla, przypuszczając, że noga ściskana wybacza się na całkowitej długości (na rys.— $l$ ) wg 3-go wzoru Eulera

$$F_2 \cdot \sigma_2 = 2 \pi^2 \frac{E \cdot J_x}{l^2}. \quad (c)$$

Moment bezwładności  $J_x$  względem osi  $x$  zależy od dobroci zespolenia obu żerdzi w jedną nogę ściskaną. Jak zaznaczyliśmy wyżej, przy zespoleniu mniej pewnym przyjmujemy 4-krotny, a przy wyjątkowo dobrem 6-krotny moment bezwładności pojedynczej żerdzi.

Wzory (a) (b) decydują o wysokości, na której ma być założony szczebel.

Jeżeli przyjmiemy np., że wysiłki w obu odcinkach będą prawie jednakowe, że stopnie bezpieczeństwa będą te same (choć mogą być różne) i że moment bezwładności w dolnym odcinku będzie większy od momentu w górnym odcinku przypuścimy dwukrotnie

$$F_1 \approx F_2, \quad \sigma_1 = \sigma_2, \quad J_2 = 2 J_1,$$

to otrzymamy

$$\pi^2 \frac{E J_1}{(l_1)^2} = 2 \pi^2 \cdot \frac{E \cdot (2 J_1)}{(l_2)^2}, \quad l_2 = 2 l_1.$$

Dolny odcinek powinien być 2 razy dłuższy od górnego.

**Przykład 10.** Słup podwójny A-owy z drzewa nasyconego olejem smołowym w roli słupa krańcowego. Linja dwutorowa prądu trójfazowego



na 3000 V. Sześć linek miedzianych po 16 mm<sup>2</sup>. Rozpiętość 80 m. Wysokość słupa 1110 cm, głębokość zakopania 250 cm, średnia wysokość zawieszania 1000 cm.

$$N = 6 \cdot 16 \cdot 19 = 1824 \text{ kg}; \quad h^W = 1110 \text{ cm}; \quad h^O = 1000 \text{ cm}; \quad a = 80 \text{ m}.$$

#### Wyznaczenie wymiarów.

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

Parcie wiatru na słup (na rys. 25 — wiatr w kierunku osi  $x$ ) oszacujemy, przyjmując najmniejszą dopuszczalną średnicę u wierzchołka 10 cm,

$$S_1 \geq \left( \frac{10 + 17,8}{2} \right) \cdot 1110 \cdot 0,0001 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 125 = 435 \text{ kg};$$

siłę naciągu i siłę parcia wiatru na słup przekładamy do wierzchołka

$$F \geq \frac{1824 \cdot 1000 + 435 \cdot 555}{1110} = 1860 \text{ kg};$$

pomijając parcie wiatru na izolatory i wszelkie siły pionowe, obliczamy wysiłek ściskającą nogę dwużerdziową

$$F_u \geq \frac{1860}{2 \sin 30' 30''} = 15250 \text{ kg};$$

nogę ściskaną obliczamy na wyboczenie w kierunku linii (na rys. 25 w kierunku osi  $x$ ); długość wyboczenia

$$l = \frac{1110 + 125}{\cos 30' 30''} = 1238 \text{ cm};$$

stopień bezpieczeństwa 3 (tabl. I); 6-krotny moment bezwładności; wzór (12)

$$15250 \cdot 3 \leq \frac{106000 \cdot 6 \cdot (d^S)^4}{1238^2};$$

pożądana grubość słupa na środku długości wyboczenia

$$d^S \geq 18,3 \text{ cm},$$

a u wierzchołka

$$d^W \geq 14 \text{ cm}.$$

Wyznaczamy wysokość założenia szczebla; długość wyboczenia dzielimy na dwa odcinki tytułem próby w stosunku 1:2,25;

$$l_1 = 381 \text{ cm}, \quad l_2 = 857 \text{ cm};$$

wyznaczamy średnice pojedynczej żerdzi:

u wierzchołka  $d^W = 15 \text{ cm}$ , na środku górnego odcinka **16,3 cm**, na środku całej długości wyboczenia  $d^S = 19,3 \text{ cm}$ , na środku dolnego odcinka **20,7 cm**, u poziomu ziemi  $d^Z = 22,8 \text{ cm}$ .

#### Sprawdzenie naprężeń.

Siły pionowe: waga przewodów na połowie rozpiętości 35 kg, —sadzzi 145 kg, — izolatorów, trzonów i poprzeczników (12 izol., 6,6 m korytka Nr 8,

12 m płask.  $10 \times 1$  i t. d) 220 kg, — słupa (4 żerdzie, 2 szczeble, sworznie i t. d) 760 kg;

$$Q = 35 + 145 + 220 + 760 = 1\,160 \text{ kg.}$$

Parcie wiatru na słup  $S_{||} = 590$  kg, na izolatory (izol.  $660 \text{ cm}^2$ , kładki i trzony  $336 \text{ cm}^2$ , korytka  $8\,730 \text{ cm}^2$ )  $I = 120$  kg.

*Przypadek a).* Wiatr w kierunku linii (rys. 8-a; rys. 25, wiatr w kierunku  $x$ ).

Naciąg, parcie na słup i parcie na izolatory, przełożone do wierzchołka, dają w przybliżeniu siłę

$$F \approx \frac{1\,824 \cdot 1\,000 + 590 \cdot 555 + 120 \cdot 1\,000}{1\,110} = 2\,047 \text{ kg;}$$

$$F_u = \frac{2\,047}{2 \cdot \sin 30^\circ 30'} = 16\,780 \text{ kg.}$$

Wyboczenie odcinka górnego w płaszczyźnie osi  $x$  (rys. 25 — rzut przedni).

Waga słupa na odcinku górnym 200 kg;  $Q' = 35 + 145 + 220 + 200 = 600$  kg;

$$Q'_u = \frac{600}{2 \cdot \cos 30^\circ 30'} = 301 \text{ kg; } F_u + Q'_u = 16\,780 + 301 = 17\,081 \text{ kg;}$$

$$J_1 = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 16,3^4}{64} = 6\,950 \text{ cm}^4; \quad 17\,081 \cdot \sigma_1 = \pi^2 \frac{106\,000 \cdot 6\,950}{381^2}; \quad \sigma_1 = 3.$$

Wyboczenie odcinka dolnego w płaszczyźnie osi  $x$  (rys. 25 — rzut przedni).

$$Q_u = \frac{1\,160}{2 \cdot \cos 30^\circ 30'} = 582 \text{ kg; } F_u + Q_u = 16\,780 + 582 = 17\,362 \text{ kg;}$$

$$J_2 = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 20,7^4}{64} = 18\,100 \text{ cm}^4; \quad 17\,362 \cdot \sigma_2 = 2 \pi^2 \frac{106\,000 \cdot 18\,100}{857^2}; \quad \sigma_2 = 3.$$

Wyboczenie całej nogi w płaszczyźnie osi  $y$  (rys. 25 — rzut boczny).

$$F_u + Q_u = 17\,362 \text{ kg; } J_x^S = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 19,3^4}{64} = 41\,000 \text{ cm}^4;$$

$$17\,362 \cdot \sigma = 2 \pi^2 \frac{106\,000 \cdot 41\,000}{1\,238^2}; \quad \sigma = 3,2 > 3.$$

*Przypadek b).* Wiatr w kierunku prostopadłym do linii (rys. 8-b; rys. 25, wiatr w kierunku  $y$ ).

$$S_{\perp} = 262 \text{ kg; } F \approx \frac{1\,824 \cdot 1\,000}{1\,110} = 1\,643 \text{ kg; } F_u = \frac{1\,643}{2 \cdot \sin 30^\circ 30'} = 13\,470 \text{ kg;}$$

$$F_u + Q_u = 13\,470 + 582 = 14\,052 \text{ kg.}$$

Pod względem wyboczenia przypadek b) jest korzystniejszy od przypadku a), gdyż  $14\,052 < 17\,362$ .

Sumaryczne naprężenie w przekroju przyziemnym składa się z naprężenia zginania od parcia wiatru i ściskania od naciągu oraz od sił ciężkości:

$$\rho_z = \frac{262 \cdot 555}{2 \cdot 3 \cdot \frac{\pi \cdot 22,8^3}{32}} + \frac{14\,052}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 22,8^2}{4}} = 21 + 17 = 38 \text{ kg/cm}^2 < 190 \text{ kg/cm}^2.$$

## § 7. Słup odciażony; słup podparty.

**Słup odciażony.** Słup  $WT$  na rys. 26 ma odciążkę  $UZ'$  z linki żelaznej, uwiązanej do słupa w punkcie  $U$ , a zakotwionej w ziemi.

Przypuśćmy, że w punkcie  $O$  jest przyłożona siła pozioma  $F$ . Ażeby znaleźć siły, działające w dolnej części słupa  $UT$  i w odciążce  $UZ'$ , przekładamy siłę  $F$  z punktu  $O$  do punktu przyłożenia odciążki  $U$  (wzór 15)

$$F' = F \left( 1 + \frac{3i}{2k} \right)$$

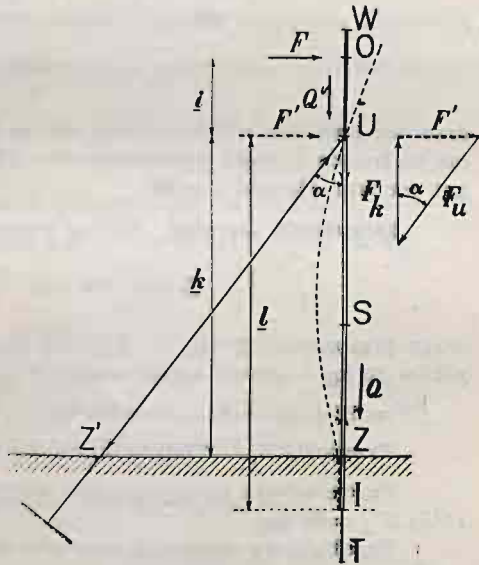
i rozkładamy znaną siłę  $F'$  sposobem wykreślnym na dwie siły składowe:  $F_u, F_k$  (na rys. trójkąt sił). Stawiamy na trójkącie strzałki obiegowe, przenosimy je na rysunek słupa i widzimy, że wysiłek  $F_u$  rozciąga odciążkę, a  $F_k$  ściska dolną część słupa (na rys. część ściskaną oznaczyliśmy linią podwójną). Oznaczywszy kąt pochyłu odciążki względem pionu przez  $\alpha$ , otrzymamy z trójkąta sił wartości obu znalezionych składowych:

$$\left\{ \begin{aligned} F_u &= \frac{F'}{\sin \alpha} \\ F_k &= F' \operatorname{ctg} \alpha \end{aligned} \right. \quad (26)$$

Z powyższych wzorów wynika, że słup tem mniej jest obciążony, im

1) krótszy jest odcinek  $i$  (wówczas bowiem mniejsza jest siła  $F'$ ) i im

2) większy jest kąt  $\alpha$  (gdyż mniejsze wypadną wysiłki  $F_u$  i  $F_k$ ).



Rys. 26.

Wreszcie najkorzystniejszy dla słupa jest przypadek, gdy  $i=0$ , a kąt  $\alpha=90^\circ$ , innymi słowy, gdy odciążka opasuje słup w punkcie przyłożenia siły i ma kierunek poziomy.

Górna część słupa  $WU$  pracuje na zginanie, dolna  $UZ$  podlega ścisnaniu, a odciążka jest rozciągana. Przekrój słupa nie-skończenie blisko położony nad przekrojem  $U$  jest zginany, a nie-skończenie blisko położony pod przekrojem  $U$  jest ścisnany. Wobec tego  $U$  jest przekrojem niebezpiecznym.

Przyпускаjemy, iż przekrój  $U$  znosi jednocześnie moment zginania  $F \cdot i$  i tudzież nacisk od wysiłku  $F_k$  i od sił pionowych  $Q^U$ .

$$\boxed{p^U = \frac{F \cdot i}{\frac{\pi}{32} (d^U)^3} + \frac{F_k + Q^U}{\frac{\pi}{4} (d^U)^2}} \quad (27)$$

Dolną część słupa należy obliczyć na wyboczenie wg 3-go wzoru Eulera.

**Przykład 11.** Słup narożny z drzewa nienasyconego, zaopatrzony w odciążkę. Kąt załomu  $120^\circ$ . Linja ta sama, co w przykładach 8-ym i 9-ym.

$$N = 360 \text{ kg}; \quad h^W = 840 \text{ cm}; \quad h^O = 800 \text{ cm}; \quad a = 80 \text{ m}.$$

**Wyznaczenie wymiarów.** Wymiary drzewa dajemy takie same, jak dla słupa przelotowego ( $d^W = 15 \text{ cm}$ ). Tytułem próby wyznaczamy

$$i = 100 \text{ cm}, \quad k = 800 - 100 = 700 \text{ cm},$$

głębokość zakopania **200** cm, długość wyboczenia

$$l = 700 + \frac{200}{2} = 800 \text{ cm};$$

średnice (rys. 26): u wierzchołka  $d^W = 15 \text{ cm}$ , w punkcie zaczepu  $d^U = 16 \text{ cm}$ , na środku długości wyboczenia  $d^S = 18,8 \text{ cm}$ , u poziomym ziemi  $d^Z = 20,9 \text{ cm}$ , kąt pochyłu odciążki  $\alpha = 45^\circ$ .

**Sprawdzenie naprężeń.** Naciąg wypadkowy:

$$N_w = 2 \cdot 360 \cdot \cos \frac{120^\circ}{2} = 360 \text{ kg},$$

waga przewodów 22 kg, — sadzi 144 kg, — izolatorów, trzonów i poprzeczników 30 kg, — górnej części słupa ( $WU$ ) 16 kg, — całego słupa ( $WZ$ ) 128 kg;

$$Q^U = 22 + 144 + 30 + 16 = 212 \text{ kg}; \quad Q = 22 + 144 + 30 + 128 = 324 \text{ kg}.$$

**Przypadek a).** Wiatr w kierunku naciągu (rys. 9 — a).

Parcie wiatru na górną część słupa ( $WU$ )  $S'_1 = 14 \text{ kg}$ , a na część dolną ( $UZ$ )  $S''_1 = 81 \text{ kg}$ .

Przekładamy wszystkie trzy siły poziome, działające na słup:

$$N_w = 360 \text{ kg}, \quad S'_1 = 14 \text{ kg}, \quad S''_1 = 81 \text{ kg}$$

do punktu przyłożenia odciażki  $U$ ; pierwsze dwie — wg wzoru (15)

$$360 \left( 1 + \frac{3 \cdot 100}{2 \cdot 700} \right) = 437 \text{ kg}, \quad 14 \left( 1 + \frac{3 \cdot 70}{2 \cdot 700} \right) = 16 \text{ kg},$$

a ostatnią siłę — wg wzoru (16)

$$81 \cdot \frac{350^3}{700^3} \left( 1 + \frac{3 \cdot 350}{2 \cdot 350} \right) = 26 \text{ kg}$$

i otrzymujemy w sumie siłę poziomą  $F'$  w punkcie  $U$

$$F' = 437 + 16 + 26 = 479 \text{ kg};$$

wysiłek ściskania

$$F_k = 479 \text{ ctg } 45^\circ = 479 \text{ kg}.$$

Górna część słupa ( $WU$ ). Naprężenie sumaryczne w przekroju  $U$  wynosi

$$pU = \frac{360 \cdot 100 + 14 \cdot 70}{\frac{\pi}{32} \cdot 16^3} + \frac{479 + 212}{\frac{\pi}{4} \cdot 16^2} = 91,5 + 3,5 = 95 \text{ kg/cm}^2 < 100 \text{ kg/cm}^2.$$

Dolna część słupa ( $UZ$ ). Sumaryczny wysiłek ściskania

$$F_k + Q = 479 + 324 = 803 \text{ kg},$$

stopień bezpieczeństwa na wyboczenie

$$803 \cdot \sigma = \frac{106\,000 \cdot 18,8^4}{800^2}; \quad \sigma = 25 > 5.$$

Odciażka ( $UZ'$ ). Wysiłek rozciągania

$$F_u = \frac{479}{\sin 45^\circ} = 675 \text{ kg};$$

linka żelazna o dopuszczalnym naprężeniu na rozerwanie  $k = 1500 \text{ kg/cm}^2$ ;

$$\frac{675}{\frac{\pi}{4} d^2} = 1500; \quad d = 0,76 \approx 0,8 \text{ cm}.$$

*Przypadek b).* Wiatr w kierunku prostopadłym do naciągu (rys. 9—b).

$$N_w = 360 \text{ kg}; \quad S_{||} = 14 + 81 = 95 \text{ kg}; \quad I = 20 \text{ kg}; \quad Q = 324 \text{ kg};$$

parcie wiatru na odciażkę

$$U = 0,8 \cdot \frac{700}{\cos 45^\circ} \cdot 0,0001 \cdot 0,5 \cdot 125 = 5 \text{ kg};$$

moment zginania, wywołany parciem wiatru

$$M = 95 \cdot 420 + 20 \cdot 800 + \frac{5}{2} \cdot 700 = 57\,650 \text{ kg cm};$$

wysiłek ściskania  $F_k$ , wywołany samym tylko naciągiem,

$$F' = 360 \left( 1 + \frac{3 \cdot 100}{2 \cdot 700} \right) = 437 \text{ kg}, \quad F_k = 437 \cdot \text{ctg } 45^\circ = 437 \text{ kg};$$

sumaryczny wysiłek ściskania

$$F_k + Q = 437 + 326 = 761 \text{ kg};$$

pod względem wybożenia przypadek b) jest korzystniejszy od przypadku a), gdyż  $761 < 803$ ;

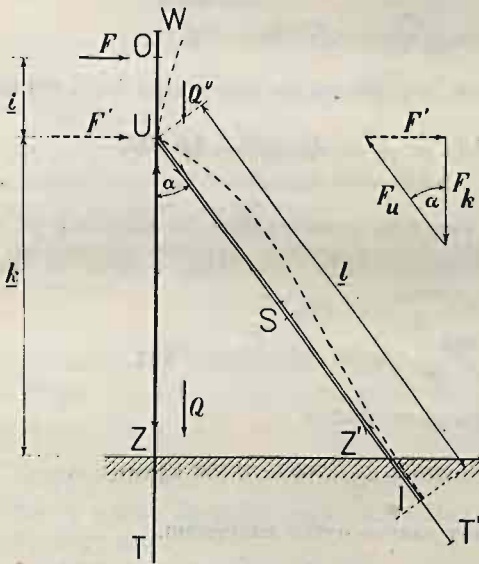
naprężenie sumaryczne w przekroju przyziemnym

$$\rho_z = \frac{57\,650}{\frac{\pi}{32} \cdot 20,9^3} + \frac{761}{\frac{\pi}{4} \cdot 20,9^2} = 64,5 + 2,2 = 66,7 \text{ kg/cm}^2 < 80 \text{ kg/cm}^2.$$

**Słup podparty.** Słup  $WT$  na rys. 27 ma podporę  $UT'$ , przyłożoną do słupa w punkcie  $U$ . Podczas gdy odciażkę zakłada się po stronie przeciwnej kierunkowi przyłożonej siły  $F$ , to podpora musi być założona w kierunku tej siły. To też wybór między słupem odciażonym a podpartym zależy częstokroć od tego, z której strony jest słup dostępny.

Przypuśćmy, że w punkcie  $O$  jest przyłożona siła pozioma  $F$ . Ażeby znaleźć siły, działające w dolnej części słupa  $UT$  i w podporze  $UT'$ , przekładamy siłę  $F$  z punktu  $O$  do punktu przyłożenia podpory  $U$  (wzór 15)

$$F' = F \left( 1 + \frac{3}{2} \frac{i}{k} \right)$$



Rys. 27.

i rozkładamy znaną siłę  $F'$  sposobem wykreślonym na dwie siły składowe:  $F_u, F_k$  (na rys. trójkąt sił). Stawiamy na trójkącie strzałki obiegowe, przenosimy je na rysunek słupa i widzimy, że wysiłek  $F_u$  ściska podporę (na rys. podporę ścisną oznaczyliśmy linią podwójną), a  $F_k$  rozciąga dolną część słupa. Oznaczywszy kąt pochyłu podpory względem pionu przez  $\alpha$ ,

otrzymamy z trójkąta sił wartości obu składników:

$$\left[ F_u = \frac{F'}{\sin \alpha} \right], \quad \left[ F_k = F' \operatorname{ctg} \alpha \right]. \quad (28)$$

Tak samo, jak przy odciaźce, słup podparty jest tem mniej obciążony, im 1) krótszy jest odcinek  $i$  i im 2) większy jest kąt  $\alpha$ . Wreszcie najkorzystniejszy dla słupa jest przypadek, gdy podpora dochodzi do punktu przyłożenia siły i ma kierunek poziomy.

Górna część słupa  $WU$  pracuje na zginanie, podpora  $UT'$  — na ściskanie, a w dolnej części słupa  $UT$  zmagają się dwie siły przeciwsobne:  $Q$  —  $F_k$ . Siła  $Q$  (waga przewodów, słupa i t. d.) ściska dolną część słupa, a wysiłek  $F_k$  — rozciąga. Gdy przeważa siła  $Q$ , słup jest wciskany do ziemi, gdy przeważa  $F_k$  grozi niebezpieczeństwo wyrwania słupa z ziemi. Gdyby obie siły były sobie równe, to

$$F' \operatorname{ctg} \alpha = Q, \quad \alpha = \operatorname{arc} \operatorname{ctg} \frac{Q}{F'}$$

przekrój przyziemny  $Z$  byłby zupełnie odciażony.

Przekrój  $U$  w punkcie przyłożenia podpory jest przekrojem niebezpiecznym; liczymy, że od góry znosi moment zginania  $F \cdot i$ , a od dołu jest rozciągany różnicą wysiłków  $F_k - Q^U$

$$\left[ p^U = \frac{F \cdot i}{\frac{\pi}{32} (d^U)^3} + \frac{F_k - Q^U}{\frac{\pi}{4} (d^U)^2} \right]. \quad (29)$$

Podporę należy obliczyć na wyboczenie wg 3-go wzoru Eulera.

**Przykład 12.** Słup narożny z drzewa nienasyconego jest zaopatrzony w podporę. Kąt załomu  $120^\circ$ . Linja ta sama, co w przykładach: 8-ym, 9-ym, 11-ym.

$$N_w = 360 \text{ kg}; \quad h^W = 840 \text{ cm}; \quad h^O = 800 \text{ cm}; \quad a = 80 \text{ m}.$$

**Wyznaczenie wymiarów.** Wymiary słupa będą te same, co w przykładzie 11-ym:

$$i = 100 \text{ cm}; \quad k = 700 \text{ cm}; \quad d^W = 15 \text{ cm}; \quad d^U = 16 \text{ cm}; \quad d^Z = 20,9 \text{ cm};$$

kąt pochyłu podpory  $45^\circ$ ; głębokość zakopania podpory 160 cm; długość wyboczenia podpory

$$= \frac{700 + \frac{160}{2}}{\cos 45^\circ} = 1100 \text{ cm}.$$



Podporę obliczamy zgruba wyłącznie na siłę naciągu wypadkowego

$$F' > 360 \left( 1 + \frac{3 \cdot 100}{2 \cdot 700} \right) = 437 \text{ kg}; \quad F_u > \frac{437}{\sin 45^\circ} = 618 \text{ kg};$$

$$618 \cdot 5 < \frac{106\,000 \cdot (d^S)^4}{1100^2}; \quad d^S > 13,7 \text{ cm}; \quad d^U > 9,7 \text{ cm}.$$

Wyznaczamy średnice podpory:

$$d^{U'} = 11 \text{ cm}; \quad d^S = 15 \text{ cm}; \quad d^{Z'} = 17,9 \text{ cm}.$$

**Sprawdzenie naprężeń.** W słupie podpartym siły ciężkości odgrywają rolę pożyteczną, gdyż zmniejszają obciążenie wywołane wysiłkiem  $F_k$ . Wobec tego będziemy liczyli słup nie na największe wartości tych sił, lecz na najmniejsze. Wagę sadzi, jako przygodną, wykreślimy z rachunku i otrzymamy (p. przykł. 11-ty):

$$Q^U = 22 + 30 + 16 = 68 \text{ kg}; \quad Q = 22 + 30 + 128 = 180 \text{ kg}.$$

*Przyrządek a).* Wiatr w kierunku naciągu (rys. 9—a).

Parcie wiatru na górną część słupa ( $WU$ )  $S'_\perp = 14 \text{ kg}$ , a na część dolną ( $UZ$ ) i na podporę ( $UZ'$ )

$$S''_\perp = 81 + 0,5 \cdot \frac{11 + 17,9}{2} \cdot 700 \cdot 0,0001 \cdot 0,5 \cdot 125 = 81 + 31 = 112 \text{ kg};$$

przekładamy wszystkie trzy siły poziome, działające na słup:

$N_w = 360 \text{ kg}$ ,  $S'_\perp = 14 \text{ kg}$ ,  $S''_\perp = 112 \text{ kg}$   
do punktu  $U$

$$360 \left( 1 + \frac{3 \cdot 100}{2 \cdot 700} \right) = 437 \text{ kg}, \quad 14 \left( 1 + \frac{3 \cdot 70}{2 \cdot 700} \right) = 16 \text{ kg},$$

$$112 \frac{350^3}{700^3} \left( 1 + \frac{3 \cdot 350}{2 \cdot 350} \right) = 35 \text{ kg}$$

i otrzymujemy w sumie siłę poziomą  $F'$  w punkcie  $U$

$$F' = 437 + 16 + 35 = 488 \text{ kg};$$

wysiłek rozciągania

$$F_k = 488 \cdot \text{ctg } 45^\circ = 488 \text{ kg}.$$

Górna część słupa ( $WU$ ). Naprężenie sumaryczne w przekroju  $U$  wynosi

$$p^U = \frac{360 \cdot 100 + 14 \cdot 70}{\frac{\pi}{32} \cdot 16^3} + \frac{488 - 68}{\frac{\pi}{4} \cdot 16^2} = 91,5 + 2,1 = 93,6 \text{ kg/cm}^2 < 100 \text{ kg/cm}^2.$$

Dolna część słupa ( $UZ$ ). Słup jest wrywany z ziemi z siłą

$$488 - 180 = 308 \text{ kg};$$

przekrój przyziemny byłby zupełnie odciążony, gdyby kąt  $\alpha$  wynosił

$$\alpha = \text{arc ctg } \frac{180}{488} = 70^\circ;$$

przy tej pochyłości podpora musiałaby mieć długość około 2 500 cm, co jest niewykonalne.

Podpora (UZ). Wysiętek ściskania

$$F_u = \frac{488}{\sin 45^\circ} = 690 \text{ kg};$$

wyboczenie

$$690 \cdot \sigma = \frac{106\,000 \cdot 15^4}{1100^2}, \quad \sigma = 6,4 > 5.$$

Przypadek b). Wiatr w kierunku prostopadłym do naciągu (rys. 9-b)

$$N_w = 360 \text{ kg}; \quad S_{||} = 14 + 81 = 95 \text{ kg}; \quad I = 20 \text{ kg}; \quad Q = 180 \text{ kg};$$

parcie wiatru na podporę

$$U = \frac{11 + 17,9}{2} \cdot \frac{700}{\cos 45^\circ} \cdot 0,0001 \cdot 0,5 \cdot 125 = 90 \text{ kg}.$$

Pod wpływem parcia wiatru słup jest zginany. Na poziomie przyziemnym będą pracowały na zginanie dwa przekroje: 1) przekrój słupa Z i 2) przekrój podpory Z'. Dla pewności przypuścimy, że na przekrój podpory przypadnie tylko połowa siły  $U$ , natomiast wszystkie pozostałe siły złożymy na karb przekroju samego słupa. A zatem moment zginania przyziemnego przekroju słupa wyniesie

$$M = 95 \cdot 420 + 20 \cdot 800 + \frac{90 \cdot 700}{2 \cdot 2} = 71\,650 \text{ kg cm};$$

wysiętek rozciągania  $F_k$ , wywołany samym tylko naciągiem

$$F' = 360 \left( 1 + \frac{3 \cdot 100}{2 \cdot 700} \right) = 437 \text{ kg}, \quad F_k = 437 \cdot \text{ctg } 45^\circ = 437 \text{ kg};$$

sumaryczny wysiętek rozciągania

$$F_k - Q = 437 - 180 = 257 \text{ kg};$$

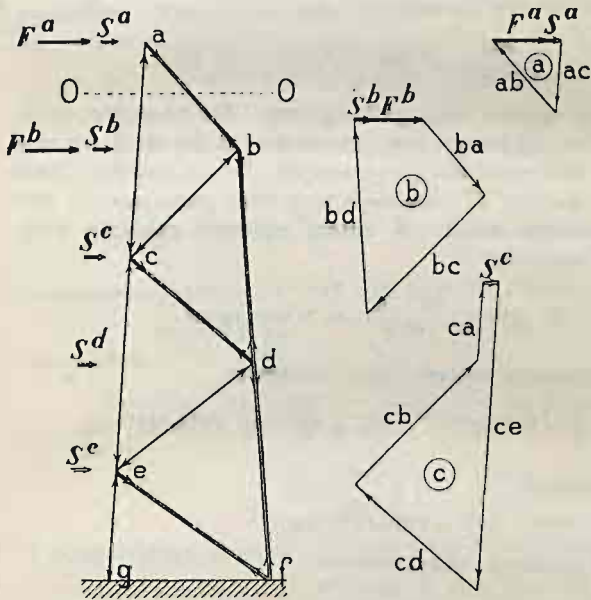
sumaryczne naprężenie w przekroju przyziemnym

$$p_Z = \frac{71\,650}{\frac{\pi}{32} \cdot 20,9^3} + \frac{257}{\frac{\pi}{4} \cdot 20,9^2} = 79,5 + 0,8 \approx 80 \text{ kg/cm}^2.$$

Na skrzyżowaniu przewodów wysokiego napięcia w miejscach wyjątkowo ważnych; zgodnie z przepisami obostrzającymi 2-go stopnia, słupy odciążone i podparte należy obliczać tak, jakby nie miały odciążek, ani podpór.

## § 8. Słupy kratowe wogóle.

**Rozkład wysiłków.** Dla zorientowania się co do rozkładu wysiłków na poszczególne belki słupa kratowego przerobimy przykład najprostszy, stosując metodę wykreślną.



Rys. 28.

Słup kratowy na rys. 28 składa się z belek krawędziowych:  $ag$ ,  $bf$ , powiązanych ze sobą ukośnikami:  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$ ,  $de$ ,  $ef$ . Przypuśćmy, że poziom 0—0 leży na średniej wysokości zawieszenia przewodów. W poziomie tym przyłożona jest siła  $F$ . Siłę  $F$  rozkładamy na składowe:  $F^a$  i  $F^b$ , przyłożone w punktach węzłowych:  $a$ ,  $b$ .

$$F = F^a + F^b.$$

Pozatem wiatr prze na słup z siłą  $S$ . Siłę  $S$  również rozkładamy na składowe:  $S^a$ ,  $S^b$ ,  $S^c$ ,  $S^d$ ,  $S^e$ , przyłożone w punktach węzłowych:  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$ .

$$S = S^a + S^b + S^c + S^d + S^e.$$

Przystępujemy do budowy wieloboków sił dla każdego punktu węzłowego z osobna.

Zaczynamy od punktu  $a$ . W punkcie tym działa siła pozioma o wartości  $F^a + S^a$ . Siła ta rozkłada się na belkę  $ac$  i ukośnik  $ab$ . Budujemy odpowiedni trójkąt (rys. 28— $a$ ) i znajdujemy wartości wysiłków  $ac$  i  $ab$ . Stawiamy strzałki obiegowe, przenosimy je na rysunek kratownicy i widzimy, że belka  $ac$  jest rozciągana, a ukośnik  $ab$  — ściskany (na rys. — belki ściskane oznaczamy linjami podwójnemi).

Przechodzimy do punktu  $b$ . W punkcie tym działa siła o wartości  $F^b + S^b$ . Siła ta rozkłada się na belki:  $ba$ ,  $bc$ ,  $bd$ . Wysiętek, działający w belce  $ba$ , znaleźliśmy już poprzednio. Budujemy odpowiedni czworokąt (rys. 28— $b$ ) i znajdujemy wartości wysiłków:  $bc$ ,  $bd$ . Stawiamy strzałki obiegowe, przenosimy je na rysunek kratownicy i widzimy, że ukośnik  $bc$  jest rozciągany, a belka  $bd$  ściskana.

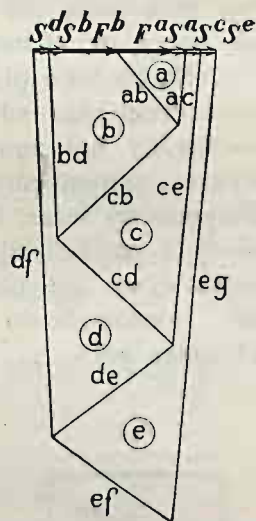
Przechodzimy następnie do punktu  $c$ , w którym działa siła  $S^c$ , budujemy odpowiedni pięciokąt (rys. 28— $c$ ) i to samo powtarzamy dla punktu  $d$  i  $e$ .

Z wykresów tych wynika, że lewa belka krawędziowa jest na całej długości rozciągana, a prawa — ściskana. Ukośniki zaś pochylone w lewo są ściskane, a pochylone w prawo — rozciągane. Co się tyczy wartości wysiłków, działających w belkach krawędziowych, to jedno się tylko rzuca w oczy, że zarówno w belce ściskanej, jak rozciąganej, największe wysiłki występują w odcinkach przyziemnych.

Rys. 29 przedstawia plan wysiłków, działających we wszystkich belkach kratownicy. Plan ten jest niczem innym, jak zestawieniem w jedną zwartą całość wszystkich wieloboków z rysunku poprzedniego. Boki oznaczają wartości wysiłków, a litery podane na bokach ( $ab$ ,  $ac$  i t. d.) wskazują belkę, w której dany wysiętek panuje. Litery pojedyncze, obwiedzione kółkiem ( $a$ ,  $b$  i t. d.), a postawione na polu poszczególnych wieloboków, wskazują punkt węzłowy, dla którego dany wielobok został zbudowany.

Górna podstawa wykresu jest sumą wszystkich sił poziomych, działających na słup:

$$S^d + S^b + F^b + F^a + S^a + S^c + S^e = F + S.$$

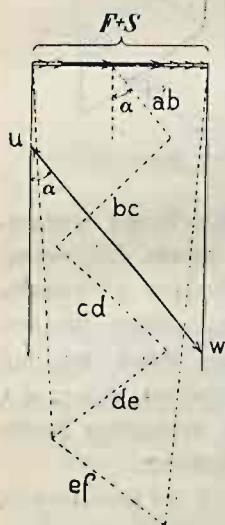


Rys. 29.

Strome boki z lewej strony:  $bd$ ,  $df$  przedstawiają wysiłki w belce ściskanej, strome boki z prawej strony:  $ac$ ,  $ce$ ,  $eg$  — wysiłki w belce rozciąganej, a zygzak pośrodku wykresu:  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$ ,  $de$ ,  $ef$  — wysiłki w ukośnikach.

Korzystając z powyższego planu, wyprowadzimy wzór do analitycznego obliczenia wysiłków, panujących w ukośnikach. Na rys. 30 powtórzony jest ten sam plan, co na rys. 29. Górna podstawa tego wykresu, jak już mówiliśmy, jest sumą wszystkich sił poziomych ( $F + S$ ) bez względu na to, czy siły te działają na tych samych poziomach, czy różnych. Strome krańcowe boki wykresu (na rys. punktowane) mają pochyłość taką samą, jak krańcowe belki w słupie, a wewnętrzne boki:  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$ ,  $de$ ,  $ef$  mają pochyłość odpowiednich ukośników.

Na tle tego planu rzeczywistego (linje punktowane) narysujemy drugi plan sił umyślonych (linje pełne). Górną podstawę zostawimy bez zmiany, a zamiast zbieżnych boków, okalających wykres, narysujemy boki pionowe, a więc do siebie równoległe. Przypuśćmy teraz, że ukośniki mają różną pochyłość. Wybieramy ukośnik najbardziej stromy (t. j. taki, któryby z pionem dawał najmniejszy kąt pochyłu  $\alpha$ ) i rysujemy na wykresie linję prostą  $uw$ , równoległą do tego ukośnika (na rys.  $uw$  jest równoległa do ukośnika  $ab$ ).



Rys. 30.

Łatwo dowieść, że odcinek  $uw$ , opierający się o boki pionowe, ilustruje umyślony wysiłek, który musi być większy od wysiłku, działającego w jakimkolwiek bądź ukośniku. Odcinek bowiem  $uw$  jest zawarty między bokami pionowymi, podczas gdy odcinki  $ab$ ,  $bc$  i t. d. są objęte bokami zbieżnymi, odcinek  $uw$  opiera się o boki krańcowe, podczas gdy  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$ ,  $de$  nie dochodzą do obu boków (wyjątek  $ef$ ), wreszcie  $uw$ , jako równoległy do  $ab$ , ma większą stromość od  $bc$ ,  $cd$ ,  $de$ ,  $ef$ .

Tak więc wysiłek  $F_u$ , panujący w ukośniku najbardziej obciążonym, wyraża się wzorem

$$\left| F_u < \frac{F + S}{\sin \alpha} \right|, \quad (30)$$

w którym  $\alpha$  jest kątem pochyłu najbardziej stromego ukośnika.

**Wyboczenie.** Ukośniki i elementy belek krawędziowych w słupach kratowych mają przy ściskaniu oba krańce swobodnie wsparte. Aby sprawdzić, czy istnieje niebezpieczeństwo wyboczenia, należy przede wszystkim obliczyć smukłość belki  $\lambda$  czyli stosunek długości wyboczenia do promienia bezwładności przekroju

$$\lambda = \frac{l}{\sqrt{J:s}}; \quad (31)$$

$l$  — oznacza długość wyboczenia w cm,  
 $J$  — moment bezwładności w  $\text{cm}^4$ ,  
 $s$  — przekrój w  $\text{cm}^2$ .

Gdy  $\lambda > 102$ , decyduje 2-gi wzór Eulera na wyboczenie sprężyste

$$F \cdot \sigma = \pi^2 \frac{E \cdot J}{l^2}.$$

Obliczmy na podstawie tego wzoru naprężenie krytyczne  $p_w$ , przy którym rozpoczyna się wyboczenie

$$F \cdot p_w \cdot s; \quad \sigma = 1; \quad p_w \cdot s = \pi^2 \frac{E \cdot J}{l^2}; \quad p_w = \frac{(\pi^2 E)}{l^2} = \frac{(\pi^2 E)}{\lambda^2}.$$

Dla żelaza zlewego  $E = 2\,150\,000 \text{ kg/cm}^2$ , a więc

$$\boxed{p_w = \frac{21\,220\,000}{\lambda^2}}. \quad (32)$$

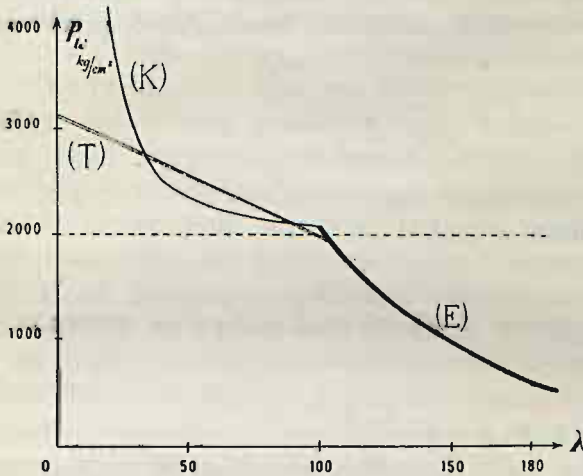
Gdy  $\lambda \leq 102$ , wzór Eulera nie ma zastosowania. Należy wówczas korzystać ze wzorów na wyboczenie niesprężyste bądź wg Tetmajera

$$\boxed{p_w = 3\,100 - 11,41 \cdot \lambda}, \quad (33)$$

bądź wg Karasińskiego

$$\boxed{p_w = 2000 + \frac{850\,000}{\lambda^2}}. \quad (34)$$

Na rys. 31 pokazana jest zależność krytycznego naprężenia wybacniającego  $p_w$  od smukłości  $\lambda$ . Kresa gruba, oznaczona literą



Rys. 31.

$E$ , odpowiada wzorowi Eulera (32), linja podwójna z literą  $T$  odpowiada wzorowi Tetmajera (33) i wreszcie kresa cienka z literą  $K$  odpowiada wzorowi Karasińskiego (34).

**Wymiary belek i nitów.** Słupy kratowe buduje się przeważnie z korytek, kątowników i płaskowników. Najmniejsza dopuszczalna szerokość kształownika wynosi

**3,5 cm,**

najmniejsza dopuszczalna grubość kształownika

**0,4 cm,**

a najmniejsza dopuszczalna średnica nitu

**1,3 cm.**

Otwór na nit nie powinien zbytnio osłabiać belki. Przy rozstawianiu nitów i przy wyznaczaniu średnic nitów należy w zasadzie kierować się względami konstrukcyjnymi (możliwością umieszczenia główki nitu) i nie przekraczać wymiarów, podanych w tabelicy XII.

Krańcowe wartości średnic nitów, które bez zastrzeżeń stosuje się tylko na płaskownikach, są następujące:

Szerokość belki w cm      3,5    4,5    5,5    6,0    7,0    8,0.

Największa dopuszczalna

średnica nitu w cm      **1,3**    **1,6**    **1,8**    **2,0**    **2,3**    **2,6**

Największe dopuszczalne naprężenia podaje tabl. I.