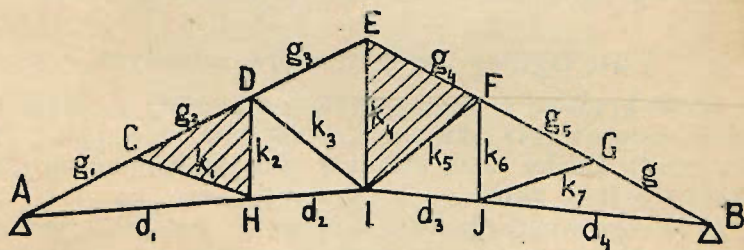


III. Belki kratowe i więzary dachowe.

§ 50. Ogólne uwagi o belkach kratowych.

Niekiedy, zwłaszcza przy większych rozpiętościach, nie budujemy belek jednolitych, ale składamy je z poszczególnych części, z t. zw. prętów, połączonych z sobą w trójkąty, tworząc w ten sposób t. zw. belkę kratową. Należą tu np. dachy żelazne czy drewniane, większe mosty żelazne i t. d. Części takich belek, ograniczające ich zarys, a oznaczone na rys. 220 literami $g_1, g_2, \dots, d_1, d_2, \dots$, nazywamy pasami; przyczem $g_1 - g_6$ jest pasem górnym, zaś $d_1 - d_4$ dolnym.



Rys. 220.

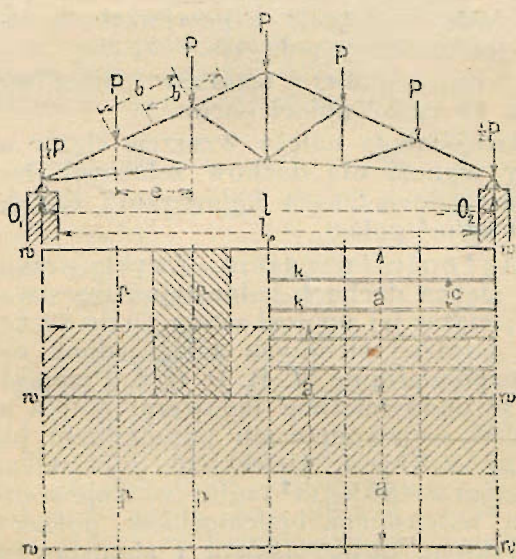
Pręty, któremi są pasy połączone, np. k_1, k_2, \dots , nazywamy krzyżulcami; krzyżulce pionowe słupami (np. k_2), ukośne przekątniami (np. k_3), pręty ściskane zastrzałami, rozciągane ścięgnami. Poszczególne pręty łączą się z sobą w t. zw. węzłach, z których C, D, E są węzłami górnymi, zaś H, I, J — dolnymi.

Tworząc belkę kratową, przyjmuje się zwykle układ z trzech prętów, złączonych w trójkąt, do którego przyłącza się wciąż po dwa pręty. Za taki trójkąt zasadniczy można

Odstęp więzarów przyjmujemy zwykle dla dachów żelaznych 3,5—6 m, dla drewnianych 3,5—5 m.

2. Na pasie górnym więzarów opierają się belki poziome drewniane lub żelazne, t. zw. płatwie czyli leżnie zwykle w węzłach. Wedle ich odstępu rozmieszczamy węzły górne więzara

3. Na płatwiach umieszcza się w odstępie około 1,00 m drewniane belki, leżące w płaszczyźnie dachu, t. zw. krokwie, równoległe od pasa górnego więzarów. Dla krycia szkłem umieszcza się na płatwiach szyny lub szczeble w odstępie 0,5—0,8 m; dla krycia betonem używamy też krokwi żelaznych w odstępie 1,0—1,5 m.



Rys. 221.

4. Na krokwiach umieszcza się pokrycie dachu, które obliczeniu nie podlega (pomijając krycie blachą falistą).

5. Węzary łączą się z sobą zapomocą tężników (wiatrownic) połączonych i pionowych, których też zwykle nie oblicza się.

Przy projektowaniu dachów należy przedewszystkiem przyjąć ogólny ustrój, odstęp i kształt więzarów, a dopiero potem przystąpić do obliczenia obciążeń, krokwi, następnie płatwi i wreszcie więzarów.

§ 52. Obciążenie dachów.

Na więzary dachowe przenosi się całe obciążenie dachów przez płatwie i krokwie. Działa bowiem na nie przede wszystkim ciężar stały dachu, t. j. pokrycia i konstrukcji dachowej, prócz tego zaś i obciążenie chwilowe t. zw. zmienne, z powodu śniegu, jaki osiąść może na dachu i z powodu parcia wiatru. Aby więzary obliczyć, trzeba znać przede wszystkim obciążenie.

1. Ciężar stały. Należy tu ciężar pokrycia, ciężar płatwi i tężników, oraz ciężar własny więzarów. Ciężary pokrycia zależą od rodzaju tegoż, a zestawione są w tablicach w kilogramach na 1 m^2 połaci dachu. Aby obliczyć więc obciążenie jednego węzła należy znaleźć, z jak wielkiej powierzchni przenosi się nań obciążenie i powierzchnię tę pomnożyć przez ciężar jednostkowy pokrycia.

Ciężar własny płatwi i tężników połaciowych wynosi zwykle około 10 kg/m^2 połaci dachu.

Do ciężaru stałego należy wreszcie ciężar własny więzarów, który wynosi dla dachów żelaznych lekkich 10 do 20 kg/m^2 , dla ciężkich $20\text{--}30 \text{ kg/m}^2$ rzutu, dla dachów drewnianych 20 kg/m^2 połaci.

2. Obciążenie śniegiem. Zwykle przyjmujemy, że śnieg osadza się na dachach jednostajną warstwą o grubości 50 do 65 cm; ciężar jej wynosi zatem 60 do 80 kg/m^2 rzutu. Na dachach bardziej stromych śnieg jednak nie może się utrzymać. Rozporządzenie M. R. P. (§ 6. Przepisów obliczeń statycznych w budownictwie lądowym) poleca przyjmować ciężar śniegu w województwach: pomorskiem, poznańskim, warszawskim, łódzkim, kieleckim, lubelskim, krakowskim i śląskiem $s = 80 \text{ kg/m}^2$ rzutu; w województwach: nowogrodzkim, wileńskim, białostockim, poleskim, wołyńskim, lwowskim, tarnopolskim i stanisławowskim $s = 80 \text{ kg/m}^2$ rzutu; w okolicach górskich ponad 400 m wysokości nad poziom morza $s = 80 + 0,12 (h - 400) \text{ kg/m}^2$ rzutu, gdzie h jest wysokością danej miejscowości nad poziom morza. Np dla miejscowości, położonej na wysokości 650 m, należy przyjmując $s = 80 + 0,12 \cdot 250 = 80 + 30 = 110 \text{ kg/m}^2$ rzutu.

Przepisy M. R. P. powiadają dalej:

§ 6. 2. Dla pochyłych dachów większych niż 35° należy wielkość obciążenia śniegiem, obliczoną wedle powyższego, zredukować, mnożąc ją przez współczynnik α , który wynosi:

$$\begin{array}{ll} \text{dla } 30^\circ & \alpha = 1,0; \\ \text{dla } 40^\circ & \alpha = 0,5; \\ \text{dla } 45^\circ & \alpha = 0. \end{array}$$

Wartości pośrednie należy interpolować linjowo. Dla pochylenia ponad 45° obciążenie śniegiem można nie uwzględniać.

(Punkt ten dotyczy np. świetlni dachowych i t. p.)

3. Przy obliczeniu należy uwzględnić możliwość tworzenia się worków śnieżnych we wgłębionych częściach dachu.

4. Należy uwzględnić możliwość całkowitego lub jednostronnego obciążenia śniegiem.

c) Parcie wiatru uwzględnia się, biorąc tylko składową n tegoż, prostopadłą do powierzchni dachu. Dawniej przyjmowano ją zwykle w wielkości:

$$n = w_0 \sin (\alpha + 10^\circ) \dots\dots\dots 188$$

przyczem przyjmowano kierunek parcia pod $\approx 10^\circ$ do poziomu; obecnie wedle rozporządzenia Ministerstwa Robót Publicznych przyjmować należy parcie wiatru poziome, a tem samem składową \perp do powierzchni dachu oblicza się wedle wzoru:

$$n = w_0 \sin \alpha \dots\dots\dots 189$$

We wzorach powyższych α jest kątem pochylenia dachu.

Wielkości w_0 poleca przyjmować M. R. P. wedle następującej tablicy:

w miejscach zasłoniętych 50 kg/m²

" odsłoniętych

do 15 m wysokości . . . 100 kg/m²

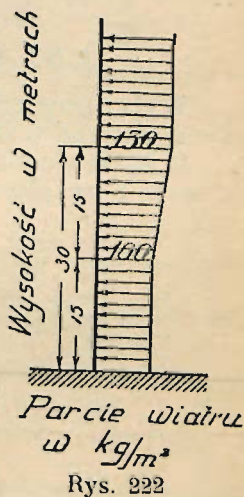
miejscach odsłoniętych

ponad 30 m wysokości . 130 kg/m².

Dla wysokości między 15 m a 30 m należy interpolować wedle linii prostej. Np. dla wysokości 20 m przyjąć należy 110 kg/m². Jeżeli dach znajduje się w granicach między 15 a 30 m, wystarczy dla całej jego wysokości przyjmować wielkość parcia stałą, równą maksymalnej, aby nie utrudniać rachunku. Jeżeli np. rzut dachu mieści się między 21 m a 25 m, wystarczy dla wszystkich węzłów tegoż przyjmować parcie, odpowiadające wysokości 25 m (tj. 120 kg/m²).

Dla budynków, narażonych na szczególnie silne wiatry (wybrzeże morskie, góry itd.), należy powyższe wartości zwiększyć o 50%.

Wiatr działa zawsze tylko z jednej strony, może to nastąpić jednak tak z prawej, jak i z lewej. Przy obliczeniu trzeba



uwzględnić oba wypadki, gdyż powodują one w prętach dachowych różne siły nawet w dachach o kształcie symetrycznym.

Dla pochylenia dachu $\alpha < 10-11^\circ$ ($\lg \alpha < 1/3$) można uwzględnić tylko składową pionową parcia wiatru i włączyć ją do obciążeń pionowych. O ile takie dachy mogą być obciążone przez ludzi (terasy i t. d.), należy przyjąć obciążenie 250 kg/m^2 .

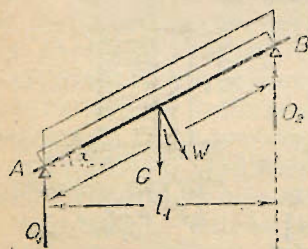
d) Ciężar człowieka (skupiony) $P = 80 \text{ kg}$ przyjmuje się przy obliczeniu krokwi, niekiedy i płatwi. Nieraz bierzemy dla uproszczenia $P = 100 \text{ kg}$, uwzględniając tem samem ciężary, jakieby człowiek mógł z sobą wziąć. Przepisy M. R. P. powiadają w § 5.5:

Obliczenie pokrycia dachu w miejscach, na których może stanąć człowiek, należy przeprowadzić: a) na ciężar śniegu i wiatru, b) na ciężar skupiony człowieka z narzędziami (100 kg), i uwzględnić niekorzystniejsze z obu obciążeń.

§ 53. Obliczenie dachów żelaznych.

Wyżej powiedzieliśmy, że oblicza się najpierw krokwie, potem płatwie, a dopiero na końcu więzary.

1) Krokwie liczymy jako belki w dwu punktach wolno podparte o rozpiętości b równej odległości płatwi. Jeśli odległość krokwi od siebie wynosi c (zwykle około 1 m), to całkowite obciążenie pionowe jednostajnie rozłożone wynosi:



$$G = gbc \text{ kg} \quad . \quad . \quad . \quad 190$$

(jeśli g dane jest w kg na 1 m^2 powierzchni dachu). Śnieg mamy zwykle dany w kg na 1 m^2 rzutu poziomego; wtedy na jedną krokiew przypada:

$$S = sec \text{ kg} \quad . \quad . \quad . \quad 191$$

gdzie e jest poziomym rzutem długości b . Całkowite obciążenie pionowe (rys. 223)

$$P = G + S \quad . \quad . \quad . \quad 192$$

rozkładamy na składową P_1 prostopadłą i P_2 równoległą do połaci dachu. Otrzymamy wtedy:

$$P_1 = P \cos \alpha \quad P_2 = P \sin \alpha \quad . \quad . \quad . \quad 193$$

gdzie α jest kątem nachylenia krokwi do poziomu.

Prócz tego działa jeszcze na krokiew parcie wiatru prostopadłe do połaci. Wielkość jego wynosi:

$$N = nbc \quad . \quad . \quad . \quad 193$$

Całkowite obciążenie prostopadłe do połaci dachu wynosi zatem $P_1 + N$; wywołuje ono moment gięcia:

$$M = \frac{P_1 + N}{8} b \quad 194$$

Wedle przepisów M. R. P. należy nadto zbadać, czy skupiony ciężar człowieka ($P' = 100$ kg) nie wywoła większych naprężeń w krokwi niż obciążenie śniegiem i wiatrem. Rozkładając ten ciężar na równoległy i prostopadły do płaszczyzny dachu, otrzymamy najw. moment od ciężaru własnego i od ciężaru człowieka:

$$M' = \frac{G \cos \alpha \cdot b}{8} + \frac{P' \cos \alpha \cdot b}{4} = \frac{(G + 2 P') b \cos \alpha}{8} \quad . . 195$$

Z wartości M i M' (wzór 194 i 195) należy wziąć wartość większą i obliczyć naprężenie wedle wzoru $\sigma = \frac{M}{W}$.

Siła P_2 działa w osi krokwi i wywołuje ściskanie osiowe $\sigma_2 = \frac{P_2}{F}$. Całkowite naprężenie wynosi zatem:

$$\sigma = \frac{P_2}{F} + \frac{M}{W} \quad 196$$

Zwykle wyraz $\frac{P_2}{F}$ jest tak mały, że go się nie uwzględnia dla normalnych pochyłości. Przy dachach bardzo bardzo stromych należy jednak liczyć wedle wzoru 196.

Na krokwie przyjmujemy zwykle belki drewniane, najczęściej o wymiarach $\frac{13}{10}$, $\frac{15}{9}$, $\frac{16}{13}$, $\frac{18}{16}$ cm.

Przy kryciu szkłem, używamy zwykle szyn kopalnianych lub specjalnych szczebli, które oblicza się zupełnie tak samo.

2 Płatwie ustawia się albo (najczęściej) pochyło, t. j. prostopadłe do połaci dachu, albo, o wiele rzadziej, pionowo, co ma miejsce przy dachach płaskich; umieszcza się je w węzłach (górnym), wyjątkowo także i między węzłami.

Na płatwie przenosi się: a) ciężar pionowy pokrycia z pola o długości a (równej odstępowi więzów), a szerokości b (równej odległości węzłów górnych; wynosi on:

$$G_1 = abg \text{ kg} \quad 197$$

b) ciężar własny płatwi, którego nie znamy z góry, ale przyjmujemy w wielkości około 10 kg/m².

więc $G_2 = 10 ab \text{ kg}$ 198

c) ciężar śniegu S wynoszący: $S = aes \text{ kg}$.

Całkowity ciężar pionowy wynosi zatem:

$$P = G_1 + G_2 + S 199$$

a stąd moment zgięcia:

$$M_1 = \frac{1}{8} Pa 200$$

Wreszcie płatwie przejmują parcie wiatru, prostopadłe do połaci $N = abn \text{ kg}$, a zatem moment w płaszczyźnie również prostopadłej do połaci:

$$M_2 = \frac{1}{8} Na 201$$

Moment M_1 rozkłada się na M_1' prostopadły do połaci dachu i M_1'' równoległy do niej. Wtedy największe naprężenie płatwi wynosi dla płatwi umieszczonych prostopadłe do połaci:

$$\sigma = \frac{M_1 \cos \alpha + M_2}{W'} + \frac{M_1 \sin \alpha}{W''} 202$$

dla płatwi, umieszczonych pionowo:

$$\sigma = \frac{M_1 + M_2 \cos \alpha}{W'} + \frac{M_2 \sin \alpha}{W''} 203$$

3. Oddziaływania płatwi są zarazem obciążeniami węzłów więzara czyli t. zw. ciężarami węzłowymi. Należy dodać jednak do nich ciężar własny więzara G_3 z pola ae :

$$G_3 = aeg_w \text{ kg} 204$$

gdzie g_w jest ciężarem własnym dźwigara w kg na 1 m^2 rzutu poziomego. Por. tabl. VIII.

Całkowity ciężar węzłowy pionowy wynosi zatem:

$$P = G_1 + G_2 + G_3 + S 205$$

zaś ciężar wiatru j. w.:

$$N = abn \text{ kg} 206$$

Na węzły podporowe, t. j. leżące bezpośrednio nad podporą, przenosi się obciążenie prawie dwukrotnie mniejsze, o ile niema wystającego okapu. Czasem jednak węzeł podporowy niema płatwi, a krokiew spoczywa wprost na ławie, leżącej na murze (t. zw. murłacie). Wtedy węzeł skrajny nie jest wcale obciążony.

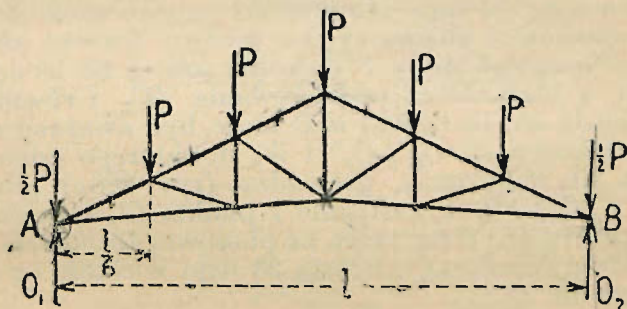
Ciężary węzłowe zaokrąglamy zwykle w górę na setki lub przynajmniej dziesiątki kg, z uwagi na to, że zupełnie dokładnie obciążeń i tak obliczyć nie można.

§ 54. Wyznaczenie oddziaływań.

Przed przystąpieniem do obliczania sił działających w prętach więzarów dachowych należy wyznaczyć oddziaływanie, czyli odpory, zwykle osobno dla obciążenia pionowego, osobno dla naporu wiatru.

Wyznacza się je dla ciężarów pionowych na zasadzie, omówionej w § 23. Mamy tu (rys. 224) do czynienia z szeregiem ciężarów pionowych rozłożonych dla więzara symetrycznego symetrycznie względem osi. Oba oddziaływania będą zatem pionowe, równe sobie, a zarazem równe połowie obciążenia jednego więzara. Np. dla obciążenia zaznaczonego na rys. 226 $R = 5P + 2 \frac{P}{2} = 6P$, a stąd oddziaływanie $O_1 = O_2 = \frac{1}{2} 6P = 3P$. Jeśli obciążenia są rozmieszczone niesymetrycznie, to należy wyznaczyć oddziaływania wedle § 23.

Dla parcia wiatru musimy uwzględnić, że każdy (większy) dach żelazny posiada dwa różne łożyska, jedno



Rys. 224

stałe, drugie ruchome, pozwalające na małe przesunięcie belki w razie zmiany jej długości pod wpływem zmiany ciepłoty*). Przy obliczeniu belki przyjmujemy, że na łożysku ruchomem tarcia niema wcale; jeśliby zatem wystąpiła tu jakakolwiek siła pozioma, to belka przesunęłaby się po płycie. Na łożysku ruchomem oddziaływanie musi być więc pionowe. Kierunek drugiego oddziaływania (na łożysku stałym) wypadnie z warunków równowagi. Belka jest statycznie wyznaczalna tylko wtedy, jeśli ma jedno łożysko stałe, drugie ruchome.

Weźmy pod uwagę więzar (rys. 226a), na który działa parcie wiatru z lewej strony, t. j. od strony łożyska rucho-

*) Ruch umożliwiony jest w ten sposób, że na jednym łożysku belki nie łączymy wcale z płytą podstawową, albo też (dla większych dachów) umieszczamy ją na wałkach.

mego. Oddziaływanie z pow. wiatru O_1 musi być zatem pionowe. Wypadkowa W parcia wiatru działa w środku połaci. Jeśli zachodzi nierównomierny rozkład parcia (np. dach załamany), to jego wypadkową znajdziemy w sposób znany z § 12. Ta wypadkowa musi zrównoważyć się z obu oddziaływaniami, musi więc przecinać się z niemi w jednym punkcie. Przedłużmy kierunek (pionowy) oddziaływania O_1 aż do przecięcia z W , to prosta, łącząca punkt przecięcia K z podporą B , da kierunek oddziaływania O_2 .

Zupełnie tak samo możemy znaleźć oddziaływanie, jeśli wiatr działa ze strony prawej (rys. 226 c). Jeśli dach jest zupełnie symetryczny, to i położenie wypadkowej W_p będzie symetrycznie takie same. Przedłużamy ją więc do przecięcia się z pionową przez podporę A , t. j. do punktu L , a prosta LB da kierunek oddziaływania O_1 .

Czasem jednak punkt L wypada tak daleko, że konstrukcji tej użyć nie można. Wtedy postąpimy inaczej. Zauważmy mianowicie, że jeśli siły W_p , O'_1 i O''_2 mają być w równowadze, to musi zamknąć się na nich wielobok sznurowy. Jednakowoż znamy tylko jeden punkt siły O''_2 , tj. p. B . Poprowadźmy z B dowolną prostą Ba aż do przecięcia się z kierunkiem oddziaływania O'_1 i również dowolną prostą ab , to trójkąt abB może być uważany za wielobok sznurowy sił O'_1 , O'_2 i W_p , do którego odpowiedni wielobok sił znajdziemy, prowadząc (rys. 226 c) promienie $1O' // ab$ i $2O' // bB$, a następnie z punktu O' , uważanego za biegun, prostą $O'3 // Ba$, która na pionowej 13 odcinie wielkość oddziaływania O_1 . Prosta 23 daje wielkość i kierunek oddziaływaniu O_2 .

§ 55. Wykreślne wyznaczenie sił wewnętrznych belki kratowej.

Siły wewnętrzne w prętach więzarów kratowych wyznacza się na podstawie praw, podanych w § 9. Rozkładaliśmy tam siły (zewnątrzne) na składowe, działające w pewnych określonych kierunkach. Zupełnie to samo zadanie spotykamy i tutaj: kierunki sił składowych określone są kierunkami prętów. Wiemy jednakowoż, że daną siłę można rozłożyć w sposób jednoznaczny tylko na dwie składowe, t. j. w danym punkcie możemy mieć tylko dwa pręty o nieznannej sile. Dachy kratowe są przecież najczęściej tak zbudowane, że tylko w dwu węzłach (czasem tylko w jednym węźle) schodzą się po dwa pręty; w pozostałych węzłach jest ich więcej.

wypadkową również pionową o kierunku siły większej, t. j. *mo*. Siła ta rozkłada się na dwie siły wewnętrzne, w prętach g_1 i d_1 , a wielkość ich znajdziemy, prowadząc z *m* i *o* proste *mp* i *op* równoległe do odpowiednich prętów g_1 i d_1 . Ponieważ ma zastąpić równowagę, przeto wielobok sił musi się zamknąć, a strzałki będą miały ten sam kierunek, tak, abyśmy wychodząc z punktu *m* powrócili znów do niego. Wrysujemy te same strzałki na prętach g_1 i d_1 obok węzła *A*, to wskazywać będą one kierunki sił g_1 i d_1 . Siła w pręcie górnym g_1 skierowana jest do węzła, „stara się go przycisnąć“, jest zatem ściskaniem. Siła w pręcie dolnym d_1 przeciwnie, skierowana jest na zewnątrz od węzła, stara się pręt wyciągnąć, jest zatem rozciąganiem o wielkości $d_1 = pm$.

Dla lepszego zrozumienia możemy sobie wyobrazić, że pręt jest sprężyną. Jeśli w nim wystąpi ściskanie, to sprężyna ta skróci się, zarazem jednak będzie wywierała ciśnienie na oba końce, t. j. na węzły; siła pręta skierowana jest więc ku węzłom. W razie rozciągania pręt się wydłuża, sprężyna jednak stara się węzły przyciągnąć do siebie, działa więc od węzłów. Znacząc siłę rozciągającą, musimy zatem dać obustronnie strzałki od węzłów; strzałki będą zatem skierowane ku sobie. Przy ściskaniu — przeciwnie — strzałki będą skierowane od siebie.

Dla wyznaczenia sił, występujących w prętach następnych weźmy pod uwagę węzeł *C* (rys. 225d). Działają tutaj: 1. ciężar węzłowy, 2. znana już siła g_1 , 3. dwie niewiadome siły g_2 i k_1 . Siły wiadome *P* i g_1 możemy złożyć w wypadkową, oznaczoną w rysunku (rys. 225d) linią „kreska-kropka“ — · — · — · —, a ta wypadkowa rozłożona na siły g_2 i k_1 równoległe do prętów g_2 i k_1 da wielkości tych sił. Siła g_1 jest w pręcie ściskaniem, zatem działa teraz ku węzłowi *C* i trzeba wrysować ją ze strzałką w tymże kierunku, a zatem przeciwnie niż poprzednio. Stąd wynika też kierunek wypadkowej i kierunki sił g_2 i k_1 ; w obu występuje ściskanie („do węzła“). Kreślenie wypadkowej można zresztą opuścić i wrysować tylko siły *P* i g_1 , a do nich następnie g_2 i k_2 równoległe do prętów g_2 i k_2 . Trzeba pamiętać jednak o tem, aby siły następowały po sobie w tym porządku, w jakim spotykamy je w węźle, idąc np. w kierunku wskazówki na zegarze. Np. poczynając od znanej siły g_1 , mamy w węźle *C* kolejno siły P_1 , g_2 i k_1 ; w tym samym porządku widzimy je też w wykresie.

Zamiast jednak kreślić osobno plan sił dla węzła *C*, *D* i t. d., możemy umieścić go na tej samej figurze, co dla punktu podporowego (rys. f), prowadząc $p's'//gh$, oraz $s't'//hi$.

Siły $p's'$ i $s'l'$ są identyczne bowiem z siłami gh i hi , a więc k_1 i g_2 . Podobnie postępujemy dalej, biorąc węzeł D (znane d_1 i k_1 , niewiadome d_2 i k_2), następnie węzły E i F , rozkładając kolejno siły zwykle na wspólnym wykresie. Wykres ten podający odrazu wielkość i znak każdej z sił, nazywamy planem sił.

Plan sił ma nast. ogromne zalety: siły przedstawione są w nim w sposób jasny i przejrzysty; każdą kreśli się tylko raz; wreszcie znane siły są już wrysowane we właściwym porządku (t. j. po kolei, idąc za wskazówką na zegarze), więc przy rozpatrywaniu każdego węzła chodzi tylko o dobre włożenie sił nieznanych.

Ostatecznie dojdziemy do węzłów środkowych F i G . Jeśli kształt dachu i obciążenie jego jest symetryczne, to siły w prętach lewej połowy więzara będą równe odpowiednim siłom prawej jego połowy; wystarczy wyznaczyć więc plan sił tylko dla jednej połowy. Strzałek zwykle nie kreśli się, uzyskawszy pewną wprawę w odczytywaniu sił; wystarczy oznaczyć siły znakami $+$ i $-$ w planie sił.

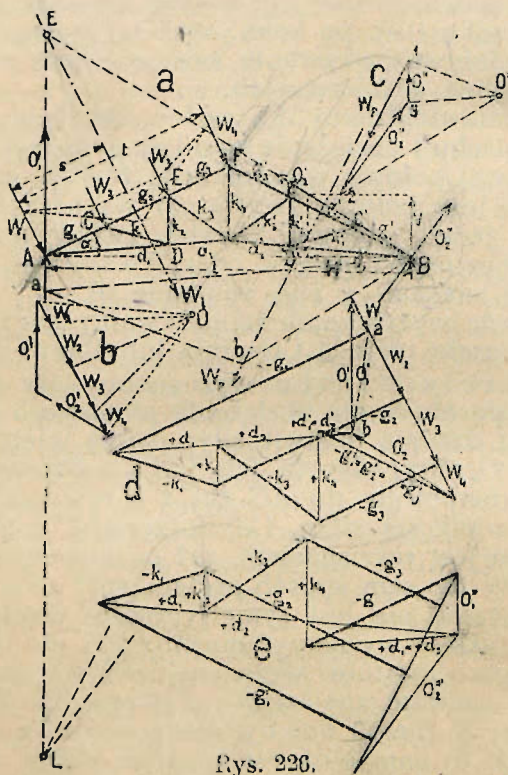
Tę metodę wyznaczania sił nazywamy metodą wielobokową (czasem metodą Cremony lub Maxwella).

Dla parcia wiatru wyznaczamy siły wewnętrzne w ten sam sposób, co dla obciążenia pionowego (rys. 226 d). W punkcie A działają tu dwie siły: parcie wiatru W_1 i oddziaływanie O_1 ; wypadkową ich jest ab . Prowadząc zatem z punktu a równoległą do AC , zaś z b równoległą do AD , otrzymamy wielkości sił g_1 i d_1 , przyczem d_1 jako działająca od węzła jest rozciąganiem, zaś g_2 skierowana do węzła ściskaniem. W ten sam sposób postępujemy dalej; ponieważ jednak obciążenie nie jest symetryczne ze względu na środek więzara, przeto wyznaczyć musimy siły we wszystkich prętach. W przedostatnim węźle znajdziemy tylko jedną niewiadomą, w ostatnim, znalazłszy już poprzednio siły g_1' i d_1' , spostrzegamy, że muszą one być równowadze z oddziaływaniem O_2 . Daje to nam możność kontroli, czy w wykreślaniu planu sił nie popełniliśmy błędu, gdyż we wszystkich (więc i w ostatnich) węzłach plan sił musi się zamknąć.

Z planu sił dla belki o pasach prostych i schodzących się w węźle podporowym, jak na rys. 226 d, wynika, że dla wiatru z lewej strony siły wewnętrzne w prętach k'_1, k'_2, k'_3 są równe zeru. Do tego samego wyniku dojdziemy, wychodząc z łożyska B . Oddziaływanie O_2 rozkłada się tu na siły d'_1 i g'_1 ; w punkcie C' nie działa żadna siła zewnętrzna, zatem siła $BC' = g'_1$ musi przenieść się w całości na $C'E'$, zaś na $C'E'$, zaś przekątnia pozostaje bez naprężenia. To samo

powtarza się w D' i E' , o ile oba pasy górny i dolny są proste i schodzą się w węźle podporowym.

Błędy rysunku sprowadzają zawsze pewną niedokładność w planie sił; aby je o ile możności zmniejszyć, postępujemy następującą drogą. Wychodząc od łożyska lewego, wyznaczamy siły wewnętrzne w pewnej ilości prętów (mniej więcej w połowie więzara, np. do prętów g'_3 i k'_3 w rys. 226); następnie przerywamy wykres i wychodząc od łożyska pra-



Rys. 226.

wego, kreślimy siły od końca, aż obie części wykresu zetkną się. Jeżeli tu spostrzeczemy różnicę stosunkową nieznaczną, wystarczy poprawić nieco siłę, na którą uzyskaliśmy wartości niezgodne z sobą, oraz parę najbliższych sił, tak, aby plan sił zamknął się zupełnie.

Dla wiatru działającego ze strony prawej należy wykreślić osobny plan sił na tej samej zasadzie, co poprzedni (rys. 226e).

§ 56. Wyznaczenie oddziaływań metodą rachunkową.

Dla obciążenia pionowego wyznaczamy oddziaływanie w sposób znany już z § 23 i 54.

Oddziaływanie dla wiatru znajdziemy w następujący sposób (rys. 226a):

Wiemy, że jedno oddziaływanie (łożyska ruchomego) jest pionowe; całą zatem składową poziomą wiatru przejmie oddziaływanie O_1 . Jeśli dach przebiega w linii prostej swym pasem górnym, to dla nachylenia połaci dachu pod kątem α składowa pozioma wiatru, a tem samem i składowa pozioma oddziaływania O_2 , wynosi $H = W \sin \alpha$.

Oddziaływanie pionowe wyznaczamy na podstawie równania momentów. Niech wypadkowa wiatru zaczepia w odległości s od łożyska A , to przyjmując biegun w A , otrzymamy równanie:

$$W \cdot s - V_b \cdot l = 0$$

gdzie V_b jest składową pionową oddziaływania O_2 . Składowa pozioma oddziaływania O_2 nie daje żadnego momentu, gdyż kierunek jej przechodzi przez punkt A .

Z równania tego otrzymamy:

$$V_b = \frac{Ws}{l} \dots \dots \dots 207$$

Jeśli wypadkowa parcia wiatru zaczepia w środku długości AF , to $s = \frac{AF}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{l}{2 \cos \alpha}$

$$V_b = \frac{Wl}{4l \cos \alpha} = \frac{W}{4 \cos \alpha} \dots \dots \dots 208$$

Oddziaływanie O_1 znajdziemy z warunku na równowagę składowych pionowych. Składowa pionowa wiatru wynosi $W_v = W \cos \alpha$, więc: $W \cos \alpha - O_1 - V_b = 0$,
a stąd:

$$O_1 = W \cos \alpha - V_b = W \cos \alpha - \frac{W}{4 \cos \alpha} = \frac{W}{4} \cos \alpha \left(4 - \frac{1}{\cos^2 \alpha} \right)$$

$$O_2 = \frac{W}{4} \cos \alpha (3 - \lg^2 \alpha) \dots \dots \dots 209$$

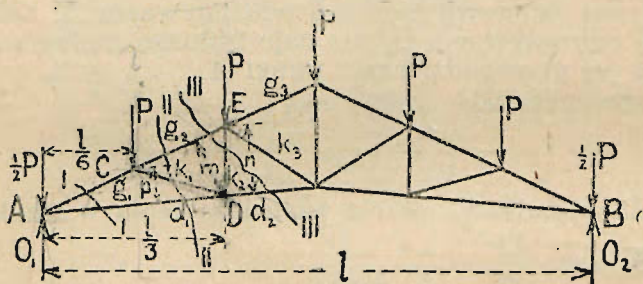
W ten sam sposób otrzymamy dla wiatru działającego ze strony prawej:

$$H = W \sin \alpha \quad O_1 = \frac{W}{4 \cos \alpha} \quad V_b = \frac{W}{4} \cos \alpha (3 - \lg^2 \alpha) \dots 210$$

§ 57. Rachunkowe wyznaczenie sił wewnętrznych belki kratowej.

Rachunkowe wyznaczenie sił wewnętrznych belki kratowej polega również na zasadzie: jeżeli parę sił jest z sobą w równowadze, to moment ich względem dowolnie obrazonego punktu, t. zw. bieguna, musi równać się zeru. Jeśli z tych sił są trzy niewiadome, to biegun możemy przyjąć w punkcie przecięcia dwu z nich, a wtedy moment tych dwu sił jest równy zeru; mamy więc w równaniu tylko jedną siłę niewiadomą, która zatem łatwo da się obliczyć.

Dla wyznaczenia sił w przecie np. g_2 (rys. 227), przeźnijmy więzar wedle linii III—III i zbadajmy jego odcinę lewą część. Jeśli ma się ona trzymać w równowadze, to wszystkie siły, działające na nią, muszą być też w równowadze. Siłami temi są nie tylko siły zewnętrzne O_1 i siły P , działające na odcinę belki, ale także siły w podtrzymujących ją prętach, któreśmy przecięli, g_2 , k_2 , d_2 , tj. te siły,



Rys. 227.

których znalezienie jest właśnie naszym zadaniem. Chcąc znaleźć siłę np. g_2 , uwzględnijmy, że te wszystkie siły muszą dać moment równy zeru ze względu na jakikolwiek punkt, a więc i ze względu na punkt D przecięcia się sił k_2 i d_2 . Ponieważ nie znamy dotąd znaku siły g_2 , więc przyjmujemy na razie znak + (t. j. rozciąganie); otrzymamy wtedy:

$$O_1 \cdot \frac{l}{3} - P \cdot \frac{l}{6} + g_2 m = M + g_2 m = 0 \quad \dots \quad 211$$

jeśli M oznacza moment sił zewnętrznych, działających na odcinę belki (O_1 i P_1) względem punktu D :

$$M = O_1 \cdot \frac{l}{3} - P \cdot \frac{l}{6} = \frac{l}{6} (2 O_1 - P) = \frac{l}{6} (5 P - P) = \frac{2}{3} P l$$

$$\text{Stąd otrzymamy: } g_2 = -\frac{M}{m} = -\frac{2}{3} \frac{P l}{m} \quad \dots \quad 211a$$

Ponieważ otrzymaliśmy na g_2 znak —, a przyjęliśmy poprzednio +, więc przyjęcie nasze było fałszywe. W g_2 panuje zatem ściskanie.

Podobnie dla znalezienia siły d_2 bierzemy moment wzgl. p. E; przyjmując dla tej siły znów znak +, otrzymamy:

$$M - d_2 n = \frac{2}{3} Pl - d_2 n = 0 \quad . \quad . \quad . \quad 212$$

$$d_2 = + \frac{2}{3} \frac{Pl}{n} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 212a$$

w k_2 panuje zatem rozciąganie.

Dla k_2 bierzemy moment względem p. przecięcia sił d_2 i g_2 , tj. względem A; otrzymamy więc:

$$P \frac{l}{6} - k_2 \frac{l}{3} = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 212b$$

$$k_2 = - \frac{1}{2} P \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 212c$$

(więc ściskanie). Podobnie prowadząc przekroje I, II..., znajdujemy siły w innych prętach, o ile to jest potrzebne. Zwykle jednak rachunkowo wyznacza się tylko jedną siłę, albo dla

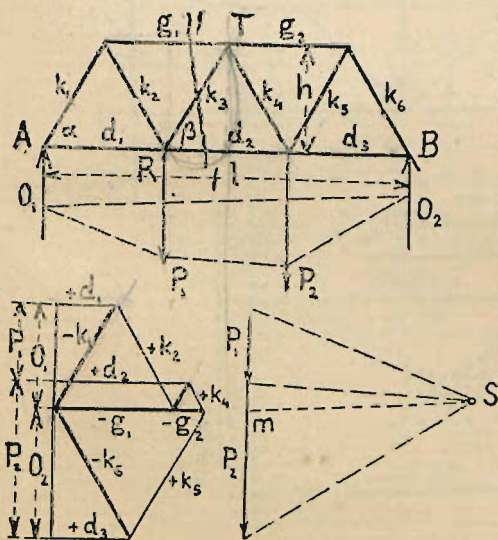
kontroli czy wykres nie jest błędny, albo, jeżeli metodą podaną w § 55 nie można znaleźć wszystkich sił (por. przykład 143).

Natomiast przy obliczeniu belek, których oba pasy są do siebie równoległe (t. zw. belek równoległych), metoda rachunkowa prowadzi do celu bardzo szybko. Weźmy np. pod uwagę belkę przedstawioną na rys. 228. Otrzymamy tu, prowadząc przekrój I—I i biorąc moment względem p. T:

$$M_T - d_2 h = 0, \quad \text{stad: } d_2 = + \frac{M_T}{h} \quad 213$$

biorąc moment względem punktu R.

$$M_R + g_1 h = 0, \quad \text{stad } g_1 = - \frac{M_R}{h} \quad . \quad . \quad . \quad 213a$$



Rys. 228.

Widzimy stąd, że w belce o pasach równoległych siły wewnętrzne w pasach są wprost proporcjonalne do momentów sił wewnętrznych.

Dla znalezienia siły k_3 nie możemy zastosować prawa o momentach, gdyż oba prostopadłe przecięte pręty g_1 i d_2 są równoległe. Biorąc sumę rzutów pionowych sił działających na odciętą część belki, otrzymamy natomiast:

$$O_1 - P_1 + k_3 \sin \beta = 0 = T + k_3 \sin \beta$$

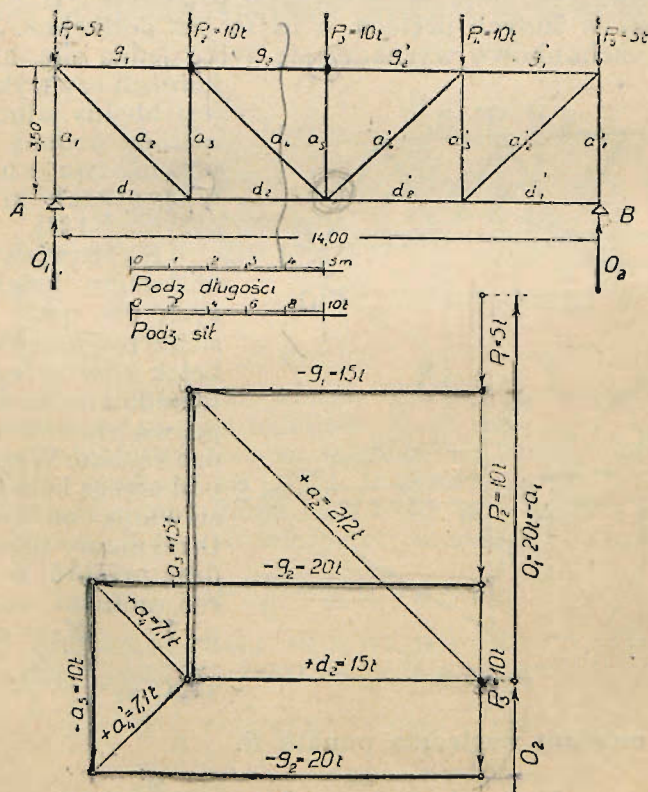
gdzie $T = O_1 - P_1$ jest siłą poprzeczną w danym przekroju.

Zatem: $k_3 = -T \operatorname{cosec} \beta = \frac{T}{\sin \beta}$ 213b

Dla prętów pionowych czyli t. zw. słupów ($\beta = 0$), por. rys. 229, otrzymujemy:

$$k = T, \text{ względnie: } k = -T. \quad 213c$$

Siła wewnętrzna w słupach równa jest zatem odpowiedniej sile poprzecznej.



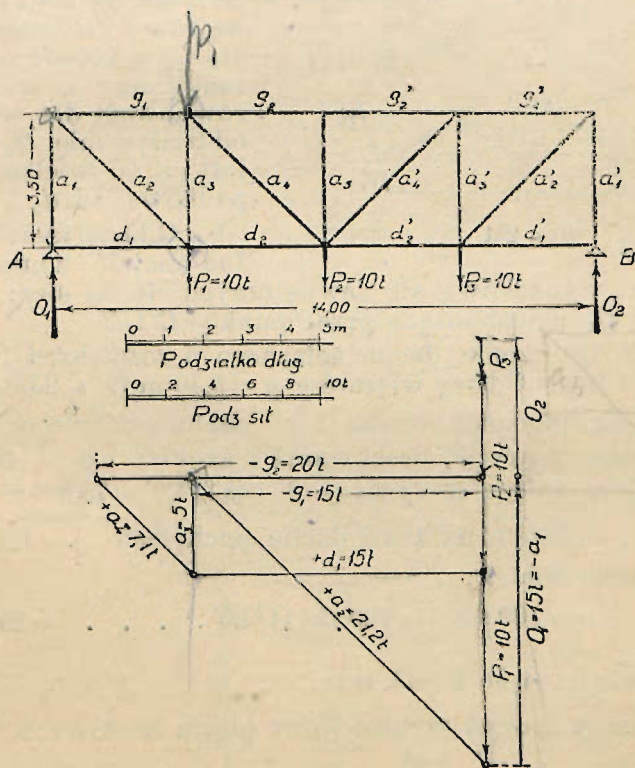
Rys. 229.

Przykłady 139–143.

139. Wyznaczyć siły wewnętrzne w belce równoległej wedle rys. 229, obciążonej w węzłach górnych. (Belkę równoległą, którą słupy dzielą na poszczególne prostokąty, nazywamy belką o kracie prostokątnej.)

Wyznaczamy oddziaływanie, a następnie kreślimy plan sił wedle rys. 229.

Pręty ściskane oznaczono w planie sił linjami grubemi, rozciągane — cienkimi.

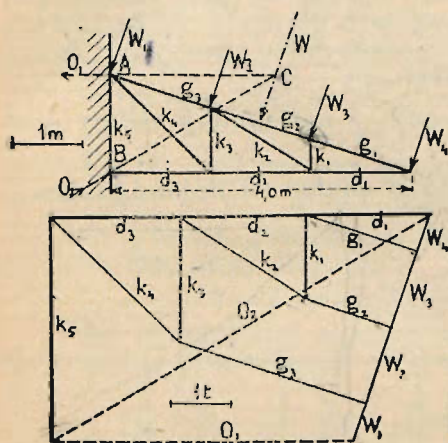


Rys. 230.

140. Wyznaczyć siły wewnętrzne w belce tej samej, co w przykładzie 139, ale obciążonej w węzłach dolnych.

Rozwiązanie podane jest na rys. 230; siła $d_2 = g_1$.

141. Wyznaczyć siły wewnętrzne więzara dachowego wspornikowego wedle rys. 231.



Rys. 231.

Najwygodniej rozpocząć wyznaczanie sił od węzła, w którym schodzą się pręty g_1 i k_1 , których siły wewnętrzne znajdziemy, rozkładając na odp. składowe siłę W_1 . Podobnie znajdziemy kolejno siły w innych prętach, dochodząc ostatecznie do węzłów A i B. Oddziaływanie O_1 w kotwie poziomej znajdziemy z warunków równowagi dla węzła A; oddziaływanie O_2 równe jest co do wielkości wypadkowej sił d_3 i k_3 .

Oddziaływanie można znaleźć wprost, rozkładając wypadkową siłę zewnętrzną W na siły: O_1 poziomą i O_2 przechodzącą przez punkty C i B.

142. Obliczenie dachu żelaznego o rozpiętości 18,00 m. Pokrycie papą. Odstęp więzarów $a = 5,40$ m (rys. 232).

Obciążenia pionowe na 1 m^2 dachu pochyłego:

Ciężar pokrycia, desekowania i krokwi $g_1 = 40 \text{ kg/m}^2$

Ciężar śniegu $s_1 = s \cos a = 80 \cos 11^\circ 20' = 78,5 \approx 80$

Razem na 1 m^2 dachu pochyłego $g = 120 \text{ kg/m}^2$

Parcie wiatru: *1 do połaci*

$n = 100 \sin a = 100 \sin 11^\circ 20' = 20 \text{ kg/m}^2$.

Obliczenie krokwi:

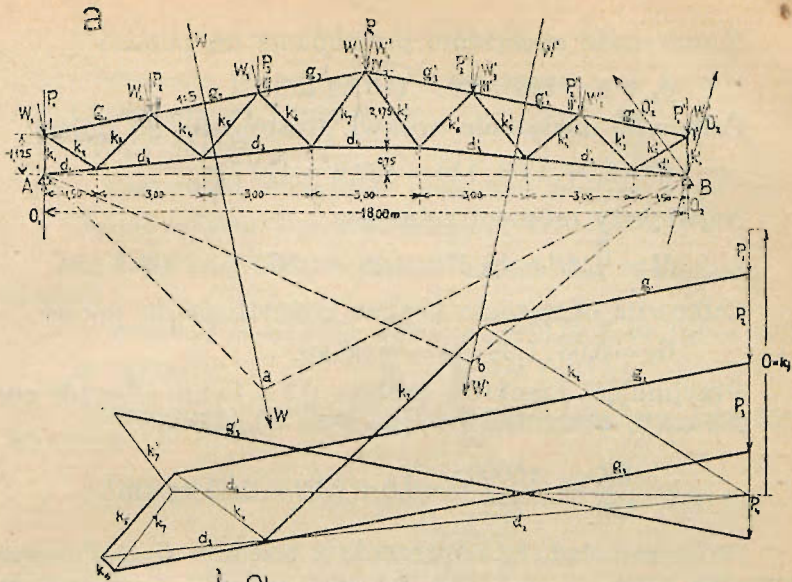
Odstęp krokwi wynosi (przy pięciu krokwiach pomiędzy więzarami) $c = \frac{5,40}{5} = 1,08 \text{ m}$.

Składowa obciążenia prostopadła do połaci:

$g_1 = g \cos a = 120 \cos 11^\circ 20' = 117,6 \approx 120 \text{ kg/m}^2$.

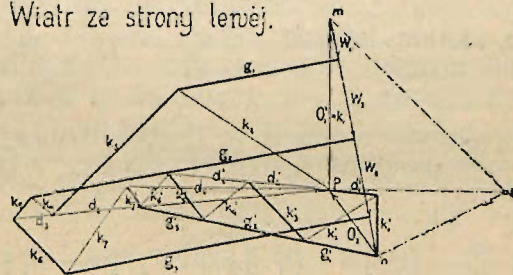
Składowa równoległa po połaci:

$g_2 = g \sin a = 120 \sin 11^\circ 20' = 24 \text{ kg/m}^2$.

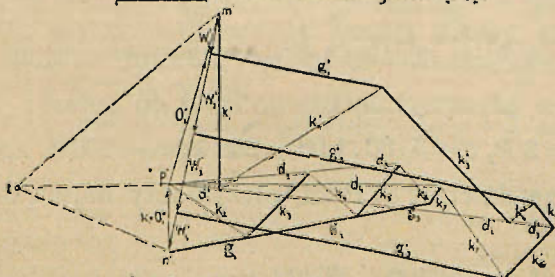


b. Obciążenie pionowe.

c. Wiatr ze strony lewej.



Podziałka dla rysunków c i d



d. Wiatr ze strony prawej.

Rys. 232.

Sumaryczne obciążenie prostopadłe do połaci:

$$g_1 + n = 120 + 20 = 140 \text{ kg m}^2.$$

Całkowite obciążenie krokwi prostopadłe do połaci:

$$G = 3,06 \cdot 1,08 \cdot 140 = 462,6 \approx 470 \text{ kg}.$$

Największy moment zginający:

$$M = \frac{1}{8} G l = \frac{1}{8} 470 \cdot 3,06 = 17977 \approx 18000 \text{ kgcm}.$$

Całkowite obciążenie krokwi równoległe do połaci:

$$G_2 = 3,06 \cdot 1,08 \cdot 24 = \approx 80 \text{ kg}.$$

Przyjmując przekrój krokwi $13 \times 10 \text{ cm}$ ($F = 130 \text{ cm}^2$, $W = 282 \text{ cm}^3$), otrzymamy największe naprężenie:

$$\sigma = \frac{80}{130} + \frac{18000}{282} = 0,6 + 63,9 = 64,5 \text{ kg/cm}^2.$$

(Widzimy stąd, że naprężenie z powodu G_2 jest stosunkowo tak małe, że możemy je śmiało opuścić w obliczeniu.)

Obliczenie płatuwi:

Na płatew działają ciężary równe podwójnym oddziaływaniom krokwi: $P_1 = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 470 = 470 \text{ kgp}$ prostopadłe do połaci dachu, oraz $P_2 = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 80 = 80 \text{ kg}$ równoległe do połaci.

Największy moment w środku równy jest momentowi w punkcie podparcia krokwi drugiej z rzędu od więzara i wynosi:

$$M_1 = O_1 \frac{a}{2} - P_1 \cdot \frac{2}{3} c - P_1 \cdot \frac{1}{2} c = 2 P_1 \cdot \frac{2}{3} c - P_1 \cdot \frac{2}{3} c - P_1 \cdot \frac{1}{2} c = 3 P_1 c$$

Zatem moment w płaszczyźnie prostopadłej do połaci wynosi:

$$M_1 = 3 P_1 c = 3 \cdot 470 \cdot 1,08 = 1523 \text{ kgm} = 152300 \text{ kgcm}.$$

Moment w płaszczyźnie równoległej do połaci:

$$M_2 = 3 P_2 c = 3 \cdot 80 \cdot 1,08 = 269 \text{ kgm} = 26900 \text{ kgcm}.$$

Przyjmując dźwigar $NP 24$, otrzymamy największe naprężenie:

$$\sigma = \frac{M_1}{W_1} + \frac{M_2}{W_2} = \frac{152300}{354} + \frac{26900}{41,7} = 430 + 645 = 1075 \text{ kg/cm}^2.$$

Obliczenie więzara głównego.

Obciążenie pionowe: Pokrycie papą . 40 kg/m²

Ciężar płatwi i więzarów 30 „

Ciężar śniegu 80 „

Całkowite obciążenie pionowe: $g = 150$ kg/m² połaci.

Parcie wiatru j. w. $n = 55$ kg/m². *20 kg/m²*

Ciężary węzłowe wynoszą zatem dla obciążenia pionowego:

w węzłach II, III i IV: $P = b \cdot a \cdot g = 3,06 \cdot 5,40 \cdot 150 = 2480$ kg

w węźle I: $P_1 = \frac{1}{2} P = 1250$ kg.

Oddziaływania więzara z powodu ciężaru pionowego wynoszą:

$$O_1 = O_2 = \frac{5 P + 2 P_1}{2} = \frac{5 \cdot 2500 + 2 \cdot 1250}{2} = 7500 \text{ kg.}$$

Ciężary węzłowe dla parcia wiatru wynoszą:

w węzłach II i III: $W = 3,06 \cdot 5,40 \cdot 20 = 330$ kg,

w węzłach I i IV: $W_1 = \frac{1}{2} W = 165$ kg.

Oddziaływania dla parcia wiatru znajdujemy wykreślnie.

Ponieważ punkt przecięcia oddziaływań wypada poza rysunkiem, przeto do wyznaczenia ich kierunku i wielkości użyliśmy konstrukcji omówionej poprzednio, prowadząc wielobok sznurowy w rys. a, a następnie wielobok sił. Jeden z boków wieloboku sznurowego przyjęto w prostej AB, drugimi są Ab i Ba, względnie Ab i Bb. Oddziaływania znalezione z wieloboków sił mnps, względnie m'n'p'l' wynoszą:

dla wiatru ze strony lewej $O_1 = 700$ kg $O_2 = 330$ kg

„ „ „ prawej $O_1 = 270$ kg $O_2 = 725$ kg

Wykres dla obciążenia pionowego wykonano tylko dla połowy dachu, wykresy dla parcia wiatru dla całego dachu, i to w skali większej, gdyż w przeciwnym razie rysunek byłby zbyt niewyraźny.









Siły znalezione z wykresów b, c i d zestawione są na tablicy, podanej na str. 210.

Pomimo, że symetrycznie odpowiadające sobie pręty więzara (np. g_2 i g'_2 , d_3 i d'_3) przenoszą siły różne, przecież wykonuje się je zawsze o tym samym przekroju, który musi być oczywiście obliczony na siłę większą. Jeśli np. $d_2 = +14,72$ t, zaś $d'_2 = +14,93$ t, to pręt d_2 (i d'_2) obliczymy na siłę 14,93 t.

	Pręt	Siły wewnętrzne wskutek			Największe siły wewnętrzne
		obciążenia pionowego	wiatru z lewej	wiatru z prawej	
Pas górny	g_1	— 7,62 t	— 0,66 t	— 0,32 t	— 8,28 t
	g_2	— 16,45	— 1,32	— 0,76	— 17,77
	g_3	— 18,08	— 1,24	— 1,07	— 19,32
	g'_3	— 18,08	— 1,24	— 1,34	— 19,42
	g'_2	— 16,45	— 1,32	— 1,39	— 17,84
	g'_1	— 7,62	— 0,66	— 0,71	— 8,33
Pas dolny	d_1	0	0,00	0,00	0,00
	d_2	+ 13,60	+ 1,12	+ 0,56	+ 14,72
	d_3	+ 18,24	+ 1,28	+ 0,94	+ 19,52
	d_4	+ 16,22	+ 0,81	+ 1,09	+ 17,31
	d'_3	+ 18,24	+ 0,65	+ 1,55	+ 19,79
	d'_2	+ 13,60	+ 0,33	+ 1,33	+ 14,93
	d'_1	0	— 0,20	+ 0,20	— 0,20
Krzyżulce	k_1	— 7,50	— 0,70	— 0,27	— 8,20
	k_2	+ 8,82	+ 0,73	+ 0,37	+ 9,55
	k_3	— 8,64	— 0,72	— 0,36	— 9,36
	k_4	+ 3,20	+ 0,11	+ 0,26	+ 3,46
	k_5	— 3,22	— 0,12	— 0,27	— 3,49
	k_6	— 0,67	— 0,31	+ 0,20	— 0,98
	k_7	+ 2,85	+ 0,43	— 0,07	+ 3,28
	k'_7	+ 2,85	— 0,08	+ 0,57	+ 3,42
	k'_6	— 0,67	+ 0,18	— 0,29	— 0,96
	k'_5	— 3,22	— 0,23	— 0,13	— 3,45
	k'_4	+ 3,20	+ 0,24	+ 0,12	+ 3,44
	k'_3	— 8,64	— 0,33	— 0,74	— 9,38
	k'_2	+ 8,82	+ 0,34	+ 0,77	+ 9,59
	k'_1	— 7,50	— 0,24	— 0,72	— 8,22

W kolumnie ostatniej podane są największe siły, występujące w prętach więzara kratowego. Znaleźliśmy je, sumując siły z powodu obciążenia pionowego z większą z sił wskutek wiatru.

Obliczenie przekrojów wykonać najlepiej wedle następującej tabeli:

Pręt	Najw. siła	F_0	Przekrój	F	N	F_u	l	l_0	i	$\frac{l_0}{i}$	β	$\frac{F_0}{\beta}$ F_p
	tonn	cm ²		cm ²	cm ²	cm ²	mm	cm	cm			cm ²
g_1	— 8,33	7,0	 $2 \times 80 \cdot 80 \cdot 10$	30,2	3,6	26,6	3059	245	2,4	102	0,51	13,8
g_2	— 17,84	14,9	 $2 \times 80 \cdot 80 \cdot 10$	46,2	7,2	39,0	"	"	2,4	102	0,51	29,2
g_3	— 19,42	16,2	$+ 160 \cdot 10$	"	"	"	"	"	"	"	"	31,8
d_1	— 0,20	0,2	 $2 \times 80 \cdot 80 \cdot 8$	24,5	2,9	21,6	3059					
d_2	+ 14,93	12,5		"	"	"	"					
d_3	+ 19,79	16,5		"	"	"	"					
d_4	+ 17,31	14,4		"	"	"	"					
k_1	— 8,22	6,9	 $2 \times 70 \cdot 70 \cdot 8$	21,3	2,6	18,7	1125	90	3,7	24	0,74	9,3
k_2	+ 9,59	8,0	 $2 \times 60 \cdot 60 \cdot 6$	13,8	1,9	11,9	1789					
k_3	— 9,38	7,8	jak k_1	21,3	2,6	18,7	2175	180	3,7	48	0,67	11,7
k_4	+ 3,46	2,9		6,1	1,0	5,1	1968					
k_5	— 3,49	2,9	 $2 \times 40 \cdot 40 \cdot 4$	9,6	1,2	8,4	2401	195	2,4	81	0,58	5,0
			 $2 \times 50 \cdot 50 \cdot 5$									
k_6	— 0,98	0,9	 $2 \times 40 \cdot 40 \cdot 4$	6,1	1,2	4,19	2175	180	2,0	91	0,55	1,7
k_7	+ 3,42	2,9	" " \times " " " "	"	"	"	2520					

Jak widzimy, przyjęto nieraz przekroje znacznie większe, niż tego wymagają siły w nich działające. Czyni to się zwłaszcza w krzyżulcach, gdzie często wypadają siły bardzo małe, dlatego, aby zastosować przekrój złożony z dwu kątowników, a więc dający się przymocować osiowo, na co należy zwracać baczną uwagę. Przekroje złożone z jednego kątownika muszą być przymocowane mimoosiowo, co wywołuje w nich znaczne naprężenia drugorzędne.

Obliczenie nitów przeprowadza się na zasadach podanych w § 35; każdy pręt przytwierdzić należy ilością nitów potrzebną do przeniesienia jego siły wewnętrznej. Jeżeli jednak są pręty przechodzące w linii prostej, których przekroje (np. kątowniki) pozostają te same i są przeprowadzone wskroś, tj. niezetknięte w węzle, to nity do ich utwierdzenia w takim węzle oblicza się tylko na różnicę sił działających, gdyż część sił równoważącą się obustronnie nie potrzebuje wzajemnego połączenia. Np. pręty pasu górnego g_1 , g_2 i g_3 mają kątowniki $80 \cdot 80 \cdot 10$, które oczywiście wykonamy na całą długość $g_1 + g_2 + g_3$ z jednej sztuki. Wtedy ilość

nitów w węźle II obliczamy na siłę: $17840 - 8330 = 9510$ kg. Używając nitów dwuciętych $d = 18$ mm, otrzymamy siłę, jaką przenieść może jeden nit na ścinanie $P = 4580$ kg, na ciśnienie $P = 3890$. Potrzeba zatem 3 nitów, które mogą bezpiecznie przenieść 13740 kg na ścinanie, zaś 11670 kg na ciśnienie dla 12 mm blach węzłowych; miarodajna jest siła mniejsza.

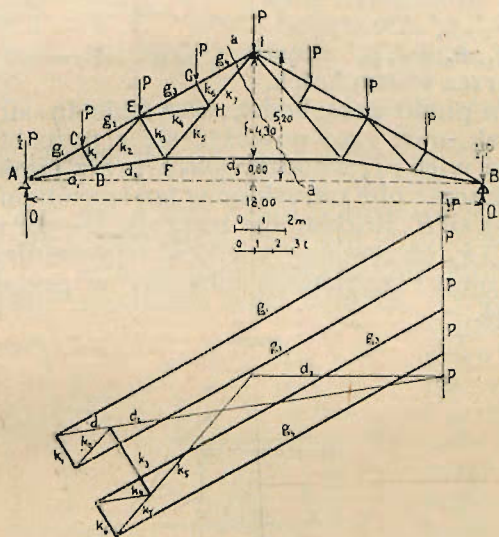
Obliczenie nitów najlepiej jest przeprowadzić według następującej tabeli:

Pręt	Największa siła do przeniesienia (kg)	Średnica nitów (mm)	Ilość nitów		Siła przeniesiona przez nity	
			raz ciętych	dwuciętych	na ścinanie (kg)	na ciśnienie (kg)
g_1	8,330	18		3	13,740	11,670
g_2	9,510*)	"		3	13,740	11,670
g_3	19,420	"		5	22,900	19,450
d_1	200	18		3	13,740	11,670
d_2	14,730*)	"		4	18,320	13,560
d_3	19,790	"		6	27,480	23,340
d_4	17,310	"		5	22,900	19,450
k_1	8,220	16	5		9,050	11,500
k_2	9,590	"		3	10,860	10,380
k_3	9,380	"		3	10,860	10,380
k_4	3,460	12		3	6,120	5,190
k_5	3,490	"		3	6,120	5,820
k_6	980	"	3		3,060	2,580
k_7	3,420	"	4		4,080	3,440

*) Obliczone na różnicę sił: ($g_2 - g_1$), względnie ($d_2 - d_1$).

143. Na wieżar przedstawiony na rys. 233 (t. zw. wieżar podwójny systemu Polonceau) działa obciążenie pionowe symetryczne $P=2,4$ t w każdym węźle. Należy wyznaczyć siły wewnętrzne.

Znajdujemy kolejno siły g_1, d_1 (z węzła A), g_2, k_1 (z węzła C), k_2, d_2 (z węzła D). W następnych węzłach E i F mamy jednak po trzy niewiadome, wobec czego tego samego sposobu użyć tu nie możemy; postaramy się zatem wyznaczyć jedną z sił zaczepiających w węźle E, np. siłę k_1 w inny sposób. W tym celu prowadzimy przekrój a—a; dla równowagi musi być a) suma momentów sił zewnętrznych, działających na odciętą lewą



Rys. 233.

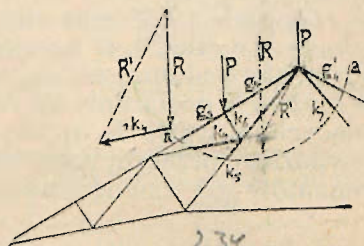
część belki (t. j. oddziaływania O_1 i siły $\frac{P}{2}$ (w węźle A), i sił P (w węzłach C, E, G), oraz b) suma momentów sił wewnętrznych w prętach przeciętych (tj. d_3, k_7, g_4) równa zero ze względu na dowolny punkt. Za punkt taki przyjmijmy wierzchołek I, gdyż przecinają się z nim dwa pręty przecięte g_4 i k_7 . Moment sił zewnętrznych wynosi: $O_1 \cdot 9,00 - 4P \cdot 4,50 = 4P \cdot 4,50 = 18P = 43,2$ tm; a stąd (przyjmując w d_3 siłę ciągnącą), otrzymujemy:

$$43,2 - d_3 f = 0,$$

$$\text{czyli: } d_3 = + \frac{43,2 \text{ tm}}{4,30 \text{ m}} = + 10,05 \text{ t.}$$

Odcinając siłę $d_3 = 10,05 \text{ t}$ w planie sił, poczynając od końca siły d_2 , uzyskaliśmy w punkcie F tylko dwie niewiadome, które łatwo możemy wykreślić wyznaczyć. Dalszy tok roboty postępuje normalnie.

Możemy też postąpić inaczej, wyznaczając siłę k_4 . W tym celu prowadzimy przekrój aa , jak na rys. 234, odcinając węzły około wierzchołka. Wtedy w równowadze muszą być obie siły zewnętrzne P o wypadkowej $R = 2P$ i siły w przeciętych prętach $g_3, k_4, k_5, k_7', g_4'$. Ale wypadkowa R' sił g_3, k_5, k_7', g_4' musi przechodzić przez wierzchołek,



Rys. 433.

gdyż przez ten punkt przechodzą wszystkie te siły. Wypadkowa ta jednak musi zrównoważyć się z pozostałymi siłami, tj. R i k_4 , musi więc przechodzić także przez punkt przecięcia tych dwu sił. Łącząc oba określone w ten sposób punkty, otrzymamy kierunek sił R' . Rozkładając teraz siłę $R = 2P$ na składowe w kierunku R' i k_4 , otrzymamy wielkość tej ostatniej. Znając zaś ją, możemy kolejno wyznaczać inne siły w prętach więzara. wedle rys. 234.