

Część czwarta

TEŻNIKI I ŁOŻYSKA

Rozdział I

TEŻNIKI PODŁUŻNE I POPRZECZNE W MOSTACH STALOWYCH

1. Zadania i rodzaje teźników

Prześla mostowe, składające się z dwóch lub więcej dźwigarów na szerokości mostu, tworzą pewną bryłę geometryczną. Bryła ta, jako układ przestrzenny, powinna być niezmienna w granicach odkształceń sprężystych.

W celu uzyskania takiej niezmienniej bryły niezbędny i wystarczający jest warunek, aby wszystkie powierzchnie, ograniczające tę bryłę, były również niezmiennie. Jest to znane ze statyki twierdzenie Cauchy-Eulera.

Jeżeli będziemy rozpatrywać przeszło mostowe, składające się na szerokości mostu z dwóch lub więcej dźwigarów głównych, to płaszczyzny boczne bryły przestrzennej — w postaci obu dźwigarów w przypadku pierwszym lub w postaci dwóch dźwigarów zewnętrznych w przypadku drugim — są niezmiennie, ponieważ stosuje się je jako dźwigary mostowe układu niezmiennego.

W celu wytworzenia w bryle mostowej niezmienności górnej i dolnej płaszczyzn podłużnych trzeba połączyć między sobą zarówno pasy górne jak i pasy dolne dźwigarów skrajnych.

Pasy łączy się kratami usztywniającymi w taki sposób, aby pasy górne tworzyły wraz z łączącą je kratą płaszczyznę niezmienną górną, pasy zaś dolne, połączone również kratą, tworzyły płaszczyznę niezmienną dolną.

Te kraty stanowią teźniki podłużne, zwane inaczej wiatrownicami, gdyż przekroje ich obliczamy przeważnie na siły powstające pod wpływem parcia wiatru na boczne powierzchnie przęsła.

Czoła przęsła powinny być również zakończone płaszczyznami niezmiennymi, które występują w postaci tzw. ramownic podporowych pionowych, jeżeli dźwigary są zakończone słupkami, lub też ramownic pochyłych, jeżeli dźwigary główne kończą się zastrzałami, czyli mają pasy zbieżne.

Jeśli jednej z płaszczyzn podłużnych bryły mostowej nie możemy lub też nie uważamy za stosowne doprowadzić za pomocą teźników podłużnych do stanu niezmienności, to w takim razie trzeba — w zamian nieuwzględnio-

nych tężników podłużnych — zastosować inne, które gwarantowałyby niezmiennosć bryły mostowej.

Takimi tężnikami są tężniki poprzeczne, stosowane w przekrojach prostopadłych do płaszczyzn dźwigarów (pionowe, jeżeli dźwigary mają słupki, lub pochyle w płaszczyznach krzyżulcowych zwykle ściskanych, jeżeli układ dźwigarów jest bez słupków).

Nie znaczy to bynajmniej, że przy górnych i dolnych tężnikach podłużnych i ramownicach nie należy stosować pośrednich tężników poprzecznych, tj. tężników w przekrojach pośrednich między ramownicami podporowymi.

Jest rzeczą oczywistą, że przy niejednakowych obciążeniach dźwigarów danego przęsła dźwigar bardziej obciążony zawsze będzie więcej się ugiwać. Niejednakowe ugięcie obu dźwigarów zniekształca most w jego przekrojach poprzecznych.

Zniekształcenie takie powoduje rozluźnienie sztywnych połączeń poprzecznic z dźwigarami, co jest niepożądane i należy temu zapobiegać.

Niejednakowemu ugięciu dźwigarów przeciwdziałają poprzeczne tężniki pośrednie, przenoszące jakby nadmiar obciążenia z jednego dźwigara na drugi i zmuszające oba dźwigary do lepszej współpracy.

Ramownice na końcach dźwigarów należy zawsze stosować jako ograniczenia czołowe bryły mostowej, a poza tym również ponad podporami w dźwigarach wieloprzęsłowych oraz w dźwigarach wspornikowych.

Tężniki podłużne jako oddzielne kratownice mogą być zastąpione podłożem nawierzchni jezdni mostu.

Jeżeli to podłoże składa się z blachy falistej, blach nieckowych, blachy walcowej lub z blachy płaskiej, to blachy te w zupełności mogą zastąpić tężniki podłużne pod tym jednakże warunkiem, że będą one połączone albo z pasami dźwigarów głównych, albo ze specjalnymi pasami zastosowanymi w jezdni jako pasy tężników podłużnych, co spotyka się zwykle w mostach z jazdą dołem lub pośrodku.

Należy zwrócić uwagę, że w mostach z jazdą pośrodku jest rzeczą wskazaną umieszczanie tężników podłużnych w poziomie jezdni, aby parcie wiatru na jezdnię oraz na tabor nie wyginało prętów kraty dźwigarów, do których przytwierdza się poprzecznice jezdni.

Podłoże z zoresówek lub woterenówek nie może zastąpić tężników podłużnych, z powodu swego słabego przymocowania do żeber pomostu i do dźwigarów głównych.

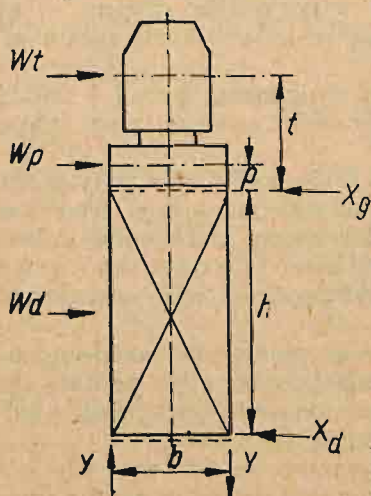
Poprzecznice sztywno przymocowane do dźwigarów głównych służą jednocześnie za pręty tężników podłużnych i poprzecznych.

2. Tężniki w mostach z jazdą górą

W mostach z jazdą górą możemy stosować różne układy tężników, przy których przęsła stanowiąc będą geometrycznie niezmienny układ przestrzenny.

Układ I składa się z tężników podłużnych w poziomie pasów górnych i dolnych dźwigarów oraz z ramownic na podporach (rys. 438).

Na rysunkach mostów tężniki podłużne oznaczone są przerywanymi liniami poziomymi, ramownice na podporach — krzyżami z linii ciągłych, pośrednie zaś tężniki poprzeczne — również krzyżami, ale z linii przerywanych.



Rys. 438

Jeżeli oznaczymy przez W_t , W_p i W_d siły poziome parcia wiatru działające odpowiednio na tabor, na część pomostu wystającego ponad pasem górnym dźwigarów i na dźwigary główne, przez t i p odległość sił W_t , W_p od osi tężników poziomych pasa górnego, h — wysokość dźwigara, X_g i X_d — siły poziome, które ostatecznie parcie wiatru przenoszą na górne i dolne tężniki, Y — siłę pionową przeciążającą dźwigary wskutek działania sił poziomych W_t , W_p i W_d , b — odległość pomiędzy dźwigarami — to otrzymamy, że w układzie I tężników siła pionowa przeciążająca dźwigary oraz siły działające na górne i dolne tężniki podłużne będzie można określić ze wzorów:

$$Y = \frac{W_t t + W_p p}{b}; \quad X_g = W_t + W_p + \frac{1}{2} W_d; \quad X_d = \frac{1}{2} W_d.$$

Układ II składa się z tężników podłużnych w poziomie pasów górnych, ramownic na podporach i pośrednich tężników poprzecznych (rys. 439); dla tego układu tężników otrzymamy:

$$Y = \frac{W_t t + W_p p - \frac{1}{2} W_d h}{b};$$

$$X_g = W_t + W_p + W_d;$$

$$X_d = 0.$$

Układ III składa się z tężników podłużnych w poziomie pasów dolnych tężników poprzecznych ramownic na podporach oraz pośrednich tężników poprzecznych (rys. 440).

Dla tego układu tężników otrzymamy wzory:

$$Y = \frac{W_t t + W_p p + \frac{1}{2} W_d h}{b};$$

$$X_g = 0;$$

$$X_d = W_d + W_p + W_t.$$

Pod względem przenoszenia sił na tężniki można uważać te trzy układy za układy statycznie wyznaczalne.

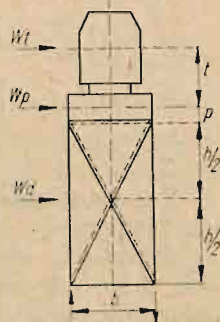
Z przytoczonych wzorów wynika, że największe przeciążenie pionowe dźwigarów występuje w układzie III, najmniejsze zaś — w układzie II. Układ I zajmuje miejsce pośrednie.

Przyjęto, że jeżeli przeciążenie pionowe dźwigarów stanowi więcej niż 10% obciążenia pionowego, to powinno być ono uwzględnione przy obliczaniu sił występujących w prętach dźwigarów głównych. Przy mniejszych przeciążeniach zalicza się je do współczynnika bezpieczeństwa.

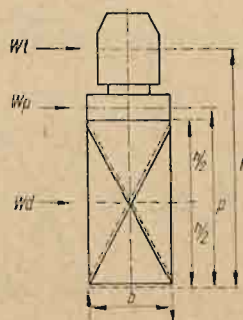
Układ IV składa się z tężników podłużnych w poziomie pasów górnych i dolnych, tężników poprzecznych na podporach, spełniających zadanie ramownic, oraz pośrednich tężników poprzecznych.

Układ ten pod względem działania sił na tężniki podłużne jest statycznie niewyznaczalny.

Określenie wielkości części sił W_t , W_p i W_d , przenoszonych na górne tężniki podłużne i przez tężniki poprzeczne na dolne tężniki podłużne, jest



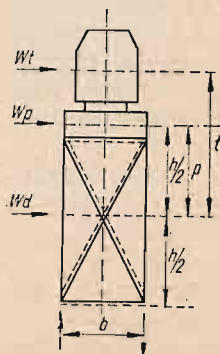
Rys. 439



Rys. 440

bardziej skomplikowane niż w trzech poprzednich układach tężników pomiędzy dźwigarami.

Jeśli nie ma tężników poprzecznych (rys. 441), to ani siła W_t , ani siła W_p nie może przenosić się na dolne tężniki podłużne.



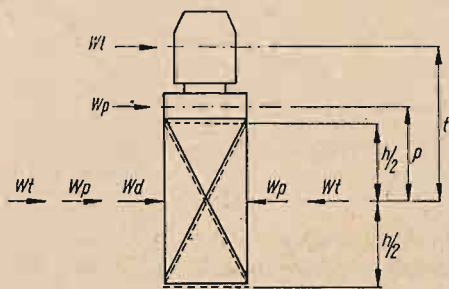
Rys. 441

Natomiast nie ulega wątpliwości, że w układach, w których są tylko tężniki podłużne albo pomiędzy pasami górnymi dźwigarów, albo pomiędzy pasami dolnymi, wszystkie siły przeniosą się na te tężniki, gdyż dźwigar tężnikowy zawsze przyjmie je na siebie, ponieważ jest sztywniejszy i mniej ulega odkształceniom niż pasy dźwigarów bez tężników poziomych.

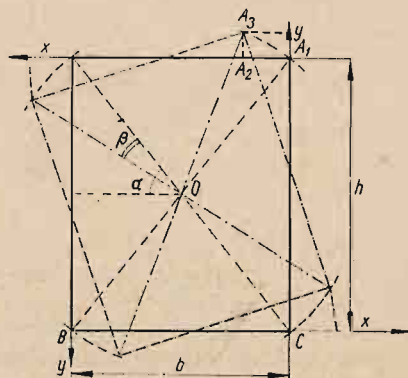
Układ V. Pozostawiając przyjęte w poprzednich układach oznaczenia założmy, że w kierunku poprzecznym dźwigary tak mocno są ze sobą połączone tężnikami poprzecznymi, iż pod działaniem sił poziomych W_t , W_p i W_d przekroje ich nie zniekształcają się, czyli kąty pomiędzy prętami w przekroju poprzecznym pozostają takie same, lecz tylko następuje pewne skręcenie jednego przekroju względem drugiego.

Przekroje pasów górnego i dolnego, różne w poszczególnych przedziałach dźwigarów, zastępujemy przekrojami średnimi na całej długości pasów.

Przenosząc siły W_p i W_t na środek dźwigara oraz dodając jednocześnie takie same siły działające w kierunku odwrotnym, sprowadzamy układ sił poziomych do sił poziomych i pewnego momentu (rys. 442).



Rys. 442



Rys. 443

Siły poziome, działające w kierunku z lewa na prawo pośrodku dźwigara, przejdą w połowie na tężniki dolne i w połowie na tężniki górne.

Pozostanie jeszcze moment sił równy:

$$M = W_t \left(t + \frac{h}{2} \right) + W_p \left(p + \frac{h}{2} \right) = W_t t + W_p p + (W_t + W_p) \frac{h}{2}.$$

Zastępując ten moment sumą momentów dwóch par sił, a mianowicie sił poziomych X i pionowych Y (rys. 443) otrzymamy:

$$W_t t + W_p p + (W_t + W_p) \frac{h}{2} = Xh + Yb \quad [1]$$

W myśl warunku, że przekroje nie ulegają zniekształceniu, możemy przyjąć, że przy skręcaniu danego przekroju punkt A_1 (np. prawego pasa

górnego) został przeniesiony do punktu A_3 nie po łuku, lecz pod wpływem działania sił X przesunął się najpierw do punktu A_2 i następnie pod wpływem sił Y do punktu A_3 (rys. 443).

Pierwszy kierunek jest ugięciem f_x dźwigara tężnikowego pod działaniem sił pionowych X , drugi zaś — ugięciem dźwigara prawego f_y pod działaniem sił poziomych Y .

Sily X i Y mogą występować albo jako sily węzłowe, albo jako sily równomiernie rozłożone na długości dźwigarów.

Możemy przeto napisać:

$$f_x = \alpha \frac{Xl^3}{EI_y} \text{ i } f_y = \alpha \frac{Yl^3}{EI_x} \text{ lub } f_x = \alpha \frac{Xl^4}{EI_y} \text{ i } f_y = \alpha \frac{Yl^4}{EI_x}.$$

Z czego wynika, że

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{X}{Y} \cdot \frac{I_x}{I_y}.$$

Współczynnik α zależy od wielkości obciążenia i rodzaju dźwigarów, a więc czy są one wolno podparte, czy też mają inny sposób podparcia.

Jeżeli przez A oznaczymy przeciętny przekrój pasa i ponadto założymy, że ten przekrój jest jednakowy na całej długości pasów, zatem

$$I_y = \frac{1}{2} A h^2 \text{ i } I_x = \frac{1}{2} A b^2$$

oraz

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{X}{Y} \cdot \frac{I_x}{I_y} = \frac{X}{Y} \cdot \frac{b^2}{h^2}.$$

Ponieważ przesunięcia są bardzo małe, przeto możemy przyjąć, że kąt OA_1A_3 jest prosty i że odcinek łuku jest równy prostej A_1A_3 .

Wtedy trójkąty A_1CB i $A_1A_3A_2$ są podobne i z podobieństwa ich możemy napisać:

$$\frac{A_1A_2}{A_2A_3} = \frac{f_x}{f_y} = \frac{CB}{A_1C} = \frac{b}{h} \text{ lub } \frac{X}{Y} \cdot \frac{b^2}{h^2} = \frac{b}{h},$$

czyli $Xh = Yb$.

[2]

Z równań (1) i (2) znajdziemy:

$$X = \frac{W_t + W_p}{4} + \frac{W_t + W_{pp}}{2h};$$

$$Y = \frac{W_t + W_{pp}}{2b} + (W_t + W_p) \frac{h}{4b} = \frac{h}{b} \left[\frac{W_t + W_p}{4} + \frac{W_t + W_{pp}}{2h} \right].$$

Mając X możemy napisać, że w rozpatrywanym układzie będą działać sily: na tężniki górne:

$$X_g = \frac{1}{2} (W_t + W_p + W_d) + X = \frac{3}{4} (W_t + W_p) + \frac{1}{2} W_d + \frac{W_t + W_{pp}}{2h},$$

a na tężniki dolne:

$$X_d = \frac{1}{2} (W_t + W_p + W_d) - X = \frac{1}{4} (W_t + W_p) + \frac{1}{2} W_d - \frac{W_t + W_{pp}}{2h}.$$

Sily X_g i X_d służą zwykle do obliczenia tężników górnych i dolnych.

Sily Y wywołują przeciążenia pionowe dźwigarów i należy je uwzględnić przy obliczaniu kraty dźwigarów, jeśli przeciążenie to jest znaczne i przekracza 10% obciążeń pionowych.

Momenty zginające i sily w pasach górnych, powstające od sil X i Y , wyrażają się wzorami:

$$S'_g = \pm \frac{Xx(l-x)}{2b} \quad \text{i} \quad S''_g = \pm \frac{Yx(l-x)}{2h};$$

ponieważ $Xh = Yb$, to $S'_g = \pm \frac{Yx(l-x)}{2h}$,

skąd $+S'_g = -S''_g$ i odwrotnie.

Ponieważ sily X i Y działają na pasy dźwigarów w równym stopniu co do swej wielkości, lecz odwrotnego znaku, przeto możemy stwierdzić, że w sumie nie mają one żadnego wpływu na pasy. Siła X_g , jak widać ze wzoru, jest zawsze dodatnia, natomiast siła X_d będzie dodatnia tylko wówczas, gdy

$$\frac{1}{4}(W_t + W_p) + \frac{1}{2}W_d - \frac{W_t l + W_p p}{2h} > 0, \text{ skąd}$$

$$h < \frac{2(W_t l + W_p p)}{W_t + W_p + 2W_d};$$

jeżeli h równa się temu wyrażeniu, to $X_d = 0$,

jeżeli zaś

$$h > \frac{2(W_t l + W_p p)}{W_t + W_p + 2W_d},$$

to siła X_d jest skierowana w stronę przeciwną w stosunku do sil W_t , W_p oraz W_d i wówczas przyczynia się ona do większego skrócenia dźwigarów mostu.

W tym ostatnim przypadku podłużne tężniki dolne byłyby tylko szkodliwe.

Przy $X_d = 0$ podłużne tężniki dolne nie są potrzebne.

3. Tężniki w mostach z jazdą dołem

a



W mostach z jazdą dołem są dwa zasadnicze przypadki:

1) wysokość dźwigarów jest taka, że umożliwia umieszczenie tężników podłużnych w poziomie pasa górnego;

2) wysokość dźwigarów jest niewystarczająca, aby można było pasy górne połączyć tężnikami podłużnymi. Takie mosty nazywamy mostami otwartymi.

b



Aby w mostach można było stosować tężniki podłużne, teoretyczna wysokość dźwigarów powinna wynosić co najmniej 6,0 m w mostach kolejowych i około 5,80 m w mostach drogowych. Zatem jeżeli wysokość dźwigarów przyjąć równą 1/5 ich rozpiętości, to dźwigary o rozpiętości ponad 30 m mogą mieć górne tężniki podłużne, poniżej zaś rozpiętości 30 m mosty z jazdą dołem są mostami otwartymi.

Rys. 444

W przypadku pierwszym mamy zatem górne i dolne tężniki podłużne oraz tężniki poprzeczne na podporach w kształcie ram oporowych — ramownie (rys. 444 a i b).

Jeżeli zachowamy te same oznaczenia, jakie przyjęliśmy przy rozpatrywaniu tężników w mostach z jazdą górą, to dla sił X_g , X_d i Y otrzymamy następujące wyrażenia:

$$Y = \frac{1}{b} (W_t l + W_p p), \quad X_g = \frac{1}{2} W_d \text{ i } X_d = W_t + W_p + \frac{1}{2} W_d.$$

W przypadku drugim mamy tężniki podłużne dolne, tężniki poprzeczne w postaci półramownicy na podporach oraz tężniki pośrednie.

Sily X_g , X_d i Y otrzymamy ze wzorów:

$$Y = \frac{1}{b} \left(W_t l + W_p p + W_d \cdot \frac{l}{2} \right); \quad X_g = 0; \quad X_d = W_t + W_p + W_d.$$

4. Układ kraty w tężnikach podłużnych

Najczęściej stosowany jest układ tężników podłużnych o podwójnej kratce prostokątnej (rys. 445).

Układ ten jest, jak wiadomo, wielokrotnie statycznie niewyznaczalny.

W układzie tym rozpórki (slupki) są zawsze sztywne, krzyżulce zaś są mniej sztywne, a czasami nawet stosuje się krzyżulce zupełnie giętkie z płaskowników, czego jednakże należy unikać, ponieważ przy giętkich krzyżulcach powstają znaczne drgania zarówno samych krzyżulców, jak i boczne drgania całego mostu.

Przy uginaniu się mostu w płaszczyznach tężników podłużnych czworoboki prostokątne przekształcają się w równoległoboki i wówczas obie przekątne (krzyżulce) pracują w każdym przedziale, jedna na ściskanie, druga zaś na rozciąganie.

Jeżeli oba krzyżulce są giętkie, to wtedy jeden z nich — przy działaniu siły ściskającej — z prostego stanu równowagi chwilowej przechodzi w stan krzywy i uderza w drugi krzyżulec, w wyniku czego naciąg krzyżulca rozciąganego raptownie zniekształca się wskutek spadku siły w krzyżulcu wygiętym. Uderzenia te powodują znaczne ugięcia pasów dźwigarów w płaszczyznach tężników podłużnych. Dlatego krzyżulce należy stosować tak sztywne, aby mogły przejąć na ściskanie pod wpływem sił poziomych jeszcze przynajmniej połowę siły poprzecznej.

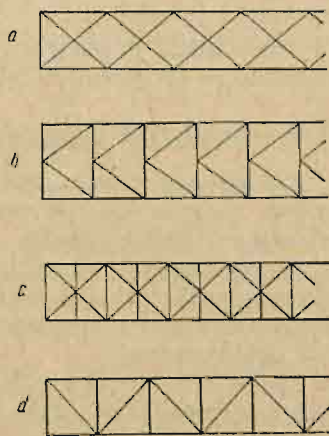
Przy obliczaniu parcia wiatru siły poprzeczne w pobliżu środka dźwigarów otrzymujemy bardzo małe, szczególnie w tężnikach górnych w mostach z jazdą dołem i w tężnikach dolnych w mostach z jazdą górą.

Małych przekrojów krzyżulców odpowiadających siłom obliczonym od działania wiatru nie należy stosować, ponieważ tężniki podłużne pracują nie tylko na parcie wiatru, lecz również i na boczne siły od obciążenia ruchomego.

Przy słabych przekrojach elementów tężników podłużnych można wówczas nieomal naocznie stwierdzić wahania pasów dźwigarów w płaszczyźnie poziomej.



Rys. 445



Rys. 446

Na pasach dźwigarów przy słabych tężnikach podłużnych trudno jest ustać przy przejściu pociągu.

Jeżeli z pewnych przyczyn jest rzeczą niedogodną umieszczanie rozpórek w tężnikach podłużnych, to wówczas można zastosować podwójną kratę krzyżulcową (rys. 446 a).

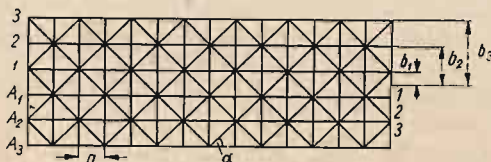
W mostach szerokich o dwóch dźwigarach, gdy przedziały są stosunkowo nieduże w porównaniu z odległością pomiędzy dźwigarami, można stosować kratę półkrzyżulcową (rys. 446b) lub też kratę prostokątną, w której krzyżulce przechodzą przez dwa przedziały (rys. 446c).



Rys. 447



Rys. 448



Rys. 449

W mostach o malej rozpiętości można stosować kratę krzyżulcową ze słupkami (rys. 446d).

Kratę taką stosuje się często jako górne tężniki podłużne w belkach podłużnych jezdni mostów kolejowych.

W szerokich mostach drogowych z jazdą górą, w których na szerokości mostu jest kilka dźwigarów, można stosować układ tężników podłużnych, przedstawiony na rys. 447.

Układ tężników pokazany na rys. 448 można stosować tylko w przypadkach, gdy jest odpowiednia odległość pomiędzy dźwigarami oraz gdy stosunek tej odległości do rozpiętości dźwigarów jest większy od $1/20$ w mostach o średniej rozpiętości i nie mniejszy od $1/20$ w mostach o dużej rozpiętości. Stosunek ten uwarunkowany jest wymaganiami odpowiedniej sztywności tężników.

Przy kilku dźwigarach na szerokości mostu należy wszystkie dźwigary powiązać ze sobą tężnikami podłużnymi i poprzecznymi (rys. 449).

5. Obliczanie kratownic tężnikowych

Sposób obliczania kratownic tężnikowych przy dwóch dźwigarach mostowych nieczym się nie różni od sposobu obliczania dźwigarów głównych i zależy od układu kraty.

Przy kracie (rys. 445 i 446a) rozpatruje się jeden układ, a obliczone siły w krzyżulcach rozkłada się na dwa układy. Obliczenie sił w elementach takiej kratownicy jako statycznie niewyznaczalnej nie ma zastosowania ze względów praktycznych.

Jako obciążenie ciągle na dźwigary tężników górnych i tężników dolnych przyjmuje się parcie wiatru na dźwigary i na nie zakrytą dźwigarami część jezdni.

Parcie wiatru na tabor kolejowy wysokości 3,0 m ponad główkę szyny lub na tabor drogowy wysokości 2 m przyjmuje się jako obciążenie ruchome, które przy obliczaniu sił w poszczególnych elementach kratownicy tężnikowych może być przesuwane w położenie najbardziej niekorzystne na odpo-

wiednie części powierzchni dźwigara, zależne od kształtu linii wpływowej elementów.

W mostach szerokich o kilku dźwigarach na szerokości mostu (rys. 449) obliczenie tężników podłużnych możemy przeprowadzać w taki sam sposób, jak to czynimy przy obliczaniu drewnianych belek złożonych sklinowanych. Rolę klinów odgrywają wówczas krzyżulce i rozpórki, które uniemożliwiają wzajemne przesunięcia podłużne dźwigarów w płaszczyznach tężników podłużnych.

Siłę w pasie dźwigarów skrajnych, znajdujących się w odległości b_e od osi mostu, określa się wzorem:

$$S = \frac{MA_e b_e}{2 \sum A_i b_i^2}.$$

Siły zaś w krzyżulcach dźwigara tężnikowego będą następujące:

$$S_1 = \pm \frac{T(A_1 b_1 + A_2 b_2 + A_3 b_3) a}{2 \cos \alpha \sum A_i b_i^2}; \quad S_2 = \pm \frac{T(A_2 b_2 + A_3 b_3) a}{2 \cos \alpha \sum A_i b_i^2};$$

$$S_3 = \pm \frac{T A_3 b_3 a}{2 \cos \alpha \sum A_i b_i^2} \quad [3]$$

gdzie:

A_i — średni przekrój pasa dźwigara

b_i — odległość tego dźwigara od osi mostu,

a — długość przedziału w dźwigarze tężnikowym,

α — kąt pochylenia krzyżulca tężnika,

M i T — moment zginający i siła poprzeczna w danym przekroju $m - n$.

Ze wzorów tych wynika, że siły w krzyżulcach kraty tężników (rys. 449) są największe na osi mostu pomiędzy dźwigarami 1 — 1', najmniejsze zaś pomiędzy skrajnymi dźwigarami 2 — 3 i 2' — 3'.

Pomiędzy dźwigarami 1 — 1' umieszcza się niekiedy kratę podwójną (rys. 450).

Krzyżulce w pojedynczej kratce tężnikowej należy obliczać na siły ściskające, natomiast w kratce podwójnej nie tylko na siły rozciągające, otrzymane ze wzorów (3), lecz również na siły ściskające, wynoszące połowę siły rozciągającej.

Tężniki podłużne w pasach krzywych lub łamanych obliczamy na podstawie rzutu kratownicy tężnikowej na płaszczyznę poziomą.

W tak zrzuconej kratce obliczamy siły we wszystkich prętach odpowiednio do układu kraty.

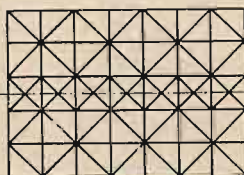
Otrzymane siły są rzutami sił rzeczywistych na płaszczyznę poziomą.

Aby otrzymać siły rzeczywiste w prętach załamanej kraty tężnikowej, należy otrzymane poprzednio siły podzielić przez cosinusy kątów nachylenia prętów dźwigara tężnikowego do płaszczyzny poziomej.

6. Ramownice

Tężniki górne mają zwykle jako podparcie ramownice, które przenoszą parcie poziome, działające na górne tężniki podłużne, na węzły dolne i na podpory.

Jeżeli wysokość dźwigarów pozwala, to górne tężniki podłużne umieszcza się wzdłuż całej długości dźwigarów. Jeżeli dźwigary mają słupki podporowe,



Rys. 450

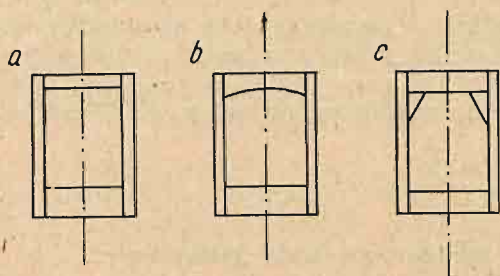
to ramownice umieszczone są na końcach pionowo, jeżeli zaś pasy dźwigarów są zbieżne, to ramownice są pochyle.

Wykonanie ramownic pionowych jest łatwiejsze; ponadto ramownice te lepiej usztywniają most poprzecznie i dlatego częściej są stosowane niż ramownice pochyle przy dźwigarach o pasach zbieżnych.

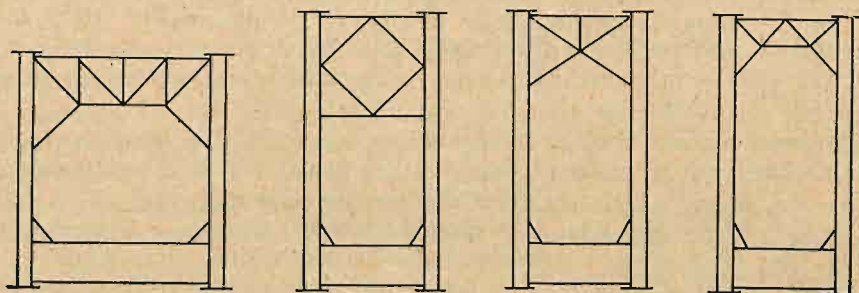
Wygląd dźwigarów zbieżnych jest na ogół bardziej estetyczny, przy czym dźwigary te są nieco lżejsze, lecz usztywnienie ramownic pochylech jest dość trudne. Szczególnie trudno jest uzyskać sztywne połączenie nóg ramownicy z rozpórką dolną, która przeważnie nie jest pionowa, a nie pochyla, i nie leży w płaszczyźnie ramownicy. Z tego powodu przy obli-

czaniu siły w prętach ramownicy przyjmuje się, że dolne końce przy obliczeniach mają z rozpórką dolną połączenie przegubowe.

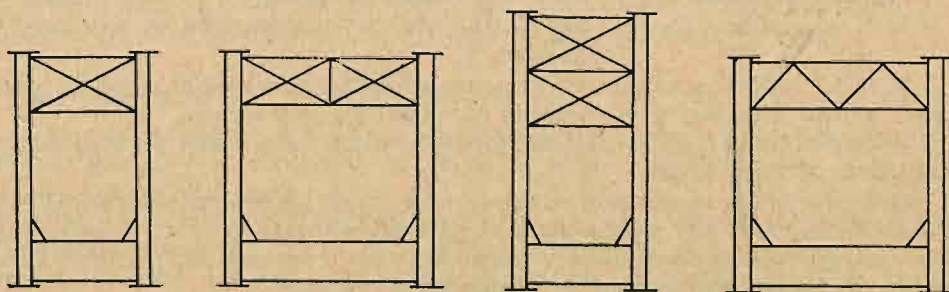
Ramownice tak pionowe jak i pochyle mają rozpórki górne w postaci blachownic, o wysokości stałej (rys. 451a) lub o wysokości zmiennej (rys.



Rys. 451



Rys. 452



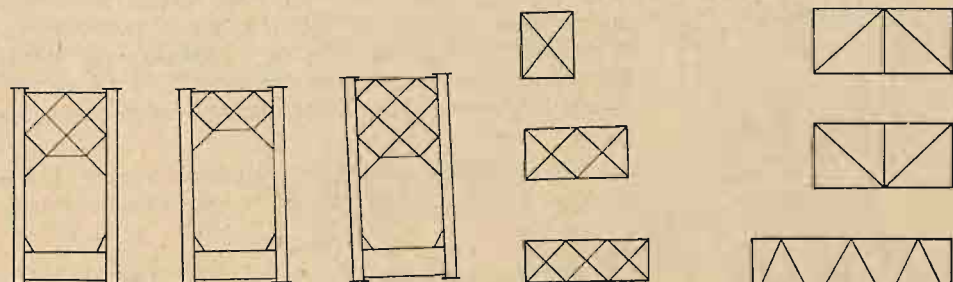
Rys. 453

451b), albo w postaci blachownicy usztywnionych dodatkowo przy podejściu do nóg ramownicy (rys. 451c). Najczęściej jednak górne rozpórki ramownic, w celu nadania im lżejszego wyglądu, stosuje się kratowe.

Na rys. 452, 453 i 454 przedstawiono różne systemy ramownic kratowych w mostach z jazdą dołem.

W mostach z jazdą górą stosuje się ramownice albo w kształcie krzyży ukośnych (rys. 455, albo półkrzyżulcowe (rys. 456), przy czym rozpórki dolne tych ramownic powinny być dostatecznie silne, aby można było je podeprzeć lewarami przy podnoszeniu dźwigarów.

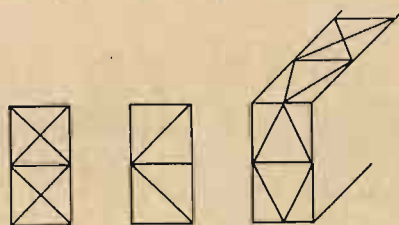
Przy większej wysokości opornice mogą być dwupiętrowe (rys. 457), trzypiętrowe (rys. 458) i czteropiętrowe (rys. 459).



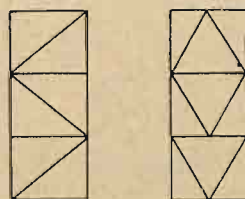
Rys. 454

Rys. 455

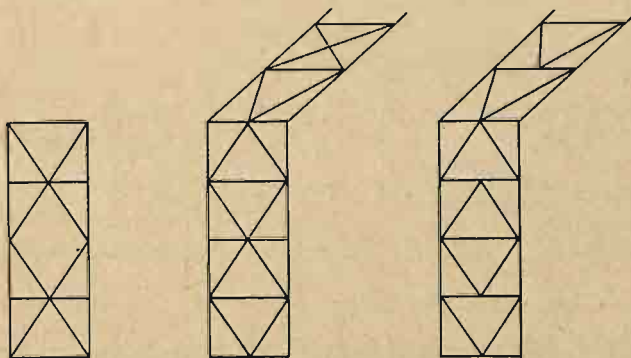
Rys. 456



Rys. 457



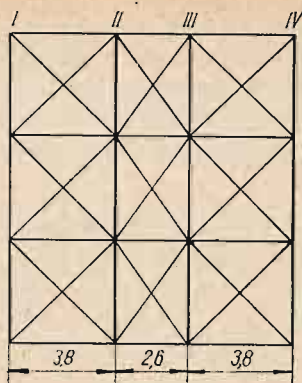
Rys. 458



Rys. 459

W moście o czterech dźwigarach głównych można stosować ten rodzaj ramownicy, jaki podany jest na rys. 460. W kolejowych mostach jednotorowych ramownice przy uwzględnieniu przymocowania podłużnic mogą być takie, jak przedstawiono na rys. 461.

Przy obliczaniu sił w prętach górnej kratownicy tężnikowej należy w rzucie poziomym przyjmować rozpiętość kratownicy tężnikowej za równą rozpiętości dźwigarów przęsła.

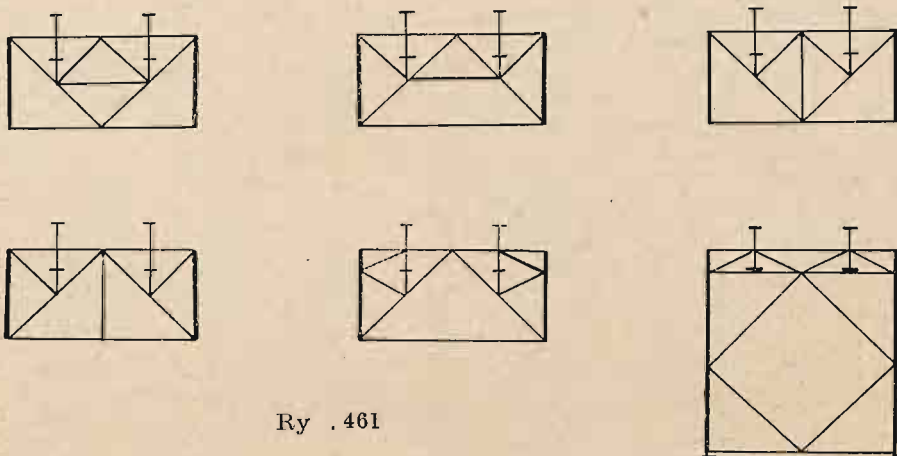


Rys. 460

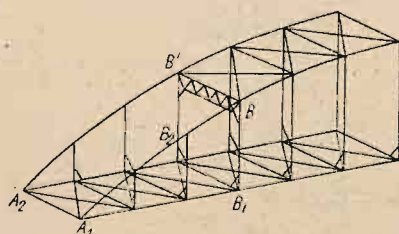
Jeżeli wysokość dźwigarów uniemożliwia umieszczenie górnych tężników podłużnych wzdłuż całej długości pasów, to tężniki umieszcza się tylko w środkowej części, gdzie wysokość jest wystarczająca.

Na końcach tych tężników w węzłach B' i B (rys. 462 i 463) stosuje się ramownice pionowe, które mają za zadanie przenoszenie sił poziomych, wywołanych parciem wiatru, z tężników górnych na tężniki dolne w węzłach B_1 i B_2 oraz z tych węzłów poprzez tężniki podłużne dolne na podpory.

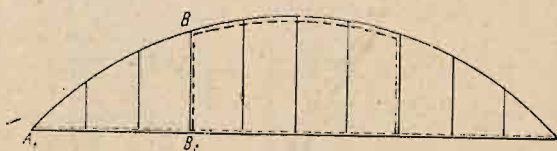
Przy takim układzie tężników końce dźwigarów A_1 , B_1 , B i A_2 , B_2 , B' tworzą most otwarty



Ry . 461



Rys. 462



Rys. 463

i dlatego słupki w tych częściach dźwigarów powinny być szczególnie sztywne w kierunku poprzecznym mostu, aby mogły utrzymać górne pasy dźwigarów w ich płaszczyznach.

7. Obliczanie ramownic w mostach z jazdą dołem i w mostach z jazdą górną

a. Ramownice w mostach z jazdą dołem

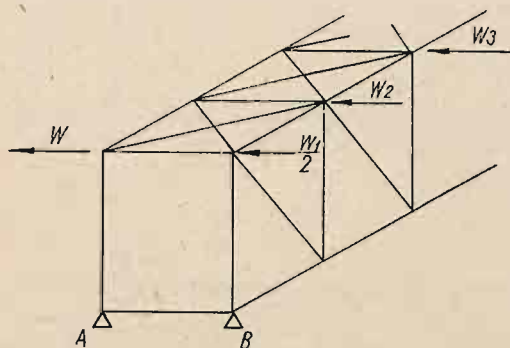
1. Siły zewnętrzne działające na ramownice mostów

Ramownice podlegają działaniu obciążenia poziomego, pionowego oraz działaniu reakcji podporowych.

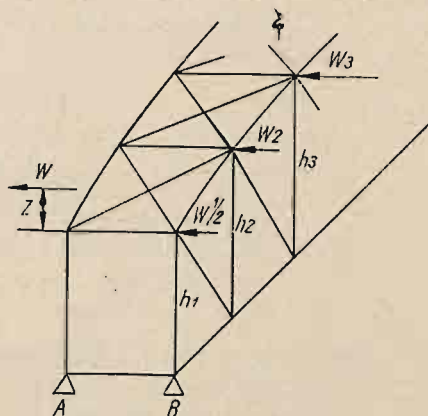
2. Siły poziome spowodowane parciem wiatru na ramownice

Obciążenie poziome, działające na każdą ramownicę, równa się połowie obciążenia spowodowanego wiatrem, przypadającego na wszystkie węzły górne kratownicy.

Położenie wypadkowej W zależy od tego, czy górny pas kratownicy jest poziomy, czy krzywy. Przy górnym pasie poziomym (rys. 464) obciążenie spowodowane wiatrem we wszystkich węzłach kratownicy działa w jednej i tej samej płaszczyźnie poziomej, odpowiadającej płaszczyźnie górnych pasów kratownic. W tej samej płaszczyźnie znajduje się również wypadkowa parcia wiatru W i rozpórka górna ramownicy.



Rys. 464



Rys. 465

Przy górnym pasie krzywym obciążenie spowodowane wiatrem w węzłach kratownicy działa w różnych poziomach i dlatego wypadkowa W , działająca na ramownicę, zaczepiona jest powyżej rozpórki górnej ramownicy w odległości z (rys. 465).

Położenie wypadkowej W można łatwo ustalić, biorąc moment wywracający wszystkich obciążeń węzłowych względem osi łączącej podpory dźwigara tylnego i dzieląc go przez sumę obciążeń węzłowych, czyli

$$z + h_0 = \frac{W_0 h_0 + W_1 h_1 + W_2 h_2 + \dots + \Sigma W h}{W_0 + W_1 + W_2 + \dots + \Sigma W} = \frac{\Sigma W h}{\Sigma W},$$

gdzie h_0 — wysokość słupka ramownicy,

h — średnia wysokość dźwigara.

Stąd otrzymamy odległość wypadkowej W od góry ramownicy:

$$z = \frac{\Sigma W h}{\Sigma W} - h_0.$$

Wielkość z można w przybliżeniu określić ze wzoru:

$$z = h - h_0 = \frac{A}{l} - h_0,$$

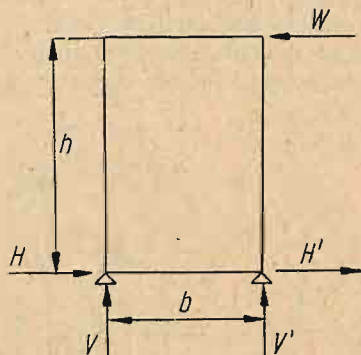
gdzie: A — pole obwodu geometrycznego dźwigara,

l — rozpiętość teoretyczna dźwigara.

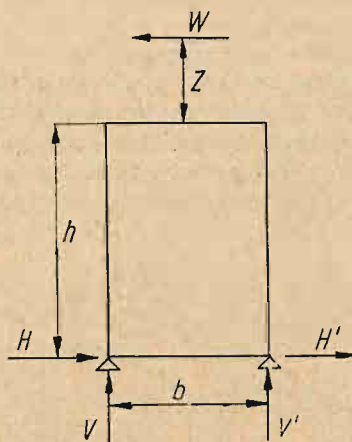
3. Oddziaływania podpór ramownicy pionowych

Przyjmujemy, że ramownica opiera się na dwu podporach przegubowych, z których jedna jest ruchoma w poprzek mostu.

Oddziaływanie podpory ramownicy składa się z poziomej siły H lub H' pionowej siły V lub V' .



Rys. 466



Rys. 467

Oznaczając przez h i b wysokość oraz szerokość ramownicy otrzymamy z warunków równowagi:

przy poziomym pasie górnym (rys. 466)

$$V = -V' = \frac{1}{b} W h,$$

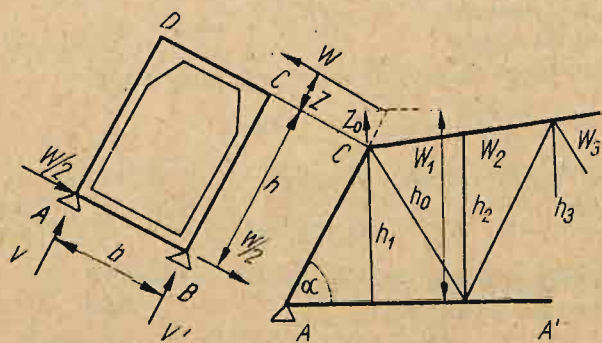
przy krzywym pasie górnym (rys. 467)

$$V = -V' = \frac{1}{b} W (h + z),$$

w obu przypadkach $H + H' = W$.

Zwykle przyjmuje się, że $H = H'$ i wówczas $H = H' = \frac{1}{2} W$.

4. Oddziaływanie podpór ramownic pochyłych



Rys. 468

W celu obliczenia pochyłej ramownicy należy wszystkie siły działające na ramownicę sprowadzić na pochyłą płaszczyznę ramownicy. Zewnętrzna siła pozioma W , równa połowie sumy parcia wiatru W_1, W_2, \dots na węzły pasa górnego, jest zaczepiona w wierzchołku ramownicy przy poziomym pasie kratownicy.

Jeżeli zaś pas górny kratownicy jest krzywy, to obciążenie W znajduje się powyżej górnej rozpórki ramownicy w odległości z , którą należy brać

w pochylej płaszczyźnie ramownicy (rys. 468). Odległość pionowa siły $W = \Sigma W$ od pasa dolnego kratownicy wynosi:

$$h_0 = \frac{\Sigma Wh}{\Sigma W}.$$

Odległość pionowa siły W od wierzchołka ramownicy wynosi $z_0 = h_0 - h_1$, gdzie h_1 jest wysokością słupka w pierwszym górnym węźle dźwigara. W płaszczyźnie ramownicy pochylej siła W odległa jest od wierzchu ramownicy

o $z = \frac{z_0}{\sin \alpha}$, gdzie α oznacza kąt pochylenia ramownicy do poziomu.

Oddziaływania podpór w płaszczyźnie ramownicy będą:

przy górnym pasie dźwigara — poziomym: $V = -V = \frac{1}{b} Wh$,

„ „ „ „ — krzywym: $V = -V = \frac{1}{b} W(h + z)$,

gdzie h oznacza długość pochylej nogi ramownicy.

Poziome oddziaływanie podpór wynosi:

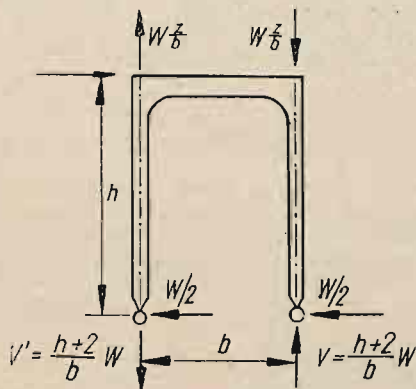
$$H = H' = \frac{1}{2} W,$$

czyli podobnie jak w przypadku ramownic pionowych.

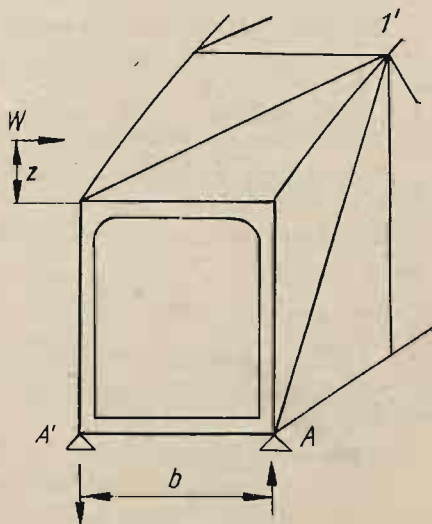
5. Działanie pary sił Wz na ramownice

Obciążenie poziome spowodowane parciem wiatru na górny węzeł kratownicy przenosi się za pomocą górnych tężników podłużnych w górne węzły ramownicy przy pasie kratownicy zarówno poziomym jak i krzywym.

W ostatnim przypadku oprócz siły W , zaczepionej w górnym węźle ramownicy, działa jeszcze na ramownicę para sił Wz (rys. 469).



Rys. 469



Rys. 470

Działanie pary sił Wz na ramownicę równoważne jest z działaniem dwóch sił wielkości $W \frac{z}{b}$, zaczepionych w obu górnych węzłach ramownicy i działających w kierunku nóg ramownicy. Siły te w stosunku do nóg ramownicy dają moment $W \cdot \frac{z}{b} \cdot b = Wz$.

W dźwigarach z górnym pasem krzywym, mających krzyżulce w przedziale pierwszym, wznoszącym się od węzła 0 w stronę węzła 1 (rys. 470), słupek oporowy jest elementem drugorzędnym, służącym tylko do urządzenia ramownic pionowych.

Takie ramownice pionowe przyjmują na siebie tylko część działania wiatru, mianowicie jego parcie poziome W , dodatkowe zaś obciążenie od wiatru, powstające wskutek krzywizny pasów kratownicy w postaci pary Wz , powinno przenieść się na podpory dźwigarów za pomocą pierwszych krzyżulców ściskanych 01.

6. Obliczanie siły ściskającej w nogach ramownicy

Nogi ramownicy, jako zasadnicze elementy dźwigarów głównych, pracują na ściskanie pod wpływem obciążenia pionowego stałego i ruchomego.

Ponadto nogi ramownic pracują również pod wpływem przeciążenia pionowego dźwigarów wskutek parcia wiatru i mogą być przy tym, w zależności od kierunku wiatru, ściskane albo rozciągane.

Jeżeli zaś nogi ramownic są drugorzędnymi elementami dźwigarów głównych (rys. 470), to nie pracują one ani pod wpływem obciążenia pionowego, ani pod wpływem przeciążenia dźwigarów wskutek parcia wiatru.

Nogi ramownic pracują zawsze jako elementy ramownicy pod działaniem parcia wiatru, przekazywanego przez górne tężniki podłużne, przy czym siła ściskająca w nogach ramownicy równa się:

reakcji pionowej $V = \frac{h}{b} W$ przy pasie poziomym kratownicy.

„ „ $V = \frac{h+z}{b} W$ przy pasie krzywym kratownicy.

Wielkość parcia wiatru powinna być za każdym razem określona w zależności od tego, czy uwzględnia się obciążenie ruchome na moście, czy też nie.

7. Obliczanie ramownicy z przegubami w dolnych końcach nóg wraz z rozpórką górną, wzmocnioną wspornikami

Rozpatrzmy przypadek ogólny, właściwy dźwigarom z górnym pasem krzywym (rys. 471a).

Oddziaływania podpór są następujące:

poziome $H = H' = \frac{1}{2} W$ i pionowe $V = -V' = \frac{h+z}{b} W$.

Działanie pary Wz zastępujemy działaniem dwóch sił $W \frac{z}{b}$, zaczepionych w górnych węzłach ramownicy i działających w kierunku nóg ramownicy.

b. Obliczanie nóg ramownicy

Momenty gnące w nogach ramownicy są następujące:

- 1) w dolnym końcu nóg w miejscu przegubu $M = 0$;
- 2) w przekroju na początku wzmocnienia rozpórki górnej,

w odległości a od przegubu dolnego $M_1 = \pm \frac{1}{2} Wa$;

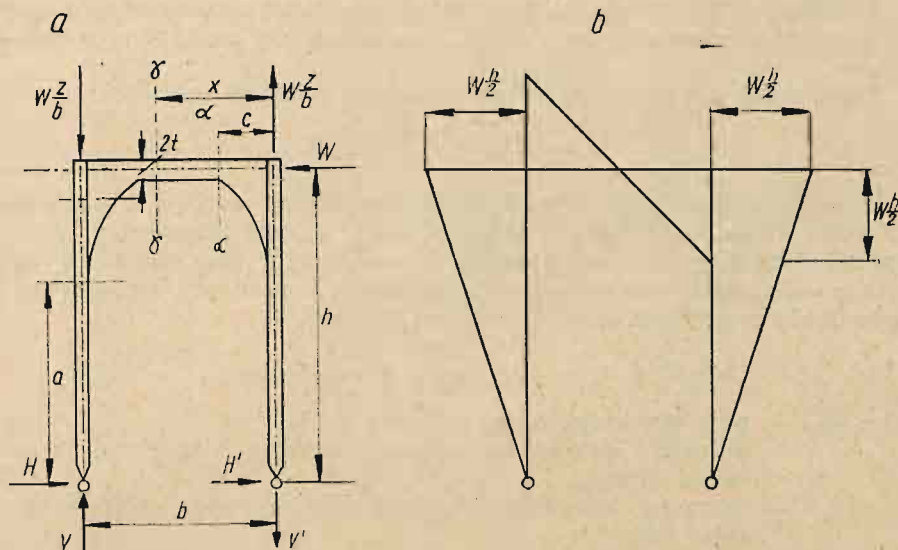
- 3) w przekroju wzdłuż dolnej krawędzi rozpórki górnej o wysokości $2t$

$M_2 = \pm \frac{1}{2} W(h-t)$.

Wykres momentów gnących występujących w nogach ramownicy podany jest na rys. 471b.

Przekrój nóg ramownicy może być zmienny na ich długości, przy czym powinien odpowiadać warunkowi, aby naprężenie sumaryczne od siły osiowej S i od momentu zginającego M nie było większe od naprężenia dopuszczalnego, czyli:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{S}{qA_{br}} + \frac{Mc}{I_n} \leq \sigma_{dop.}$$



Rys. 471

gdzie: q — współczynnik zwiększenia przekroju wskutek wyboczenia,
 A_{br} — przekrój nogi brutto,
 I_n — moment bezwładności przekroju nogi netto względem osi obojętnej, prostopadłej do kierunku działania siły,
 e — odległość skrajnych włókien przekroju od wskazanej osi obojętnej.

c. Obliczanie rozpórki górnej opornicy

Rzutuując na oś poziomą wszystkie siły położone z lewej strony przekroju $\gamma - \gamma$ (rys. 471a), otrzymamy podłużną siłę ściskającą rozpórkę $N = H = \frac{1}{2} W$. Moment zginający dla dowolnego przekroju rozpórki $\gamma - \gamma$, znajdującego się w odległości x od osi nogi prawej, wynosi:

$$M_x = \frac{1}{2} Wh + W \frac{z}{b} x - \frac{h+z}{b} Wx = Wh \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{b} \right).$$

Jak wynika z podanego wzoru, moment zginający M_x zmienia się liniowo w zależności od x :

$$\begin{aligned} \text{przy } x = 0, & \quad M_0 = +\frac{1}{2} Wh; \\ \text{,, } x = \frac{b}{2}, & \quad M_{\frac{b}{2}} = 0; \\ \text{,, } x = b, & \quad M_b = -\frac{1}{2} Wh. \end{aligned}$$

Momenty zginające M_0 i B_b na końcach rozpórki mają jednakową wielkość i różnią się tylko znakami.

Wykres momentów zginających w rozpórcie podany jest na rys. 471 b. Z wykresu wynika, że momenty zginające w nogach ramownicy i rozpórcie górnej w górnych węzłach ramownicy w punktach przecięcia się nóg z rozpórką mają jednakową wartość $1/2 Wh$.

Należy zwrócić uwagę, że przy działaniu wiatru z przeciwnej strony do tej, którą przedstawiono na rys. 471, zmieniają się znaki wszystkich momentów.

Poprzeczna siła pionowa na całej długości rozpórki wynosi:

$$Q = \pm V = \pm \frac{h+z}{b} W.$$

Niebezpiecznym przekrojem rozpórki jest zwykle przekrój $\alpha - \alpha$ w końcu wspornika wzmacniającego w odległości c od osi nogi ramownicy. Przekrój rozpórki dobiera się w taki sposób, aby całkowite naprężenie wywołane łącznym działaniem ściskającej siły podłużnej i momentu zginającego nie przekraczało naprężenia dopuszczalnego, tj. aby

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{W}{2\varphi A_{br}} + \frac{Me}{I_n} \leq \sigma_{dop.},$$

gdzie: A_{br} — pole przekroju rozpórki brutto;

e — odległość skrajnych włókien przekroju rozpórki od poziomu osi obojętnej;

I_n — moment bezwładności przekroju rozpórki netto względem tejże osi;

φ — współczynnik wyboczeniowy obliczony dla dwóch przypadków:

- 1) przy możliwości wyboczenia rozpórki w płaszczyźnie ramownicy przyjmując wolną długość rozpórki na wyboczenie $l_w = b - 2c$ i moment bezwładności przekroju rozpórki brutto względem poziomej osi obojętnej;
- 2) przy możliwości wyboczenia rozpórki z płaszczyzny ramownicy przyjmując $l_w = b$ i moment bezwładności przekroju rozpórki brutto względem pionowej osi obojętnej.

Rozpórkę górną, jako nie pracującą pod wpływem obciążenia pionowego mostu, należy obliczać na parcie wiatru o siłę odpowiadającej normie, gdy na moście nie ma taboru ruchomego.

Rozpórkę górną należy sprawdzać również na ścinanie wskutek poprzecznej siły pionowej, zwłaszcza w przypadku kiedy ścianka pionowa rozpórki jest niepełna, lecz kratowa, i krzyżulce oraz rozpórki kraty przenoszą całą siłę poprzeczną.

d. Obliczanie ramownicy z górną rozpórką kratową

Zakładamy, że nogi ramownicy są ciągłe i mają przeguby w górnych i w dolnych swych końcach oraz że rozpórka górna kratowa jest połączona przegubowo z nogami ramownicy.

Rozpatrzmy dwa układy górnej rozpórki kratowej:

- 1) dwie rozpórki z dwoma krzyżulcami (rys. 472),
- 2) jedna podpórka górna z dwoma krzyżulcami i słupkiem pośrodku (rys. 474).

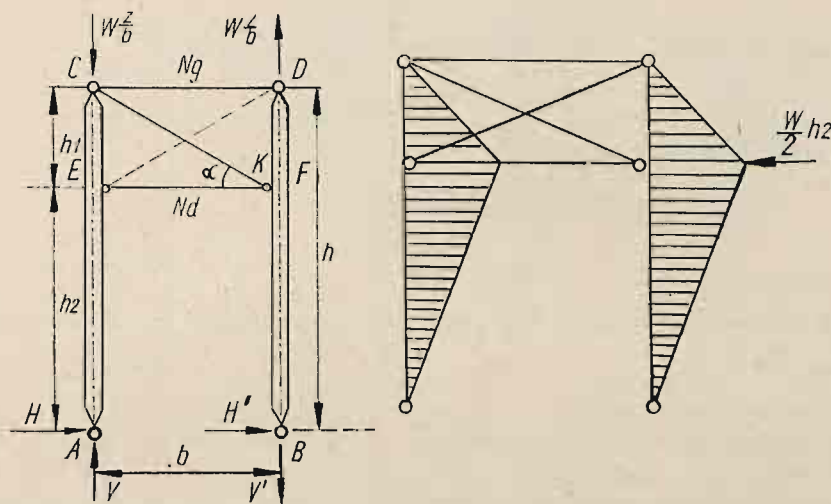
W pierwszym układzie będziemy rozróżniać dwa przypadki, a mianowicie, czy pracuje jeden tylko krzyżulec na rozciąganie, czy też oba krzyżulce: jeden na rozciąganie, drugi — na ściskanie.

Oddziaływania podpór są jak poprzednio podane:

$$\text{poziome } H = H' = \frac{1}{2} W,$$

$$\text{pionowe } V = V' = \frac{h+z}{b} W.$$

Działanie pary sił Wz zastępujemy również dwiema siłami $W \frac{z}{b}$.



Rys. 472

Wielkość parcia wiatru na dźwigary mostowe jest różna: inna przy moście nieobciążonym, inna przy obciążeniu go taborem. Dlatego przy obliczaniu elementów ramownicy należy przyjmować wielkość parcia wiatru w zależności od tego, czy elementy te pracują pod działaniem obciążenia ruchomego na moście, czy też nie.

e. Układ krzyżowy ramownicy z krzyżulcami rozciąganymi

Z dwóch krzyżulców (rys. 472) może pracować tylko ten, który jest rozciągany, tj. krzyżulec CF przy kierunku wiatru wskazanym na rys. 472 i krzyżulec DE przy przeciwnym kierunku wiatru.

Siła ściskająca w rozpórce górnej N_g określa się z warunku, aby prawa noga DB nie obracała się względem punktu F , czyli:

$$-N_g h_1 = Wh_1 + \frac{1}{2} Wh_2 = 0,$$

skąd

$$N_g = \left(1 + \frac{h_2}{2h_1}\right) W \text{ (ściskanie).}$$

Siła ściskająca w rozpórce dolnej N_d ustala się z warunku, aby lewa noga CA nie obracała się względem punktu C , czyli:

$$-N_d h_1 + \frac{1}{2} Wh = 0,$$

skąd

$$N_d = \frac{h}{2h_1} \cdot W \text{ (ściskanie).}$$

Sila ściskająca w rozpórce dolnej jest o $1/2 W$ mniejsza od siły działającej w rozpórce górnej.

Rozpórki górna i dolna nie są zginane.

Silę K w krzyżulcu rozciągającym CF znajdujemy z rzutu na oś pionową:

$$-K \sin \alpha + \frac{h+z}{b} W - \frac{z}{b} W = 0,$$

skąd

$$K = \frac{h}{b \sin \alpha} W \text{ (rozciąganie).}$$

Lewa noga CA jest ściskana wzdłuż całej długości siłą

$$V = \frac{h+z}{b} W \text{ (ściskanie).}$$

Prawa noga DB jest rozciągana:

$$\text{w części górnej } DF \text{ siłą } \frac{z}{b} W,$$

$$\text{,, ,, dolnej } FB \text{ ,, } \frac{h+z}{b} W.$$

Moment zginający w nogach jest największy w punktach E i F oraz określa się $M = \frac{1}{2} Wh_2$.

Pomiędzy obu końcami każdej nogi oraz punktami E i F moment zginający zmienia się według linii prostej, jak to przedstawiono na rys. 472b.

Przekrój nóg i największe w nich naprężenia powstałe pod wpływem działania sił osiowych wskutek obciążenia pionowego i wiatru oraz momentu zginającego określa się w poprzedniej ramownicy (rys. 471). Rozpórki oraz krzyżulce nie są zginane i przekroje ich dobiera się na podstawie sił osiowych.

f. Układ krzyżowy ramownicy z krzyżulcami ściskano-rozciąganymi

W tym układzie (rys. 473) pracują jednocześnie obydwa krzyżulce, przy czym jeden jest rozciągany, drugi zaś ściskany.

Układ ten ma jeden element zbyteczny i dlatego jest on statycznie niewyznaczalny. W celu uproszczenia obliczenia zwykle przyjmuje się, że obciążenie W ramownicy rozkłada się w równych częściach na obydwa krzyżulce.

Dla odmiany rozpatrzmy ramownicę w dźwigarach z górnym pasem poziomym, bez pary sił Wz , tj. przyjmując $z = 0$.

Otrzymujemy następujące wyniki:

$$\text{rozpórka górna jest ściskana siłą } \dots\dots\dots N_g = -\frac{1}{2} W;$$

$$\text{rozpórka dolna nie pracuje, czyli } \dots\dots\dots N_d = 0;$$

$$\text{krzyżulec } CF \text{ jest rozciągany siłą } \dots\dots\dots K = \frac{h}{2b \sin \alpha} W;$$

$$\text{krzyżulec } ED \text{ jest ściskany taką samą siłą } \dots\dots\dots K' = -\frac{h}{2b \sin \alpha} W;$$

lewa noga jest ściskana:

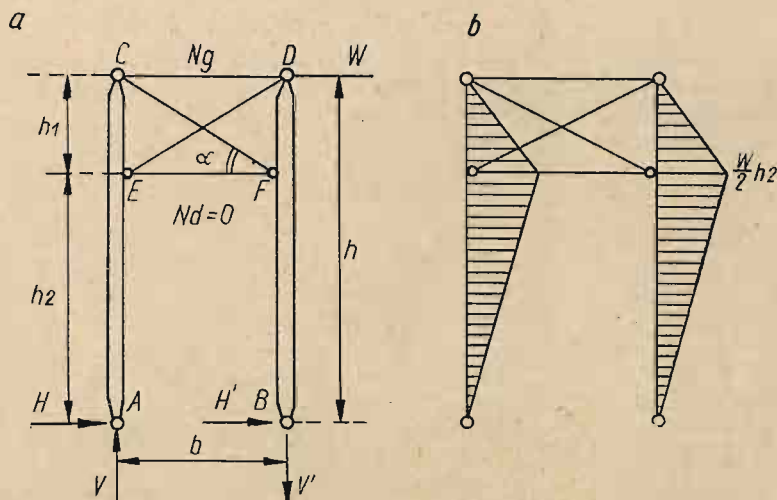
$$\text{w dolnej części } AE \text{ siłą } V = -\frac{h}{b} W,$$

$$\text{w górnej części } EC \text{ siłą } S = -\frac{h}{2b} W;$$

prawa noga jest rozciągana:

$$\text{w dolnej części } BF \text{ siłą } V' = \frac{h}{b} W,$$

$$\text{w górnej części } FD \text{ siłą } S' = \frac{h}{2b} W.$$



Rys. 473

W nogach ramownicy działa moment zginający, największy w punktach E i F i wynoszący $M = \frac{1}{2} W h_2$.

W granicach pomiędzy obu końcami nóg, gdzie $M = 0$, a punktami E i F moment zginający w nogach ramownicy zmienia się według linii prostej, zgodnie z wykresem przedstawionym na rys. 473b.

Przekrój nóg ściskano-zginanych ramownicy oblicza się podobnie jak w ramownicy przedstawionej na rys. 471b.

Rozpórki górna i dolna oraz krzyżulce w tym układzie nie są zginane. Przekroje ich ustala się na podstawie sił osiowych.

g. Rozpórki górne opornicy z dwoma krzyżulcami i słupkiem pośrodku (rys. 474)

Rozpatrzmy ramownicę przy dźwigarach z górnym pasem krzywym, kiedy oprócz siły W na ramownicę działa para sił Wz . Siłę rozciągającą w krzyżulcu K_1 znajdujemy z warunku, aby prawa noga nie obracała się względem punktu D :

$$\frac{1}{2} W h - K_1 b \sin \alpha = 0, \text{ skąd } K_1 = \frac{h}{2b \sin \alpha} W.$$

Siłę ściskającą krzyżulce K_2 otrzymamy z równowagi sił względem punktu C

$$K_2 = - \frac{h}{2b \sin \alpha} W.$$

Siłę ściskającą w rozpórce górnej określa się z równowagi sił względem punktu H przecięcia się krzyżulców.

$$N \frac{h_1}{2} - W \frac{h_1}{2} - \frac{1}{2} W \left(h - \frac{h_1}{2} \right) - W \frac{z}{b} \cdot \frac{b}{2} + \frac{h+z}{b} W \frac{b}{2} = 0,$$

skąd

$$N = \frac{1}{2} W.$$

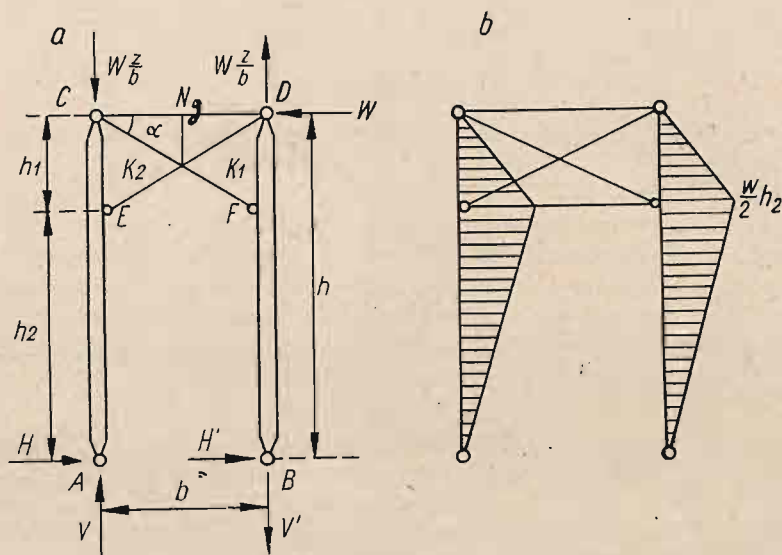
Siła w słupku GH wynosi $S = 0$.

W dolnej części lewej nogi mamy siłę ściskającą

$$S_2 = -V = \frac{h+z}{h} W.$$

W górnej zaś części lewej nogi siłę ściskającą S_1 otrzymamy z rzutu na oś pionową trzech sił, schodzących się w węzle E :

$$S_1 = S_2 - K_2 \sin \alpha; S_1 = \frac{h+z}{b} W - \frac{h \sin \alpha}{2b \sin \alpha} W = \frac{h+z}{b} W.$$



Rys. 474

W dolnej części prawej nogi działa siła rozciągająca

$$S_2' = V = \frac{h + z}{h} W,$$

w górnej zaś części prawej nogi rozciągającą siłę S' otrzymamy z rzutu na oś pionową trzech sił, schodzących się w węźle F , czyli

$$S_1 = \frac{\frac{h}{2} + z}{b} W.$$

Moment zginający nogi ramownicy ma największą wartość w punktach E i F , osiągając

$$M = \frac{1}{2} W h_2.$$

Wykres momentów zginających w nogach ramownicy podany jest na rys. 474b.

Przekrój nóg ramownicy oraz naprężenie wywołane działaniem sił osiowych, powstających wskutek obciążenia pionowego i wiatru oraz od momentu zginającego, określa się według wskazań podanych przy rozpatrywaniu ramownicy (rys. 471). Rozpórka górna oraz krzyżulce w tym układzie nie są zginane. Przekroje ich dobiera się na podstawie sił osiowych.

S. Ramownice w mostach z jazdą górą

Rozpatrzmy kilka układów ramownic kratowych przyjmując założenie, że wszystkie węzły są przegubowe i że obciążenie poziome działa w płaszczyźnie rozpórki górnej i równoważy się jedną siłą poziomą oraz dwiema siłami pionowymi, działającymi na podporach ramownicy. Miejsze zaczepienia reakcji poziomej H (rys. 475) zależy od tego, gdzie położona jest stała podpora ramownicy.

Przyjmujemy najbardziej korzystny przypadek, że ramownica ma jedną tylko podporę stałą z tyłu, licząc w kierunku działania wiatru, gdyż wówczas siła w rozpórce dolnej ramownicy jest największa i równa H .

Jeżeli rozpórki pracują jednocześnie jako elementy tężników podłużnych, to przekroje ich należy obliczać na działanie sumaryczne sił z jednego i z drugiego układu tężników. We wszystkich układach poszczególne elementy ramownic kratowych podlegają działaniu tylko sił osiowych i nie są zginane.

Przy obliczaniu sił osiowych w poszczególnych elementach ramownicy należy przyjmować normy parcia wiatru w zależności od tego, czy elementy te pracują pod wpływem obciążenia ruchomego na moście, czy też nie.

a. Układ krzyżowy ramownicy z krzyżulcami rozciąganymi

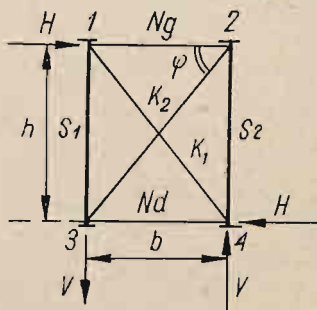
Siła pozioma H działa w węźle 1 (rys. 475). Jeżeli krzyżulce pracują tylko na rozciąganie, to rozpórki górne i dolne są ściskane siłą $N = -H$.

siła w krzyżulcu $K_{2-3} = \frac{+H}{\cos \varphi}$

siła w słupku $S_{2-1} = -\frac{h}{b} H$

Przy odwrotnym kierunku działania siły H pracują krzyżulce K_{1-4} i słupki S_{1-3} .

b. Układ krzyżowy ramownicy z krzyżulcami ściskano-rozciąganymi



Rys. 476

Układ ten (rys. 476) jest statycznie niewyznaczalny i ścisłe określenie sił w jego elementach jest dość skomplikowane.

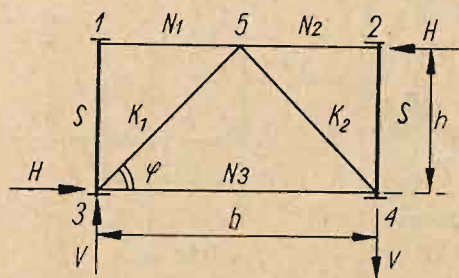
Do obliczania ramownic mostowych stosuje się zwykle sposób przybliżony oparty na założeniu, że obciążenie poziome H , działające w węźle 1, rozkłada się po $\frac{1}{2}$ na obydwa krzyżulce, a więc tak jakby $\frac{1}{2} H$ było przeniesione na węzeł 2.

W rozpórcie górnej powstaje siła ściskająca $N_g = \frac{1}{2} H$. Taka sama siła ściskająca $N = -\frac{1}{2} H$ działa w rozpórcie dolnej. Krzyżulec K_{1-4} jest ściskany siłą $K_{1-4} = -\frac{H}{2 \cos \varphi}$, a krzyżulec K_{2-3} jest rozciągany siłą $K_{2-3} = +\frac{H}{2 \cos \varphi}$.

W lewym słupku rozciągany działa siła $S_1 = +\frac{h}{b} \cdot \frac{H}{2}$, w prawym zaś słupku ściskany — siła $S_2 = -\frac{h}{b} \cdot \frac{H}{2}$.

Na podstawie sił osiowych ustala się przekroje elementów ramownicy, przy czym w słupkach uwzględnia się siły powstałe pod wpływem obciążenia pionowego.

c. Układ półkrzyżulecowy



Rys. 477

Obciążenie poziome H zawsze przenosi się w całości na środek rozpórki górnej w węźle 5 (rys. 477).

Lewa połowa rozpórki górnej nie pracuje ($N_1 = 0$), prawa zaś ściskana siłą $N_2 = -H$.

Rozpórka dolna 3—4 nie pracuje, jeżeli punkty 3 i 4 wywołują jednakowe reakcje, równe $1/2 H$. Jeżeli zaś cała reakcja H znajduje się w punkcie 3, to rozpórka dolna jest ściskana siłą

$$N_3 = -\frac{1}{2} H.$$

Półkrzyżulec K_{5-3} jest ściskany siłą $K_{5-3} = -\frac{H}{2 \cos \varphi}$, a półkrzyżulec K_{5-4} jest rozciągany siłą $K_{5-4} = +\frac{H}{2 \cos \varphi}$ i słupki S_{1-3} i S_{2-4} nie pracują.

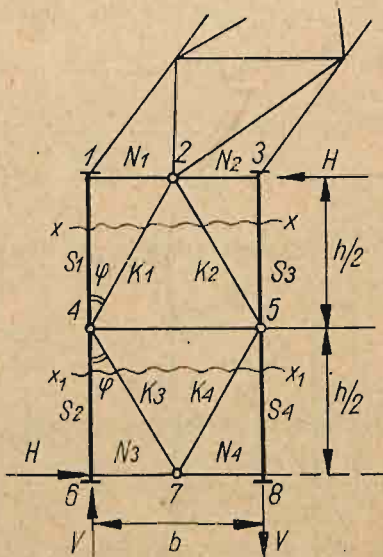
Zgodnie z obliczonymi siłami osiowymi dobiera się przekroje poszczególnych elementów ramownicy, przy czym uwzględnia się siły występujące w słupkach pod wpływem obciążenia pionowego.

d. Układ rombowy ramownicy

Z warunku równowagi węzła 2 wynika (rys. 478), że siły w krzyżulcach K_1 i K_2 są sobie równe, lecz mają różne znaki: $K_2 = -K_1$.

Z równowagi węzła 7 otrzymamy, że $K_3 = -K_4$.

Rzutuując siły w prętach rozciąganych na oś poziomą (przekroje $x-x$ oraz x_1-x_1) otrzymamy przy jednakowych kątach pochylenia krzyżulców, że krzyżulec K_2 i K_3 pomiędzy węzłami 2 i 5 oraz 4 i 7 są rozciągane siłą $K_2 = K_3 = +\frac{H}{2 \sin \varphi}$, a krzyżul-



Rys. 478

ce K_1 i K_4 pomiędzy węzłami 2 i 4 oraz 5 i 7 są ściskane siłą $K_1 = K_4 = -\frac{H}{2 \sin \varphi}$.

W lewej części rozpórki górnej działa siła $N_1 = 0$, w prawej górnej — siła ściskająca $N_2 = -H$.

W rozpórce dolnej jest odwrotnie: w lewej części rozpórki działa siła ściskająca $N_3 = -H$, w prawej zaś — siła $N_4 = 0$. Siła w rozpórce środkowej wynosi $N_5 = 0$, co wynika z równowagi węzła 4 lub 5.

Słupki górne nie pracują, a więc $S_1 = S_3 = 0$. Lewy słupek dolny jest ściskany siłą $S_2 = V = -\frac{h}{b}H$, a prawy słupek dolny jest rozciągany siłą $S_4 = V = +\frac{h}{b}H$.

Mając siły osiowe dobieramy bez trudności przekroje poszczególnych elementów ramownicy. W słupkach należy uwzględnić siły powstające pod wpływem obciążenia pionowego.

e. Trzypiętrowy układ dwukrzyżulcowy ramownicy

Obliczenie tego układu (rys. 479) przeprowadza się przy założeniu, że krzyżulce pracują tylko na rozciąganie. Przy kierunku wiatru, pokazanym na rysunku, pracują krzyżulce K_1 , K_2 , K_3 , przy odwrotnym zaś kierunku wiatru pracują krzyżulce K_{2-3} , K_{4-5} , K_{6-7} .

Rozpatrzmy najbardziej niekorzystny przypadek, kiedy całkowite obciążenie poziome H działa z jednej strony rozpórki górnej. Przeprowadzając przez rozpórki cięcia $x_1 - x_1$ otrzymamy z warunków równowagi, że wszystkie rozpórki są ściskane siłą:

$$N = N_1 = N_2 = N_3 = -H$$

oraz krzyżulce K_1 , K_2 , K_3 są rozciągane siłami

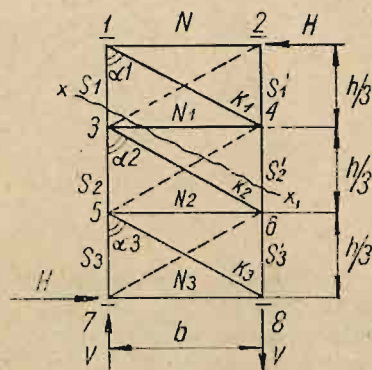
$$K_1 = +\frac{H}{\sin \alpha_1}; K_2 = +\frac{H}{\sin \alpha_2}; K_3 = +\frac{H}{\sin \alpha_3}$$

a krzyżulce K_{2-3} , K_{4-5} , K_{6-7} nie pracują.

W słupkach otrzymamy siły stosując sposób Rittera:

$$S_1 = 0; S'_2 = +\frac{1}{3} \frac{h}{b} \cdot H; S'_3 = +\frac{2}{3} \frac{h}{b} \cdot H;$$

$$S_4 = -\frac{1}{3} \frac{h}{b} \cdot H; S_2 = -\frac{2}{3} \frac{h}{b} \cdot H \text{ i } S_3 = -\frac{h}{b} \cdot H.$$



Rys. 479

f. Działanie wiatru na dźwigary przy górnym pasie krzywoliniowym

Jeżeli górny pas dźwigara głównego ma zarys krzywoliniowy, wtedy oprócz omówionego wyżej przeciążenia od wiatru, wystąpi jeszcze dodatkowe przeciążenie, którego wielkość zależy głównie od różnic wysokości pomiędzy poszczególnymi słupkami kraty.

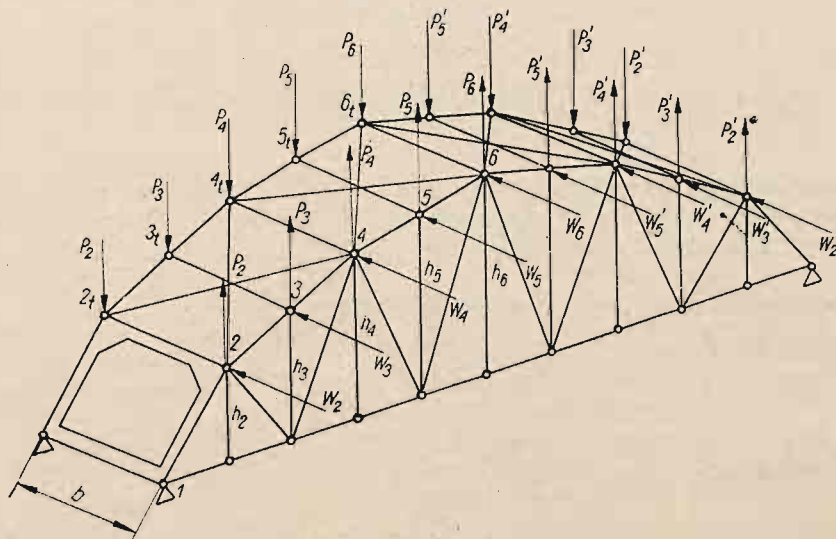
Sily w prętach dźwigara od parcia wiatru można wtedy obliczyć dwoma sposobami:

1) metodą ścisłą,*)

2) metodą przybliżoną, którą podajemy niżej.

Istotę tej metody wyjaśniamy na przykładzie dziesięcioprzędziowego przęsła kratowego z jazdą dołem.

Potrzebne oznaczenia podane są na rys. 480 i 481.



Rys. 480

Działanie wiatru na przęsło przedstawiamy tutaj w postaci poziomych sił skupionych $W_2, W_3, W_4, \dots, W_6$, przyłożonych w odpowiednich węzłach pasa górnego przedniej kraty. Jest to oczywiście uproszczenie, które jednak przy przyjętej metodzie obliczeń nie wpływa na wynik ostateczny.

Wycinamy z przęsła środkowy odcinek $5-5'_t-5_t-5'$ (rys. 481), obejmujący dwa przedziały pasa górnego łącznie z wiatrownicami.

Konstrukcja ta jest obciążona siłą W_6 , zaczepioną w węźle 6 pasa górnego. Podpory konstrukcji stanowią węzły 5 i $5'$ przedniej kratownicy oraz węzły 5_t i $5'_t$ tylnej kratownicy.

Siła W_6 daje moment wywracający, którego wielkość obliczona względem osi $5_t-5'_t$ wynosi; $M_w = W_6(h_6 - h_5)$.

Moment ten będzie zrównoważony wówczas, gdy założymy istnienie dwóch par reakcji pionowych podpór, działających w węzłach 5, 5_t , $5'_t$ i $5'$.

Z równania równowagi otrzymamy wielkość tej pionowej reakcji P_6 , a mianowicie:

$$P_6 = \frac{W_6(h_6 - h_5)}{2b}.$$

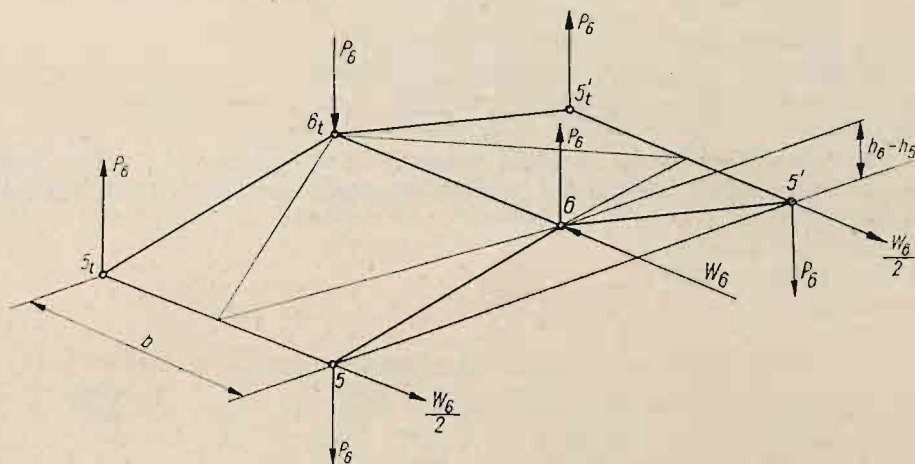
Jak widać z rys. 481, takie same reakcje pionowe podpór otrzymalibyśmy w przypadku zamiany siły poziomej W_6 przez dwie siły pionowe P_6 , zaczepione w węzłach 6 i 6_t , przy czym siła P_6 w węźle 6 winna być skierowana do góry, a węzeł 6_t — w dół.

*) Prof. Umańskij: Prostranstwiennyye sistemy, Moskwa 1948 r.

Sily w prętach dźwigarów głównych nie ulegną zmianie, gdy siłę poziomą W_6 , przyłożoną w węźle 6, zastąpimy przez parę sił P_6 , przyłożonych odpowiednio w węzłach 6 i 6_t.

Przechodząc do niżej położonej części przęsła należy zauważyć, że oddziaływanie na nią wyżej rozpatrzonej części górnej sprowadza się do dwóch sił poziomych, przyłożonych w węzłach 5 i 5', równych $\frac{W_6}{2}$ i dwóch par sił pionowych P_6 , przyłożonych w węzłach 5, 5_t, 5'_t oraz 5' i równych

$$\frac{W_6 (h_6 - h_5)}{2b}.$$



Rys. 481

Rozpatrując z kolei czteroprzedziałową konstrukcję przestrzenną 4 — 4_t — 4' — 4'_t i uwzględniając oddziaływanie górnej części stwierdzamy, że działają na nie cztery siły pionowe P_6 , przyłożone w węzłach 5 — 5_t — 5'_t — 5' oraz dwie siły poziome, przyłożone w węzłach 5 i 5' i równe

$$\frac{W_6}{2} + W_5.$$

Wymienione siły poziome możemy zastąpić przez 4 siły pionowe, zaczepione w węzłach 5 — 5_t — 5' — 5'_t i równe

$$P_5 = \frac{\frac{W_6}{2} + W_5}{b} \cdot (h_5 - h_4).$$

Przez analogię możemy dalej napisać

$$P_4 = \frac{\frac{W_6}{2} + W_5 + W_4}{b} \cdot (h_4 - h_3),$$

$$P_3 = \frac{\frac{W_6}{2} + W_5 + W_4 + W_3}{b} \cdot (h_3 - h_2),$$

$$P_2 = \frac{\frac{W_6}{2} + W_5 + W_4 + W_3 + W_2}{b} \cdot h_2.$$

Mając obliczone siły P możemy łatwo obliczyć siły w prętach pasów dźwigarów głównych.

Siły te należy oczywiście zsumować algebraicznie z siłami powstającymi wskutek parcia wiatru, obliczonymi w prętach pasów jako dźwigarów tężni-
kowych metodami uprzednio podanymi.

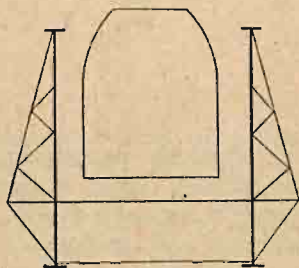
Od wyżej obliczonego obciążenia zastępczego siłami P powstaną także siły w krzyżulcach i słupkach dźwigarów głównych. Sił tych jednak w obliczaniu nie uwzględniamy.

Na podstawie siły dobiera się przekroje poszczególnych elementów ramownicy, przy czym w słupkach uwzględnia się siły powstałe pod wpływem obciążenia pionowego.

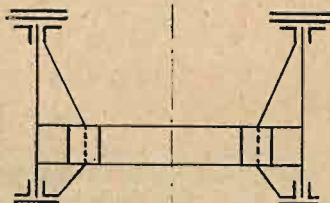
9. Stężenia poprzeczne mostów otwartych

W mostach otwartych stężenia poprzeczne stosuje się w postaci półram otwartych u góry i połączonych dołem z poprzecznicami mostu (rys. 482, 483, 484).

Przy danej wysokości słupków półramy i danej szerokości mostu sztywność półramy zależy od przekroju słupków oraz od sposobu przymocowania ich do podstawy półramy — poprzecznicy jezdni i od sztywności tej podstawy.



Rys. 482



Rys. 483

Półramy mostów otwartych mają na celu przenoszenie parcia wiatru, przypadającego na górną część dźwigara, na węzły dolnych stężeń podłużnych mostu oraz utrzymanie w równowadze ściskanego pasa dźwigara, zapobiegając jego wyboczeniu z płaszczyzny dźwigara. Dlatego słupki półram powinny być usztywnione w poprzecznym kierunku mostu.

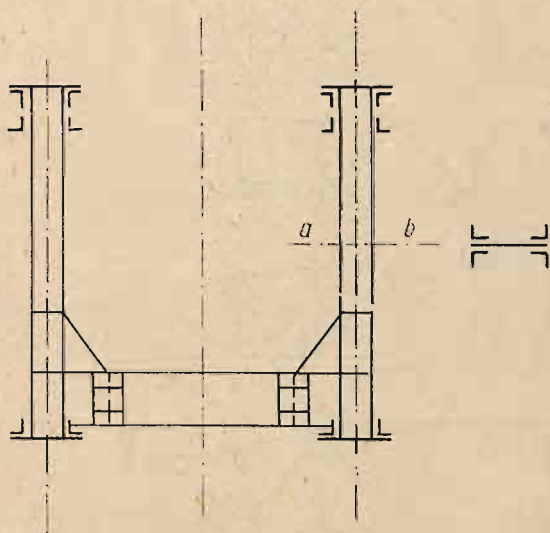
Przy dużej wysokości poprzecznic może być zastosowane zwykłe przymocowanie słupków do poprzecznic jezdni. Przy niedostatecznej wysokości poprzecznic łączy się je ze słupkami za pomocą wsporników (rys. 351 i 358).

Przy małej sztywności słupków stosujemy rozszerzające się ku dołowi wzmocnienia połączone z poprzecznicami (rys. 482).

W mostach kratowych przy pasach skrzynkowych dwuteowe przekroje słupków usztywniają półramy, wzmacniając je za pomocą środników z blach umieszczonych na całej długości słupka (rys. 483).

Takie przekroje słupków dobrze pracują na zginanie i są dość sztywne w kierunku poprzecznym mostu.

Słupki półram oblicza się jako belki dołem umocowane i znajdujące się pod działaniem sił zaczepionych w górnym końcu, a mianowicie



Rys. 484

- 1) pionowej siły ściskającej w słupku jako części dźwigara od obciążenia pionowego;
- 2) poziomej siły wywołanej dążeniem górnego pasa ściskanego do wyboczenia z płaszczyzny dźwigara, przyjmując wielkość tej siły za równą $\frac{1}{100}$ największej siły w pasie górnym dźwigara od obciążenia pionowego;
- 3) poziomej siły od parcia wiatru, przypadającego na górną część dźwigara, gdy most jest obciążony taborem.

10. Tężniki w wieloprzęsłowych dźwigarach bezprzegubowych

W mostach wieloprzęsłowych bezprzegubowych tężniki podłużne umieszcza się wzdłuż całej długości dźwigarów podobnie jak w mostach jedno-przęsłowych. przy czym ramownice stosuje się obowiązkowo nad każdą podporą.

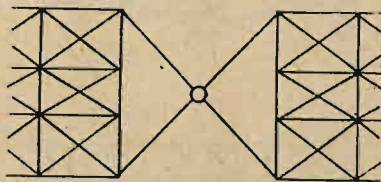
Pośrednie tężniki poprzeczne podlegają tym samym zasadom co w mostach jednoprzęsłowych.

Tężniki poprzeczne pomiędzy dźwigarami głównymi mogą mieć jeden z układów podanych dla ramownic (rys. 455—460).

Ze względów konstrukcyjnych przekroje poszczególnych elementów nie mogą być mniejsze od przekroju kątownika $75 \cdot 75 \cdot 8$ w mostach kolejowych i kątownika $60 \cdot 60 \cdot 6$ w mostach drogowych. W przymocowaniu do blach węzłowych grubość tych blach powinna wynosić 8 mm oraz mieć nie mniej niż 3 nity o średnicy 20 mm w mostach kolejowych i co najmniej 2 nity średnicy 18 mm w mostach drogowych.

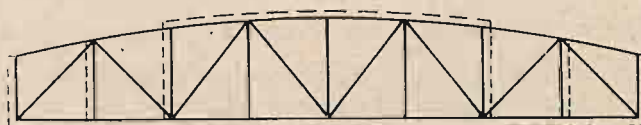
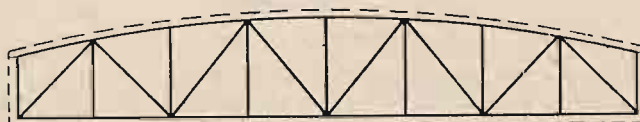
11. Tężniki w dźwigarach wspornikowych lub przegubowych

W mostach wspornikowych lub w mostach o dźwigarach ciągłych z przegubami tężniki podłużne w miejscach ruchomego podwieszenia o dźwigarach na wspornikach lub w miejscach przegubów powinny być przerwane i mieć takie połączenia, które by mogły przenosić poziome siły poprzeczne wywołane parciem wiatru i jednocześnie przesunąć się swobodnie wzdłuż mostu.

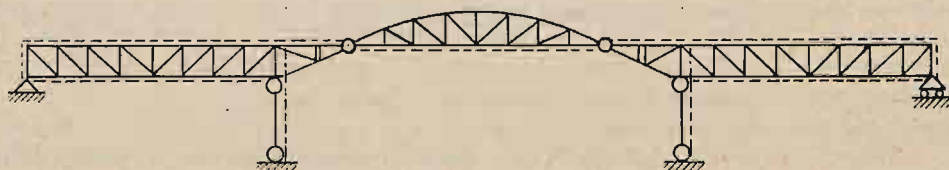
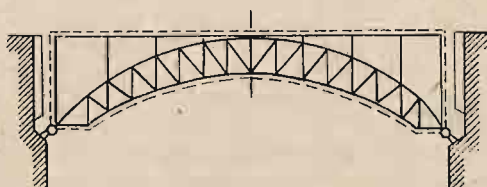


Rys. 485

Takie połączenie tężników w moście wspornikowym przedstawione jest na rys. 485. Tężniki belki zawieszanej schodzą się pośrodku odległości pomiędzy dźwigarami, gdzie są połączone przegubem.

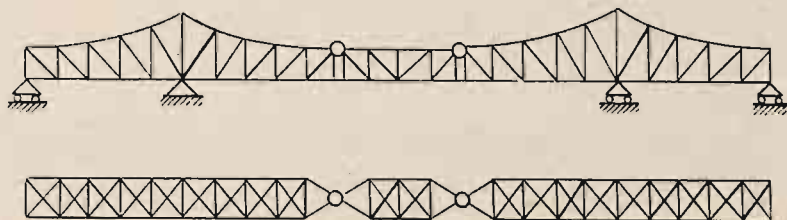


Rys. 486



Rys. 487

Na schematach różnych układów mostów belkowych, mostów łukowych, mostów o belkach ciągłych oraz mostów wspornikowych, przedstawionych na rys. 486 i 487, oznaczono linią przerywaną układ górnych i dolnych tężni-



Rys. 488

ków podłużnych oraz tężników poprzecznych, a na rys. 488 przedstawiono rzut poziomy tężników podłużnych z przegubami.

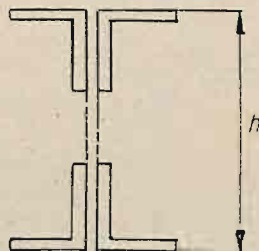
12. Przekroje prętów tężników

Przekroje prętów tężników podlegają tym samym warunkom co inne pręty kraty dźwigarów, które omówiono w części drugiej, w rozdz. V.

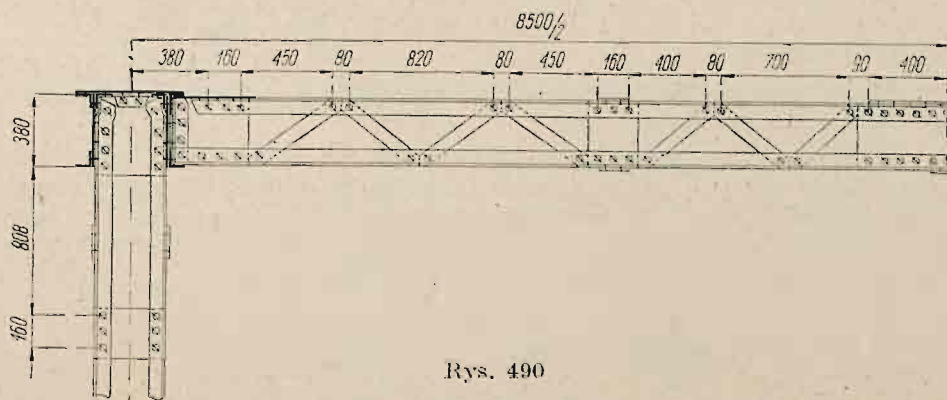
a. Rozpórki tężników

Ze względów konstrukcyjnych przekrój rozpórki tężników przeważnie stosuje się silniejszy, niż to wynika z obliczeń na siły działające w rozpórce.

Przekrój rozpórki jest zwykle dwuteowy, składający się najczęściej z czterech kątowników (rys. 489), połączonych na końcach blachami pionowymi, które za pomocą kątowników krótkich są przytwierdzone do pasów dźwigarów; natomiast w środkowej części kątowniki rozpórki powiązane są krzyżulcową kratą pojedynczą albo podwójną (rys. 490 i 491). Obecnie zamiast kraty stosuje się same przewiązki.



Rys. 489

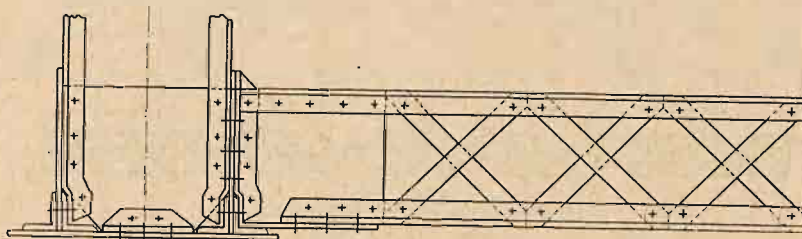


Rys. 490

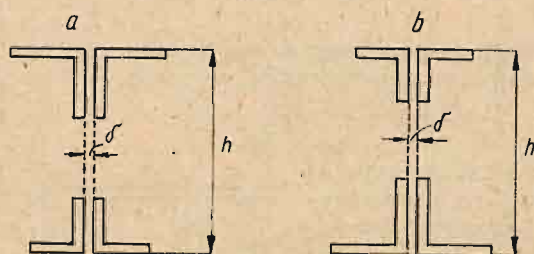
Niekiedy w rozpórkach tężników kątowniki są niejednakowe: górne w rozpórkach górnych i dolne w rozpórkach dolnych są silniejsze, dolne zaś w rozpórkach górnych i górne w rozpórkach dolnych są słabsze (rys. 492).

Kątowniki silniejsze są przeważnie nierównoboczne i boki szersze leżą w płaszczyznach tężników podłużnych.

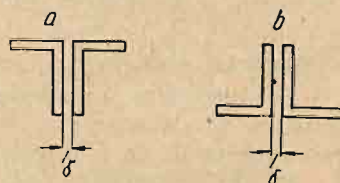
Wysokość rozpórki ustala się odpowiednio do wysokości blach pionowych pasów w zależności od rozstawu dźwigarów głównych; im rozstaw dźwigarów jest większy, tym rozpórki są wyższe. Najmniejsza wysokość rozpórki wynosi około 300 mm.



Rys. 491



Rys. 492



Rys. 493

Jeżeli odległość pomiędzy dźwigarami jest niewielka, to wówczas można zastosować rozpórki składające się z dwóch kątowników nierównobocznych, połączonych w kształcie teownika, przy czym boki większe są pionowe, a mniejsze — poziome. Ma to na celu zrównanie sztywności przekroju rozpórki w kierunku pionowym i poziomym dla rozpórek górnych (rys. 493 a) i dolnych (rys. 493 b).

b. Krzyżulce tężników

Przekroje krzyżulców składają się z kątowników pojedynczych, podwójnych lub poczwórnych (rys. 494).

W skrzyżowaniu końce kątowników przerywanych znitowuje się liczbą nitów, odpowiednią do sił w nich działających (rys. 495). W skrzyżowaniu prętów składających się z dwóch kątowników ułożonych na krzyż w węźle przechodzi się do przekroju teowyci, wzmocnionych kątownikami usztywniającymi i bez użycia blach węzłowych (rys. 496).

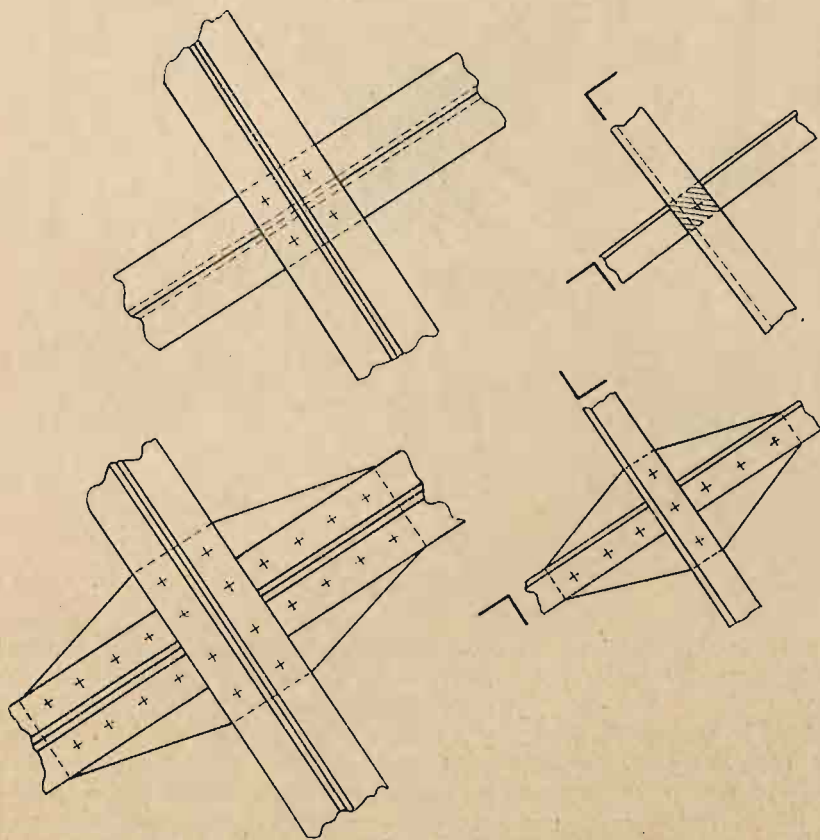


Rys. 494

Długie krzyżulce pod ciężarem własnym mogą się znacznie ugiąć, wskutek czego ich wytrzymałość na ściskanie może znacznie obniżyć się. Aby temu zapobiec, należy długie krzyżulce tężników podłużnych podwieszać

pośrodku ich długości do belek jezdni lub tężników poprzecznych, przez co moment zginający powstały pod wpływem ciężaru własnego krzyżulców zmniejsza się poczwórnie, ugięcie zaś zmniejsza się szesnastokrotnie (rys. 497 i 498).

Gdyby takie zmniejszenie było niedostateczne lub gdyby podwieszenie krzyżulców było niemożliwe, wtedy dla krzyżulców należy zastosować przekroje o kształcie osłkowym (rys. 499) lub dodać do przekroju krzyżulca kątowniki usztywniające (rys. 500), które łącznie z kątownikami zasadniczymi krzyżulców wytworzyłyby beleczkę kratową odpowiednio sztywną, z nieznacznym naprężeniem zginającym od ciężaru własnego, nie wpływającym ani na stateczność, ani na wytrzymałość krzyżulca.



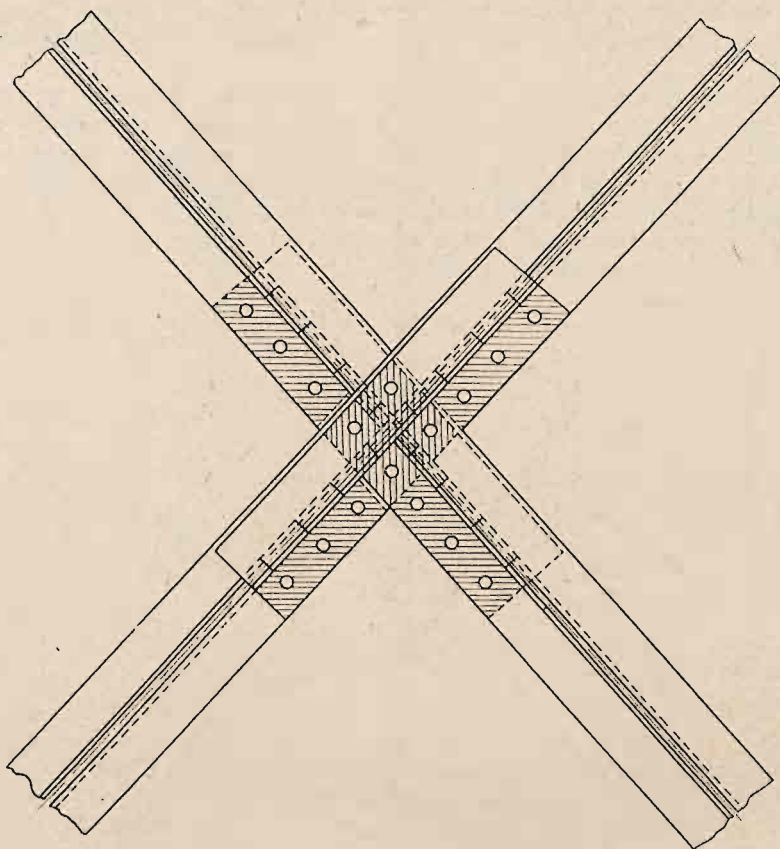
Rys. 495

Krzyżulce dwugłęziowe z kratą w skrzyżowaniu łączą się z sobą w sposób podany na rys. 501 b.

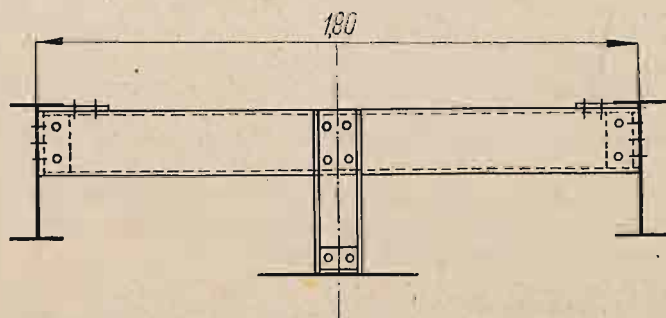
Jak widać z rysunku, jeden krzyżulec jest ciągły, drugi zaś jest przerwany. Połączenie przerwanych gałęzi jest sztywne, tak że w tym miejscu krzyżulec sam dobrze wytrzymuje ciężar własny.

c. Węzły tężników podłużnych

Węzły tężników podłużnych zwykle wypadają w tych samych przekrojach, co i węzły dźwigarów, ponieważ przedziały tężników odpowiadają przeważnie przedziałom dźwigarów (rys. 175).



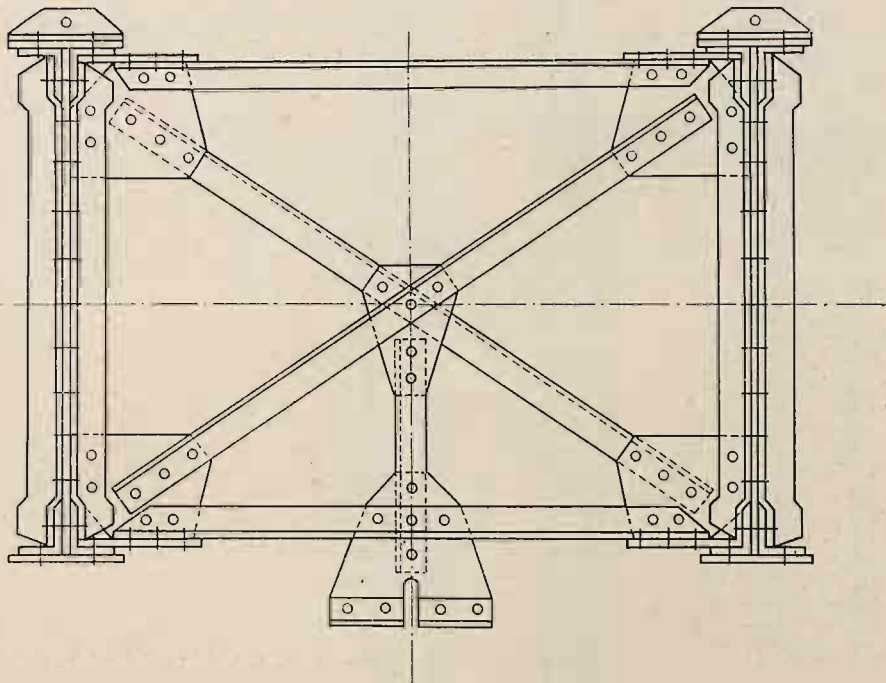
Rys. 496



Rys. 497

Oczywiście nie jest to warunek konieczny. Przedziały tężników mogą być mniejsze lub większe od przedziałów dźwigarów, np. jeden przedział w jednej płaszczyźnie może odpowiadać dwom przedziałom w drugiej płaszczyźnie.

Pręty kraty tężników podłużnych przynitowujemy albo do nakładek węzłowych (rys. 502), albo do wystających blach poziomych pasów, jeżeli ten występ wynosi co najmniej 90 mm (rys. 503).



Rys. 498

Ponadto można je przytwierdzać za pomocą wstawek (rys. 504.)

Wstawki węzłowe umieszcza się w blachach poziomych pasa, przylegających bezpośrednio do kątowników pasowych.

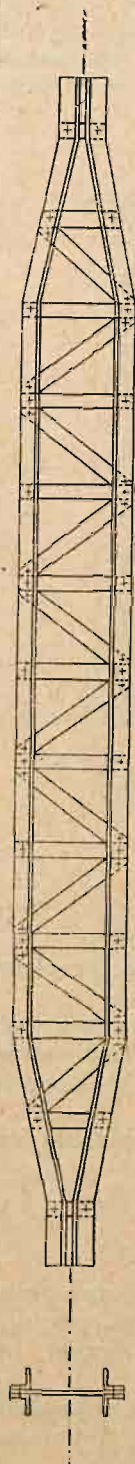
Wstawki wymagają więcej materiału, gdyż w miejscach wstawek nie ma blachy poziomej pasa i do przykrycia powstałych dwóch styków potrzebne są dodatkowe nakładki pasowe. Tak przymocowuje się zwykle do pasa zbieżnego rozpórkę ramownicy (rys. 505).

W węzłach kratownic tężnikowych należy dążyć do wytwarzania kątów trójsiennych.

13. Tężniki pomiędzy podłużnicami mostów kolejowych

Ponieważ podłużnice w mostach kolejowych podlegają dość znacznym wpływom dynamicznym wywieranym przez przechodzące pociągi, powinny one być dobrze powiązane tężnikami zarówno w kierunku podłużnym, jak i w kierunku poprzecznym mostu.

Tężniki podłużne pomiędzy podłużnicami, których rozstaw najczęściej wynosi 1,80 m, oblicza się na obciążenie ruchome, które stanowi 5% obciążenia ruchomego, przypadającego na obydwie podłużnice mostu.

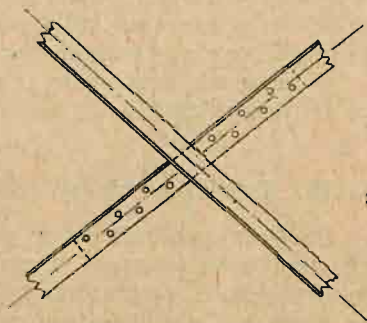


Rys. 499

a



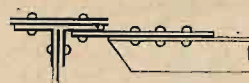
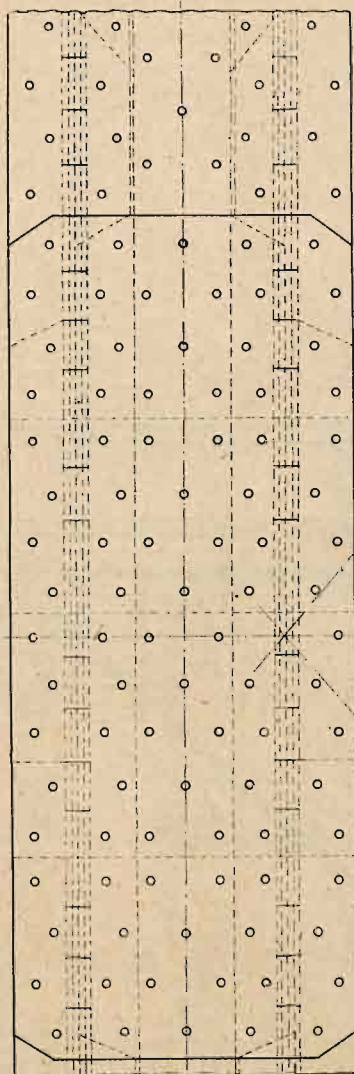
b



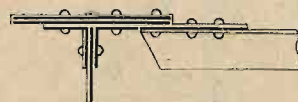
Rys. 501



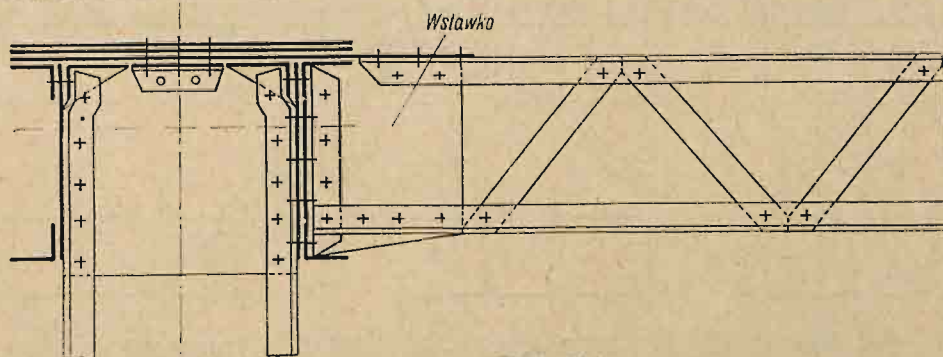
Rys. 500



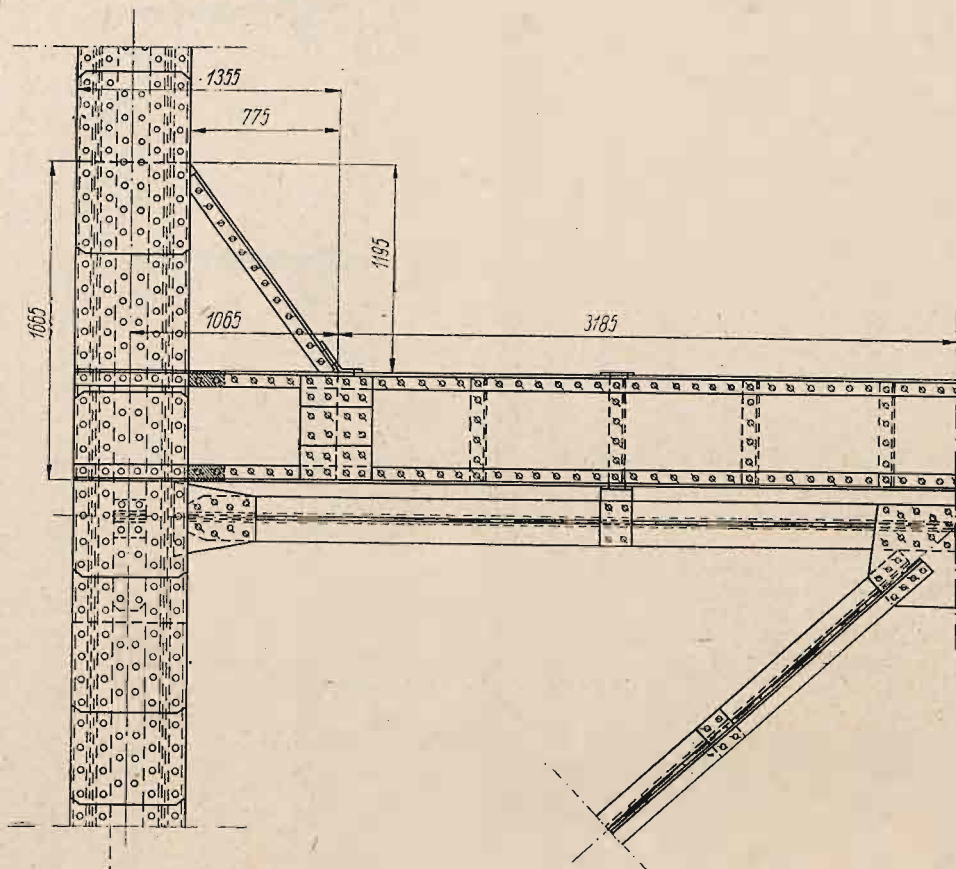
Rys. 502



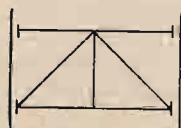
Rys. 503



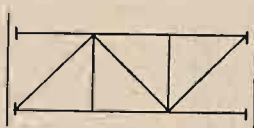
Rys. 504



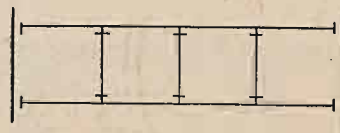
Rys. 505



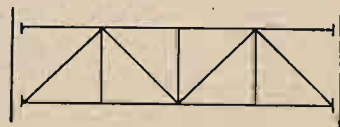
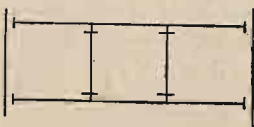
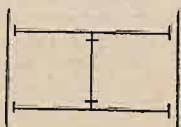
Rys. 506

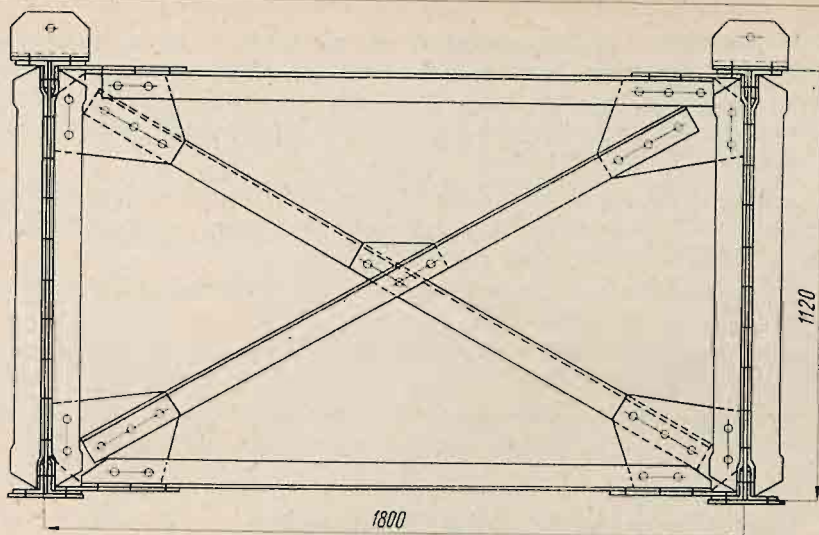


Rys. 507

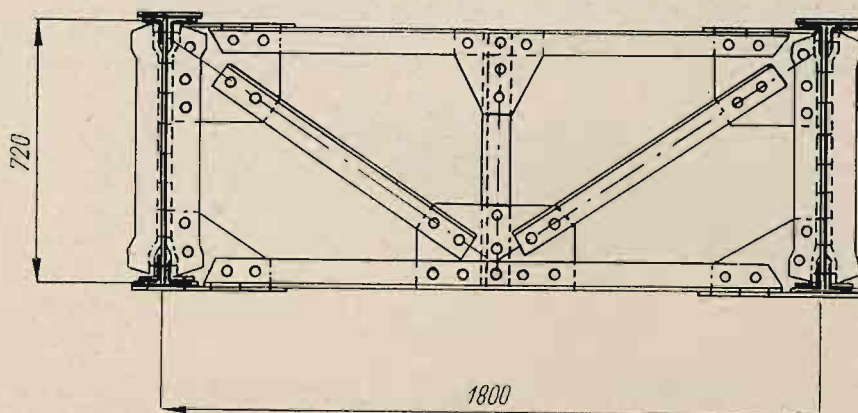


Rys. 508

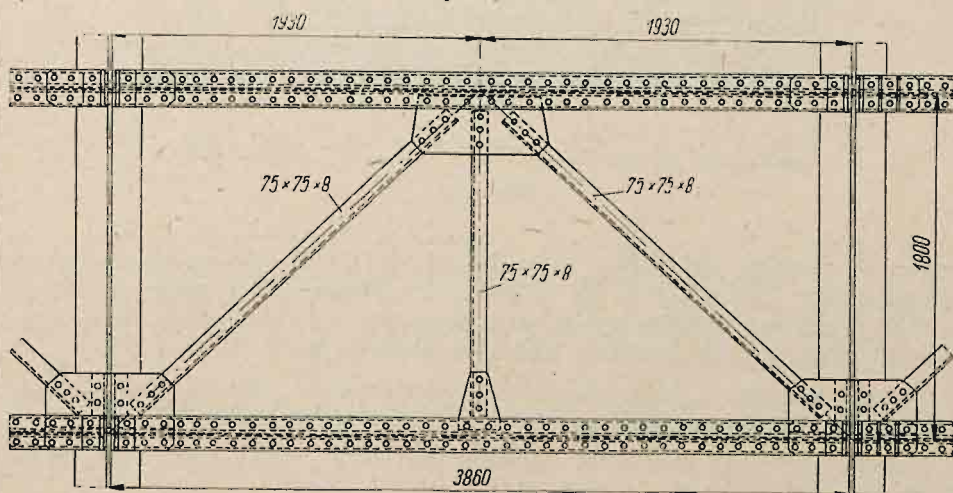




Rys. 509



Rys. 510



Rys. 511

Tężniki podłużne układu krzyżulcowego ze słupkami umieszcza się w poziomie pasów górnych podłużnic: o dwóch przedziałach przy rozpiętości podłużnicy około 4,4 m (rys. 537), o trzech przedziałach przy rozpiętości podłużnicy około 6,6 m (rys. 538) i o czterech przedziałach przy rozpiętości podłużnicy około 8,8 m (rys. 508).

Przy większej wysokości podłużnic stosuje się tężniki poprzeczne w kształcie krzyża (rys. 509), przy mniejszej wysokości podłużnic — o układzie krzyżulcowym ze słupkiem pośrodku (rys. 510).

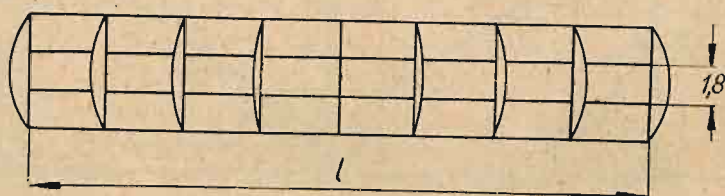
U dołu podłużnicy toru połączone są tylko rozpórkami dolnymi tężników poprzecznych (rys. 506—508).

Najmniejszym pod względem wymiarów elementem tężników podłużnych, a więc zastrzałów i słupków, jest kątownik o wymiarach $75 \cdot 75 \cdot 8$.

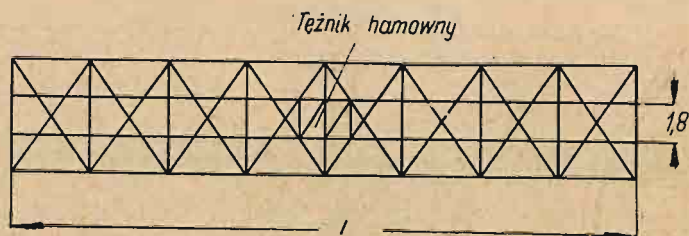
Dla przymocowania poszczególnych elementów stężeń podłużnych do blach węzłowych (rys. 511) należy dawać po 3 nity o średnicy 20 mm.

14. Tężniki hamowne w mostach kolejowych

Tężniki hamowne mają zastosowanie tylko w mostach kolejowych o większej rozpiętości, poczynając od 25 m wzwyż, lub w mostach o mniejszej rozpiętości, położonych na spadku oraz w pobliżu stacji kolejowych, gdzie są narażone na częste hamowanie pociągów. Siła podłużna, powstająca wskutek



Rys. 512

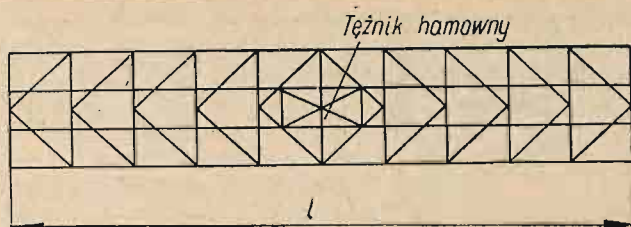


Rys. 513

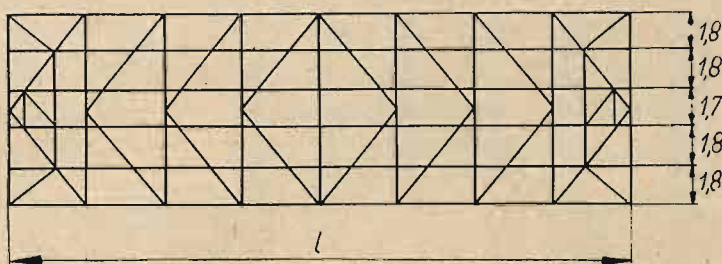
hamowania pociągu na moście, równa $1/10$ obciążenia ruchomego, przenosi się przez szyny i mostownice na podłużnice. Podłużnice wywierają nacisk na belki poprzeczne, które mogą ulec wygięciu w płaszczyźnie poziomej, jeżeli nie zastosuje się tężników hamownych (rys. 512).

Tężniki hamowne mają za zadanie przeniesienie podłużnej siły hamownej na pasy dźwigarów głównych, te zaś na podpory mostu.

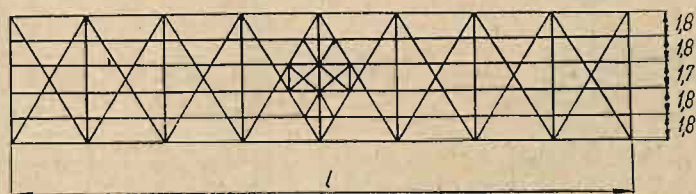
Tężniki hamowne umieszcza się albo pośrodku przęsła (rys. 513 i 514), albo w obu końcach przęsła (rys. 515).



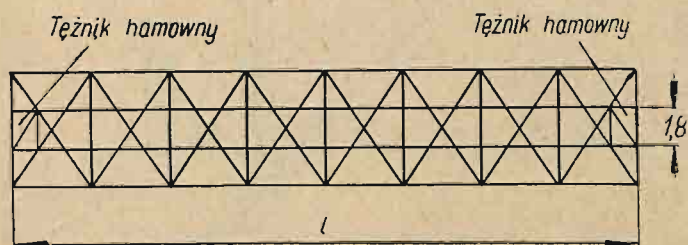
Rys. 514



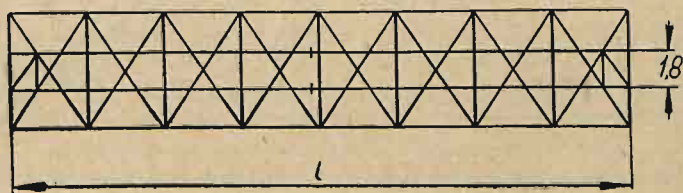
Rys. 515



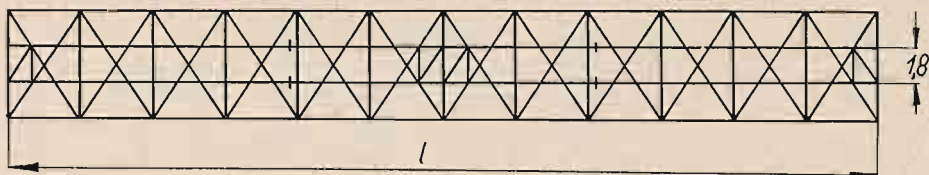
Rys. 516



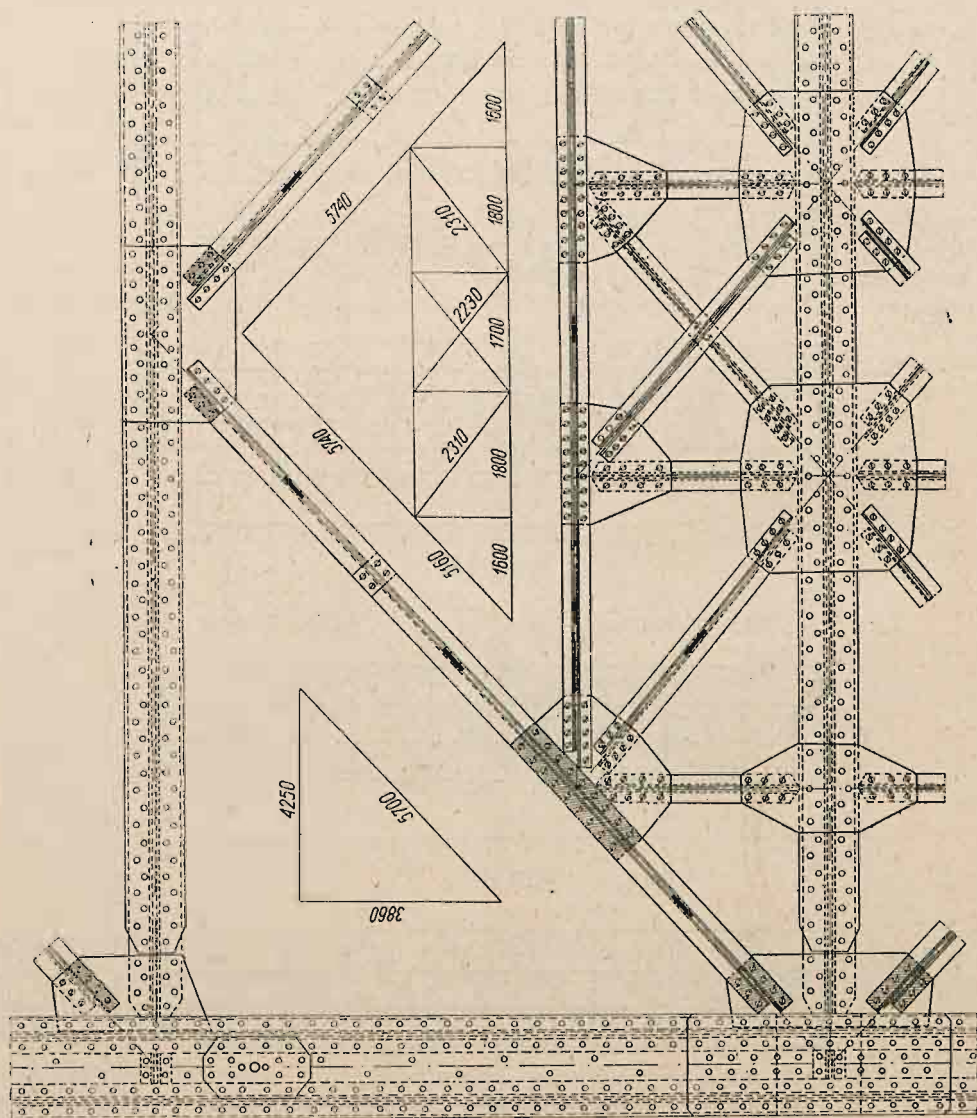
Rys. 517



Rys. 518



Rys. 519



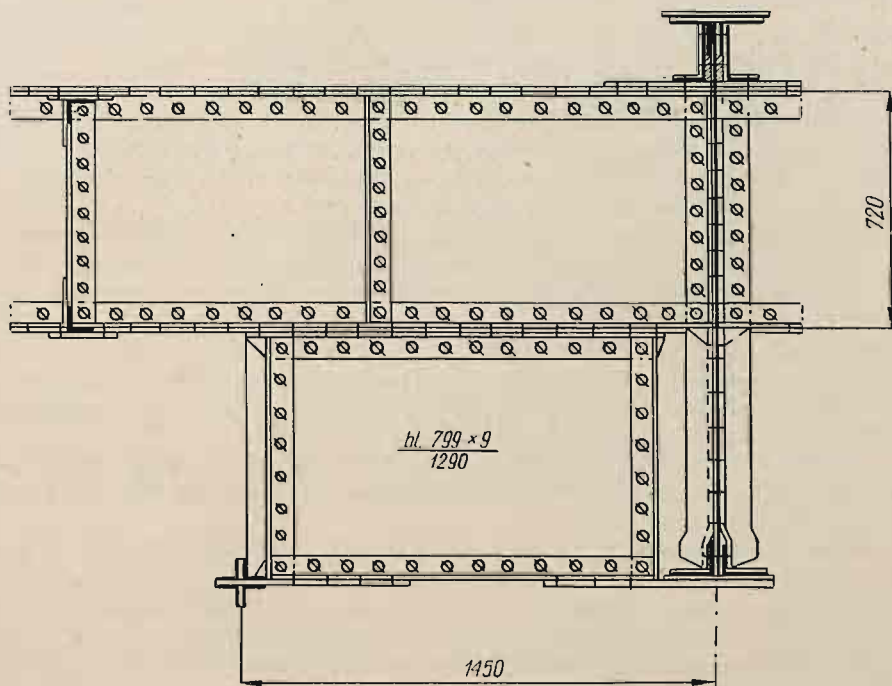
Rys. 520

Jeżeli belki podłużne są przerwane w jednym lub w kilku miejscach, to w dźwigarach dużej rozpiętości umieszcza się zasadniczo tężniki hamowne w każdym odcinku podłużnic. Jeżeli podłużnice są przerwane pośrodku przęsła, to tężniki hamowne umieszcza się w obu końcach przęsła (rys. 517), a w przypadku gdy podłużnice w dwóch punktach mają połączenie przegubowo-przesuwne, tężniki hamowne muszą być ustawione w trzech miejscach — na końcach i pośrodku przęsła (rys. 519).

W przęsłach dwutorowych umieszczenie tężników hamownych jest pokazane schematycznie na rys. 515 i 516 w układzie półkrzyżulcowym i dwukrzyżulcowym.

Tężniki podłużne pomiędzy dźwigarami głównymi w poziomie jazdy mogą być jednocześnie tężnikami hamownymi, jeżeli będą odpowiednio połączone z podłużnicami.

Na rys. 520 pokazane jest połączenie tężników hamownych z podłużnicami w planie, a na rys. 521 — połączenie tężników podłużnych i jednocześnie hamownych z podłużnicami w widoku bocznym.



Rys. 521

Połączenie tężników hamownych z dźwigarami głównymi jest takie samo jak i tężników podłużnych; zwykle do ich przymocowania służą te same blachy węzłowe, które łączą tężniki podłużne z dźwigarami głównymi. Połączenie takie stosuje się zwykle w końcach przęsła, gdzie zarówno tężniki hamowne jak i tężniki podłużne mają dość silne przekroje.

Bardzo często układ tężników hamownych włącza się konstrukcyjnie do układu tężników podłużnych pomiędzy dźwigarami głównymi. Zastosowanie takiego układu jest celowe pośrodku rozpiętości dźwigarów podpartych swobodnie w dwóch punktach (rys. 520).