

## KONSTRUKCJA WĘZŁÓW KRATOWNIC

## 1. Zasady projektowania węzłów

Przy prawidłowym projektowaniu węzłów kratownic mostowych należy przestrzegać następujących zasad:

1. Osie obojętne wszystkich prętów schodzących się w danym węźle kratownicy powinny przecinać się w osi węzła.

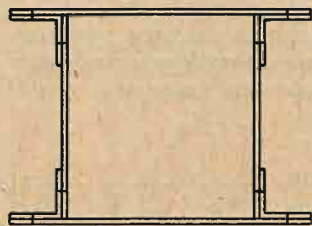
2. Każdy element pręta powinien być w węźle przynitowany niezbędną ilością nitów, obliczoną w prętach rozciąganych dla przekroju netto i w prętach ściskanych dla przekroju brutto, pomnożonego przez współczynnik zmniejszający na wyboczenie.

3. Środek ciężkości nitów, przytwierdzających pręt kraty do węzła, powinien leżeć na osi obojętnej danego pręta i dlatego nity powinny być rozłożone symetrycznie względem tej osi i w miarę możliwości w szeregach do niej prostopadłych.

4. Blachy węzłowe, do których przynitowujemy pręty kraty, powinny mieć takie wymiary, aby w przekrojach tych blach naprężenia nie przekraczały nigdzie granic naprężeń dopuszczalnych i aby w końcu pręta na linii ostatnich nitów, przytwierdzających go do węzła, przekrój blach węzłowych z każdej strony pręta był co najmniej równy przekrojowi gałęzi pręta lub nieco większy.

5. Konstrukcja węzła powinna zapewniać dostęp ze wszystkich stron w czasie nitowania i malowania.

Ostatnie dwa warunki nie zawsze pokrywają się. Węzeł może być dostępny do nitowania, lecz po znitowaniu nie wszystkie jego części mogą okazać się dostępne do pomalowania. Podobnie dzieje się w przypadku pręta o przekroju rurowym (rys. 228), który jest łatwo dostępny do znitowania, lecz po złożeniu konstrukcji jego wewnętrzne powierzchnie okazują się niedostępne do pomalowania.



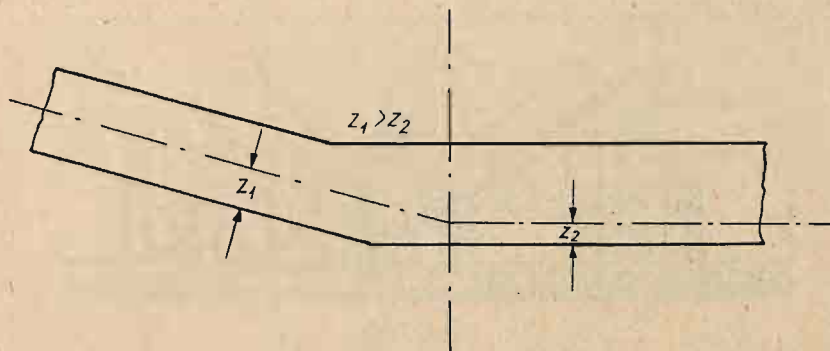
Rys. 228

Pierwszy warunek należytego projektowania węzłów kratownic jest czasem trudno spełnić, szczególnie przy pasach prostych o przekrojach zmiennych w poszczególnych przedziałach. Najczęściej występuje to wówczas, gdy nie biera się przekroju prętów pasa z zapasem, lecz wyzyskuje się naprężenie dopuszczalne, aby nie zwiększać niepotrzebnie współczynnika konstrukcyjnego.

Jak już zaznaczono, różnica (w dwóch sąsiednich przedziałach) w odległościach środków ciężkości przekrojów, liczonych od krawędzi katowej kątowników pasowych, nie powinna być większa od 3% wysokości blach pionowych pasa, przy czym oś w pasie prostym wzdłuż jego długości umieszczamy w odległości średniej arytmetycznej z odległości środków ciężkości przekroju pasa we wszystkich przedziałach.

W pasach łamanych osie obojętne pasów możemy układać ściśle na teoretycznych osiach prętów, lecz wtedy otrzymujemy przecięcia się krawędzi zasadniczych kątowników pasowych nieco z boku od osi pionowej, przechodzącej przez węzeł (rys. 229). Chociaż odległość osi obojętnej prętów pasa od krawędzi katowej kątowników pasowych odgrywa mniejszą rolę niż w pa-

sach prostych, to jednak w pasach krzywych, a zwłaszcza w pasach słabo załamanych, należy dążyć do osiągnięcia możliwie jednakowego położenia środków ciężkości w sąsiednich przedziałach pasa, aby przecięcie się krawędzi kątowników pasowych nie było zbyt oddalone od środka węzła.



Rys. 229

Należy zwrócić uwagę, że w węzłach dźwigarów, gdzie blachy węzłowe są o znacznych wymiarach, a czasami i o różnych kształtach, środek ciężkości pasów w granicach węzłów nie zachowuje położenia obliczeniowego, lecz zupełnie inne i naprężenie w węzłach okazuje się także inne niż obliczane w pasach.

Z jednej strony powstają w nich momenty gnące, wywołane różnymi przyczynami, jak sztywność węzłów, mimośród sił, niedokładność zestawień itp., które zwiększają naprężenia w węzłach, z drugiej zaś strony wzrost przekrojów w węzłach zmniejsza te naprężenia. Wszystko to zachodzi przeważnie w granicach sprężystości materiału i pokrywa się współczynnikami pewności.

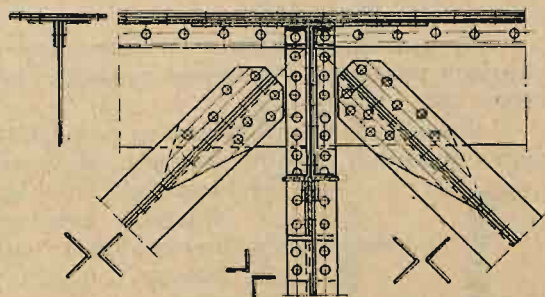
Po naniesieniu prętów kraty rozmieszczamy zasadnicze nity na pasach, a następnie przystępujemy do projektowania poszczególnych węzłów dźwigara kratowego.

## 2. Sposoby przytwierdzania prętów kraty do pasów dźwigarów

Przytwierdzanie prętów kraty do pasów dźwigarów może być wykonane rozmaicie.

Najprostszym sposobem przytwierdzenia prętów kraty do prętów pasa jest bezpośrednie nałożenie pręta kraty na blachy pionowe pasa, czyli tzw. łączenie w nakładkę.

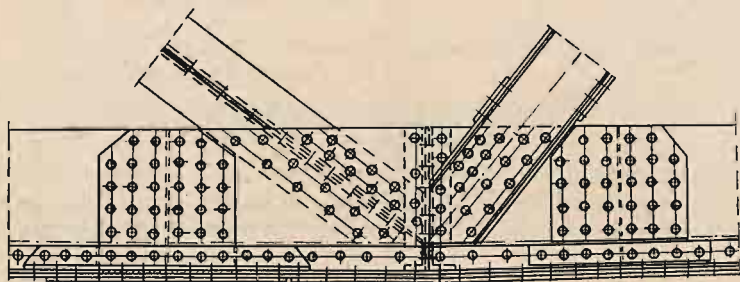
Na rys. 230 pokazany jest węzeł pasa górnego, a na rys. 231 węzeł pasa dolnego, przy czym przekroje pasów są teowe. Sposób ten stosuje się tylko wówczas, gdy siły w prętach kraty są małe, a przekroje tych prętów są niewielkie i wskutek tego wymagają niewielkiej liczby nitów do ich przytwierdzenia, blachy zaś pionowe pasów są dość wysokie.



Rys. 230

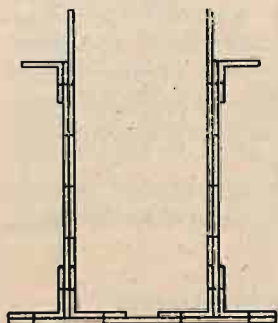


Ten sposób przytwierdzania jest stosowany w kratownicach o niewielkiej rozpiętości, w kratownicach wielokrotnych, w których siły poprzeczne rozkładają się na kilka układów kratownic, a także w słupkach i w wieszakach krat zastrzałowych oraz w prętach krat wzmacniających.

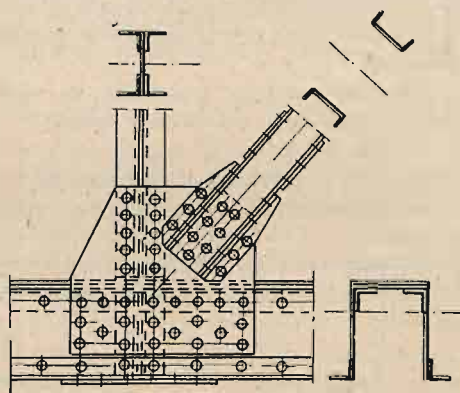


Rys. 231

Drugi sposób — to przytwierdzenie prętów kraty do prętów pasów za pomocą nakładek węzłowych. Polega on na tym, że na blachach pionowych pasa umieszcza się nakładki, które wystają poza jego obręb. Do tych nakładek przytwierdza się pręty kraty, przy czym nakładkom nadaje się konstrukcyjnie odpowiedni kształt.



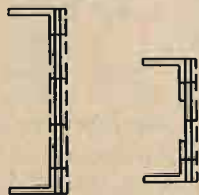
Rys. 232



Rys. 233

W pasach dwuciennych umieszcza się nakładki węzłowe zwykle w przekrojach pasów po tej stronie, po której nie ma kątowników usztywniających (rys. 232 i 233).

Sposób przytwierdzania za pomocą nakładek stosuje się również wtedy, gdy przekroje prętów kraty mają, oprócz kątowników, najwyżej po jednej blasze w każdej gałęzi przekroju.

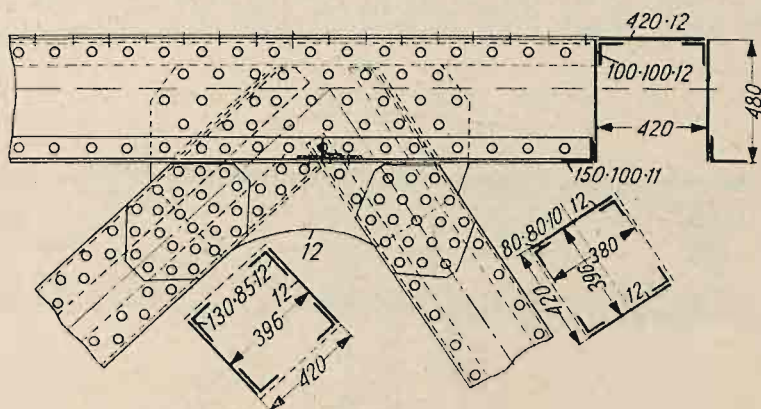


Rys. 234

Nakładki węzłowe przy tym sposobie przytwierdzania prętów kraty mają taką samą grubość co kątowniki pasowe i blachy prętów kraty mają wtedy grubość nakładek.

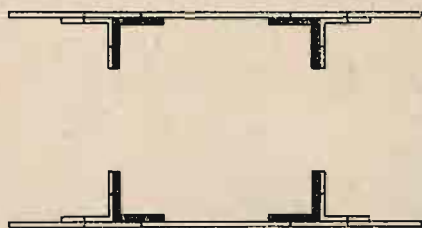
Blachy prętów kraty umieszcza się w dotyk do blach węzłowych nakładek i łączy się je z nimi odpowiednią ilością nitów za pomocą pojedynczych lub podwójnych nakładek, w zależności od przekroju pręta kraty (rys. 234 i 235).

Elementy sztywne przekrojów prętów kraty przylegają bezpośrednio do blach węzłowych i przynitowuje się do nich niezbędną ilość nitów.



Rys. 235

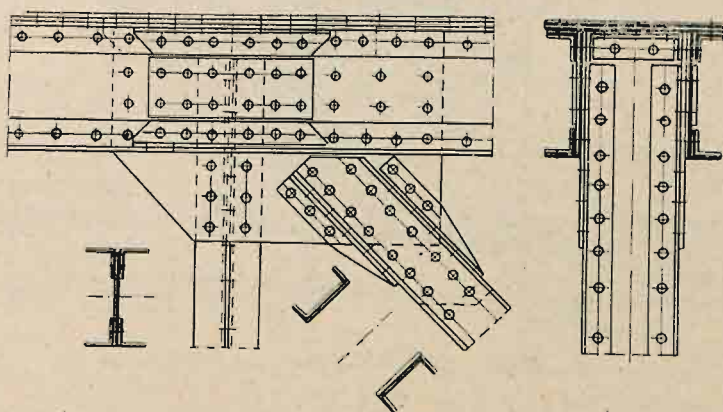
Jeżeli nie można zmieścić potrzebnej ilości nitów w kątowniku, np. o wymiarach  $100 \cdot 100 \cdot 12$ , przymocowanemu do blachy węzłowej, to w prze-



Rys. 236

kroju rurowym u wylotu blach węzłowych stosuje się tzw. łapki z krótkich kątowników, np.  $100 \cdot 100 \cdot 9$ , złączonych nitami poziomymi z kątownikami zasadniczymi przekroju i na nich umieszcza się brakujące nity w przymocowaniu do blachy węzłowej (rys. 236 i 237).

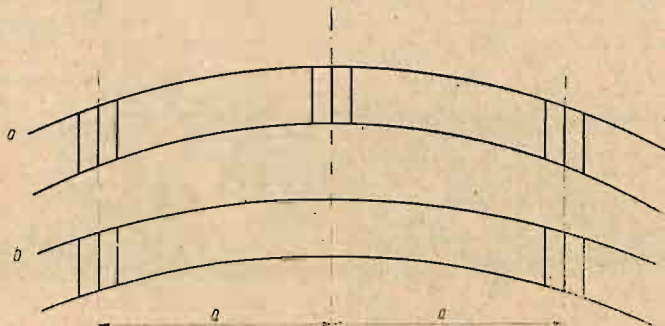
Przy obliczaniu liczby nitów w przymocowaniach prętów kraty obowiązują wszystkie zasady, jakie były podane w części pierwszej rozdz. VI o nitowaniu.



Rys. 237

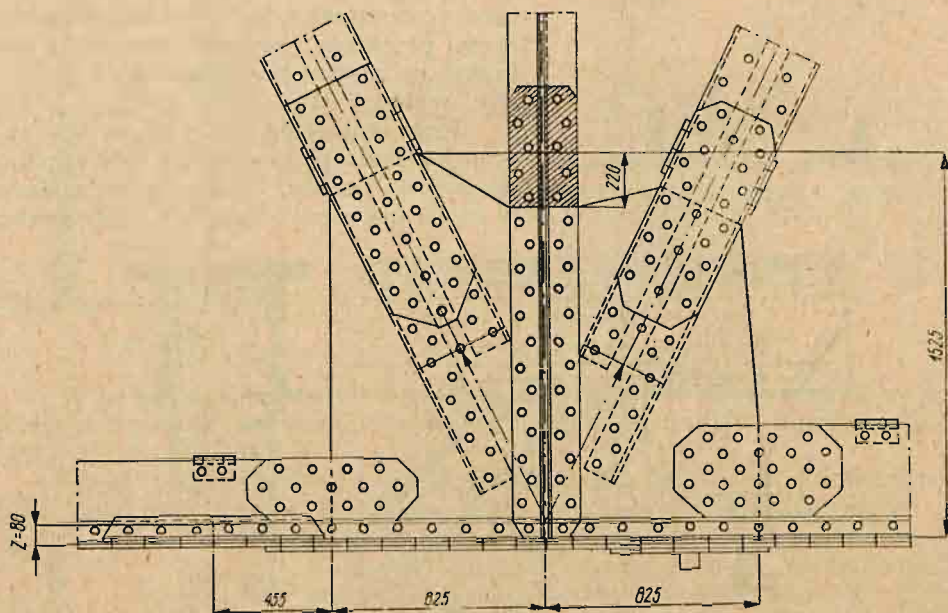
Połączenie kraty dźwigarów z pasami za pomocą nakładek węzłowych stosuje się zwykle przy pasach niewielkich przedziałów dźwigarów i przy stałej wysokości blach pionowych pasów lub w przypadkach, gdy ta wysokość zmienia się co kilka przedziałów.

Jeżeli obu krawędziom blach pionowych pasów nadajemy kształty krzywych ciągłych, co należy czynić w mostach miejskich, aby nadać dźwigarom wygląd bardziej estetyczny, to wtedy również można stosować ten sposób przytwierdzania prętów kraty do pasa krzywego (rys. 238).



Rys. 238

Jeżeli krzywizna blach pionowych, a zatem i pasa, jest niewielka, to styki blach pionowych można stosować co drugi, a nawet co trzeci przedział pasa. Przy dużej krzywiznie pasa może się okazać, że wycięcia fasonowych blach pionowych według odcinków krzywych obejmujących dwa i więcej



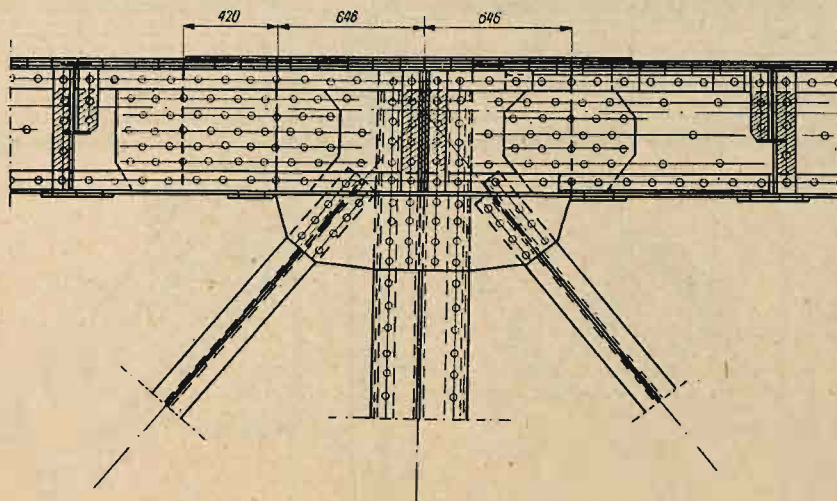
Rys. 239

przedziałów (rys. 238 b) są bardziej kosztowne niż częste sztukowanie blach. Styk jednej blachy pionowej pasa w tych przypadkach może być dany na osi węzła wieszaka czy słupka i nakładka węzłowa może wówczas służyć za jedną z dwóch nakładek, niezbędnych do przekrycia styku blachy pionowej (rys. 238 a).

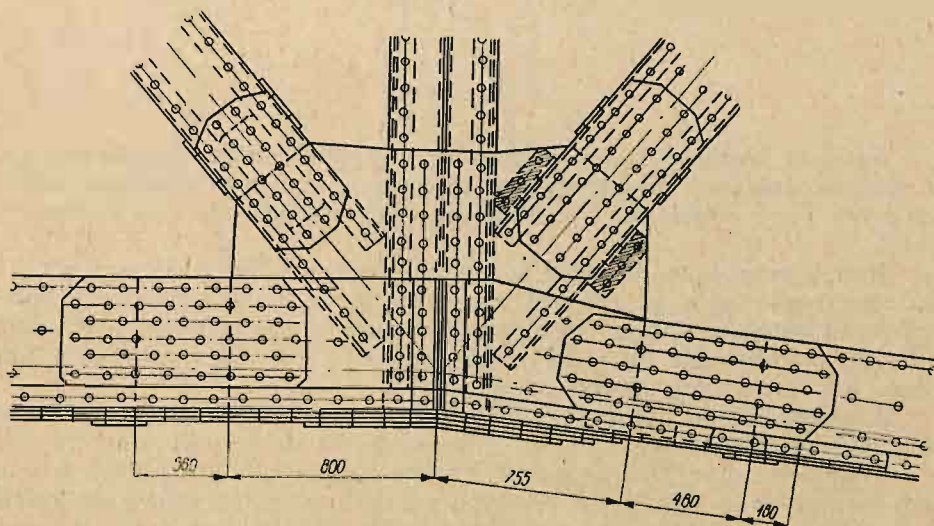


Nakładki węzłowe do przytwierdzania prętów kraty wymagają odpowiedniego przymocowania do blach pionowych pasa.

Jeżeli nity, którymi przynitowane są pręty kraty nakładki węzłowej, znajdują się poza obrębem blach pionowych pasów, to nakładka węzłowa powinna mieć odpowiednią ilość nitów łączących ją z blachą pionową, aby nie nastąpiło przesunięcie nakładki węzłowej względem blachy pionowej pasa pod działaniem wypadkowej sił w prętach kraty, schodzących się w węźle.



Rys. 240

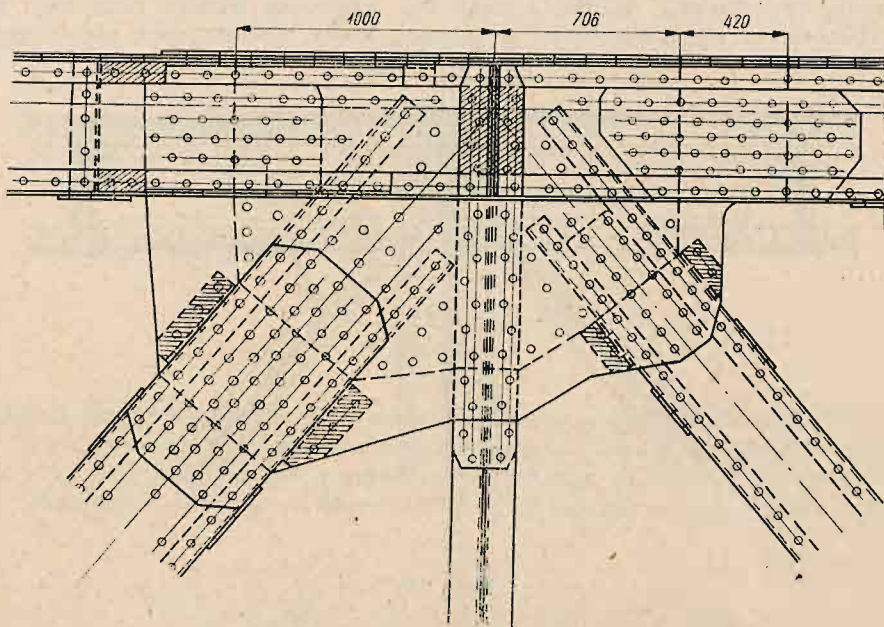


Rys. 241

Praktycznie można przyjąć, że ilość nitów przytwierdzających nakładkę węzłową do blach pionowych pasa poza prętami kraty powinna być co najmniej równa liczbie nitów stawianych w nakładce i w prętach kraty poza obrębem blachy pionowej (rys. 237).

Trzeci sposób polega na tym, że pręty kraty przytwierdza się do pasów za pomocą blach węzłowych, wstawionych w miejsce blach pionowych, czyli

za pomocą tzw. wstawek. Jak wynika z samej nazwy, blachy te leżą w płaszczyźnie blach pionowych pasów, zastępując je w węzłach. Blach pionowych pasa nie doprowadzamy do samego węzła, lecz w pewnej odległości zakańczamy je prostopadłe do osi pasa i na ich miejsce wstawiamy blachy węzłowe odpowiednich kształtów, do których bezpośrednio przytwierdzamy pręty kraty.



Rys. 242

Wstawki węzłowe łączymy z przerwanyimi blachami pionowymi pasa za pomocą nakładek dwustronnych, znitowanych stosownie do wskazówek, podanych przy obliczaniu i stykowaniu blach pionowych pasów (rys. 239 i 176).

Sposób przynitowania prętów kraty do wstawek jest taki sam jak i do nakładek węzłowych, tj. sztywne elementy pręta kraty nakładamy bezpośrednio na wstawkę i przynitowujemy je do niej nitami jednociętymi, blachę zaś pręta doprowadza się w dotyk ze wstawką i łączy się z nią nakładkami jedno- lub dwustronnymi (rys. 234).

W zależności od przekroju prętów kraty i ilości blach pionowych, wstawek węzłowych może być tyle, z ilu blach składa się ścianka pionowa pasa.

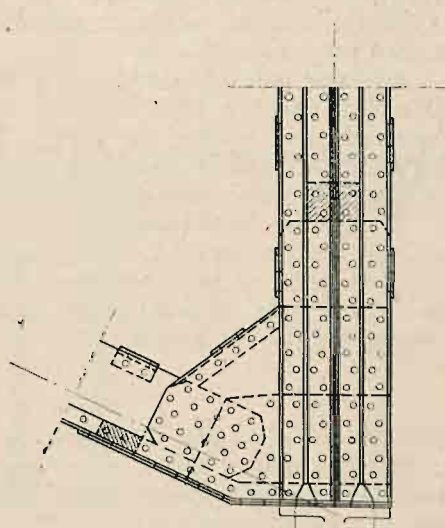
W pasach lamanych ilość wstawek zawsze odpowiada ilości blach w ściankach pionowych, w pasach zaś prostych wstawek może być mniej niż oddzielnych blach pionowych w ściankach przekroju. Jeżeli blach tych jest mniej niż blach w ściance pionowej pasa, to wtedy wstawek węzłowych można zastosować tylko tyle, ile jest blach w prętach kraty (rys. 240 i 241).

Jednak i w tych przypadkach w celu usztywnienia węzła często stosuje się wstawki węzłowe w płaszczyznach wszystkich blach pionowych pasa i wtedy niektóre z tych wstawek, odpowiednio powiększone, służą za nakładki do przekrycia styku blach prętów kraty do wstawek węzłowych (rys. 242).

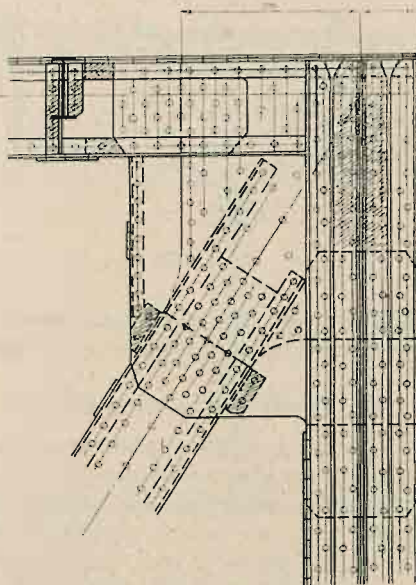
Ponadto w węzłach kratownic można stosować jednocześnie drugi i trzeci sposób połączenia prętów kraty z pasami.



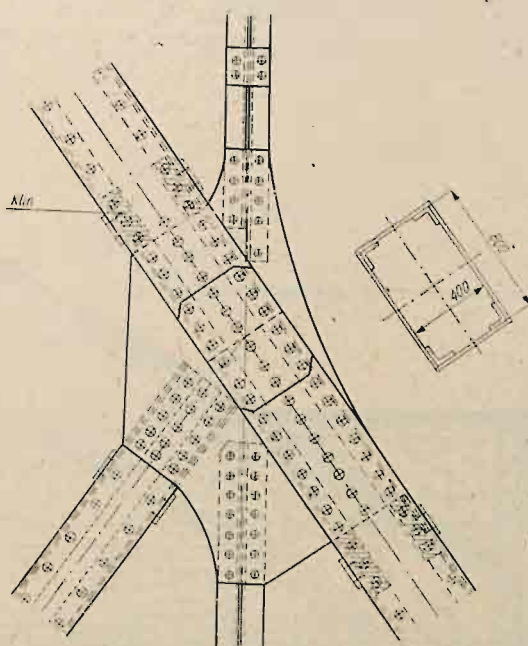
Jeżeli mamy do czynienia z kratownicami wolnopodpartymi na dwóch podporach, to w pobliżu podpór siły w pasach są niewielkie, a zatem i przekroje pasów nie są duże. Może się zdarzyć, że przekrój pasa składać się będzie z podwójnych lub pojedynczych blach pionowych. Natomiast siły w prętach



Rys. 243



Rys. 244

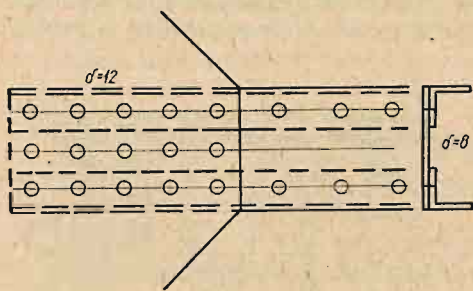


Rys. 245

kraty w tych miejscach są duże i przekroje tych prętów mogą składać się z dwóch lub trzech blach w każdej gałęzi, nie licząc kątowników usztywniających pręty. W takim przypadku oprócz wstawek węzłowych stosujemy do-



datkowe nakładki węzłowe, które mogą służyć jednocześnie za nakładki do przekrycia styków blach pionowych ze wstawkami węzłowymi. W celu wzmocnienia węzła doprowadza się dodatkowe nakładki węzłowe pod zasadnicze kątowniki pasowe, naginając je na przekładki klinowe, wzięte co najmniej na dwa nity (rys. 243, 244 i 245).



Rys. 246

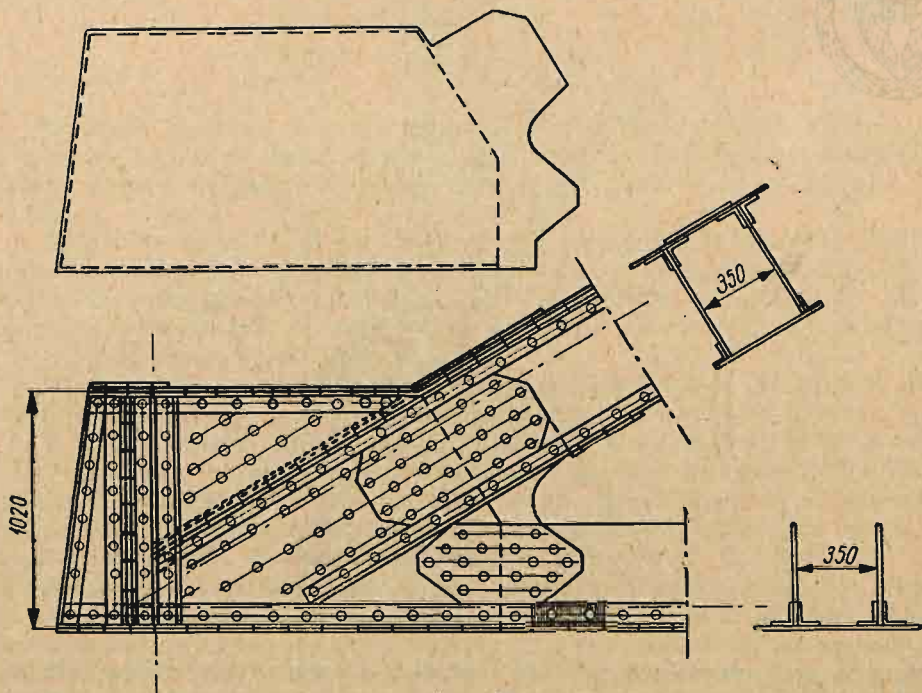
Czasami jedną blachę pręta kraty nakładamy wraz z kątownikami bezpośrednio na blachy węzłowe, tj. względem tej blachy stosujemy pierwszy sposób połączenia (rys. 246).

Wszystkie wymienione sposoby łączenia prętów kraty z pasami mogą być stosowane w poszczególnych węzłach danego dźwigara kratowego, należy jednak przy projektowaniu szczegółów węzłów pamiętać o estetycznym wyglądzie całości konstrukcji.

### 3. Węzły podporowe zbieżne

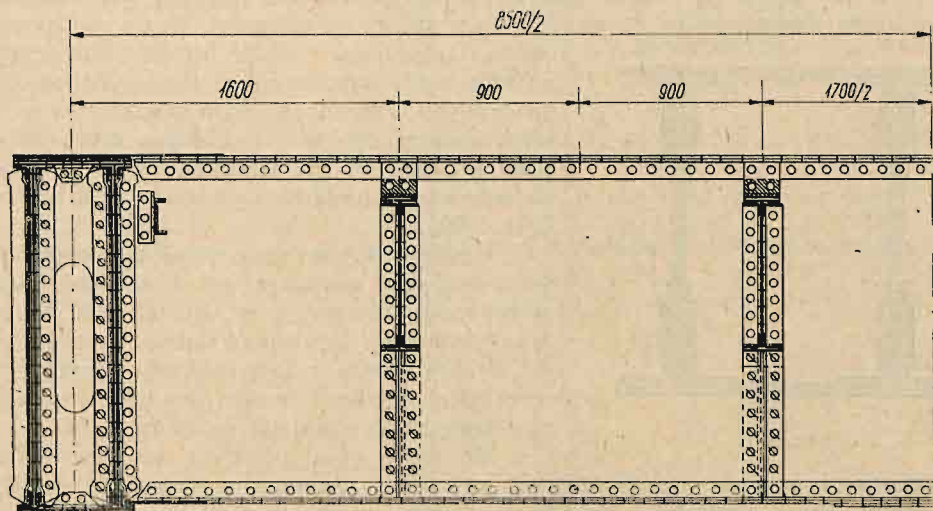
Budowa węzłów podporowych zasadniczo nie różni się od budowy pośrednich węzłów zewnętrznych dźwigara. Blachy pionowe pasów schodzących się w węźle zastępuje się zwykle wstawkami węzłowymi pojedynczymi, jeżeli ścianki pionowe pasów zbieżnych składają się z blach pojedynczych (rys. 194 i 247) lub podwójnymi, jeżeli ścianki pionowe w pasach są podwójne.

Przy większej ilości blach pionowych w ściankach pasów może być odpowiednio więcej wstawek węzłowych.



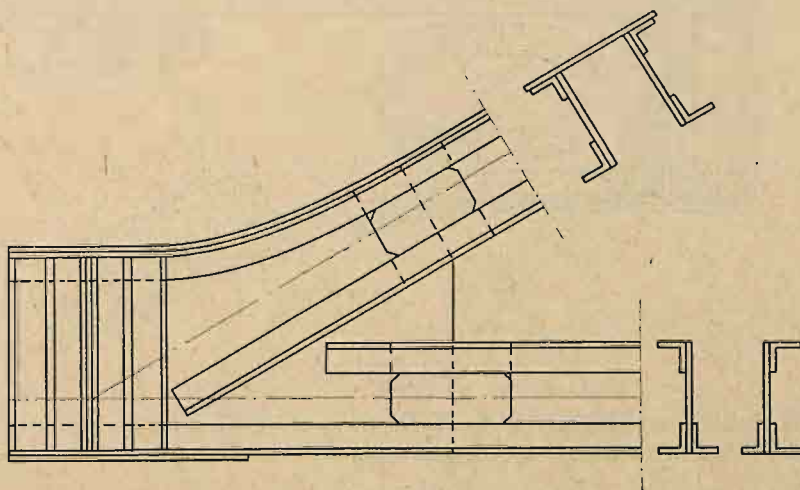
Rys. 247

Ponieważ węzeł podporowy powinien być możliwie sztywny, zatem przy pojedynczych blachach pionowych umieszcza się w zbieżnych prętach pasów dodatkową nakładkę węzłową, którą zaleca się doprowadzać pod kątowniki pasowe (rys. 247), co bardziej usztywnia cały węzeł.



Rys. 248

Wysokość blach pionowych w węźle podporowym powinna przede wszystkim odpowiadać wysokości belek poprzecznych na podporze (rys. 248) i nie może być mniejsza od  $1/50$  do  $1/60$  rozpiętości dźwigara. Ilość blach pionowych w węźle podporowym zależy jeszcze od siły poprzecznej na podporze



Rys. 249

czyli od największej reakcji podporowej dźwigara, gdyż w blachach tych, jako w środnikach belek o ścianie pełnej, otrzymuje się duże naprężenie tnące, które powinno być sprawdzone i nie może przekraczać norm dopuszczalnych.

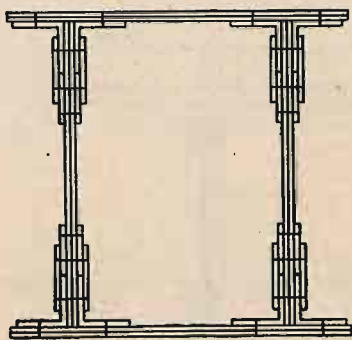
Węzeł podporowy zbieżny (rys. 249) powinien być obliczony również na zginanie w przekroju, gdzie wysokość węzła równa się sumie wysokości obydwóch pasów, a więc w przekroju, gdzie pręty pasów rozchodzą się.



Ponadto węzeł podporowy powinien być sprawdzony na naprężenia główne po linii nitów pasowych.

Również w węźle podporowym należy sprawdzić naprężenia w nitach pasowych według wskazówek podanych w części pierwszej rozdz. VI.

Bardzo często w nitach pasowych naprężenia na ścinanie przekraczają granice dopuszczalne i wskutek tego należy na długości węzła podporowego zmniejszać skok nitów pasowych i stosować kątowniki o dużych bokach pionowych, aby można było postawić w nich dwa szeregi nitów o skokach zmniejszonych. Jeżeli to nie poskutkuje, to trzeba zastosować niekiedy nity czterocięte (rys. 250).

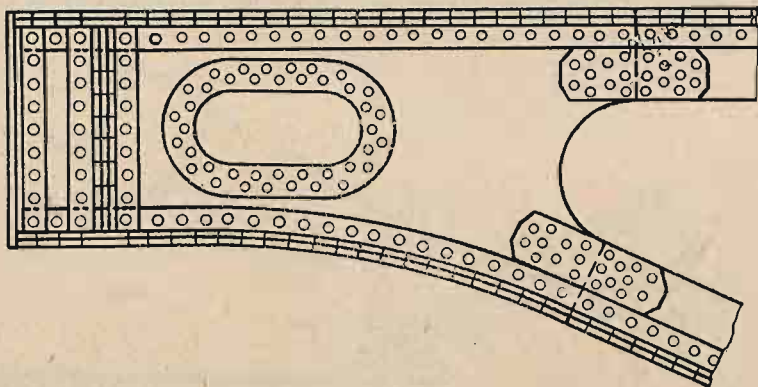


Rys. 250

Blachy poziome pasa górnego w węzłach podporowych odginają się i przekrywają węzeł podporowy z góry, blacha zaś dolna z odpowiednim wycięciem boków przechodzi do środka węzła z kątownikami wewnętrznymi pasa i tworzy w nim pewnego rodzaju przeponę usztywniającą węzeł (rys. 247).

W węźle podporowym na osi belki poprzecznej zwykle umieszcza się przeponę pionową z wyciętym w niej otworem, który umożliwia dostęp do środka węzła (rys. 248).

Jeżeli pasy dźwigara schodzą się na podporze pod niewielkim kątem ostrym, co zachodzi w dźwigarach parabolicznych, to w celu wytworzenia węzła podporowego kątowniki pasa krzywego odginamy i prowadzimy je poziomo wraz z blachami poziomymi (rys. 251).



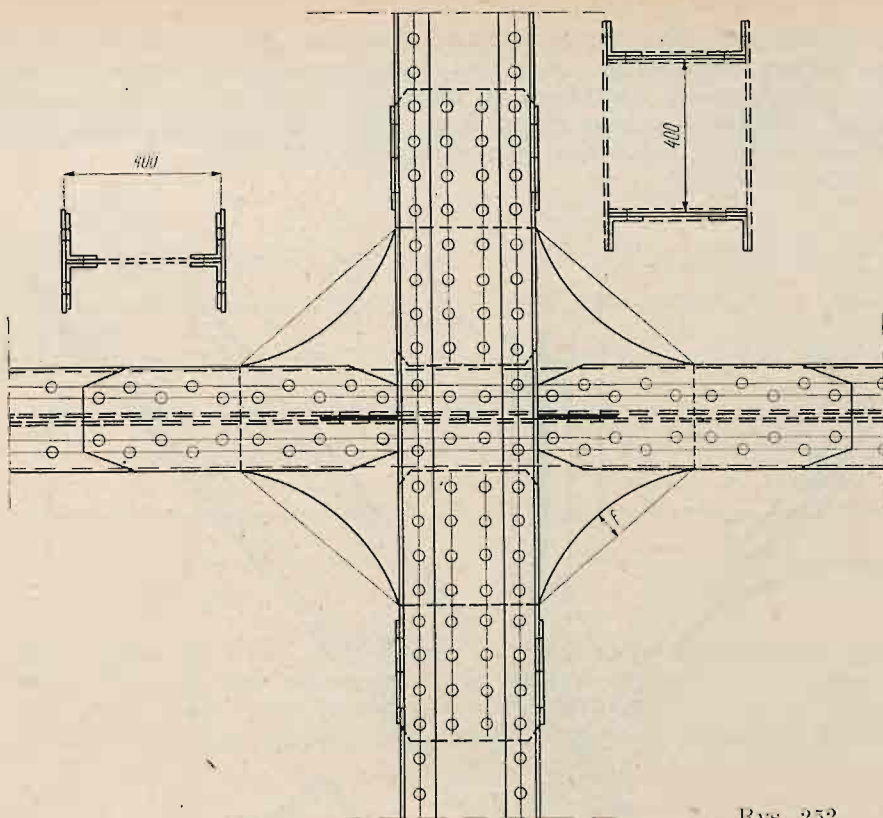
Rys. 251

W takich wydłużonych węzłach podporowych należy wyciąć okna dla umożliwienia nitowania oraz malowania (rys. 251).

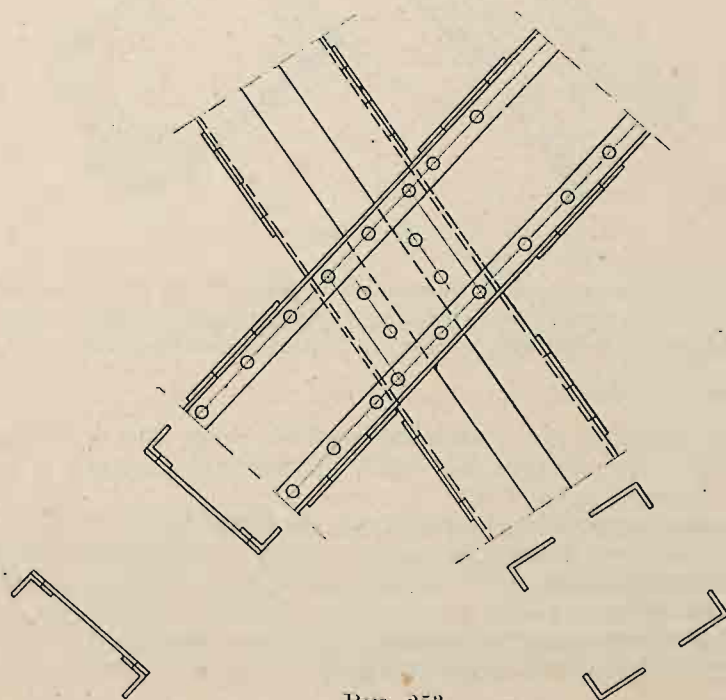
#### 4. Węzły wewnętrzne

Węzły wewnętrzne dźwigarów wykonuje się tak samo jak węzły zewnętrzne.

Krzyżującym się prętom kraty o słabszych przekrojach należy nadawać takie przekroje, aby każdy z prętów mógł swobodnie i bez przerwy przechodzić obok drugiego pręta, który się z nim krzyżuje (rys. 252).



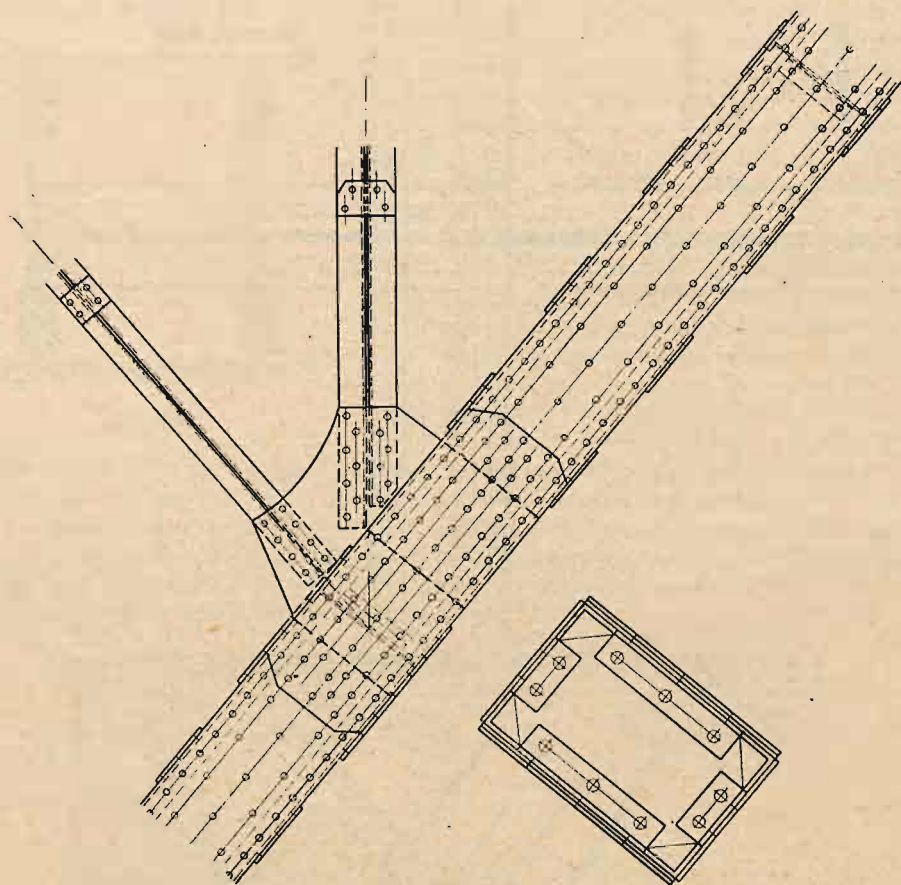
Rys. 252



Rys. 253



W przekrojach silniejszych elementy zewnętrzne jednego pręta i elementy wewnętrzne krzyżującego się z nim drugiego pręta projektuje się często w jednej płaszczyźnie. Zwykle są to blachy, które w miejscu skrzyżowania się prętów przechodzą w wstawki węzłowe, które łączą się z blachami prętów za pomocą nakładek najczęściej jednostronnych (rys. 252).



Rys. 254

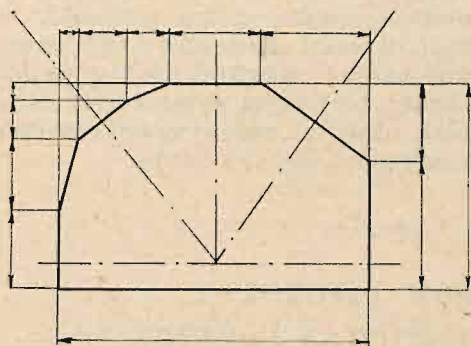
Również trzeba stosować wstawki lub nakładki węzłowe w tych przypadkach, gdy do węzła środkowego wypadnie przytwierdzić drugorzędne pręty dodatkowej kraty wzmacniającej górnej lub dolnej (rys. 254).

## 5. Blachy węzłowe

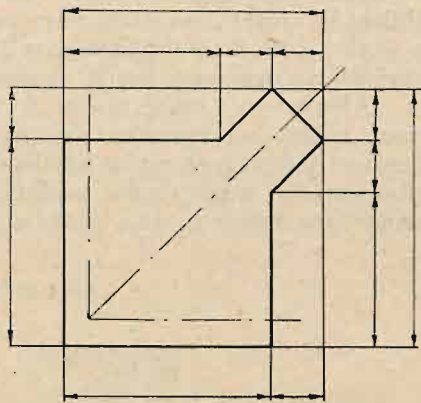
Zarówno wstawki jak i nakładki węzłowe mogą być wycinane według linii wyłącznie prostych (rys. 240, 242) lub też linii prostych w połączeniu z liniami krzywymi (rys. 254).

W drugim przypadku konstrukcja ma zewnętrzny wygląd bardziej estetyczny i dlatego stosuje się ją zazwyczaj w mostach miejskich, jednakże taka konstrukcja zwiększa koszt blach węzłowych, gdyż wymaga specjalnej dodatkowej roboty warsztatowej. Blachy wycinane w ten sposób są lżejsze, tak że stosowanie ich zmniejsza ciężar dźwigarów, w samych zaś blachach węzłowych uzyskuje się lepsze rozłożenie naprężeń.

Blachom węzłowym należy nadawać taki kształt, aby w walcowniach można je było wycinać nożycami, zatem kąty zewnętrzne w tych blachach powinny być nie mniejsze od  $180^\circ$  (rys. 255). Kątów zewnętrznych mniejszych od  $180^\circ$  (rys. 256) należy na ogół unikać i stosować je tylko wtedy, gdy

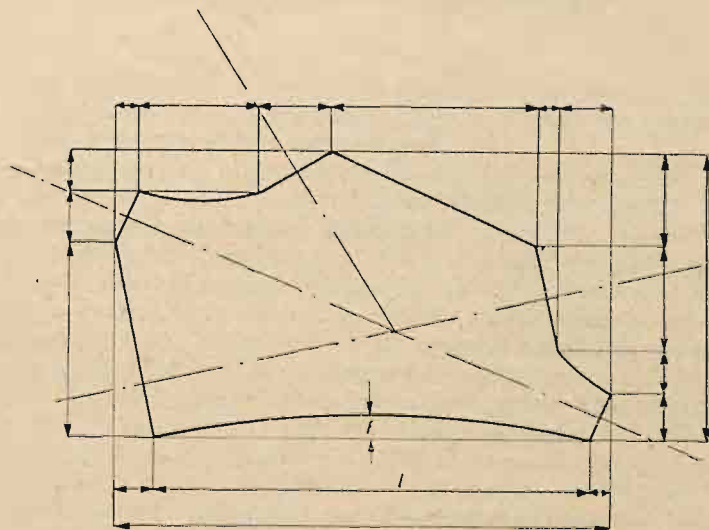


Rys. 255



Rys. 256

kąty większe od  $180^\circ$  prowadziłyby do znacznego zwiększenia wymiarów blach węzłowych, jak np. w zbieżnych węzłach podporowych. Ograniczenie to dotyczy blach z wycięciami krzywymi, lecz również blachy bez wycięć powinny zasadniczo spełniać ten warunek (rys. 257). Wymiary blach węzło-



Rys. 257

wych należy podawać na zewnątrz konturu według współrzędnych prostokątnych, przy czym powinny być podane wszystkie wymiary, które umożliwiają obliczenia pola blachy bez dodatkowych sumowań lub odejmowań (rys. 255, 256 i 257).

Każda blacha powinna być wymierzona w ten sposób, aby na podstawie podanych wymiarów można ją było bez trudności wykreślić w traserni.



Wycięcia o liniach krzywych powinny mieć wymiar cięciwy  $l$  i strzałki  $f$  (rys. 257). Przy obliczeniach pól można przyjmować, że są to wycinki paraboliczne i pola ich obliczać jako równe  $\frac{2}{3} l f$ .

Jeżeli węzły są opracowane łącznie z konstrukcją całego dźwigara w skali 1 : 20, to wszystkie wymiary blach węzłowych należy ustalać na podstawie obliczeń. Jeżeli zaś szczegóły węzłów kratownicy wykreśla się dodatkowo w skali 1 : 10, a skomplikowanych węzłów nawet w skali 1 : 5, i przy tym dokładnie, to wymiary blach węzłowych można określać według podziałki.

Aby łatwo i ściśle można było obliczyć długości elementów kraty dźwigara, należy na rysunku węzłów podawać zawsze odległość punktu węzłowego od pierwszych nitów każdego pręta kraty, przy czym wymiar ten można albo określić z góry albo według podziałki, następne zaś wymiary długości elementów kraty można uzależnić od stosowanych skoków nitów.