

bez potrzeby łączenia ich w podwójne - względnie potrójne, a nawet poczwórne belki.

Przy zastosowaniu tych ostatnich albo zsuwa się je zupełnie aż do wzajemnego zetknięcia się ze sobą /rys.65/, albo też pozostawia się między nimi szczeliny, co jest korzystniejsze ze względu na ściek wody; ponieważ zaś trzeba takie belki zawsze ściągać śrubami, ażeby możliwie jednakowo uczestniczyły w pracy, - przeto w tym ostatnim wypadku konieczne są wkładki, przez które przechodzą śruby /rys.66/.

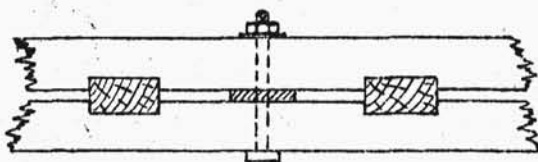
W tych wypadkach, kiedy - wskutek znacznego obciążenia lub też większej rozpiętości - belki proste - nie tylko pojedyncze, ale i podwójne, potrójne i t.d. - nie wystarczają, - mogą być



Rys.65.

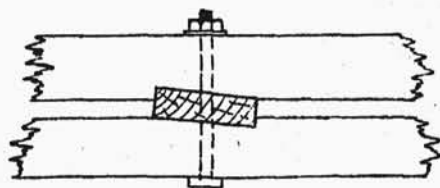


Rys.66.



Rys.67.

z powodzeniem stosowane t.zw. belki zespolone, t.j. złożone z 2 lub 3 belek, położonych jedna nad drugą i złączonych tak, żeby wzajemne przesuw-

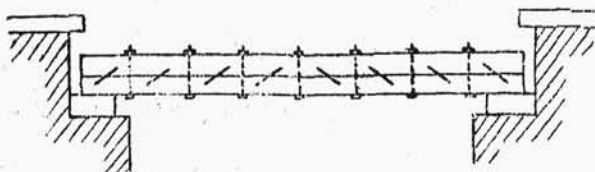


Rys. 68.

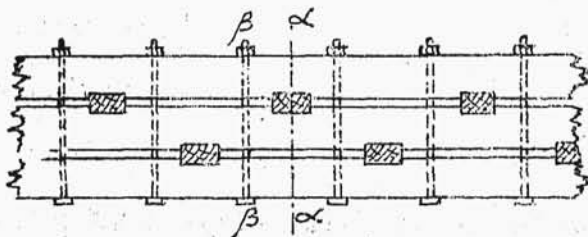
wanie się jednej
względem drugiej
w kierunku po-
dłużnej ich osi
- było wyłączo-
ne. Zapobiegnię-
cie temu wzajem-
nemu przesuwaniu
się przy od-

kształcaniu się pod wpływem gięcia, daje nam prawo traktowania zespołu poniekąd jako jedną belkę o podwójnej /względnie potrójnej wysokości/. Osiągamy powyższy warunek w ten mianowicie sposób, że pomiędzy belki wkładamy kliny, wcięte w każdą z nich /rys. 67/; jednocześnie belki ściągamy śrubami, pozostawiając przytem zwykłe pewien prześwit; zabezpiecza to poniekąd od gnicia, - pozatem zwiększa moment wytrzymałości.

Kliny powyższe można obsadzać w pozycji poziomej - jak na rys. 67, lub też pochyłej, jak na rys. 68. W tym ostatnim wypadku w jednym końcu belki nadajemy klinom pochylenie w jedną stronę, - w drugim zaś - w przeciwną /rys. 69/. O ile dźwigar zespołowy składa się więcej niż z 2 belek, to kliny roz-



Rys. 69.



Rys. 70.

kładamy względem siebie w szachownicę, ażeby nie zanadto osłabiać przekrój belek w jednym miejscu /rys. 70/.

Wysokość klinów h , przyjmujemy zwykle $= 0,2h$ lub $0,3h$, gdzie pod h rozumiemy

wysokość pojedynczej belki; ten ostatni stosunek praktykuje się w tym wypadku, jeżeli pomiędzy belkami pozostawia się prześwit. Szerokość klina a określamy rachunkiem /o czym patrz niżej/, poprzeczny ich przekrój jest prostokątny, w planie zaś mają one kształt klinowaty, a to w celu, aby - w miarę zsychnania się drzewa, można je było dobijać tak, żeby zawsze szczelnie siedziały. Lepiej z tego względu dawać zamiast pojedynczych, - podwójne /w planie/ kliny, dobijać je wtedy można z każdej strony; wycięcia w belkach są w takim razie prostokątne. Zauważyć należy, że wogóle obluźowywanie się klinów w otworach belek - wskutek zsychnania się

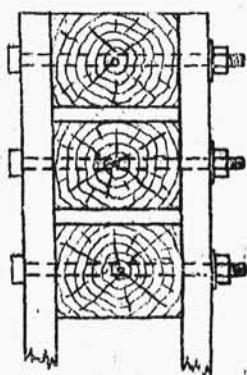
drzewa - jest zjawiskiem stałym. Stąd wynika konieczność nieustannego czuwania. Oczywiście, kliny muszą być nieco dłuższe, niż szerokość belek, ażeby końce ich wystawały nazewnątrz.

Dodajemy jeszcze, że zwykle robi się je dębowe i, że kierunek ich włókien jest prostopadły do belki.

Co się tyczy śrub, o których wyżej, to funkcja ich polega na utrzymywaniu belek w pewnej niezmienniej odległości wzajemnej, gdyż dopiero wtedy kliny mogą spełniać swoją rolę należycie. Trzeba więc, żeby te śruby były zawsze odpowiednio tego naciągnięte. Tymczasem wskutek zsiychania się drzewa warunek ten może być naruszony. To też - prócz dobijania klinów - należy również starannie dokrecać naśrubki ściągających śrub; w tym celu wskazaniem jest, ażeby te ostatnie miały łąby pod belkami, a naśrubki na górze, gdyż inaczej - przy wyższym trochę moście - trzeba by było dla możliwości podkręcania - urządzać za każdym razem rusztowanie.

Z uwagi na wspomniane dociąganie śrub pożądane jest, - dla uniknięcia, przy silnem dokręcaniu, ugi-

niania się belek, - wstawiać w miejscach, gdzie śruby przechodzą - specjalne dębowe, albo jeszcze lepiej żelazne - wkładki /rys.71/.

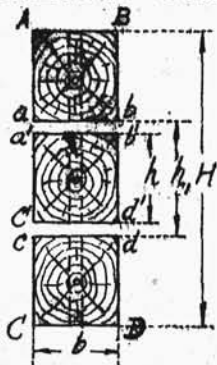


Rys.71.

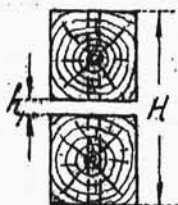
Oczywiście, zbytecznem jest to wtedy, kiedy śruba przechodzi nie pomiędzy klinami, tylko przez sam klin, - co ostatecznie też praktykuje się, ale co nie jest jednak do zalecania. W razie, jeżeli belka zespolona składa się więcej niż z dwóch pojedynczych - należy - dla zabezpieczenia

odpowiedniej stateczności i sztywności w kierunku poprzecznym - chwytać ją w kleszcze z beleczek /rys. 71/, umieszczanych para za parą w odległości od 2-oh do 3-oh mtr.

Zobaczymy teraz, jak należy obliczać moment bezwładności belki zespolonej. Przypuśćmy, że składa



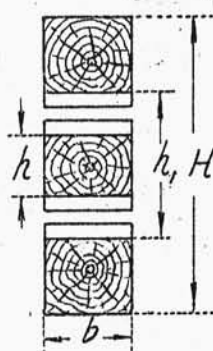
Rys.72.



Rys.73.

się ona z 3 pojedynczych. Rozważając przekrój $\beta\beta$ /rys.72/ i traktując zespoloną belkę, jako jednolity dźwigar wysokości H ,

musimy jednak przy obliczaniu momentu bezwładności i momentu wytrzymałości względem osi, uwzględnić to, że w przekroju rozpatrywanym są puste miejsca, które należy zatem odliczyć, a mianowicie:



2 prześwity poziome, oraz pionowy otwór po śrubie. Oznaczając średnicę tejże przez d , resztę zaś wymiarów, przyjmując jak na rys. 72, mamy:

Rys. 74.

$$J_{netto} = J_{ABCD} - [J_{abcd} - J_{a'b'c'd'}] = \frac{1}{12} (b-d) \cdot (H^3 - h_1^3 + h^3).$$

Jeżeli dźwigar składa się z dwóch pojedynczych belek /rys. 73/, to powyższy wzór upraszcza się i daje:

$$J_{netto} = \frac{1}{12} (b-d) (H^3 - h_1^3).$$

Zamiast brać przekrój przez śrubę, weźmy teraz przekrój przez klin /rys. 74/. Mamy w takim razie:

$$J_{netto} = \frac{1}{12} b (H^3 - h_1^3 + h^3).$$

Jeżeli w tym wypadku kliny rozłożone są w szachownicę, to właściwie powinniśmy odliczyć jeden górny otwór - o wysokości klina i drugi - dolny - o wysokości prześwitu między belkami. Dla ostrożności jednak częściej kierujemy się wyżej podanym wzor-

rem. Dla dwu belek tenże przybiera kształt:

$$J_{netto} = \frac{1}{12} b (H^3 - h_i^3).$$

Gdyby w obu ostatnich wypadkach śruba przechodziła przez klin, - to należałoby zamiast b wziąć $(b-d)$.

Zaznaczone zostało na początku, że traktujemy belkę zespoloną, jako dźwigar jednolity o wysokości H . Doświadczenia, wykonane przez inżyniera Bokka wykazały jednak, że w istocie tak nie jest, t.j. że naprzykład, moment wytrzymałości podwójnej belki nie jest wcale czterokrotnie, zaś potrójnej - dziewięciokrotnie większy od pojedynczej, - lecz, że oba są znacznie mniejsze od powyższych wartości. Prof. Thulie, zamiast zmniejszać teoretyczny moment wytrzymałości - zaleca redukować dopuszczalne naprężenie, co jest wszystko jedno - naturalnie, - przyczem na zasadzie rezultatów powyższych doświadczeń - drogą pewnego rozumowania - dochodzi do wniosku, że redukcja wspomniana może być oceniana dla belek podwójnych na 20 % do 36 %, zaś dla potrójnych - aż do 50 %, - zależnie od rodzaju obciążenia dźwigara. Wynikałoby stąd praktyczne wskazanie, że dla belek podwójnych przyjmować należy śred

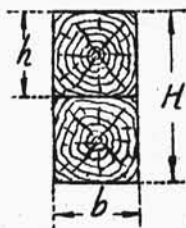
nio $k_r = 0,7k$, - zaś dla potrójnych $k_r = 0,5k$, gdzie k oznacza zasadnicze dopuszczalne naprężenie na zginanie /dla drzewa/.

Jeżeli powyżej wyznaczone wartości J_{netto} wprowadzić do znanego zasadniczego wzoru $R = \frac{Mz}{J}$, przyczem przyjąć, że wysokość pojedynczej belki = h , wysokość prześwitu $0,1h$, klina $0,3h$, szerokość belki $b = h$, średnica śruby $d = 0,1b$, - to dla przybliżonego ustalenia potrzebnej ogólnej wartości zespolonej belki otrzymamy:

a/ dla belki podwójnej $H = 2,42 \sqrt[3]{\frac{M}{k_r}}$,

b/ dla belki potrójnej $H = 2,83 \sqrt[3]{\frac{M}{k_r}}$,

Osobnej wzmianki wymaga sposób obliczania belek zespolonych na siły ścinające, które w stosunku do tych belek - z uwagi na ich odrębną konstrukcję - mają właśnie szczególne znaczenie. Dla uproszczenia wywodów przypuścmy, że prześwit między oddzielnymi pojedynczymi belkami nie istnieje. W takim razie, stosując ogólny wzór $t_{max} = \frac{\max Q.S}{b.J}$, mamy



Rys 75.

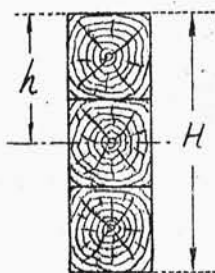
/rys. 75/ dla określenia największych naprężeń ścinających moment statyczny półprzekroju względem osi obojętnej:

$$S = \frac{bh \cdot h}{2} = \frac{1}{2} b \cdot h^2 = \frac{1}{8} \cdot b \cdot H^2;$$

moment bezwładności $J = \frac{1}{12} b \cdot H^3$, zatem

$$t_{max} = \frac{12 \cdot \max Q \cdot b \cdot H^2}{8 \cdot b \cdot b \cdot H^3} = \frac{3}{2} \frac{Q}{b \cdot H} = 1,5 \frac{Q}{b \cdot H}.$$

Łatwo zrozumieć, że taki sam wynik otrzymujemy dla belki, złożonej z 3 pojedynczych, z 4 i t.d. /patrz rys.76/.



Rys.76.

Przeprowadziwszy powyższy obrachunek zupełnie dokładnie - z uwzględnieniem przeswitu między belkami, - otrzymalibyśmy, że na przykład: dla belki podwójnej - zamiast współczynnika 1,5 wypada 1,497; dla potrójnej, zamiast 1,5 - 1,470. - Są

to różnice zbyt małe, ażeby je uwzględniać, tembardziej, iż wzór pierwotny zapewnia większe bezpieczeństwo.

Działaniu ścinającej siły - w płaszczyznach zetknięcia się oddzielnych belek - opierają się kliny. Ażeby mogły rolę swą spełniać z powodzeniem, muszą mieć pewne minimalne wymiary. Oblicza się je w sposób następujący:

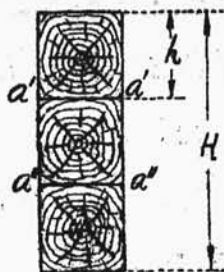
a/ belka podwójna: kliny leżą swymi płaszczyznami osiowymi w płaszczyźnie obojętnej i podlegają działaniu największych sił tnących. Wyżej określiliśmy naprężenie tnące, wypadające na jednostkę kwadratową w płaszczyźnie obojętnej; teraz chodzi nam o siłę, działającą na całej szerokości belki i na jednostkę długości; oczywiście, otrzymamy ją, mnożąc wielkość t naprężenia przez szerokość b , zatem

$$T = b \cdot t = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{H} = 1,5 \frac{Q}{H}.$$

b/ belka potrójna: siłę tnącą w płaszczyznach $a'a'$ oraz $a''a''$ określimy, wstawiając we wzór zasadniczy $t \cdot b = T = \frac{Q \cdot S}{J}$ odpowiednią wartość $S_{a'a'}$, mianowicie /rys. 77/ $= b \cdot h \cdot h = b \cdot h^2 = \frac{1}{9} b \cdot H^2$.

Wypada tedy

$$T = \frac{12 \cdot Q \cdot b \cdot H^2}{9 \cdot b \cdot H^3} = 1,33 \frac{Q}{H}.$$

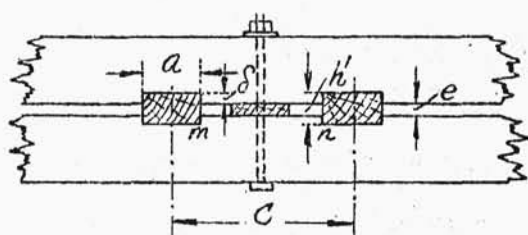


Rys. 77.

Gdybyśmy chcieli w obu powyższych wypadkach / a i b / uwzględnić prześwit między belkami, - to zamiast współczynników: 1,5 i 1,33 otrzymalibyśmy nieco mniejsze; nie będziemy jednak korzystać z te...

go - gwoli większej ostrożności.

Nie uwzględniamy również siły tarcia, która powinna się wytwarzać między oddzielnymi belkami dzięki śrubom; tarcie powyższe niewątpliwie przeciwdziała sile tnącej. Ostrożność, jednak, każe nie liczyć na nie, ponieważ, jak to udowodniły doświadczenia inż. Bokka, przy zginaniu dźwigaru zespolonego, ściągająca siła śrub ulega zmniejszeniu.



Rys. 78.

Jeżeli odległość między środkami klinów /rys. 78/ oznaczmy przez C , to na tej długości całkowita siła tnąca $T \cdot C = \alpha \cdot \frac{Q}{H} \cdot C$, gdzie $\alpha = 1,5$ albo $\alpha = 1,33$

zależnie od tego, czy belka podwójna, czy potrójna.

Wytrzymałość klina na ścinanie wynosi: $a \cdot b_1 \cdot k_1$.

Jednak klin może być nie tylko ścięty wzdłuż przekroju ab_1 /gdzie b_1 - długość klina/; może również nastąpić zgniecenie na powierzchni wcięcia, prostopadłego do włókien belki. Okazuje się przytem, iż w tym kierunku wytrzymałość belki - względnie klina - jest zwykle mniejsza /z racji znacznie mniejszej płaszczyzny oporu/. Niech będzie δ głębokość

bokość wcięcia, a k_c - dopuszczalne naprężenie na zgniecenie prostopadłe do włókien klina. W takim razie $\alpha \cdot \frac{Q}{H} \cdot c = b \cdot \delta \cdot k_c$.

Zwykle δ - jak to podano wyżej, przyjmuje się $= 0,1h / h$ - wysokość pojedynczej belki/; jedyną pozatem niewiadomą jest C , którą też określamy z powyższego równania, w zależności od pozostałych wielkości.

Długość i szerokość klina, warunkujące jego wytrzymałość na ścinanie, muszą być następnie ustosunkowane odpowiednio, wychodząc z równania

$\alpha \cdot \frac{Q}{H} \cdot c = b_1 \cdot a \cdot k_t$, w którym, podług wiadomego już C , określamy a , ustalając b_1 tak, by nieco przewyższało wymiar b belki. Zauważyć trzeba, że z równania $\frac{\alpha \cdot Q \cdot c}{H} = b \cdot \delta \cdot k_c$ znajdujemy największe dopuszczalne C ; naturalnie w rzeczywistości możemy je wziąć zawsze mniejsze, tak, aby znów wymiar a nie wypadł za duży; w miarę jednak zbliżania klinów ku sobie rośnie niebezpieczeństwo, że belka sama może ulec ścięciu wzdłuż płaszczyzny mn /patrz rys. 78/. Wynika stąd, że min. C musi odpowiadać równaniu $\frac{\alpha \cdot Q \cdot c}{H} = (c-a) \cdot b \cdot k'_t$, gdzie k'_t - dopuszczalne naprężenie na ścinanie dla belki samej. Ponieważ ta ostatnia jest zwykle sosnową, kliny zaś

dajemy zazwyczaj dębowe, - przeto k_t i k'_t mają wartości niejednakowe. Z przytoczonych obliczeń wynika, że rozstawienie wzajemne klinów jest funkcją Q - czyli największej poprzecznej siły. - Z tego powodu - w belkach swobodnie podpartych - kliny bliżej podpór muszą być rozstawiane gęściej, niż po środku dźwigara.

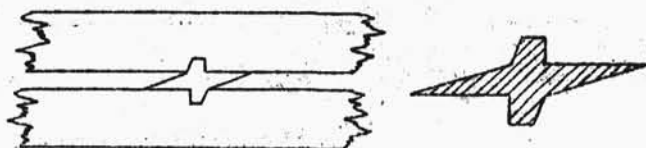
Dla ogólnej orientacji nie bez pożytku będzie przytoczyć następujące ogólne dane Winklera co do wymiarów i rozstawienia klinów: za podstawę bierzemy wymiar szczeliny e , który przyjmujemy $= (0,1 \div 0,13)/h$. W takim razie $\min. C / \text{nad oporą} = 14e$;

$$a = 5e + 6e,$$

$$\max. C \leq 20e.$$

Około środka przęsła C może być 2-3 razy większe.

W razach niektórych, zwłaszcza przy dużych obciążeniach Niemcy stosują specjalne żelazne /żeliwne/ kliny kształtu wskazanego na rys. 79.



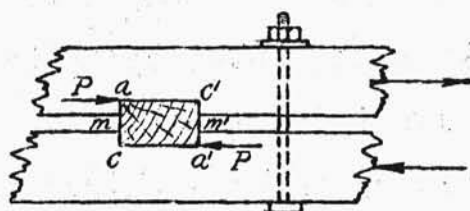
Rys. 79.

Pozostaje jeszcze obecnie wskazać sposób obliczania śrub. Należy dokładnie wyświetlić rolę, jaką one odgrywają. Gdybyśmy przy pomocy samych tylko śrub chcieli zespolić belki - to skutek byłby taki, jaki ujawnił się przy doświadczeniach inż. Bokka, mianowicie, że oddzielne belki - bliżej podpór - przesunęły się jedna po drugiej - pomimo że były ześrubowane mocno, zaś po środku dźwigara śruby osłabły zupełnie.

Wypada tedy, że przy zginaniu dźwigara zespolonego oddzielne belki - bliżej środka - usiłują się wgnieść jedna w drugą i dlatego śruby przestają tam odgrywać rolę ściągaczy; natomiast - w kierunku ku podporom - tarcie wskutek działania śrub osłabia się coraz bardziej wskutek odwrotnej tendencji belek do rozchodzenia się.

Jednocześnie zaś - im bliżej do opór - tem bardziej uwydatnia się rozbieżność kierunków odkształcania się: dolnych włókien górnej belki /wyciąganych/ i górnych włókien dolnej belki /ściskowych/ skutkiem czego w płaszczyźnie stykania się belki usiłują przesunąć się jedna po drugiej, przy czem górne włókna dolnej belki ściągają się ku środkowi przesła, - dolne - natomiast - górnej belki - wydłużają się w kierunku od środka dźwigara. Tym

tendencjom w belce zespolonej przeciwdziałają właśnie kliny /rys.80/. Wskutek tego na klin z le-



Rys.80.

wej strony na płaszczyznę ma naciska siła $P = \frac{\alpha \cdot Q}{H} \cdot c$, z prawej zaś strony - na płaszczyznę $m'a'$ - taka sa-

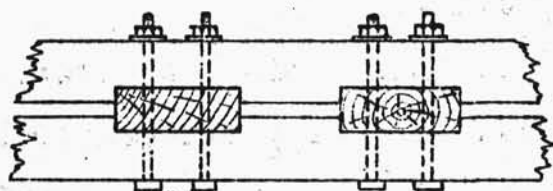
ma, ale przeciwnego kierunku - siła; wytwarza się tedy para sił o momencie $P(h, -\delta)$, która usiłuje wywrócić klin lewym końcem do góry i w ten sposób podnieść jedną belkę nad drugą; temu właśnie winna przeciwdziałać śruba, która też w tym celu musi posiadać odpowiednią wytrzymałość na rozerwanie, aby - należycie dociągnięta - mogła wywołać odpowiednie stężenie; to ostatnie występuje w postaci ciągłego nacisku od belki na klin, który to nacisk byłby równomiernym, gdyby nie wyżej wspomniana para sił; w danych zaś warunkach jest on równomiernie wzrastającym od C' ku a , - na dolnej zaś stronie - odwrotnie: od C ku a' . Wypadkowe: V - górna i V dolna - tworzą parę wtórną, która przeciwdziała tamtej

pierwszej; wielkość jej momentu $V \cdot e = P(h_i - \delta)$. Zazwyczaj przyjmuje się, że $e = \frac{1}{3}a$, gdzie - jak wiadomo - a oznacza szerokość klina. W takim razie

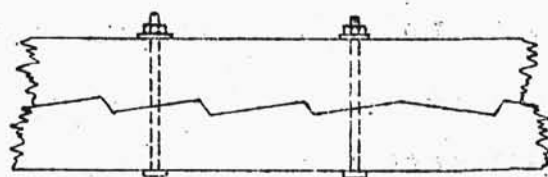
$$V = \frac{3P(h_i - \delta)}{a} = \frac{3b \cdot \delta \cdot k_a(h_i - \delta)}{a}$$

O ile między klinami jest jedna tylko śruba, to ona musi wytworzyć ową siłę V , czyli $V = \frac{\pi d^2}{4} k$, skąd już łatwo znaleźć d . O ile śrub jest więcej, - to naturalnie na każdą z nich wypada tylko odpowiednia część.

Oprócz klinów istnieją jeszcze 2 inne sposoby



Rys. 81.

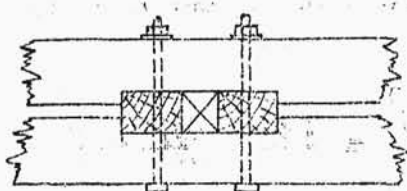


Rys. 82.

zespalandy belek:

1/ za pomocą klocków /rys. 81/, 2/ za pomocą zazębienia pojedynczych belek /rys. 82/. Klocki tym się różnią od klinów, że są to kawałki belek, wcięte pomiędzy 2 belki tak że ich włókna idą równolegle do włókien tych ostat-

nich; są one znacznie wyższe od klinów /ok. 0,4 h /,



Rys. 83.

tak że i przeswit
w tym wypadku jest
większy. Są one
wreszcie z tego sa-
mego materiału, co
i belki. Ponieważ
przy usychaniu kloc-
ków tworzyłyby się

nieszczelności, - przeto zwykle robimy je podwójne
z wstawionym pośrodku klinem, przy pomocy które-
go dobijamy je /rys. 83/; w tym celu dziury na śru-
by dajemy w klockach podłużne.

W obliczaniu tego typu belek należy kierować
się temi samymi metodami, co i przy obliczaniu kli-
nowych. Zalecać te belki można o wiele mniej, niż
klinowe.

Co się zaś tyczy trzeciego rodzaju - belek za-
zębionych, to lepiej ich zupełnie nie stosować, po-
nieważ trudno je spasaować należycie, przytem trudno
zapobiegać nieszczelnościom w miarę usychania.
