

§ 58. Sklepienia z cegły. Układ sklepień wykładanych z cegły różni się tem od poprzednich, że cegła ma określone rozmiary i prawidłowe kształty, przyczem niepożądanem jest ociosywać ją dla nadania formy klinów. Ociosywanie to pozbawia cegłę najwięcej trwałych warstw zewnętrznych. Przy takich warunkach w praktyce dozwolonym jest ociosywanie cegieł z jednej strony, co, chociaż pozbawia utworzone w ten sposób kliny pożądanej symetrii, lecz daje możliwość zachowania nienaruszoną drugiej powierzchni zewnętrznej. Wobec tego przy murowaniu sklepień z cegły zastosowują cegłę klinowatą oraz zmieniają grubość spoiny w ten sposób, że u powierzchni zewnętrznych spoiny robi się grubsze, niż u wewnętrznych. Wtedy cegła z dodaniem dwóch połówek spoiny, grubszych u góry i cieńszych u dołu, tworzy pożądany klin.

Jeżeli przyjmiemy pod uwagę, że grubość spoiny znajduje się w granicach od 0,5 do 2-ch centm., to szerokość klina utworzonego z cegły, wraz z grubością warstwy znajdującej się w spoinie zaprawy określi się w granicach od  $d + 0,5$  cm. do  $d + 2$  cm., gdzie  $d$  - grubość cegły. W ten sposób każda ułożona w łuku warstwa muru daje

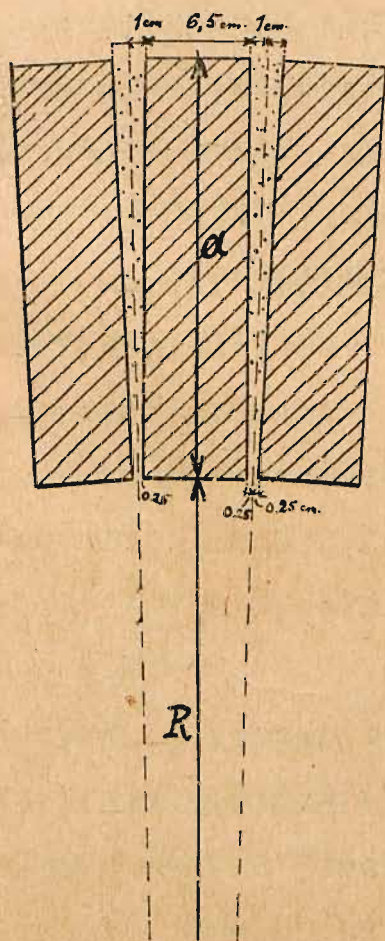


możność zwiększenia długości krzywej zewnętrznej  
w porównaniu z wewnętrzną na

$$d + 2 \text{ cm.} - (d + 0,5 \text{ cm.}) = 1,5 \text{ cm.}$$

W wielu wypadkach nadawana w ten sposób stoż-  
kowatość będzie wystarczającą dla uniknięcia ocio-  
sywania znajdujących się w warstwach cegieł. To

może być udowodnione  
w ten sposób /rys. 233/:  
przypuśćmy, że mamy łuk  
o grubości  $a$ , z promie-  
niem krzywej  $R$  i że war-  
stwa zaprawy przy krzywej  
zewnętrznej będzie o gru-  
bości 2 cm., a przy we-  
wnętrznej - 0,5 cm.



rys. 233.

Wtedy każda warstwa mu-  
ru będzie klinowatą, z pod-  
stawą górną w 6,5 cm.  
/grubość cegły/ + 2 x 1 cm  
= 8,5 cm. i dolną w  
6,5 + 2 x 0,25 = 7 cm.  
Jeżeli przyjmiemy okreś-  
lone 8,5 i 7 cm. za podsta-  
wy dwóch podobnych trójką-

tów z wierzchołkami w środku krzywej łuku, to możemy napisać, że:

$$8,5 : 7 = (R + a) : R$$

stąd

$$R = \frac{7a}{8,5 - 7} = 4,66 a$$

Jeżeli  $a$ , t.j. grubość łuku, będzie 13 cm. /pół cegły/, to  $R = 60,58$  cm., a więc przy promieniu krzywej w 60,5 cm. i więcej można nie ociosywać cegły, a niezbędna stożkowatość może być nadana spoiną różnej grubości u góry i u dołu.

Przy  $a = 27$  cm. /jedna cegła/  $R = 125,82$  cm.

"  $a = 40$  " /półtorej cegły/  $R = 186,40$  "

"  $a = 54$  " /dwie " /  $251,64$  "

Stąd wnioskujemy, że przy grubości łuków w 27;40 lub 54 cm. i przy promieniach nie mniejszych od 125,82, 186,40 i 251,64 cm. ociosywania cegieł dla nadania im kształtów klinowatych nie będzie.

Należy zaznaczyć, że w warunkach normalnych, np. w budowlach miejskich, w których łuki i sklepienia nie są bardzo obciążone, a więc i grubość ich jest nie-wielka, można się obejść bez ociosowania. W budowlach inżynieryjnych, w których skle-

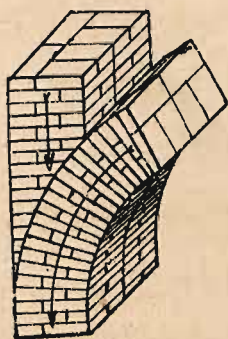


pienia bywają stosunkowo grubsze , często ociesy-  
wanie staje się niezbędnem; wtedy jednak należy po-  
zostawić w cienkim końcu klina nie mniej niż  
 $\frac{2}{3}$  grubości cegły, t.j.  $\frac{2}{3} \times 6,5 = 4,29$  cm.

Przechodząc do rozpatrzenia szczegółowego ukła-  
du cegieł w łukach należy wskazać, że warstwy mur  
układa się w ten sposób:

A. Zwyczajne sklepienia kolebowe. Rys. 234.

Łuk lub sklepienie tego rodzaju mogą być trakto-  
wane jako ściany, wygięte w odpowiednim kierunku,  
a więc układ cegieł w łuku nie różni się od ukła-  
du w murach pionowych, tembardziej, że siły dzia-  
łające w ścianach przy przekształceniu ich w łuki  
przechodzą w krzywe ciśnienia, jak to wskazano na



rys. 234

rysunku. Wtedy pierwsze  
płaszczyzny prostopadłe  
do sił pionowych i dzie-  
łające ściany na warstwy  
poziome, przyjmą w łu-  
kach kierunek prosto-  
padły do krzywej ciś-

nienia i rozdziela mur na warstwy radialne. Stąd  
wnioskujemy, że przekształcenie ściany w łuk nie  
wywołuje zmian w uwarstwieniu muru. Inne prze-

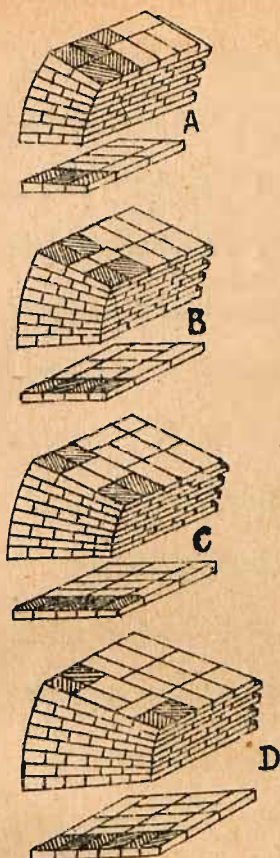
cięcia płaszczyznami lub powierzchniami prostopadłymi do pierwszych też zachowują swój charakter podziału i ścian i łuków na elementy, a więc nowych zasad dla podziału sklepień na warstwy i cegły nie będzie.

Oczywiście, że płaszczyzny licowe łuków i sklepień będą pionowymi ograniczeniami muru, a więc dla nich winien być zastosowany układ cegieł rozpatrzony poprzednio dla takich-że ograniczeń ścian, a mianowicie: warstwy wozówkowo zaczynają się dziewiątkami, a główkowe mają specjalne ograniczenia. Stosowny układ cegieł dla warstw o grubości od  $1\frac{1}{2}$  do 3-ch cegieł wskazany na rysunku 235.

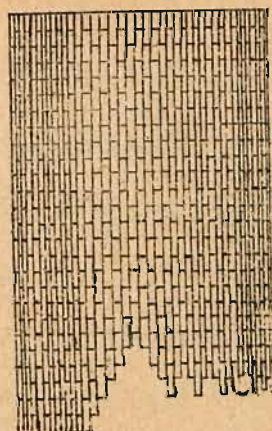
Rzut poziomy sklepienia objaśnia rys. 236. Bardzo często sklepienia i łuki wymagają, w zależności od zwiększających się ku wierzgłowiom nateżeń, i stosunkowo większej grubości. W sklepieniach z ciosów to daje się uwzględnić większą grubością klinów, która zwiększa się od zwornika ku wierzgłowiom; w sklepieniach z cegły podobne zgrubienie muru może być wykonane li tylko dodawaniem po pół cegły, jak to uwidocznia rys. 237.

W sklepieniach ulegających znacznemu obciążeniu, a stąd i znacznej grubości, wymagane jest





rys. 235



rys 236

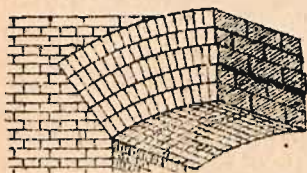


rys. 237

ociosywanie cegieł, co jak wyżej było wskazane, jest niepożądanem. By uniknąć ociosywania, a zarazem przy braku cegieł klinowatych łuki dzieli się na odrębne pierścienie, wtedy każdy z nich jako łuk mniejszej grubości przy danym promieniu krzywej może być wykonany z mniejszym lub wcale

bez ociosywania.

W podobnych sposobach wykonania murów najczęściej używa się sposób "angielski" /rys.238/, w którym łuki lub sklepienia dzieli się na pierścienie o grubości w półcegły /zrzadka w 1 cegłę/, pierścienie te wykłada się niezależnie jeden od drugiego.



rys. 238

W ten sposób łuk w  $2\frac{1}{2}$  cegły winien być podzielony na pięć pierścieni. Oczywiście, że wtedy najczęściej usuwa się potrzeba ociosywania cegieł, gdyż promień krzywej pozostaje bez zmiany, a grubość pierścienia jest nie-

znaczna. Jednak tak łatwy do

wykonania sposób ma swe ujemne strony: pierścienie są niejednakowej długości, więc odkształcenia górnych będą większe niż dolnych; następnie dolny pierścień ma być ukończony pierwszym, a więc można przypuszczać, że jako stężały i mniej odkształcający się będzie więcej obciążony, niż wyżej leżące pierścienie. Pierścienie nie tworzą monolitu, gdyż nie są niczem połączone mię-



dzy sobą.

Wpływy tych stron ujemnych starają się zmniejszyć jednorazowem wstawianiem zworników wszystkich pierścieni t.j. pierścienie nie zamykają się, a w każdym zostawia się spoina dla zwornika i dopiero po ułożeniu bocznych części górnego pierścienia stopniowo układają zworniki wszystkich łuków.

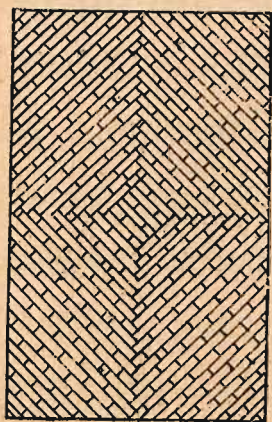
Dla połączenia pierścieni niekiedy wstawia się cięsy przecinające cały łuk w kierunku promieni.

Oprócz wyżej wskazanych sposobów murowania sklepień z cegły w częstym użyciu jest sposób jodełkowy czyli "na kanafarz".

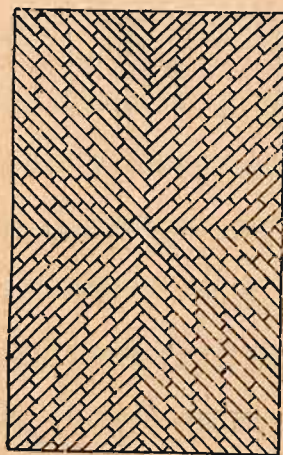
Cechą zasadniczą "jodełki" jest układanie warstw cegły pod kątem  $45^{\circ}$  do ścian oporowych, przy czem "jodełka" może być o grubości  $1/4$ ,  $1/2$ ,  $1$ ,  $1\frac{1}{2}$  i t.d. cegły.

Rozróżniają dwa rodzaje "jodełki": prosta lub skrzynkowa /rys. 239/ i ukośna lub krzyżykowa /rys. 240/. Składanie pierwszej zaczyna się od naroży, a kończy się we środku, przy czem środkowa "skrzynka" jest niby zwornikiem rozpierającym cały układ; druga zaczyna się od ułożenia wyciosanego z cegieł krzyżyka i stopniowo dochodzi do obwodu /rys. 241/.





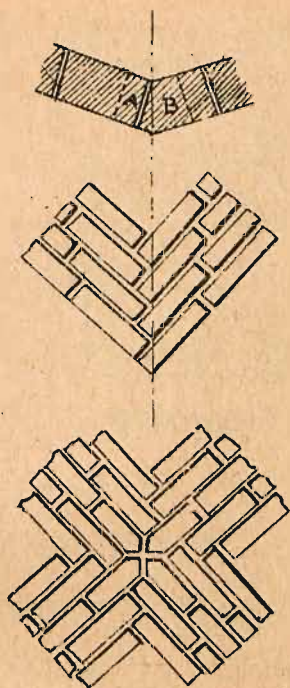
*rys. 239*



*rys. 240*

W obu typach cegły przyciosowują się do ścian oporowych, a przy łukach małej rozpiętości, mających strome krzywe i między sobą dla ukształtowania powierzchni krzywych. W sklepieniach płaskich tynkowanych podobne przyciosywanie nie jest wymagane, gdyż wystające kąty cegieł wyrównuje się wyprawą.

Należy zaznaczyć, że sklepienia jodełkowe, cho-



ciaż składają się z warstw ułożonych nieprawidłowo, a pod kątem  $45^{\circ}$  do kierunku działania sił, jednak bardzo rzadko ulegają pęknięciom; zarazem sklepienia tego rodzaju nie wymagają ociosywania cegieł, a więc są łatwymi do wykonania.

Wskazane cechy wpływają na szerokie zastosowanie sklepień jodeł-

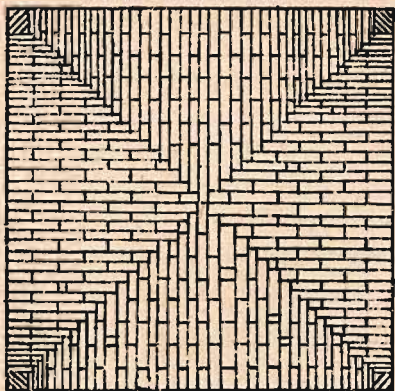
*rys. 241*

kowych w praktyce.

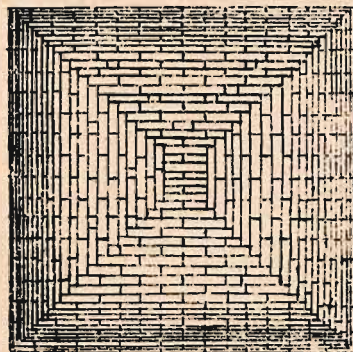
Z warstw jodełkowych tworzą się i posadzki kamienne o grubości w  $1/4$  lub  $1/2$  cegły, którymi wyściełają się składy, magazyny, warsztaty i inne budowle tego rodzaju.

Na rysunkach 242 i 243 wskazany jest układ cegieł w sklepieniach krzyżowym i klasztornem, który nie różni się od układu kamieni w sklepieniach z ciosów, a kozubki kolebki stanowią części sklepień walcowych.

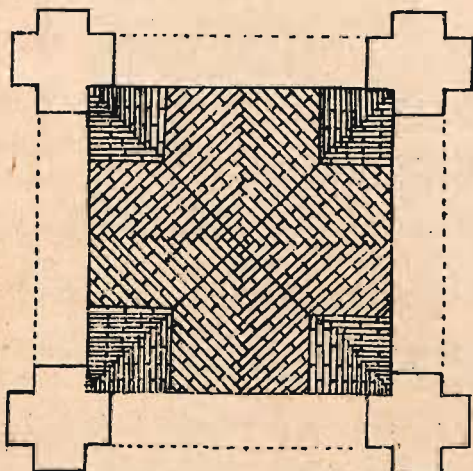




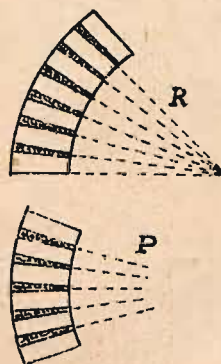
rys. 242



rys. 243



rys. 244



rys. 245

Rysunek 244 wyjaśnia układ muru tychże sklepień przy sposobie jodełkowym, a mianowicie skrzynkowym. Dla obu sklepień układ będzie jed-

nakowym t.j. pod kątem  $45^{\circ}$  do krawędzi podstawy. Należy jednak zaznaczyć, że dla sklepień krzyżowych, w których max. działanie sił będzie skierowane po przekątnych, układ jodełkowy jest korzystnym, gdyż warstwy jodełki będą prostopadłymi do kierunków działania sił.

Nie przedstawia trudności wykonanie z cegły kopuł i sklepień pokrewnych: żaglowych i wachlarzowych. Podział na warstwy będzie identyczny z rozpatrzonym uprzednio układem z kamieni ciosanych, z tą różnicą, że klinowate kształty ciosów zastępuje się dodawaniem cegle spoin niejednolitej grubości, a mianowicie /rys. 245/. Jeżeli rysunek *R* przedstawia przekrój pionowy kopuły, to na powierzchni wewnętrznej spoiny będą najmniejszej grubości, a na zewnętrznej - największej.

To samo daje się zauważyć i na przekroju poziomym *P*.

Grubość kopuły, w zależności od stopniowo wzrastającego obciążenia, będzie zwiększać się ku oporom. Zwiększenie to przy sklepieniach z ciosów może być uskutecznione nadaniem pierścieniom dolnym większej grubości i stopniowym zmniejszeniem.



szeniem jej ku wierzchołkowi.

Przy kopułach z cegły grubość pierścieni zmienia się o pół cegły t.j. tak, jak przy murach zwykłych, w nich warstwy biegnące ku wierzchołkowi w miarę możliwości zmniejszają się o pół cegły. W ten sposób pewna ilość warstw górnych może być o grubości w  $1/2$  cegły, następna w 1 cegłę i t.d.

Kopuły większych rozmiarów dla zmniejszenia ich ciężaru, a więc i dla mniejszego obarczenia opór, wykonywują z dwóch sklepień połączonych z sobą żebrami, co nie zmniejsza stateczności, lecz wpływa dodatnio na zmniejszenie masy muru.

§ 59. Łuki płaskie. Łuki /lub łęki/, jak to było wyjaśnione wyżej, stanowią przykrycie otworu w murze i różnią się tem od sklepień, że nie przykrywają przestrzeni, jako powierzchnię ubikacji, lecz są niby żebrami.

Stąd prawie wszystko dotyczące sklepień może być przyjęte i dla łuków, stanowiących pewną część /poszczególny element/ sklepienia. Jednak łuki mają swe właściwości, szczególnie łuki spłaszczone i nawet zupełnie płaskie, tak często zastosowywane do przykrycia otworów drzwiowych

i okiennych.

Oczywiście, że otwory w ścianach mogłyby być przykrywane belkami kamiennymi, żelaznymi lub żelbetowymi. Jednak belki kamienne, jako mało odporne na siły wyginające, nie będą odpowiedniami, a pozostałe-żelazne i żelbetowe /do których zaliczamy i żelazno-kamienne/ konkurują z łukami płaskimi z kamieni rodzimych lub z cegły.

Wybór jednego z tych trzech przykryć zależy od bardzo wielu względów. Koszty wykonania, uzależnione i od warunków miejscowych, wielkość otworu, obciążenie przykrycia, szybkość wykonania robót, wygląd estetyczny i inne względy wpływają na wybór tej lub innej konstrukcji. W każdym razie łuki, jako konstrukcje przykrywające otwory, nie zostaną całkowicie zastąpione, a z tego powodu udzielimy kilka odnośnych wskazówek.

Łuki płaskie, chociaż mają jako dolną powierzchnię płaszczyzną, co sprawia wrażenie przykrycia belkowego, jednak składają się z klinów. Kliny te w sklepieniach z kamieni rodzimych są ciosami odpowiednich kształtów, w sklepieniach z cegły - odpowiednio przyciosanymi warstwami z dodaniem spoin niejednakowej grubości,



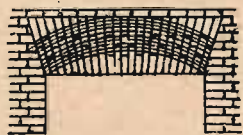
jak to było wskazane przy rozpatrywaniu sklepień.

Dla objaśnienia rozpatrzmy układ kamieni w łuku płaskim z kamienia rodzimego /rys. 246/.



rys. 246

Zazwyczaj płaszczyzny siecznych, które dzielą łuk na poszczególne kamienie, jak to wskazuje rysunek. Chociaż wskazany podział na kliny nie jest uzgodnionym z zasadami podziału mas w zależności od kierunku sił, jednak można sobie wyobrazić, że w masie muru i między powierzchniami tego łuku płaskiego będzie się znajdować jakiś łuk o po-



rys. 247

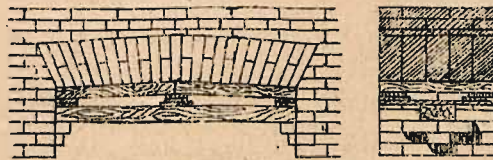
Wierzchniach krzywych, kliny które-go będą ukształtowane i ułożone odpowiednio do działania sił.

Takie rozwiązanie danego zagadnienia objaś-

nia rysunek 247, na którym kreskami oznaczony jest ów elementarny łuk. Oczywiście, że łuk ten /przy-  
puszczalny/ winien znajdować się całkowicie w masie  
łuku płaskiego /rzeczywistego/, t.j. między górną i  
dolną płaszczyzną.

W ten sposób tworzy się płaskie łuki i z cegieł.  
Najczęściej łuk domniemany ma strzałkę od  $1/10$  do  
 $1/8$  rozpiętości ( $\ell$ ), warstwy cegieł układa się  
prostopadle do jego powierzchni dolnej, a proste:  
styczna do krzywej górnej i łącząca punkty oporowe  
będą tworzącymi płaszczyzn górną i dolną łuku pła-  
skiego.

Zwykle punkt zbiegu wszystkich prostych określa-  
jących spoiny leży w odległości  $\ell$  do  $1,5 \ell$  od  
powierzchni dolnej.



rys. 248



rys. 249



Znane są i inne układy, np. na rys. 248 wskazany łuk z pochyłymi płaszczyznami, tworzącymi powierzchnię dolną; a na rys. 249 sposób układania warstw przypomina jodełkę, w którym warstwy środkowe tworzą klinowaty zwornik, rozpierający to przykrycie. Oczywiście, że stateczność tego układu polega najwięcej na trwałości zaprawy, przyczem zaprawa cementowa daje wyniki zadawalające.

Wogóle łuki płaskie, jako stosunkowo słabe, są używane przy otworach do dwóch metrów, bardzo często wymagają dodatkowych łuków odciążających, obawiają się obarczenia ciężarami skupionymi /np. jednostronnem działaniem blisko położonej belki stropu/ i z tych powodów ustępują miejsca konstrukcjom żelaznym i żelbetowym.

#### § 60. Sklepienia i łuki betonowe i żelbetowe.

Zapoczątkowane jeszcze przez Rzymian sklepienia betonowe na zaprawach wapiennych przez czas dłuższy stosowane prawie nie były; w stuleciu zaś ubiegłym po wynalezieniu cementu, odzyskały swe prawa i obecnie są w wielkim użyciu i z powodzeniem zastępują sklepienia z kamienia rodzimego i z cegły we wszystkich formach tych przykryć. Są one lżejsze i łat-