

sklepienia gwiaździste /Rys.193/.

§ 53. Sklepienia kopulaste. Kopuły /Rys.194/. Jeżeli podniebienie sklepienia jest powierzchnią obrotową, powstałą przez ruch płaskiej krzywej abc około osi pionowej OT , to takie sklepienie nazywa się kopulastem, albo kopułą. Ostatnia nazwa jest używana częściej przy mniej skomplikowanych formach tego rodzaju sklepień.

Wszystkie punkty krzywej abc , oprócz górnego a , który jako leżący na osi jest nieruchomy, opisują koła, wobec czego każdy przekrój poziomy kopuły, czyli jej wieniec, jest okręgiem koła.

Co się zaś tyczy obwodnicy zewnętrznej, to podobnie jak w rozpatrzonych już typach sklepień, może mieć ona kształt dowolny.

Jeżeli krzywa tworząca jest ćwiartką koła, podniebienie jest półkulą, a kopuła - kolistą przy $Oa > Oc$ mamy kopułę podwyższoną /ostrołukową/, przy $Oa < Oc$ - powstaje kopuła spłaszczona. Zależnie od kształtu krzywej rozróżniamy kopuły eliptyczne, paraboliczne, koszo-we i inne. Zazwyczaj kopuły przykrywają budowle o przekrojach kolistych, pomimo to jednak pewne odmiany sklepień kopulastych mogą przykrywać także wielokąty.

Kopułę możemy otrzymać zwiększając do nieskończo-

ności ilość kolebek sklepienia klasztornego, t.j. przechodząc od wielokąta oporowego do koła.

Ustalenie linii działania sił głównych w kopule, nie przedstawia trudności. /Rys.195/. Przeprowadziwszy przez kopułę szereg płaszczyzn pionowych OA , OB ,

OC dzielimy ją przez to na łuki, z których każdy będzie miał swoją linię ciśnienia *mnp*, tworzącą wspólnie z innymi rodzaj powierzchni obrotowej. Największemu ciśnieniu ulegają wieńce dolne, najmniejszemu - górne, przyczem kliny każdego wieńca przekazują ciśnienia jeden drugiemu. Należy zaznaczyć, że każdy wieniec kopuły /warstwa/, będąc kolistą i składając się z klinów, jest niejako łukiem położonym "na płask". Kamień A może przesunąć się wewnątrz kopuły lub opuścić się w dół o tyle tylko, o ile pozwolą mu na to sąsiednie kliny B i C . Wnioskujemy z tego, że każdy zamknięty wieniec jest statycznie nieruchomy, kopuła przeto może być zakończona na dowolnej warstwie.

Ta własność kopuły, tak przychylnie wyróżniająca ją z pośród innych sklepień, ma wielkie znaczenie przy oświetlaniu przykrywanych ubikacji światłem z góry przez pozostawiany w tym celu górny otwór, nazywany światelnikiem.

Kopuły przykrywają przestrzenie o średnicy 50 m.

i więcej, wskutek czego sklepienie zawiera często znaczną objętość muru i posiada duży ciężar własny, który przekazywany kolumnom albo narożom ścian, przeciąża je nadmiernie. Dlatego należy dążyć do zmniejszenia ciężaru kopuły, budując ją z materiałów lekkich, lub też zestawiać próżnie wewnątrz jej muru. Na tej zasadzie powstały kopuły dwoiste, składające się z dwóch sklepień: wewnętrznego i zewnętrznego /ochronnego/. /Rys.196/.

Dla należytego usztywnienia obie kopuły są połączone między sobą ściankami pionowymi i poziomymi.

Ściany pionowe leżą w płaszczyznach południkowych, a poziome są jakby wydłużonymi wieńcami kopuły. Ściany te dzielą przestrzeń między obu kopułami na szereg zamkniętych próżni, które zmniejszają ciężar całkowity kopuły. Często w przestrzeni między kopułami są urządzone korytarze, połączone schodami, które służą do nadzoru nad sklepieniem.

Kopuły dwoiste ułatwiają nadanie powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej pożądanym form architektonicznych. Na załączonym rysunku jest podana taka kopuła z nieco spłaszczoną wewnętrzną i podwyższoną zewnętrzną powierzchnią oraz z latarnią świetlną.

Oprócz latarni w kopułach dla ich oświetlenia u-

rzządzane są wyloty, t.j. okienka otaczane łukami pierścieniowymi.

Znane są również kopuły z żebrami wystającymi wewnątrz w płaszczyznach południkowych, które dzieląc powierzchnię wewnętrzną, przy odpowiednim odrobieniu, urozmaicają ją także. Żebra takie mają poza tem znaczenie konstrukcyjne, są to bowiem rozporniki /podkęcza/sklepienia, stanowiące jego szkielet, wypełniony stosunkowo cienkimi ściankami.

Często między żebrami układa się ścianki poprzeczne, co tworzy razem rodzaj siatki szkieletowej ze znajdującymi się wewnątrz zatłokami, które ozdabia się rozetami lub arabeskami. Tego rodzaju podział urozmaica podniebienie kopuły i pozwala zdobić je kształtną formą występujących części i barwić kolorami.

§ 54. Odmiany sklepień klasztornych. Sklepienia klasztorne mają dużo wad, mianowicie: podtrzymywać je mogą tylko ściany ciągłe, a nie oddzielne słupy, oświetlenie ich wnętrza nie jest łatwe, a położone nisko płaszczyzny oporowe utrudniają wykorzystanie wysokości przykrytej ubikacji. To są powody, dla których w praktyce często są stosowane odmiany sklepień klasztornych. Z nich rozpatrzemy następujące:

Na rys. 197 podane jest sklepienie klasztorne z

z lunetami, oświetlającymi wewnątrz przykrytej budowli. Lunety, są to kozuby sklepienia krzyżowego, albo wprost odcinki zwykłego kolebczastego. Bardziej urozmaicone jest ~~inne~~ sklepienie o 8-miu lunetach /Rys. 198/ z pewnym ~~zabiciem~~ zabiciem sklepienia w kierunkach największych w nim ciśnień. Takie sklepienia zwą się jezuickimi.

Jeżeli sklepienie klasztorne ma być zbudowane nad prostokątem wydłużonym, wówczas przykrywamy go czterema kolebkami, które się łączą u szczytu nie w jednym punkcie, ale wzdłuż poziomej prostej AB . To nadaje przykryciu wygląd podany na rys. 199. Takie sklepienie zwie się nieckowatem.

Jeżeli w sklepieniu nieckowatem odetniemy część górną płaszczyznę poziomą, to otrzymamy sklepienie zwierciadkowe. Sklepienia te buduje się najczęściej nad prostokątami, albo przynajmniej samo "zwierciadło"

C jest prostokątem. Rys. 200.

Kolebki boczne sklepienia, czyli ramy r, m ,

S i n są odcinkami sklepienia klasztornego, a środkowa tafla /zwierciadło/ gra rolę zwornika, przyczem ma pewne wzniesienie /sztych/ w środku. To wzniesienie nadaje mu charakter bardzo płaskiego sklepienia. Trudno jest ufać należytej pracy "klinów" tak płaskiego

przykrycia, gdyż cegła lub kamienie mają powierzchnie styczne nie pochyło, lecz prawie równoległe, pionowe. Rys.201. Niewątpliwie statyczność zwierciadła zależy nie od klinowatości kamieni, a li tylko od trwałości zaprawy. Z tej racji rozpiętości \mathcal{C} nie mogą być duże /3,00 - 4,00m/gdyż inaczej natężenia w tafli zwierciadła przewyższyłyby wytrzymałość zaprawy.

Ponieważ sklepienia zwierciadłowe dają przykrycia estetyczne, odpowiednie dla wielkich sal i właściwe do umieszczania na ich powierzchni wszelkich ozdób, to też bardzo często pozostawiamy w nich kolebowaste ramy, a samej tafli dajemy konstrukcję stropu, t.j. układamy belki, wypełniając luki między niemi deskami lub sklepieniami. Niekiedy są przeciągane żelbetowe przykrycia układane płyty gipsowe, albo blacha falista i t.d. Widoczną powierzchnię dolną łączy się z powierzchniami kolebek i pokrywa tynkiem, nadając tempozór sklepienia murowanego.

W celu oświetlenia sklepień klasztornych, przekształcamy je często w tak zwane sklepienia żagłowe - zwarte /żaglaste/ Rys.201.

W tych sklepieniach kolebki klasztorne są przecięte płaszczyznami pionowymi, co nadaje im wygląd zbliżony do krzyżowych, od których różnią się jednak

konturem linii szczytowych AB i CD .

Sklepienie takie powstaje w następujący sposób: przypuśćmy, że nad kwadratem $abcd$ /Rys.202/ chcemy postawić sklepienie żaglowe - zwarte. Na kwadracie tym opisujemy drugi kwadrat $efgh$, którego boki są prostopadłe do przekątnych pierwszego i nad tym ostatnim stawiamy sklepienie klasztorne, skracając je płaszczyznami pionowymi, przechodzącymi przez proste ab , bc , cd i ad . x/

Aby otrzymać przekrój pionowy wzdłuż eg musimy wykreślić krzywą wewnętrzną wzdłuż przekątnej sklepienia $efgh$; ta krzywa wykreśla się według wskazówek, podanych w § 51, a mianowicie: krzywa ta posiada punkty krańcowe e i g , dające rzuty pionowe e' i g' , oraz wysokość równą wysokości walców, tworzących sklepienie t.j. $oc = fo'$. Można wykreślić krzywą prowadząc ją przez szereg poszczególnych punktów, łatwiej jednak przyjąć pod uwagę, że jest ona

x/ Zaznaczamy, że na tym rysunku i na następnych, rzuty będą oznaczone według metody francuskiej, a mianowicie: rzut poziomy punktu A - literą a , zaś rzut pionowy literą a' . Rzuty linii EOP są: poziomy - eop , pionowy $e'o'p'$.

przecięciem walca z płaszczyzną, ma przeto kształt elipsy, którą można zbudować przyjmując $e'g'$ za wielką oś, a fo' za małą oś.

Część tej krzywej, znajdująca się pomiędzy ścianami, da w rzucie pionowym krzywą $m'o'n'$, czyli obwódnicę sklepienia. Linja $m'o'n'$, jako leżąca w płaszczyźnie pionowej, równoległej do płaszczyzny rzutów, jest zrzutowana w wielkości naturalnej. W rzucie pionowym widoczną będzie również krzywa przecięcia sklepienia $efgh$ z płaszczyzną pionową bc . Przecięcie to składa się z przekroju kolebki efo , który daje krzywą bp , $b'p'$ i przekroju kolebki ofg , dającego krzywe pc i $p'c'$. Wyznaczenie punktów tych krzywych nie przedstawia żadnych trudności, skoro weźmiemy pod uwagę, że leżąca w rzucie poziomym krzywa $bskcd$ jest krzywą tworzącą walca, z którego została wycięta kolebka efo , a linje poziome ef , rs i mk są proste tworzące kolebki efo .

Odległość prostej rs od poziomu płaszczyzny oporowej, czyli od poziomu $e'g'$ równa się odcinkowi ts . Prosta rs przetnie płaszczyznę pionową bc w punkcie q którego rzut pionowy q' leży na odległość $vg' = ts$ od poziomu $e'g'$. Punkt q' wyznacza się również jako przecięcie linji qq' .

z $r'q'$, ta ostatnia bowiem jest rzutem pionowym rq .

Punkt szczytowy krzywej $b'p'c'$ ma rzut poziomy p i leży na prostej mp , $m'p'$, przeto wyznacza się jako przecięcie $m'p'$ z prostą pionową pp' ; przyczem $fp' = uk$, gdyż linja mp , $m'p'$ leży na odległości uk od poziomu płaszczyzny oporowej.

Jeżeli poprowadzimy teraz przekrój pionowy wzdłuż ac albo bd /prawa strona rysunku/, to krzywą wewnętrzną sklepienia, czyli jego obwodnicą będzie teraz krzywa bcd , którą jej rzut pionowy $b''c''d''$ wyznacza w wielkości naturalnej. Na przestrzeni bo widocznem będzie przecięcie płaszczyzny pionowej bc z częścią kolebek eof i fog , które da w rzucie krzywe $b'p''$ i $p''o'$. Na przestrzeni od widocznem będzie przecięcie kolebek ofg i ogh płaszczyzną pionową cd , które da w rzucie krzywe op''' i $p'''d'$.

Tylko co wymienione cztery krzywe są symetryczne i stanowią odcinki koła $b''c''d''$, gdyż powstały w przekrojach płaszczyznami pionowymi jednakowych walców, przyczem proste rzutujące krzywe na płaszczyznę pionową są tworzącymi tych walców. Tworząca tq daje

jeden rzut dla dwóch punktów: dla t , leżącego w płaszczyźnie bd i dla q , znajdującego się w płaszczyźnie bc , tak samo up rzutuje w punkcie p dwa punkty na niej leżące u i p i t.d.

Sklepienia żaglowe mają szerokie zastosowanie i nadają się do urozmaiconego zdobienia zapomocą żeber, gźemsów, sztukaterji i innych sposobów.

§ 55. Odmiany sklepień krzyżowych, początkowo stosowano w Rzymie, dając im najprostsze kształty, dopiero w czasach późniejszych styl gotycki urozmaicił je i przybrał w bogate formy.

Najmniej znaczną odmianą jest zastąpienie w górnych szczytowych linjach prostej poziomej - krzywą /Rys.203/ albo prostą pochyłą /sklepienie wspięte/ rys.204.

Czasami, zwłaszcza przy prostokątach wydłużonych, budują sklepienia krzyżowe z dwóch poziomych i dwóch wspiętych kozub. Na rys.205 mamy takie sklepienie, w którem dłuższymi bokami są kozuby poziome, a nad krótszymi wspięte, przyczem strzałki łuków zwykłego i wspiętego są jednakowe. Gdyby obie kozuby były poziome i jedna z nich półkolistą, to druga musiałaby być eliptyczna, co jest niepożądane z punktu widzenia estetyki.

Sklepienia krzyżowe wspięte są podobne do przytoczonych wyżej żaglowo - zwartych, jeżeli jednak przet-

tniemy sklepienie krzyżowe płaszczyzną prostopadłą do przekątnej prostokąta, to otrzymamy krzywą wklęsłą, a w sklepieniu klasztorne - wypukłą - rys.206.

Do sklepień krzyżowych najbardziej są zbliżone t. zw. sklepienia gotyckie, aczkolwiek ich formy stosuje się także do zwykłych sklepień kolebowastych i klasztornych.

Charakterystyczną cechą sklepień gotyckich są ich wysokie strzałki oraz żebra, które tworzą siatki, albo przybierają kształt gwiazd / § 52/ i wówczas sklepienie nazywa się siatkowe lub gwiaździste.

Siatki sklepień są tak gęste, że przestrzenie pomiędzy żebrami zapełniają lekkiem sklepieniem, ściągkami, a nawet płytami. Schemat takiego sklepienia gotycko-żebrowego podaje rys.207, całokształt zaś rys.208.

Najbardziej skomplikowaną, ale bogatą odmianą sklepień gotyckich stanowią sklepienia normandzkie, albo wachlarzowe.

Ogólny charakter powstawania tych sklepień wka-

zuje rys.209, na którym schematycznie rozwiązane jest przykrycie prostokąta, posiadającego opory, składające się z konsoli u ścian a i kolumn b. Jeżeli ustawimy pionowo półkole adb i pokwamy je go czyli ćwiartką okręgu koła opiszonego dokoła osi pionowych a i b powierzchnie obrotowe /wachlarze/, to punkt a krzywój ad i punkt b krzywój db pozostaną nieruchome, a punkt d zakreśli półkole *gqhk* i *irhm*, styczne w punkcie h. Utworzone w ten sposób wachlarze nad każdą konsolą i nad każdym skupem stykają się w punktach g, k, f, h, l, i, m i t.d. Próżnie pomiędzy wachlarzami *fpqqhrris* wypełniają sklepienia kopulaste o przekroju kolistym *pqrs* i kolebki trójkątne *fps*, *sri*, i t.d.

W rezultacie otrzymujemy przykrycie podane na rys.210, które przypomina poprzedni szemat rys. 209. Sklepienia wachlarzowe są upiękaszane żeberkami o rozmaitych kształtach i wzorach, sztukaterją, odlewami gipsowymi i farbami, co nadaje im efektowny wygląd - rys.211.

§ 56. Odmiany sklepień kopulastych. Zbudowanie kopuły nad kołem nie pociąga za sobą żadnych dodatkowych zmian w ukształtowaniu opór, inaczej jest na-