

W szczególnym wypadku, gdy chodzi o kopułę obciążoną wyłącznie ciężarem własnym, mamy, że:

$$M' = M'' = \frac{qa^3}{12} \cdot \frac{(1 + \mu)(2 + \mu)}{1 - \mu^2} \cos \varphi \quad (1136)$$

gdzie q oznacza ciężar własny kopuły, przypadający na jednostkę jej powierzchni.

8. Kopuły grubościennie.

Kopuły grubościennie obliczać możemy sposobem równowagi granicznej z temi samemi jednak zastrzeżeniami, które były podnoszone przy obliczaniu łuków cylindrycznych (por. rozdz. XIII, 2).

Przypuśćmy, iż mamy do czynienia z kopułą o kształcie bryły obrotowej, obciążoną w sposób symetryczny.

Wycinamy część kopuły nOn (łuk elementarny) płaszczyznami południkowemi i dzielimy ją na kliny powierzchniami stożkowemi. Rys. 480 przedstawia wycinek południkowy w widoku i w planie.

Na płaszczyzny szczytowe (południkowe) poszczególnych wycinków nOn kopuły działają siły C , reakcje wycinków sąsiednich. Siły te są prostopadłe do płaszczyzn południkowych, a więc poziome. Wypadkowa ich H wywołuje równą sobie poziomą siłę H w zworniku O danego wycinka nOn . Siłom C , działającym na część Oi wycinka południkowego nOn , odpowiada w zworniku siła pozioma H_i .

W ten sposób każda część Oi (rys. 480) wycinka nOn znajduje się w równowadze pod działaniem sił następujących:

- 1) pod działaniem siły H_i zaczepionej poziomo w zworniku,
- 2) pod działaniem sił zewnętrznych P_1, P_2, \dots, P_i zaczepionych do kopuły na powierzchni wycinka nOn oraz jej ciężaru własnego,
- 3) pod działaniem reakcji R_i odcinka in na odcinek Oi łuku.

Doświadczenie uczy, iż w chwili zniszczenia kopuły rozwierają się od strony wewnętrznej wszystkie przekroje i położone między zwornikiem a pewnym przekrojem pośrednim m . Tam, gdzie to ma miejsce, krzywa ciśnienia w chwili zniszczenia kopuły w górnej jej części musi pokrywać się z krzywą $O'i'n'$, ograniczającą od góry środkową trzecią część wycinka nOn .

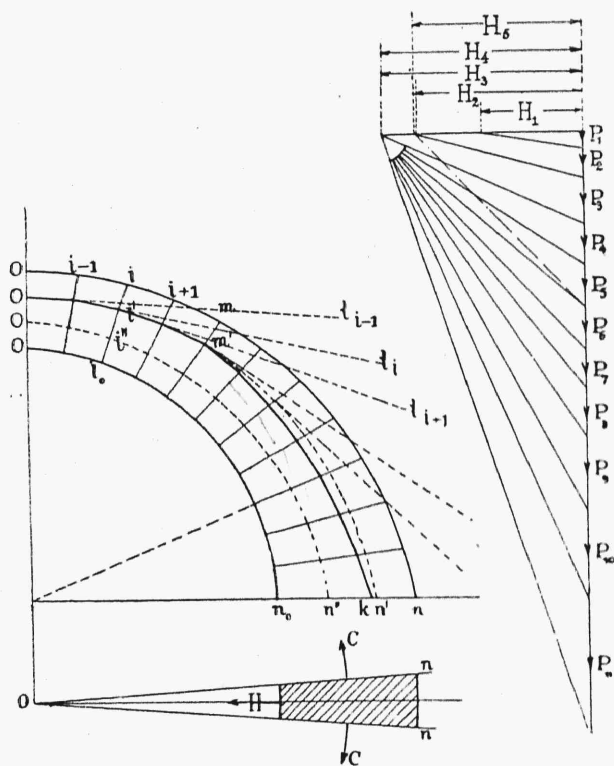
Przedewszystkiem sprawdzamy, na jakiej przestrzeni może mieć miejsce podobne pokrywanie się tych krzywych oraz rozwarcie się kopuły.

Wykreślamy więc wielobok sił zewnętrznych, działających na kopułę. Są to siły $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots$, odpowiadające poszczególnym klinom elementarnego łuku nOn , a wielobok ich tworzy linię prostą.

Znajdujemy trójkąt sił, działających na odcinek Oi elementarnego łuku (wycinka południkowego nOn), t.j. sił R_i, H_i oraz sumy sił P_1, P_2, \dots, P_i .

Boki, odpowiadające siłom H_i i R_i , są równoległe, jeden do poziomu, drugi zaś do prostej $i'l_i$ stycznej w punkcie i' do krzywej, ograniczającej od góry środkową trzecią część grubości elementarnego łuku.

Budując omówione trójkąty sił, będziemy znajdowali do pewnego punktu wieloboku, iż siły $h_i = H_i - H_{i-1}$ (rys. 480), odpowiadające siłom C , działającym na jeden klin i , skierowane są na zewnątrz kopuły, co odpowiada sciskającym siłom poziomym C . Gdy w pewnym punkcie m siła $h_i = H_i - H_{i-1}$ zostaje skierowana do wewnątrz kopuły, znaczy to, że odpowiednie siły C są siłami wyciągającymi t.j. że poczynając od pewnego klina $i = m$ dolna część kopuły pracuje, jako szereg łuków niczem nie związanych ze sobą w kierunku poziomym, a więc krzywa ciśnienia nie pokrywa się tu już z krzywą $O'i'n'$.



Rys. 480.

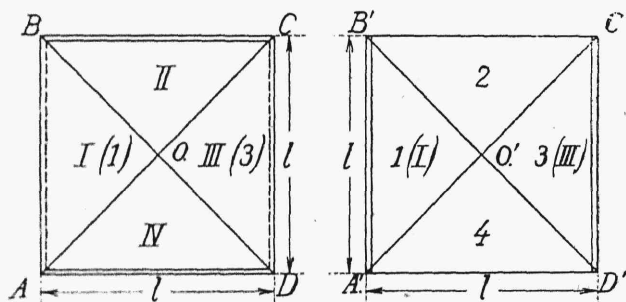
Znalazłszy w ten sposób klin m , dla którego $h_i = H_i - H_{i-1} = 0$, możemy, poczynając od punktu m' , wykreślić krzywą ciśnienia, jak dla łuku cylindrycznego, korzystając z wieloboku sił o odległości biegunowej $H_i = H_m$.

Dochodzimy tą drogą do krzywej ciśnień $O'm'k$, która na przestrzeni $O'm'$ pokrywa się z krzywą ograniczającą od góry środkową trzecią część grubości elementarnego łuku (wycinka nOn), na pozostałej zaś przestrzeni przebiega wewnątrz środkowej trzeciej.

Dalsze obliczenie kopuły odbywa się w ten sam sposób, jak obliczenie łuku cylindrycznego (por. rozdz. XIII, 2).

9. Sklepienia klasztorne i krzyżowe.

Wyobrażamy sobie dwa jednakowe sklepienia cylindryczne $ABCD$ i $A'B'C'D'$ (ściany podporowe oznaczone są liniami podwójnymi) o długości równej rozpiętości (rys. 481) i przeprowadzamy płaszczyzny pionowe, przecinające podług przekątni $AC, BD, A'C'$ i $B'D'$ rzuty poziome tych sklepień. Jeżeli zamienimy części AOB i DOC sklepienia $ABCD$ na części $A'O'B'$ i $D'O'C'$ sklepienia $A'B'C'D'$ i naodwrot, wówczas, zamiast sklepienia cylindrycznego $ABCD$, otrzymamy nad tym samym kwadratem sklepienie zwane klasztorne (rys. 482), a, zamiast sklepienia $A'B'C'D'$, otrzymamy sklepienie zwane



Rys. 481.

krzyżowem (rys. 483). W płaszczyznach AC i BD oraz $A'C'$ i $B'D'$, na przecięciu się sklepień cylindrycznych, tworzących nowe sklepienie, znajdują się łuki, zwane żebrami, które zwykle wystają z podniebienia. Wobec symetrii omawianych sklepień i w razie ich symetrycznego obciążenia, płaszczyzny symetrii żeber nie ulegają zwichrzeniu podczas odkształcenia się sklepienia. Ta okoliczność może być wykorzystana do obliczenia zarówno sklepień klasztornych, jak i krzyżowych. Pozatem obliczenie tych sklepień opiera się na obliczeniu sklepień cylindrycznych o stałej grubości.