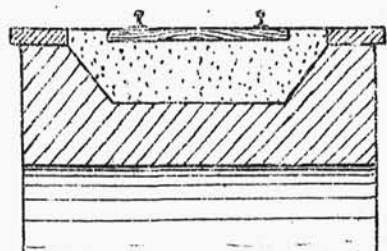


ryta w świetle /rys.272/ w mostach kolejowych - równa się długości podkładów α .



Rys. 272.

powiększonej o jakieś 25 - 30 cm. z każdego końca. - Grubość bocznych ściamek u góry wynosi mniej więcej po 40-50 cm. W mostach drogowych, wymiar koryta wewnątrz będzie zależał od

szerokości jezdni i chodników.

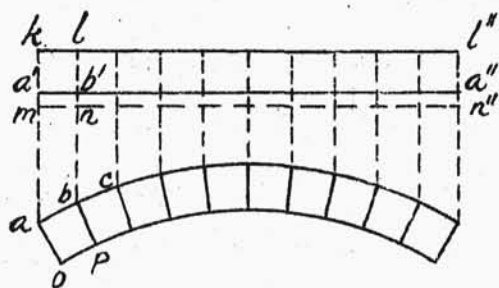
Odrobienie lica, tudzież kształt i rodzaj balustrad, jak również odrobienie wewnętrznej powierzchni sklepienia, zależy od przeznaczenia mostu i od względów estetycznych.

Powyższe wszystkie uwagi odnośnie do łączenia się sklepień z przyczółkami, do kształtu sklepień i do przekroju poprzecznego konstrukcji - dotyczyły, oczywiście, mostów właściwych. Stosowne uwagi, dotyczące przepustów, będą podane osobno w samym końcu.

Przechodząc do sposobów bliższego ustalania kształtu i wymiarów sklepień tak mostów, jak i przepustów, należy przedewszystkiem wyjaśnić wielkość i położenie wszystkich działających sił zewnętrznych.

I. Na obciążenie stałe składają się naogół: a/ waga własna sklepienia, b/ waga ziemi nad sklepieniem. ewent. - oprócz tego - waga betonu w pachwinach, c/ waga jezd-

ni /piasek, względnie - żwir, podkłady i szyny - w mostach i przepustach kolejowych, oraz pokład piaskowy czy też kamienny i walcowany tłuczeń - w mostach drogowych/. Obliczamy powyższe ciężary w odniesieniu do kwadratowej jednostki powierzchni; wyobrażamy sobie, następnie, zawarty między dwiema równoległymi płaszczyznami pionowymi i prostopadłymi - do podłużnej osi sklepienia - wycinek tegoż - grubości 1 mtr; dzielimy go na kliny jednakowych wymiarów, najerzonych tak po linii dolnego, jak i górnego konturu wycinka; stosownie do górnych punktów



Rys. 273.

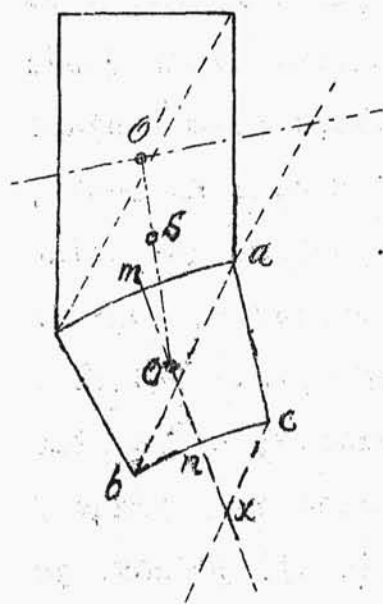
podziału $a-b-c$,
/rys.273/ tniemy całą powierzchnię nad sklepieniem linjami pionowymi na paski, odpowiadające klinom. Oczywiście, waga jednego paska będzie się równała, na przykład,

powierzchni przekroju $a-b-a'-b'$ pomnożonej przez 1 i przez wagę gatunkową ziemi. Dogodniej, jednak, jest zmienić tak poziom linii $a'b'$, aby otrzymać równoważny do poprzedniego ciężaru ziemi ciężar muru; do tego koniecznem jest, aby (powierzchnia $abmn$):
(pow. $aba'b'$) = $\int_z : \int_m$, gdzie \int_z oznacza wagę jed-

nostkową ziemi, zaś f_m - muru.

W ten sposób redukuje się wagę nawierzchni $a'kl'a''$ odpowiadającej wadze jezdni. Przy obliczaniu powierzchni przekroju klinów, zakładamy - aczkolwiek jest to trochę nieściśle, że figury $abop$ i t.p. są to trapezy, czyli że linie ab, op są to linie proste. - To samo dotyczy pasek nad klinami.

Zachodzi, następnie, potrzeba określania środków ciężkości wspomnianych figur, ażeby mieć punkty zaczepienia sił, odpowiadających ciężarom klinów oraz położonych nad nimi pasek, które wyobrażają resztę obciążenia stałego.



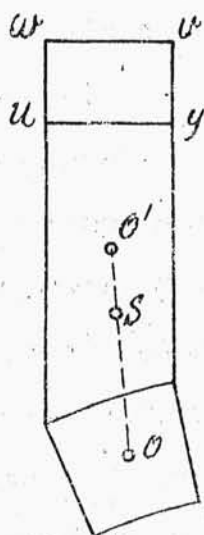
Rys. 274.

Robimy to w sposób następujący: przeprowadzamy linię środkową mn /rys.274/, następnie równoległe do przekątnej ab prowadzimy linię cx odcinek mx dzielimy na 3 równe części, przyczem właśnie w odległości $1/3$ od n znajduje się środek ciężkości O . Tak samo postępujemy z trapezami nad klinami. Odległość między punktami ciężkości O i

O' musimy teraz podzielić w stosunku odwrotnym do sił, zaczepionych w tych punktach; znajdziemy wtedy punkt

zaczepienia S wypadkowej całego obciążenia stałego, przypadającego na dany klin sklepienia.

II. Co się tyczy obciążenia ruchomego, to zawsze zamieniamy je na taką masę muru, która by wywierała taki sam nacisk na jednostkę kwadratową powierzchni, - co i dany ruchomy ciężar; sprowadzamy go więc w rezultacie znów do pewnej płaszczyzny $uvvy$, położonej nad odnośnym klinem, która wyobraża obciążenie rys. 275.



Rys. 275.

Nadmienić przytem trzeba, że wogóle obliczanie sklepień, prowadzi się w 3 przypuszczeniach: 1/ jest tylko obciążenie stałe, w takim razie określanie sił zewnętrznych wykonywa się w sposób, jak wyżej wskazano. 2/ Sklepienie na całej swej długości obciążone jest ciężarem ruchomym; w tym wypadku działająca na każdy klin siła będzie wypadkową nie z 2, lecz

z 3 składowych, - trzecią mianowicie jest równoważnik ciężaru ruchomego, określony jak wyżej.

W obu powyższych wypadkach - wobec tego, że sklepienia mostowe bywają tylko symetryczne i że obciążenie

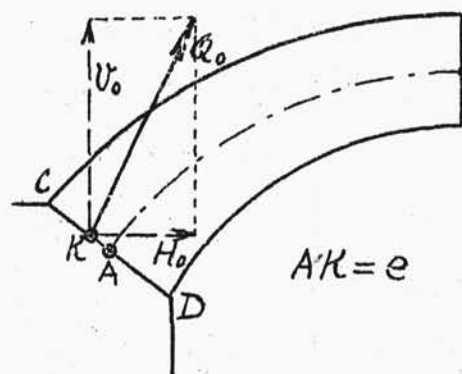
nie wypada też symetryczne, - wystarczy brać pod uwagę przy obliczaniu jedną tylko połowę sklepienia.

Trzeci, nareszcie, wypadek, - jest wtedy, kiedy obciążenie ruchome działa tylko na jedną połowę sklepienia; wtedy rozpatrywać trzeba już całe sklepienie.

Przechodząc do samej techniki obliczania należy przedewszystkiem zaznaczyć co następuje:

Przy obliczaniu mostów sklepionych bezprzegubowych spotykamy się z taką trudnością zasadniczą - w przeciwieństwie do belek swobodnie podpartych, z którymi dotąd przeważnie mieliśmy do czynienia, że reakcje ich opór są nam nieznane ani z kierunku, ani z wielkości, ani z punktu zaczepienia. Wynika z tego co następuje:

Wobec niewiadomego punktu zaczepienia możemy przypuścić, że wogóle odpór Q_0 /rys.276/ przecina płaszczyznę wezglowową CD niekoniecznie w punkcie środkowym A , w następstwie czego mamy do czynienia z momentem operowym M_0 ; dla poznania tej wielkości musi być nam dany punkt K zaczepienia



Rys.276.

siły, względnie ramię $AK = e_0$. Następnie, kierunek i wielkość Q_0 będą ustalone, o ile uda się określić składowe tej siły, mianowicie: pionową U_0 i poziomą H_0 .

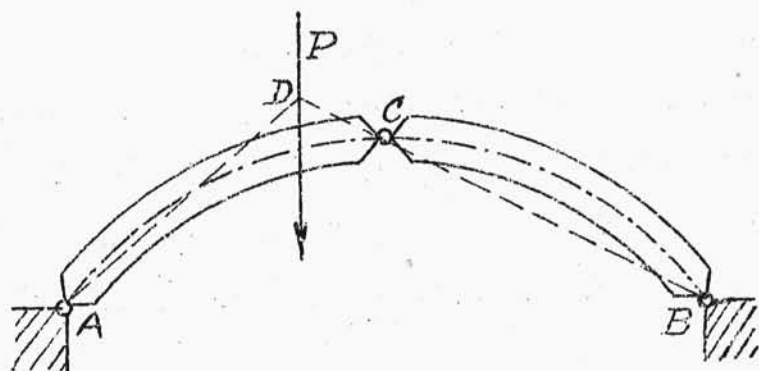
Jak widać zatem, przy obliczaniu sklepienia mamy na każdej podporze trzy niewiadome, dla określenia których posiadamy tylko 3 ogólne równania statyki:

$$\sum X = 0; \sum Y = 0; \sum M = 0.$$

Zwykle zatem sklepienie jest 3-krotnie statycznie nieokreślone.

Zanim przejdziemy do ogólnych sposobów rozwiązywania takich zagadnień, zauważymy, że mogą być takie odmiany sklepień, które składają się z 2 oddzielnych części, połączonych między sobą przegubem, poza-
tem zaś w węzłach związanych z płaszczyznami oporowe-

mi również tylko w jednym punkcie - za pomocą przegubów /rys.277/. Łatwo zauważyć, że dzięki podobnej konstrukcji punkty zaocze-
pienia odporów sta-
ją się wiadome;



Rys 277.

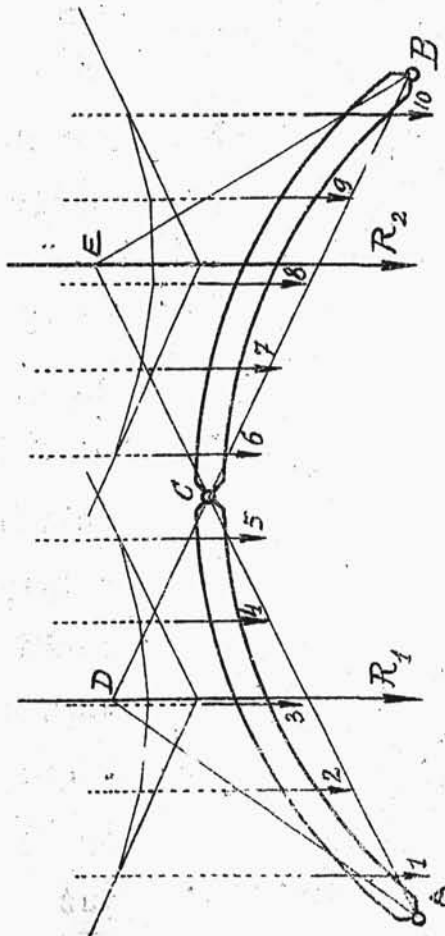
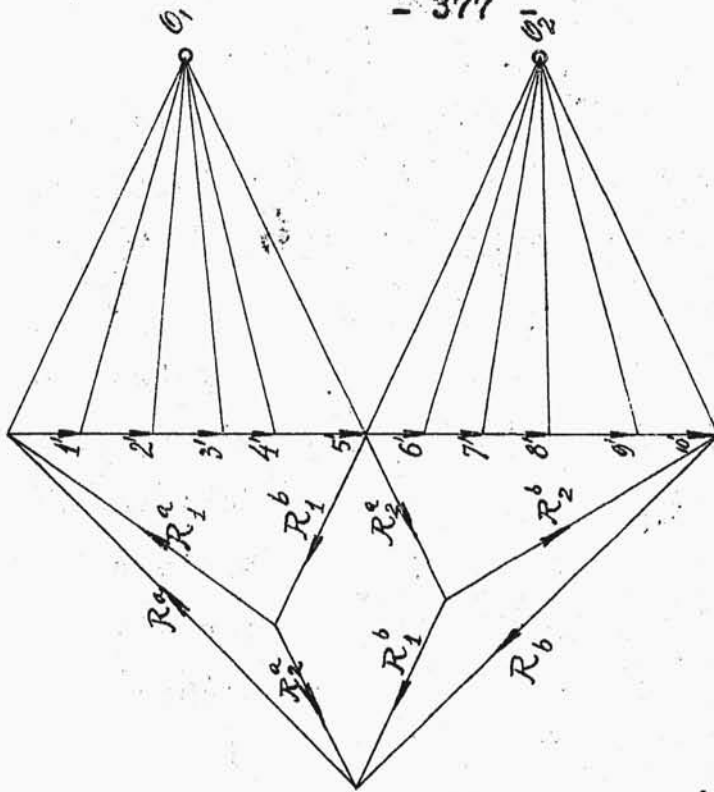
poza-tem wchodzi w grę okoliczność następująca: wystaw-
my sobie dla uproszczenia, że wszystkie działające
na sklepienie siły aktywne zastąpiliśmy jedną wypadko-
wą P ; wtedy wobec równowagi, w jakiej znajduje się
cały zespół, oczywiście jest, że odpór prawy musi być

skierowany przez punkt C /bo gdyby było inaczej, to nastąpić by musiało jakieś odpowiednie przesunięcie w tym punkcie/; przedłużenie BC aż do przecięcia się z kierunkiem P daje punkt D , stąd kierunek oporu lewego jest DA . Oba odpory są wtedy określone tak co do punktów zaczepienia, jak i co do kierunku; wielkość zaś ich ustalimy już z łatwością przez proste rozłożenie P na 2 kierunki. System zatem jest całkowicie statycznie wyznaczalny.

Zobaczmy teraz, jak postępować należy, aby zadanie podobne rozwiązać - w tym mianowicie wypadku, kiedy mamy do czynienia z wieloma zadaniami siłami /rys.278/.

Wyrysujmy obok plan sił /w kierunku od dołu do góry/, poczem tak dla lewo- jak i dla prawostronnej grupy siły znajdziemy wypadkowe oraz ich punkty zaczepienia - przez wybranie mianowicie dowolnych biegunów O_1 i O_2 , poprowadzenie promieni, a następnie - przez zbudowanie na kierunkach sił 1 do 4 oraz 5 do 8 - wieloboków sznurowych.

Stosując teraz metodę superpozycji, założmy z początku, że mamy jedną tylko siłę R_1 i rozłożmy ją wiadomym już sposobem /patrz rys.277/ na odpory R_1^a i R_1^b , budując na planie sił figurę $O-L-5'$, podobną do $ADCB$. Powtórzmy następnie to samo dla siły R_2 ; otrzymamy znów wtedy składowe R_2^a i R_2^b . Teraz pozostaje już tylko zsumować geometrycznie R_1^a i

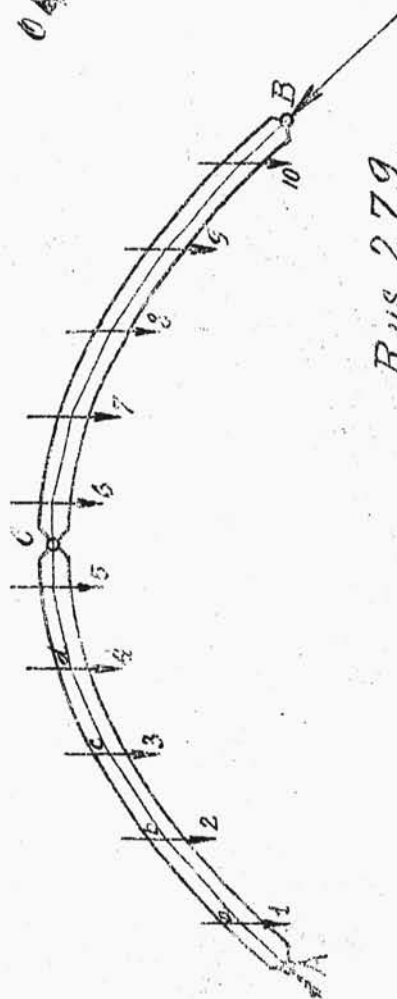
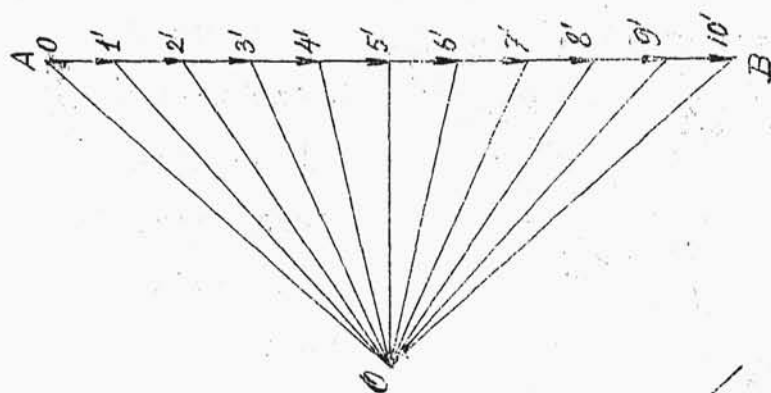


Rys. 278.

R_2^a oraz R_2^a
i R_2^b . Two-
rzą one, wraz
z siłami
1, 2, 3... 10 -
jak widać,
zamknięty wie-
lobok sił,
przyczem, jak
wskazują
strzałki kie-
runkowe i jak
tego zresztą
łatwo domyśleć
się, - stano-
wią układ
zrównoważony.

Biorąc teraz
punkt O za bie-
gun, poprowadź-
my promienie:
/patrz rys. 279/
01', 02', a nas-
tępnie na kie-
runkach sił
1, 2... zbudujemy

wielobok sznurowy w taki sposób, ażeby pierwszy jego odcinek $//OA$ przechodził przez A ; będzie on jednocześnie wyobrażać - tak co do kierunku, jak i co do położenia - reakcję opory A .



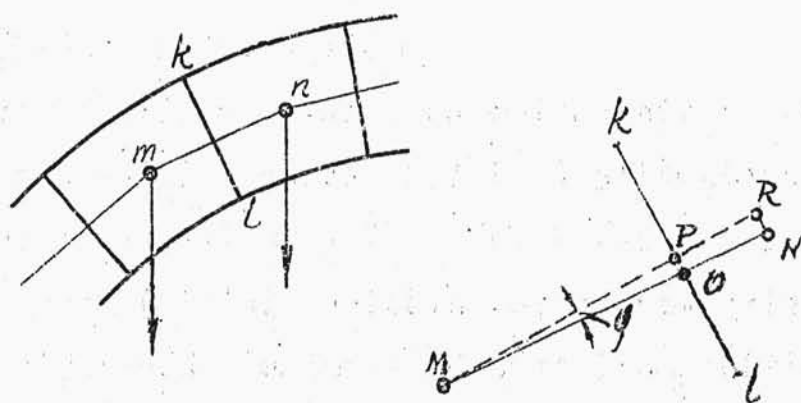
Rys. 279.

Łatwo do-
wieść, że w
dalszym
swoim biegu
ten wielobok
sznurowy mu-
si przejść
przez punkty
 C i B . -
Istotnie, za-
uważmy, że
jego odcinek
 $5-6$ odpowia-
da promienio-
wi $05'$; je-
żeli rozpa-
trzymy wa-
runki równo-
wagi półskle-
pienia AC ,
to, jak to
już stwier-

dziliśmy poprzednio, wyrażają się one między innymi w tem, że moment wszystkich zewnętrznych sił względem C musi być $= 0$. Ponieważ promień $05'$ reprezentuje właściwie wypadkową siły R_a oraz sił: 1, 2, 3, 4, i 5, zatem kierunek 5-6, jako wyobrażający położenie rzeczywiste tej siły, musi oczywiście przejść przez C , jako przez jedyny punkt wspólny pomiędzy obiema połowami sklepienia. Z tych samych względów $0B$, jako wypadkowa siły $0-5'$ oraz sił: 6, 7, 8, 9 i 10 - musi przejść przez B . Czemże jest w istocie wyrysowany w sposób powyższy wielobok sznurowy? Jeżeli sobie uprzytomnimy genezę wogóle takiego wieloboku, to spostrzeżemy, że na przykład odcinki Aa i ba , są to właściwie kierunki ciśnień, równoważących działanie siły 1; tak samo ab wzięte teraz z kierunkiem odwrotnym, czyli ba oraz bc równoważą siłę 2 i t.d. Zatem w istocie odcinki Aa i ab , ba i bc , cb i cd i t.d. reprezentują sobą siły wzajemnych ciśnień, istniejących pomiędzy sąsiadującymi ze sobą sekcjami sklepienia. - i będących następstwem działania na te sekcje z jednej strony sił aktywnych: 1, 2 i t.d., z drugiej zaś przeciwdziałań oporowych. Inaczej mówiąc, omawiany wielobok sznurowy nie jest niczem innym, jak t.zw. "linją ciśnień". Ściśle biorąc pod "linją ciśnień" rozumiemy geometryczne miejsce punktów przecięcia

stron wieloboku sznurowego z kierunkami spoin sklepienia /rzeczywistych lub fikcyjnych/, w praktyce jednak oba te pojęcia identyfikujemy.

Mając tak wykreśloną "linję ciśnień", możemy następnie przeprowadzić obliczenie naprężeń w każdej dowolnej spoinie sklepienia. W istocie, boki sznurowego wieloboku dają nam położenie i kierunki międzyklinowych ciśnień, wytwarzających naprężenia, o które nam chodzi; wielkości zaś tych ciśnień odnajdujemy na planie sił w postaci odnośnych promieni. Weźmy, na przykład, spoinę kl /rys.280/, mamy tu bok mn .



Rys. 280.

Przecina on się ze spoiną w punkcie O pod kątem φ /który łatwo obliczyć z elementów rysunku sklepienia, planu sił oraz wieloboku sznurowego/. Wielkość tej

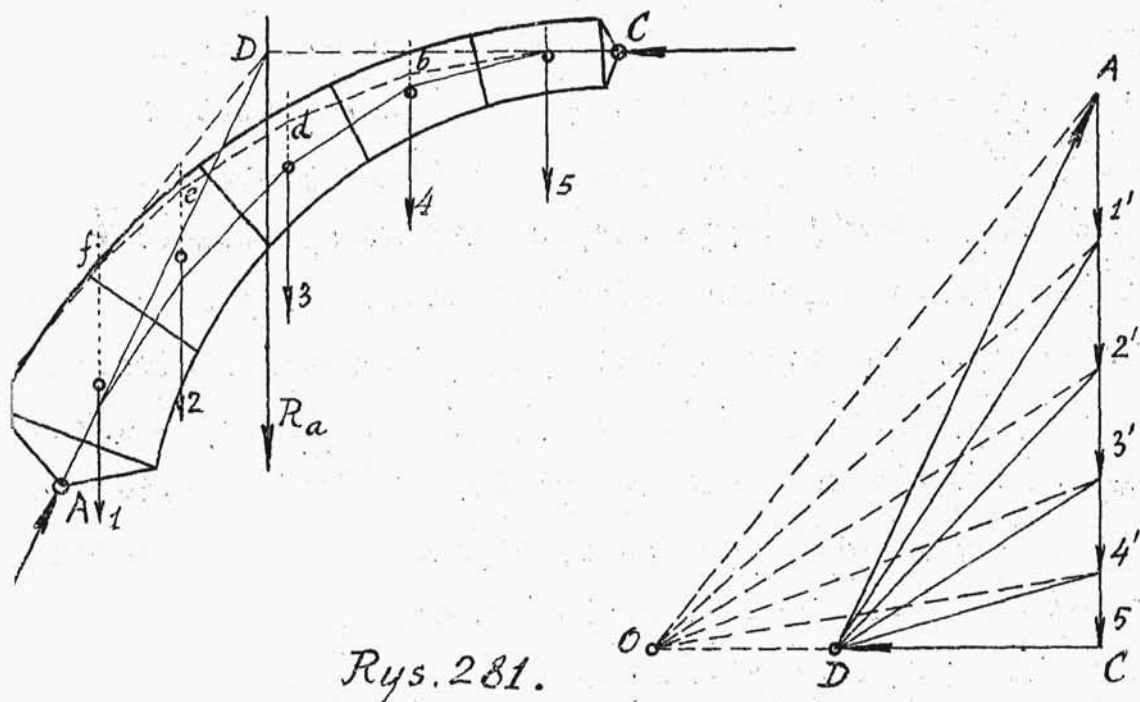
siły MN jest nam dana /z planu sił/, możemy zatem określić normalną jej składową N oraz odległość $OP=e$ czyli jej ramię względem środka ciężkości płaszczyzny spoiny. Wtedy, oznaczając pole spoiny przez F , mamy największe w niej naprężenie

$$\sigma = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W}$$

gdzie $M = N \cdot e$, zaś W oznacza moment wytrzymałości przekroju po linii spoiny. Oczywiście, obok składowej N musi, biorąc ogólnie, istnieć jeszcze i składowa $Q = RN$, wytwarzająca naprężenia tnące. Ponieważ jednak w dobrze zaprojektowanym sklepieniu kształt osi tak musi być dobrany, ażeby linja ciśnień nie wiele od niej odchylała się, czyli inaczej - wskutek tego - kierunek ciśnień międzyklinowych zbliża się do normalnego względem spoin, - przeto wielkość wspomnianych sił Q jest stosunkowo nieznaczna i wpływ ich może nie być brany w rachubę.

Zadanie wykreślenia linji ciśnień upraszcza się, jeżeli mamy obciążenie symetryczne względem przegubu środkowego. Wtedy odcinek wieloboku sznurowego, który w wywodach poprzednich oznaczaliśmy numerami 5-6 a który oczywiście wyobraża siłę oddziaływania prawej części łuku na lewą, - i odwrotnie, - otrzymuje położenie poziome /rys. 281/. Jeżeli wypadkową lewostronnych sił aktywnych oznaczamy przez R_a i ustalimy

w sposób wiadomy, jej wielkość oraz punkt zaczopie-
nia /z pomocą wieloboku sznurowego $Cbdefg$ i planu
 OAC /, to oczywiście, przeprowadzwszy linię CD
zauważymy z łatwością, że odpór A musi mieć kieru-
nek i położenie AD . Wielkość jego znajdziemy z pla-
nu sił.



Rys. 281.

Tamże znajdziemy wielkość wspomnianego wyżej wzajem-
nego oddziaływania na siebie obu połów sklepienia, -
w postaci mianowicie odcinka DC . Jest to zarazem, jak
widać, pozioma składowa reakcji oporowej, - czyli tak
zwane, właściwe sklepieniom, "parcie" poziome. Mając
plan sił oraz trójkąt DAC , - możemy następnie popro-

wadzić promienie $D_1, D_2 \dots$ i t.d., na kierunkach zaś sił 1, 2 i t.d. pobudować wielobok sznurowy, który będzie oczywiście, stanowić linię ciśnień dla naszego pół-sklepienia, poczem możemy dokonać obliczenia naprężeń w spoinach.

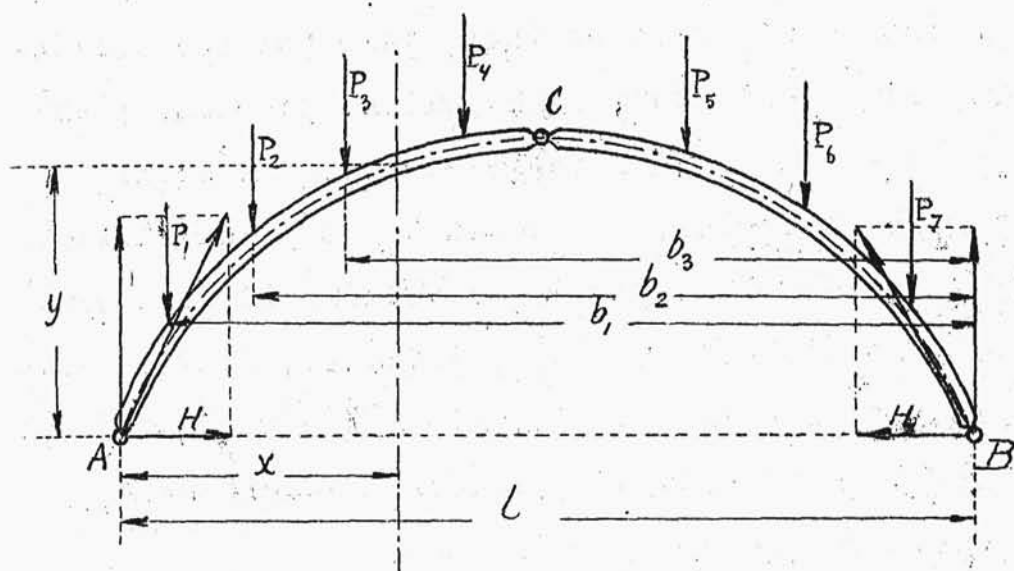
Zauważmy, że również w wypadku obciążenia niesymetrycznego istnieje parcie poziome, jako pozioma składowa odporu, względnie: jako ruch poziomy promieni planu sił, czyli jako pozioma /w razie pionowego kierunku sił aktywnych/ odległość biegunowa tegoż planu. Łatwo stwierdzić, że dla każdego danego układu sił pionowych parcie to jest wielkością stałą, jednakową dla obu podpór, co zresztą wypada i z równania $\sum X = 0$, gdzie - w razie sił tylko pionowych jedynymi składnikami są, właśnie tylko parcia obu podpór.

Niezależnie od wyżej podanych sposobów graficznych, możemy do sklepienia trój-przegubowego - zwłaszcza kiedy obciążenie jego składa się tylko z sił pionowych - zastosować z powodzeniem również metodę analityczną, której wytyczne są następujące:

Weźmy dowolny przykład sklepienia trój-przegubowego symetrycznego /rys. 282/ z węzłami na jednej wysokości. Rozłóżmy odpory na ich składowe pionowe i poziome. Te ostatnie stanowią to, co wyżej nazwaliśmy "parciem" i są jednakowe dla obu połów; nazwijmy ich wielkość

przez H . Wielkości składowych pionowych możemy określić z łatwością, biorąc rż równanie momentów względem B : $Al - \sum P \cdot b = 0$ skąd $A = \frac{\sum P b}{l}$,

zupełnie tak samo jak dla belki swobodnie podpartej; następnie zaś równania takie same względem A , skąd



Rys. 282.

$B = \frac{\sum P a}{l}$. Jeżeli teraz dla dowolnego przekroju $y-y$ zestawimy równanie momentów, to otrzymamy:

$$M_y = Ax - \sum_0^x P \cdot [x - (l - b)] - H \cdot y;$$

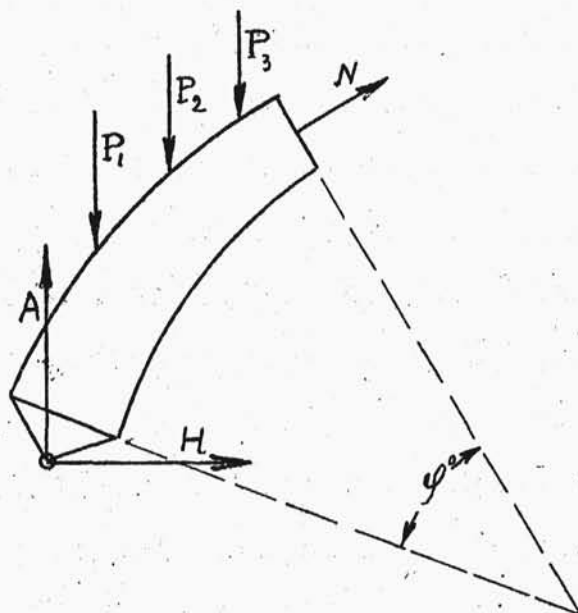
jeżeli zaś równanie takie odniesiemy do punktu C , w którym - jak wiadomo - $M_c = 0$, to oznaczając y_c przez f (= strzałka sklepienia), możemy napisać:

$$A \cdot \frac{l}{2} - \sum_0^{\frac{l}{2}} P (b - \frac{l}{2}) - H \cdot f = 0;$$

skąd z łatwością H da się określić.

Wtedy zaś dla każdego przekroju $y-y$ z łatwością możemy obliczyć wartość M_y .

Znajdźmy teraz dla wymienionego wyżej dowolnego przekroju $y-y$ siłę normalnego ośnięcia N .



rys. 283.

Z warunków równowagi odcinka sklepienia mamy

/rys. 283/:

$$N = (A - \sum P) \sin \varphi + H \cos \varphi.$$

Składową Q_c

- jak wiadomo - nie interesujemy się.

Możemy teraz

obliczyć:

$$\sigma = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W}.$$

Ponieważ zazwyczaj umawiamy się, że do obliczania naprężeń bierzemy pod uwagę wycinek sklepienia, utworzony przez 2 do siebie i do powierzchni rysunku równoległe, a do podłużnej osi samego sklepienia prostopadłe płaszczyzny, znajdujące się jedna od drugiej w odległości = 1, - przeto zakładając, że w da-

nym przekroju grubość sklepienia = d , będziemy mieć:

$$F = 1 \cdot d \text{ , zaś } W = \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot d^2$$

zatem

$$\sigma = \frac{N}{d} \pm \frac{6M}{d^2}$$

We wszystkich rozważaniach powyższych zakładaliśmy zgóry, że obciążenie jest nam dane - w postaci mianowicie określonego stałego układu sił. Taki wypadek ma w istocie miejsce przy przepustach, zwłaszcza obciążonych wysokim nasypem, wobec wagi którego obciążenie ruchome odgrywa niewielką już stosunkowo rolę. Z mostami jednak rzecz się ma inaczej: obciążenie ruchome wpływa bardzo znacznie na wielkości momentów w poszczególnych przekrojach. Jeżeli jednak chodzi o mosty niewielkie, to można ograniczyć się - oprócz wypadku obciążenia stałego i ruchomego na całej długości, wywołującego największe naprężenia w okolicach węzłów, tudzież zwornika, - taką jeszcze pozatem kombinacją, że obciążenie ruchome ześrodkowuje się na jednej tylko połowie sklepienia; przy tej kombinacji otrzymujemy największe naprężenia, mniej więcej w okolicach ćwierci sklepienia.

Obliczenie tedy wykonywujemy w 2 przypuszczeniach:

a/ obciążenia stałego $g \text{ kg/m.b}$ oraz pełnego ruchomego $p \text{ kg/m.b}$ na całym sklepieniu;

b/ obciążenia stałego g kg/m.b. na całym sklepieniu oraz pełnego ruchomego p kg/m.b. na połowie tylko sklepienia.

Za pomocą prostego obliczenia można się jednak przekonać, że w tym ostatnim wypadku wynik otrzymuje się prawie taki sam, jak wtedy, jeżeli obok obciążenia stałego na całym sklepieniu zastosujemy obciążenie ruchome również na całej długości, ale o wartości połowicznej $\frac{p}{2}$ kg/m.b. . Wobec tego zamiast obciążeń pod punktem b/ stosowana jest - w mostach mniejszych - zwykle ostatnio wymieniona kombinacja, jako dogodniejsza.

Zauważyć trzeba, że wogóle przy obliczaniu sklepień uwzględniane bywa przeważnie ruchome obciążenie równomierne ciągle, przyczem w razie działania w rzeczywistości ciężarów skupionych /wozy, walce szosowe/ wielkość tego zastępczego równomiernego obciążenia obliczamy tak, aby było ono istotnie równoznaczne z tym rzeczywistym, biorąc przytem pod uwagę, że dzięki nasypowi oraz ewentualnie masie muru w pachwinach - następuje rozkład skupionego ciężaru na większą powierzchnię.

Posługujemy się zazwyczaj przy ustalaniu podobnego obciążenia zastępczego pewnymi empirycznymi wzorami, na przykład poniższymi:

I. dla mostów drogowych:

1/ w razie wozów ciężkich:

$$p^{tn/m^2} = \left(0,5 + \frac{20}{l}\right) \frac{1+u}{0,2+3u} ;$$

2/ w razie wozów średnich:

$$p = \left(0,5 + \frac{10}{l}\right) \frac{1+u}{0,2+3u} ;$$

3/ w razie wozów lekkich:

$$p = \left(0,5 + \frac{4}{l}\right) \frac{1+u}{0,2+3u} ;$$

II. dla mostów kolejowych:

$$p = \left(5 + \frac{30}{l}\right) \frac{1+u}{2,5+4u} .$$

We wzorach tych l - oznacza rozpiętość, u - wysokość nasypu nad zwornikiem; przy obciążeniu położonem pod l należy rozumieć długość części obciążonej.

Oczywiście, można również - i lepiej jest nawet - uwzględnić nie zastępcze, lecz rzeczywiste ciężary skupione, biorąc zawsze jednak pod uwagę ich rozkład poprzez nasyp względnie pachwinowy mur. Oznaczając mianowicie grubość masy, przenoszącej nacisk, przez u , oraz szerokość obręczy koła przez b , znajdziemy, że w kierunku prostopadłym do płaszczyzny poprzecznego przekroju sklepienia nacisk tego koła będzie rozkładać się na szerokość $a = b + 2u$; w drugim kierunku, - mianowicie w

samej płaszczyźnie wspomnianego przekroju poprzecznego - rozkładania nacisku przez masę przenoszącą nie uwzględniamy. Należy przytem mieć na uwadze, że wartość u jest zmienna; wobec tego dla obliczeń zaleca się brać wartość średnią z wysokości nasypu nad zwornikiem oraz nad węzłowiem. W każdym zaś razie a nie należy brać większe, jak szerokość danego wozu.

Ponieważ w obliczeniu za podstawę bierzemy wycinek sklepienia, zawierający się między dwoma równoległymi poprzecznymi przekrojami sklepienia, odległymi od siebie o 1 mtr., przeto każdy dany ciężar skupiony P sprowadzi się dla tego wycinka do wielkości $\frac{P}{b+2u}$

Przy projektowaniu sklepień, - jak to już było w swoim miejscu zaznaczone najważniejszą rzeczą jest, aby oś łuku była możliwie zbieżną z linią ciśnienia, inaczej bowiem trudno jest osiągnąć warunki bezpiecznej i trwałej równowagi. Ta linja ciśnień jednak nie jest jedną tylko określoną dla danego sklepienia, lecz zmienia się w zależności od każdorazowego układu i wielkości sił, - tak że każdemu położeniu i wielkości obciążenia ruchomego odpowiada inna linja ciśnienia. Wobec tego starany się, aby oś łuku możliwie zbiegała się przynajmniej z jakimś przeciętnym położeniem tej ostatniej, mianowicie z ten, które odpowiada pełnemu