

rys.23.

wykonać sklepienia, łącząc je z filarami za pomocą odpowiednich prętów, lub opierając je swobodnie / łuki ciągle/. Wtedy oczywiście o współdziałaniu

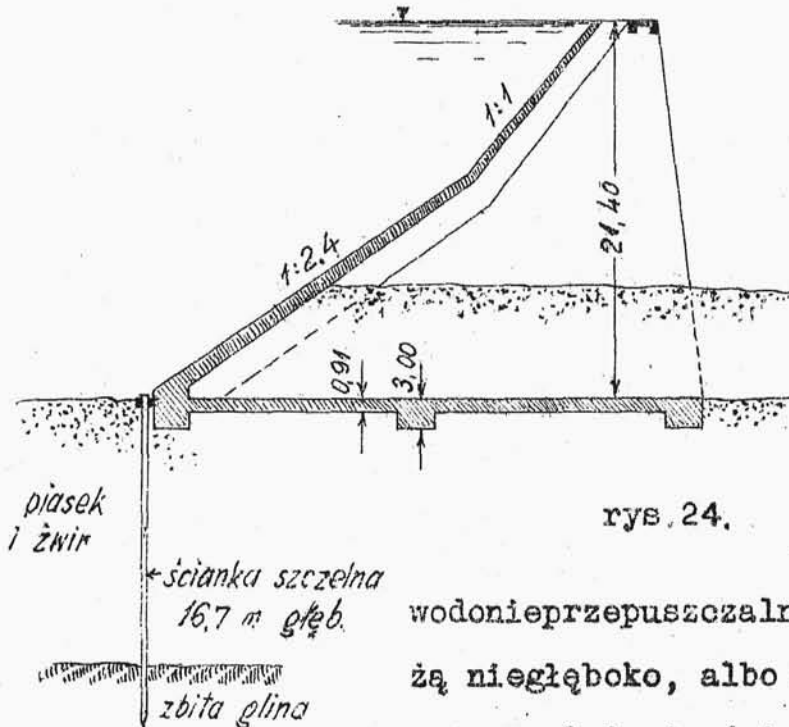
łuków z filarami mowy być nie może. W ten sposób projektowana i liczona jest duża liczba zapór włoskich, których żelbetowe sklepienia opierają się o filary wykonane z kamieni ciosowych /np. zaporą na rz. Tirso w Sardynii/.

Fundamenty.

Filary należy dobrze posadowić, opierając je na skale. Zwykle każdy filar ma swój osobny fundament.

Jeśli grunt nie wykazuje dostatecznej wytrzymałości /grunty piaszczyste/, to filary i całą zapórę wznosi się na ciągłej płycie fundamentowej /rys.24/. Aby w takim wypadku przeciwdziałać przeciekaniu wody pod zapórą i powstawaniu wyporu, należy zamknąć wodzie drogę pod zapórą przy pomocy muru czołowego, ostrogi /rys.25/ - o ile warstwy

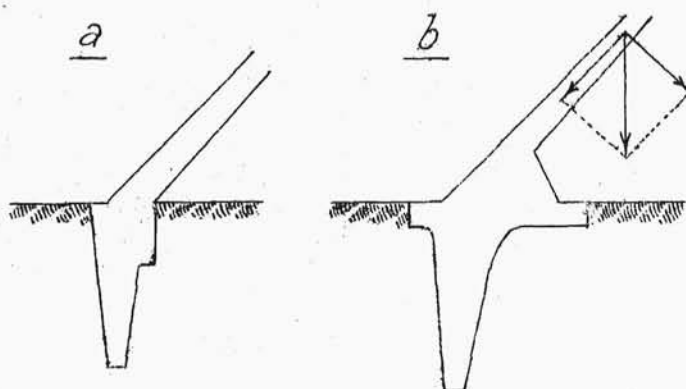
Sherman-Island



rys. 24.

wodoniempuszczalne le-
żą niegłęboko, albo nawet
przez założenie ścianki
szczelnej /rys.24/, gdy
pokłady nieprzepuszczalne znajdują się bardzo
głęboko.

Ostrogę wykonywa się zawsze, nawet wtedy
gdy zapora stoi wprost na skale. Ściankę szczel-
ną wbija się od strony wody, lecz można również
wbić drugą na przeciwnej krawędzi płyty funda-
mentowej t.j. od strony powietrza. Linia ścian-
ki szczelnej i ostrogi w planie ma kształt sze-
regu łuków eliptycznych stykających się wezgio-
wiami.



rys. 25.

Ponieważ nawet przez najszczelniejsze ścianki woda będzie przeciekała, więc w obliczeniu zapory /filarów i płyty fundamentowej/ należy uwzględnić pewną część wyporu. Nie uwalnia od tego pozostawienie w płycie otworów dla odprowadzenia wody, która się dostała pod płytę fundamentową /porów.rozdz.o zaporach krytych płytami/.

Dla zwiększenia ciężaru płyty w Scherman - Island obciążono ją warstwą grubego piasku, przez który mogła przeciekać woda /rys.24/.

Płyta fundamentowa jest z zasady żelbetowa i posiada od spodu żebra. /rys.24/ równoległe do osi zapory. Żebra te usztywniają płytę i powiększają opór tarcia /zwiększają zabezpieczenie przed poślizgiem/. Należy tylko sprawdzić, czy zaporą nie przesunie się mimo wykonania że-

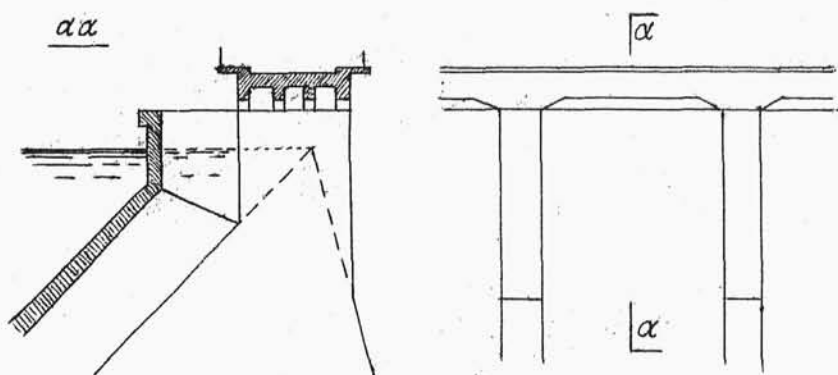
ber, co zdarzyć się może w gruncie mało spoistym, gdy górna warstwa ziemi znajdująca się między żebrami zostanie odcięta od warstw niższych i pozostanie między żebrami przy przesunięciu się zapory.

Ostroga przedstawiona na rys.25^a jest najprostszy typem i stosowana jest w gruntach skalistych. Typ pokazany na rys.25^b stosuje się w gruntach słabszych i stanowi odpowiedni fundament dla przejęcia składowej ciężaru własnego sklepienia, równoległej do osi sklepienia /chodzi głównie o rozłożenie tego nacisku na większą powierzchnię/.

Dla powiększenia zabezpieczenia przed poślizgiem pożądane jest zakotwienie fundamentu filara w skale przy pomocy kotew wpuszczonych jednym końcem i zabetonowanych w otworach wywierconych w skale, a drugim końcem tkwiących w betonowym masywie filara.

Korona zapory.

Korona zapory może być w rozmaity sposób wykonana. Zwykle na wierzchołku trójkątnego filara nadbudowuje się część prostokątną, aby stworzyć



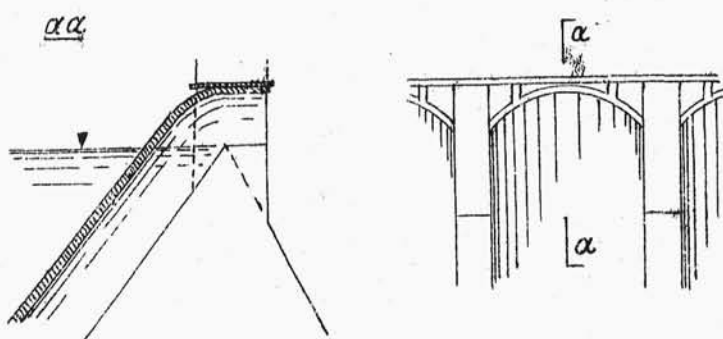
rys.26.

odpowiednią szerokość dla podparcia mostu /rys. 26,27 i 28/. Czasami filar otrzymuje kształt trapezowy /rys.5/.

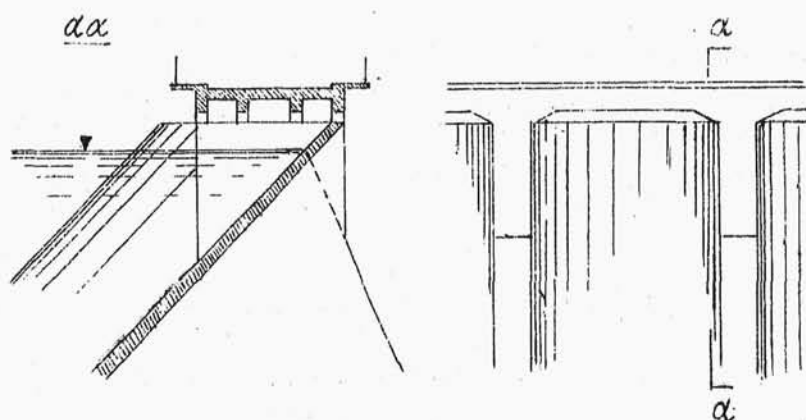
Pomost w koronie zapory, pomijając względy komunikacyjne, potrzebny jest dla połączenia i usztywnienia filarów w kierunku osi zapory.

Nadbudowana część filarów znajduje się w większej swej części od strony wody /rys.26 i 28/, gdyż z tej strony pochylenie krawędzi filara jest mniej strome, więc część nadbudowana nie sięga głęboko, zatem nie wymaga dużych ilości materiału.

Na rys.26 /także na rys.7 i 21/ górna część sklepienia jest pionowa, co komplikuje nieco i podraża konstrukcję, nie dając wyraźnych korzyści /porów.str.18.....20, ustępy omawiające zmien-



rys. 27.



rys. 28.

ne pochylenie sklepień; porów. także przykład liczbowy na str. 66 /.

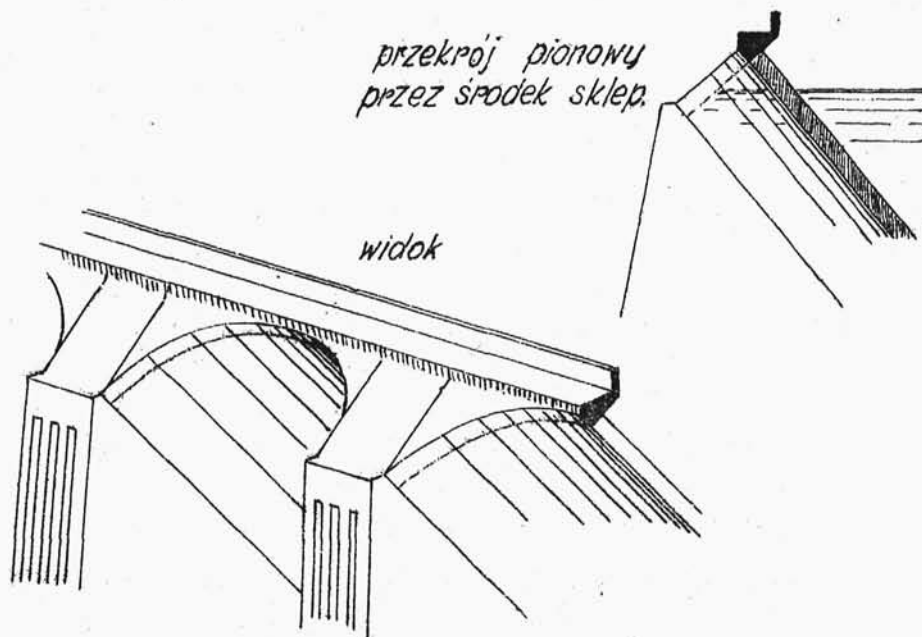
Rys. 27 przedstawia konstrukcję w której sklepienie przechodzi w łuk mostu, zapora jest więc od góry zamknięta. Nadbudowane filarki pomostu są widoczne od strony wody między sklepieniami.

Na rys. 28 pokazane jest rozwiązanie podobne

do tego, co na rys.26, tylko sklepienie nie zmienia pochylenia i dochodzi pod pomost. To rozwiązanie jest najbardziej celowe i najtańsze.

Sklepienie powinno być pozostawione otwarte od góry /jak na rys.5 i 24/, gdyż wtedy stan podniebienia łuku można obserwować z góry. Dobrze jest jednak poza tym wykonać żelazną drabinkę pod sklepieniem, by je uczynić całkowicie dostępne.

Most na koronie jest zwykle łukowy /względy estetyczne/. Korzystny jest również most belkowy, który posiada wielką sztywność w kierunku podłużnym i przez to także dobrze stępa filary.



rys.29.

Inż Cochrane zaprojektował wykonanie korony w sposób pokazany na rys.29. Sklepienia są w koronie ścięte prostopadłe do swej osi, a przestrzeń między ich krawędzią a mostkiem przykryta jest płytą żelbetową. Przy takim rozwiązaniu sklepienia są w koronie bardzo silnie stężone.

O b l i c z e n i e s t a t y c z n e
s k l e p i e ń .

Wstęp.

Celem obliczenia sklepienia zapory o łukach wielokrotnych dzielimy sklepienie płaszczyznami prostopadłymi do osi sklepienia na elementy łukowe o szerokości $= 1$, mierzonej pochyło, równoległe do osi sklepienia /porów.rys.40/. Tak wycięte łuki obliczamy według zasad teorii sprężystości jako łuki bezprzegubowe, zamocowane na końcach i niezależne od siebie.

Jakkolwiek ostatnie założenie jest fałszywe, bo poszczególne łuki stanowią jedną konstrukcyjną całość współpracującą ze sobą, jednakże do takiego uproszczenia upoważnia mała rozpiętość sklepienia i stosunkowo nieznaczna jego grubość.

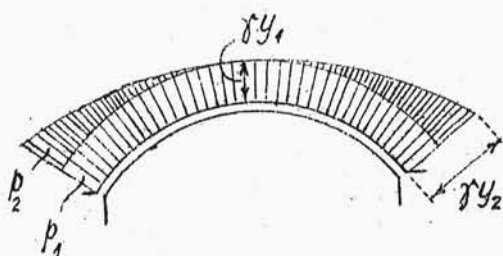
Łuki w przekrojach najniższych - jako bardzo grube - nie będą się prawdopodobnie zachowywać tak, jak łuki elastyczne, lecz raczej jak zakrzywiona belka. Jednakże i tę nieścisłość w rachunku pomijamy.

Grubością łuku nazywamy wymiar d mierzony wzdłuż promienia - porów.rys.34.

W obliczeniu statycznym uwzględniamy następujące siły zewnętrzne:

1. parcie wody rozłożone równomiernie wzdłuż całego łuku,
2. parcie wody niejednostajnie rozłożone,
3. ciężar własny,
4. siły wywołane zmianami temperatury zewnętrznej,
5. siły wywołane skurczem betonu,
6. siły wywołane różnicą temperatury innej z każdej strony łuku.

Parcie wody - wskutek rozpatrywania przekroju pochyłego - jest niejednakowe w wezglowiu i zworniku /rys.11/. W obliczeniu poniższym osobno uwzględnione będzie parcie wody jednostajne / p_1 na rys. 30/, odpowiadające ciśnieniu hydrostatycznemu w zworniku, oraz osobno ustalony będzie wpływ pozostałej części parcia / p_2 / nierównomiernie rozło-



rys. 30.

zonego, albo też, popelniając mało znaczący błąd, zakładamy równomierne obciążenie całego łuku średnim parciem wody $p_1 + \frac{p_2}{2}$;

Łuki zapór o łukach wielokrotnych są z zasady łukami kołowymi i o takich tylko będzie tutaj mowa.

Obliczenie łuku bezprzegubowego.

W rozdziale niniejszym podana jest w krótkości teoria sprężystości łuku bezprzegubowego w zastosowaniu do zapór o łukach wielokrotnych.

Rozpatrzmy równowagę odciętej przekrojem x lewej części łuku /rys. 31/. Dla utrzymania równowagi muszą być spełnione dwa warunki:

- I - przekrój x nie może doznać obrotu,
- II - przekrój x nie może doznać przesunięcia poziomego.

Kwestia przesunięcia pionowego jest pominięta, gdyż składowa pionowa reakcji w węzłowie jest statycznie wyznaczalna wobec symetrii łuku i obciążeń. Łuk jest więc dwukrotnie sta-

tycznie niewyznaczalny: dwie wielkości hiperstatyczne to

X - rozpór poziomy i

M_0 - moment podporowy.

Obie te wielkości wyobrażamy sobie jako działające w środku ciężkości łuku, z którym to środkiem stale związany jest przekrój x . Jednocześnie środek ciężkości jest początkiem układu współrzędnych:

$$y_0 = \frac{\int y' ds}{\int ds};$$

Dwa wymienione wyżej warunki równowagi wyrażają się następującymi równaniami:

$$\text{I} \quad \frac{1}{EJ} \int M. ds = 0; \quad \text{albo wprost} \quad \int M. ds = 0;$$

$$\text{II} \quad \frac{1}{EJ} \int M.y. ds + \frac{1}{EA} \int N. ds. \cos \xi = 0$$

W równaniach tych przyjęto, że E , J i A są stałe na całej długości łuku. / E jest współczynnikiem sprężystości materiału, z którego wykonane jest sklepienie, A - jest polem przekroju łuku, a J - jego momentem bezwładności/.

Wielkości M i N są: momentem gnącym i siłą normalną w dowolnym punkcie K o rzędnej y /rys.31/

$$M = M_0 + m\bar{x} + X \cdot y ;$$

$$N = \bar{x} + X \cdot \cos \xi ;$$

gdzie m i \bar{x} oznaczają moment gnący i siłę normalną w tymże punkcie K , lecz wyznaczone dla układu zastępczego, statycznie wyznaczalnego. Wobec tego

$$\int M \cdot ds = M_0 \int ds + \int m \bar{x} \cdot ds + X \int y \cdot ds = 0 ;$$

$\int y \cdot ds = 0$ ponieważ wyraża moment statyczny łuku względem jego środka ciężkości. Otrzymujemy więc

$$M_0 = - \frac{\int m \bar{x} \cdot ds}{\int ds} ;$$

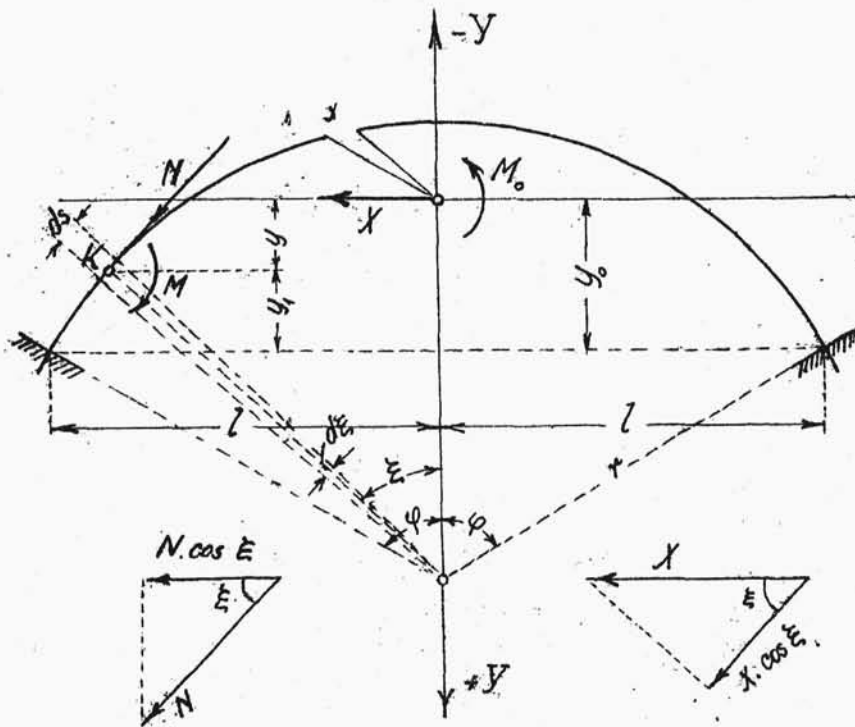
Drugi warunek:

$$\begin{aligned} \frac{M_0}{EJ} \int y \cdot ds + \frac{1}{EJ} \int m \bar{x} \cdot y \cdot ds + \frac{X}{EJ} \int y^2 \cdot ds + \\ + \frac{1}{EA} \int \bar{x} \cdot \cos \xi \cdot ds + \frac{X}{AE} \int \cos^2 \xi \cdot ds = 0 ; \end{aligned}$$

stąd otrzymujemy, pamiętając że $\int y \cdot ds = 0$

$$X = \frac{\frac{A}{J} \int m \bar{x} \cdot y \cdot ds + \int \bar{x} \cdot \cos \xi \cdot ds}{\frac{A}{J} \int y^2 \cdot ds + \int \cos^2 \xi \cdot ds} ;$$

Dalsze przekształcenia podane są na podstawie dzieła "Staumauern" Kelena.



rys.31.

Mianowniki obu wyprowadzonych wyżej wzorów są stałe dla łuku o określonych wymiarach. Można je więc przedstawić w następującej formie:

$$1/ \int ds = \int_{-\varphi}^{+\varphi} r \cdot d\xi = 2 \cdot r \cdot \varphi ;$$

φ - w radianach.

Do wyznaczenia całek mianownika wyrażenia na X trzeba wpierw określić y /rys.31/

$$y' = r \cdot \cos \xi - r \cdot \cos \varphi = r \cdot (\cos \xi - \cos \varphi) ;$$

$$y_0 = \frac{\int y' ds}{\int ds} = \frac{r^2 \int_{-\varphi}^{+\varphi} (\cos \xi - \cos \varphi) d\xi}{2r\varphi} =$$

$$= r \left(\frac{\sin \varphi}{\varphi} - \cos \varphi \right);$$

$$y = r \cos \varphi + y_0 - r \cos \xi = r \left(\frac{\sin \varphi}{\varphi} - \cos \xi \right);$$

ponieważ grubość łuku = d , a szerokość = 1,

więc $A = d$; $J = \frac{d^3}{12}$;

oraz całki

$$2/ \quad \frac{A}{J} \int y^2 ds = \frac{12}{d^2} \cdot r^3 \int_{-\varphi}^{+\varphi} \left(\frac{\sin \varphi}{\varphi} - \cos \xi \right)^2 d\xi =$$

$$\frac{12 r^3}{d^2} \cdot k_1;$$

gdzie stała $k_1 = \frac{\sin 2\varphi}{2} + \varphi - 2 \frac{\sin^2 \varphi}{\varphi}$;

$$3/ \quad \int \cos^2 \xi \cdot ds = r \int_{-\varphi}^{+\varphi} \cos^2 \xi \cdot d\xi = r \cdot k_2;$$

$$k_2 = \frac{\sin 2\varphi}{2} + \varphi;$$

Ponieważ wygodniej jest operować rozpiętością łuku niż jego promieniem, więc trzy powyższe całki przekształcamy jeszcze raz, wprowadzając zależność

$d = \delta \cdot l;$

a. że $r = \frac{l}{\sin \varphi}$ więc

$$1/ \quad \int ds = \frac{2\varphi}{\sin \varphi} \cdot l ;$$

$$y_0 = l \left(\frac{1}{\varphi} - \operatorname{ctg} \varphi \right) ;$$

$$2/ \quad \frac{A}{J} \int y^2 ds = \frac{12}{\delta^2 \sin^3 \varphi} \cdot l \cdot k_1 ;$$

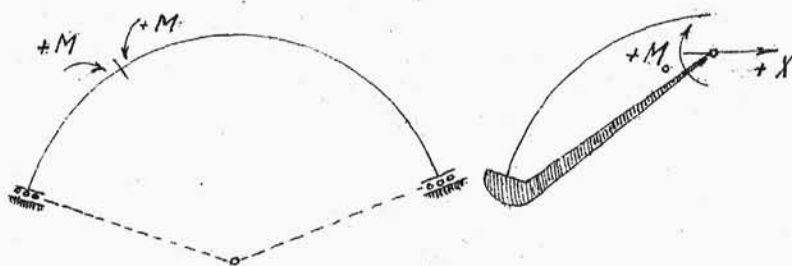
$$3/ \quad \int \cos^2 \xi \cdot ds = \frac{1}{\sin \varphi} \cdot l \cdot k_2 ;$$

Otrzymuje się zatem wzory następujące:

$$M_0 = - \frac{\int m \cdot ds}{\frac{2\varphi}{\sin \varphi} \cdot l} ;$$

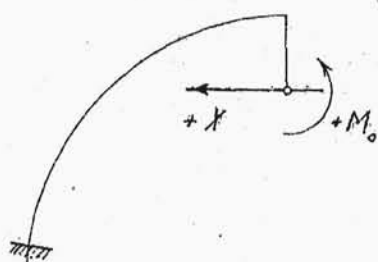
$$\chi = \frac{\frac{12}{\delta^2 l^2} \int m \cdot y \cdot ds + \int m \cdot \cos \xi \cdot ds}{\left(\frac{12}{\delta^2 \sin^3 \varphi} \cdot k_1 + \frac{1}{\sin \varphi} \cdot k_2 \right) \cdot l} ;$$

Celem obliczenia liczników powyższych wzorów należy założyć pewien układ zastępczy, statycznie wyznaczalny. Dla obciążeń równomiernych przyjmujemy łuk o obu końcach przesuwnych w kierunku promienia /rys.32/. Wpływ zamocowania końca łuku wyobrażamy sobie jako efekt połączenia końca łuku ze środkiem ciężkości, w którym



rys. 32.

działa M_0 oraz X



rys. 33.

Dla obciążeń nierównomiernych wygodniej jest przyjąć układ jak na rys. 33, przy czym środek łuku związany jest ze środkiem ciężkości.

W obliczeniach przyjmujemy moment gnący wtedy za dodatni, gdy zmniejsza krzywiznę /rys. 32/ t. zn. gdy od strony grzbietu łuku otrzymujemy naprężenia ściskające. Wskutek takiego założenia w obu układach zastępczych dodatnie kierunki rozporu X i momentu podporowego M_0 są odmiennie.

Równomierne parcie wody.

Obliczenie wielkości hiperstatycznych.

Powyższe teoretyczne rozważania odnosiły się