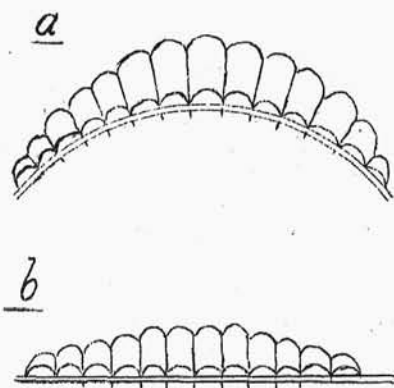


porę, wcinając się w stok doliny /rys.8/. Przez przelew można przepuścić  $8000 \text{ m}^3/\text{sek}$ . Szczegółowy opis znajduje się w Engineering News Record z dn. 4 września 1919 r.

## S z c z e g ó ł y   k o n s t r u k c y j n e .

### Kształt zapory w planie.

Zapory o łukach wielokrotnych z zasady wykonywa się w linii prostej /rys.9<sup>b</sup>/, gdyż wtedy budowa jest ekonomiczniejsza: zapora jest krótka, wychodzi mało materiału i upraszcza się się urządzenia do transportu betonu.



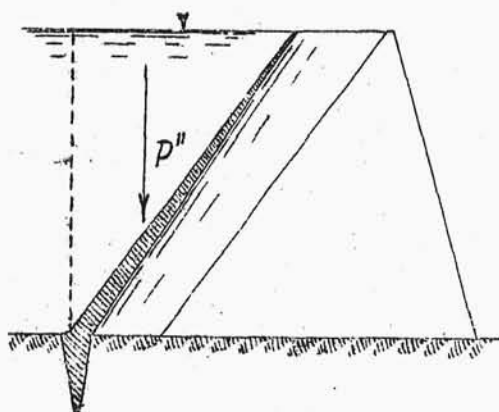
rys.9

### Sklepienia.

#### Kształt sklepień

Sklepienia opierające się na filarach stanowią właściwą konstrukcję piętrzącą, bezpośrednio obciążoną parciem wody. Łuki przenoszą parcie hydrostatyczne na filary, a te z kolei na grunt.

Początkowo stosowano sklepienia o osi pionowej /rys.6/, obecnie sklepienia są z zasady nachylone do poziomu /rys.10/, a to celem wykorzystania



rys. 10.

składowej pionowej parcia wody dla zwiększenia stateczności zapory /zapory o łukach wielokrotnych są bardzo lekkie/.

Poza tym przy takiej konstrukcji uzyskuje się racjonalniejsze przeniesienie parcia wody na grunt.

Sklepienie może być wykonane w najrozmaitszej formie. Najprostszą formę otrzyma się wtedy, gdy powierzchnia zewnętrzna będzie wykonana jako powierzchnia cylindryczna, a powierzchnia wewnętrzna będzie stożkowa /grubość sklepienia zwiększa się liniowo/. Takie rozwiązanie jest szczególnie wtedy wygodne, gdy grubość filara /z jednego boku/ wzrasta mniej więcej w tym samym stosunku co grubość sklepienia, a więc gdy

$$d_1 - d_2 \cong \frac{a_1 - a_2}{2} ;$$

gdzie:  $d_1$  - jest grubością sklepienia w najniższym przekroju,

$d_2$  - grubość sklepienia w koronie,

$a_1$  - grubość filara u spodu,

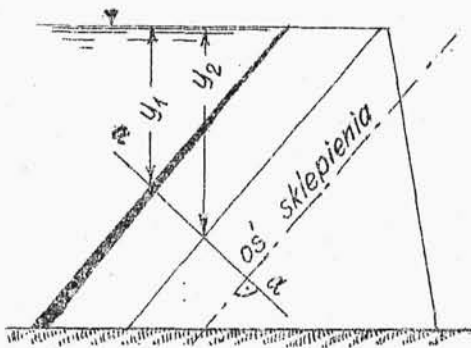
$a_2$  - " " u góry,

/porów. rys. 45 i 53/.

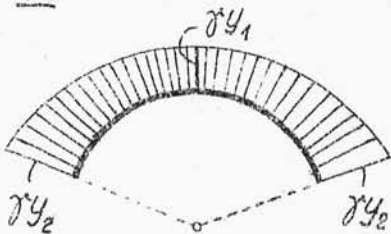
Jeśli przyrost grubości filarów jest inny niż sklepienia, wtedy powstanie pewien odstęp między wewnętrznym punktem wierzchołka a krawędzią filara. Odstęp ten będzie większy w większych głębokościach. Gdy odstęp ten nie jest zbyt duży, można zachować cylindryczny kształt zewnętrznej powierzchni sklepienia. W przeciwnym razie jako cylindryczną należy wykonać powierzchnię wewnętrzną, co ma tę korzyść, że całe podniebienie może być wykonane przy pomocy jednej krawędzi. Przy takim rozwiązaniu filary otrzymują stałą grubość na całej swej wysokości.

Ostatnio zaczęto stosować filary wewnątrz puste, żelbetowe albo też murowane pełne, o ścianach zewnętrznych pionowych /rys. 18/, które pozwalają na stosowanie sklepień o stałym promieniu podniebienia bez większych niedogodności. To rozwiązanie ma dodatkową zaletę w zwiększeniu stateczności filara, który staje się dostatecznie sztywny.

Sklepienie oblicza się w płaszczyznach prostopadłych do osi sklepienia /rys.11/, wskutek czego parcie wody nie będzie jednostajnie rozłożone na całej rozpiętości łuku, gdyż z powodu pochylenia



aa



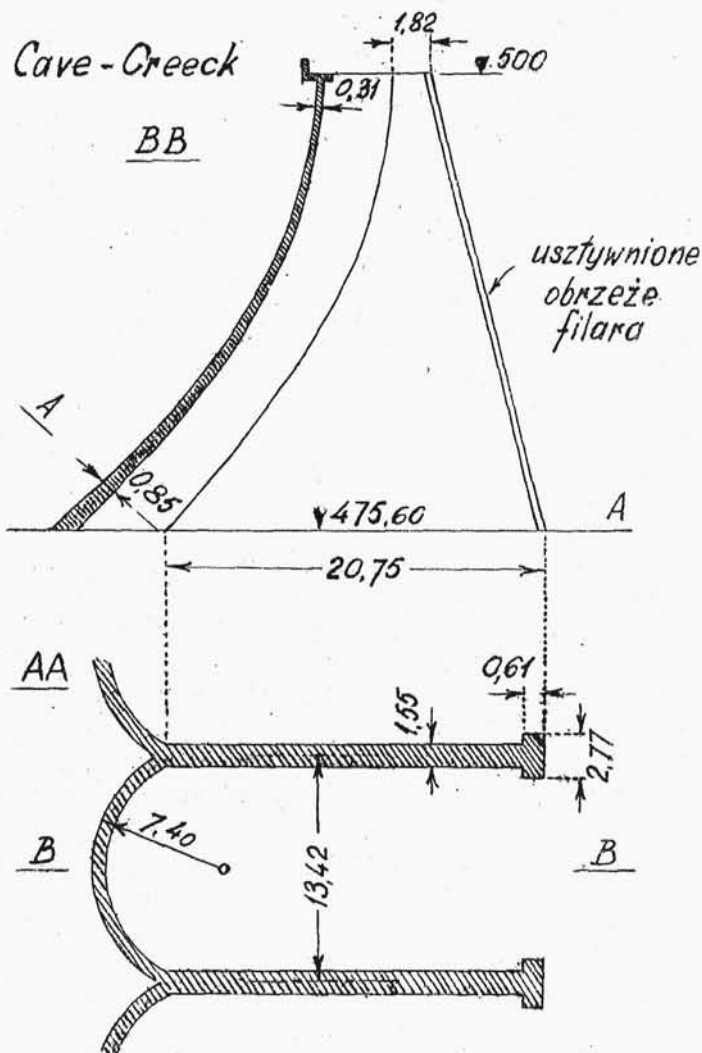
rys. 11

sklepienia wezglowia w przekroju obliczeniowym znajdują się głębiej niż zwornik ( $y_2 > y_1$ ).

Wpływ niejednostajnie rozłożonego parcia wody jest niekorzystny szczególnie w górnych częściach zapory /porów. poniżej "obliczenie łuku"/, więc kilka zapór wykonano ze sklepieniem zakrzywionym /rys.12/ o nieznacznym pochyleniu

w koronie, stopniowo wzrastającym wraz z głębokością. W takiej konstrukcji w górnych przekrojach parcie wody jest rozłożone równomiernie. W ten sposób wykonano zapory Cave - Creeck, Phönix, Arizona w Ameryce.

Dla tych samych powodów, co wyżej podane, zapo-



rys.12

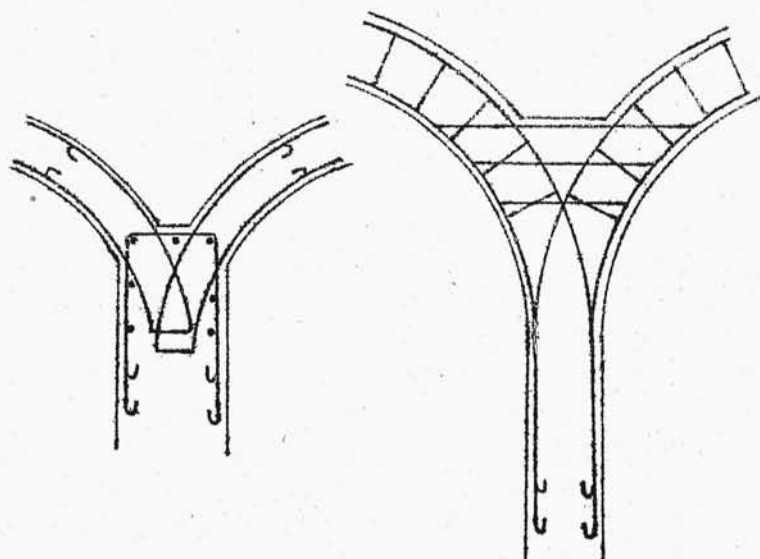
ra przedstawiona na rys.24 posiada sklepienie załamane o innym, stromszym nachyleniu w swej części wyższej, a innym - w niższej.

Sposoby te jednak nie są godne polecenia, gdyż w miejscu załamania sklepienia /rys.24/ występują duże naprężenia ścinające, a wykonanie skle-

pień w zmiennym nachyleniu /rys.12/ jest bardzo kosztowne ze względu na skomplikowane szalowanie. Wpływ nierównomiernego obciążenia łuku, jak wspomniano, jest największy blisko poziomu piętrzenia, tam jednak ze względów konstrukcyjnych grubości łuku są duże, w stosunku do występujących sił za duże i materiał nie jest wyzyskany. W niższych przekrojach stosunek  $\frac{y_1}{y_2}$  staje się coraz bliższy jedności, wpływ zatem nierównomierności obciążenia zanika.

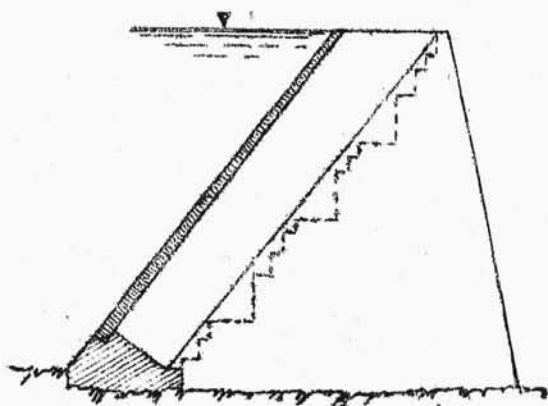
#### Połączenie łuków z filarem.

Sklepienia są połączone sztywno z filarami, tworząc z nimi jedną całość /rys.13/. Monolitycz-



rys.13.

ność konstrukcji zapewniają wkładki stalowe, przechodzące z filarów do łuków i odpowiednio związane z głównym ich zbrojeniem. Dla lepszego połączenia łuków z filarami - tym ostatnim nadaje się zazwyczajony kształt w linii węzłowi łuków /rys.14/.



rys.14.

Szczegół ten ma znaczenie tylko wtedy, gdy łuki betonowane są później, już po wykonaniu filarów.

Sztywne połączenie łuków z filarem ma tę wadę, że powoduje powstawanie ujemnych naprężeń

także w korpusie filara /w jego części odwodnej/. Ma to miejsce wtedy, gdy łuk kurczy się pod wpływem spadku temperatury oraz skurczu betonu. Aby uniknąć mogących stąd powstać pęknięć w węzłach łuków, można wykonać łuki ciągle, powiązane ze sobą, lecz nie połączone z filarami /rys.15/. Naprężenia ujemne występują tylko w płycie węzłowej, gdzie mogą być przejęte przez odpowiednie zbrojenie. Filar jest od tych naprężeń wolny.

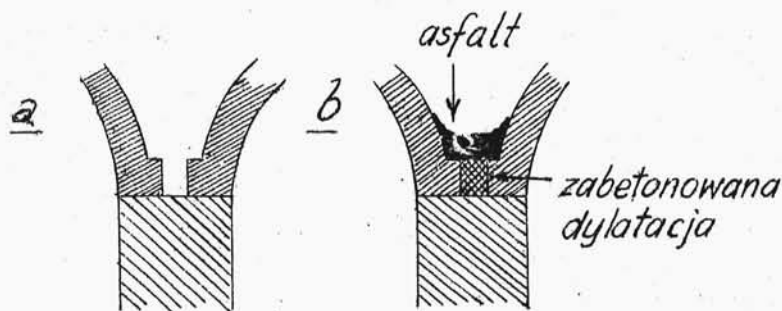
*Scoltenna*



rys.15.

W ten sposób wykonano zapory w Tirso i Scoltenna we Włoszech. Gdyby filar nie był dostatecznie gruby dla oparcia łuków ciągłych, można go pogrubić na krawędzi od strony wody /jak w zaporach krytych płytami; porów. odpow. rozdz./.

Konstrukcja łuków ciągłych przedstawiona wyżej pozwala łatwo wykonać dylatację przez przerwanie płyty wezłowiowej /rys.16<sup>a</sup> /. Po pewnym czasie przerwę między sklepieniami zabetonowuje



rys.16.



się, a całość zalewa asfaltem dla uzyskania szczelności /rys.16<sup>b</sup> /. Dylatacje opisane są obszernie w III części niniejszego skryptu, w osobnym rozdziale.

Aby uniknąć szkodliwych wpływów zmian temperatury i skurczu betonu, próbowano wykonywać sklepienia jako łuki trójjprzegubowe. Konstrukcję tę jednak zarzucono jako nieodpowiednią pod wodą, nie pozwalającą na uzyskanie szczelności.

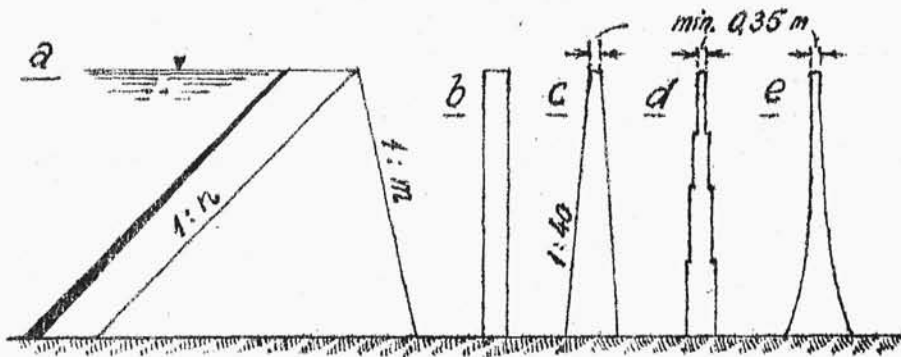
#### Uszczelnienie sklepień.

Szczelność cienkich sklepień uzyskuje się przeważnie przy pomocy powłoki betonu natryskowego /torkretu/, albo przy pomocy specjalnej warstwy wodoszczelnej /z rozmaitych preparatów asfaltowo - smołowych/, przykrywających odwodną powierzchnię sklepienia. Szczegółowe omówienie sposobów, mających na celu uszczelnienie zapory, znajduje się w cz.III skryptu.

#### Filary.

##### Kształt filarów.

Kształt filarów w zaporach o łukach wielokrotnych jest z zasady trójkątny jako najprostszy /rys. 17<sup>a</sup> /. Jeśli w koronie zapory przebiega droga, wów-



rys. 17.

czas filary otrzymują niekiedy kształt trapezowy /rys. 5/.

Pochylenie krawędzi filarów od strony wody /  $1 : n$  / = potrzebne ze względu na zapewnienie stateczności zaporze, która jest stosunkowo lekka - daje się od  $n=0,7$  do  $n=1,0$  zależnie od rodzaju gruntu. Przeciwno zbyt dużemu pochyleniu sklepienia /duże  $n$ /przemawiają względy ekonomiczne, gdyż wtedy sklepienie wydłuża się, co powoduje powiększenie objętości betonu i wzrost kosztów szalowania.

Pochylenie od strony powietrza stosuje się strome:  $m = 0,1 \dots 0,4$  . Jeśli sklepienia mają zmienne pochylenie, to oczywiście krawędź odwodna filarów, która stanowi linię wezglów dla łuków, otrzymuje ten sam kształt /rys. 12 i 24/.

Nachylenia krawędzi filarów obiera się takie, aby wypadkowa sił pionowych oraz parcia wody przechodziła blisko środka podstawy filara przy różnych poziomach napełnienia zbiornika wodą.

Co się tyczy przekroju poprzecznego filara, to najprostszy byłby filar o jednakowej grubości na całej wysokości /rys.17<sup>b</sup>/. Nie jest to jednak ekonomiczne szczególnie przy wysokich filarach.

Grubość filara w każdym jego przekroju poziomym normujemy odpowiednio do sił występujących w tym przekroju. Racjonalny jest więc kształt filara o grubości zwiększającej się liniowo od korony do podstawy /rys.17<sup>c</sup>/.

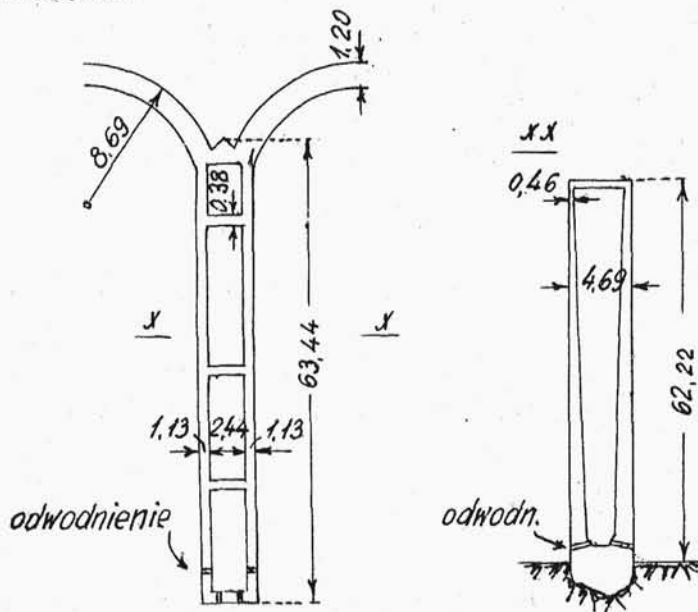
Pochylenie ścian bocznych filara stosuje się około 1 : 40 . Można też powiększać grubość filara wg paraboli lub hyperboli /rys.17<sup>e</sup>/, tak że filary są u góry cienkie, o grubości mało zmiennej, dopiero blisko podstawy wyraźnie się poszerzają i otrzymują jeszcze większą podstawę niż w wypadku prostoliniowego powiększania grubości. Aby nie wykonywać powierzchni krzywej, pogrubia się filar skokami, odsadzkami /rys.17<sup>d</sup>/, założonymi w tych samych poziomach, na których zmienia się grubość łuków. Pomiedzy odsadzkami grubość sklepienia i

filara oraz rozpiętość łuku są stałe.

Najmniejsza grubość filarów u góry, w koronie jest około 0,35 m.

Ostatnio stworzono typ filara wewnątrz pustego /rys.18/, który odznacza się dużą sztywnością, potrzebuje stosunkowo niewiele materiału, posiada zewnętrzne ściany pionowe, co upraszcza deskiowanie filara, wreszcie przy takiej konstrukcji filarów rozpiętość łuków w świetle jest jednakowa na całej wysokości zapory, co także upraszcza jej wykonanie /podniebienie sklepienia może otrzymać jednakową krzywiznę na całej wysokości/.

*Horseshoe*



rys.18.

Filary wewnątrz puste wykonane są jako cienkie ścianki z żelbetu, wobec czego potrzebują wzmocnienia belkami stężającymi. U spodu filarów wewnątrz pustych pozostawia się otwory dla odprowadzenia wody spod filarów i z ich wnętrza /celem przeciwdziałania powstawaniu wyporu/.

Wobec tego, że wypadkowa sił działających na filar przy różnych stanach wody w zbiorniku mało się odsuwa od środka przekroju filara, naprężenia w nim są bardzo równomiernie rozłożone i osiągają niewielką bezwzględną wartość, stąd wypadają nieduże grubości filarów i beton użyty do budowy filarów mógłby być o mniejszej wytrzymałości od betonu stosowanego do sklepień. Należy jednak zawsze pamiętać o tym, że w wypadku powstania wyporu lub spiętrzenia wody ponad poziom normalny przyjęty w obliczeniu - na krawędzi od strony wody mogłoby wystąpić rozciąganie i tam byłby wymagany beton lepszy niezależnie od odpowiednio rozmieszczonych wkładek stalowych. Gdy jednak cienkie ściany filarów są silnie narażone na niszczące wpływy atmosferyczne, zawartość cementu w filarach musi być znacznie wyższa niż by tego wymagała po-

trzebna wytrzymałość konstrukcji.

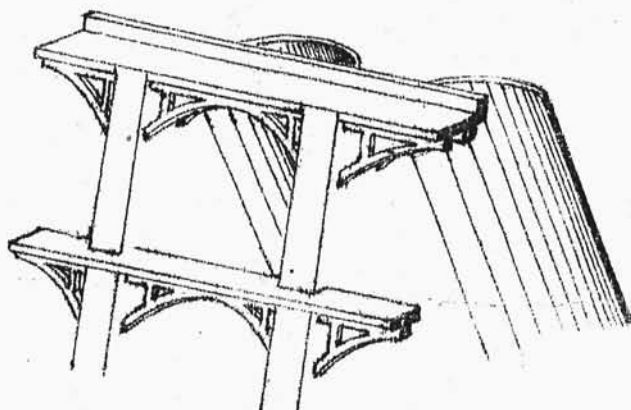
Pręty zbrojenia filara, biegnące wzdłuż krawędzi od strony wody muszą być silnie zakotwione w skale, aby ewentualnie mogły przejąć naprężenia rozciągające.

Dylatacje w filarze /kierunki ich przebiegu/ winny być jak najlepiej dostosowane do kierunków działania naprężeń głównych /porów.odpow.rozdz. przy omawianiu zapór krytych płytami i kopulas - tych/.

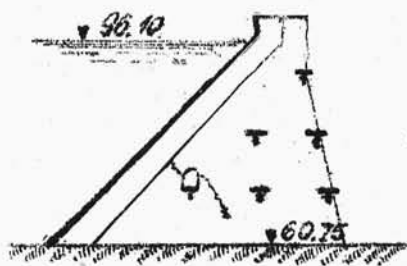
#### Wzmocnienie filarów.

Filary są bardzo cienkie w porównaniu do swej wysokości, a przez to mało sztywne. Aby uzyskać większą sztywność filarów, a więc i całej zapory, stosuje się połączenie filarów ze sobą belkami stężającymi żelbetowymi, prostokątnymi, trójkątnymi /rys.7,8 i 20/, lub łukowymi /rys.19/. Rolę belki stężającej gra także pomost przerzucony górą, w koronie zapory.

Niektóre belki stanowią chodniki rewizyjne dla kontrolowania stanu sklepienia. Umieszczenie galeryjki rewizyjnej zbyt blisko wezłowi łuków jest niewłaściwe, gdyż występujące w tym miejscu



rys.19.



rys.20.

filara naprężenia ścinające łatwo spowodować mogą pęknięcie filara osłabionego otworem przejściowym /rys.20/.

Jeśli łuki nie są związane z filarami, lecz tylko spoczywają na nich swobodnie /rys.15/, wtedy belki stężające należy umieścić także bezpośrednio koło linii wez-głowi /jest to niepotrzebne w tych zaporach, gdzie filary i sklepienia tworzą jedną całość, gdyż tam krawędź odwodna filarów usztywniona jest sklepieniami/.

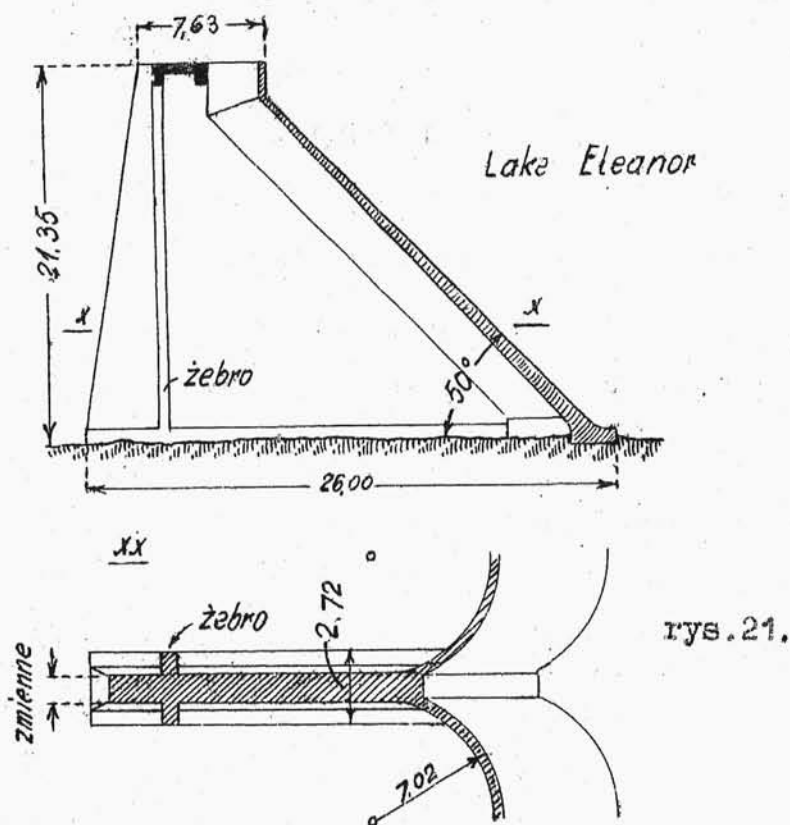
Wskutek zmian temperatury i skurczu betonu powstają w belkach stężających siły wewnętrzne, które mogą wywołać drugorzędne naprężenia w filarze. Nie mają one jednak większego znaczenia z

wyjątkiem naprężeń rozciągających, powstających w filarze w miejscu połączenia z belkami stężającymi.

Poza belkami stężącymi dla wzmocnienia wysokich filarów i zmniejszenia niebezpieczeństwa ich wyboczenia stosuje się żebra, przebiegające pionowo przez całą wysokość zapory /rys.21/, albo też zgrubienia obrzeża filara na krawędzi odpo- wietrznej /rys.12/.

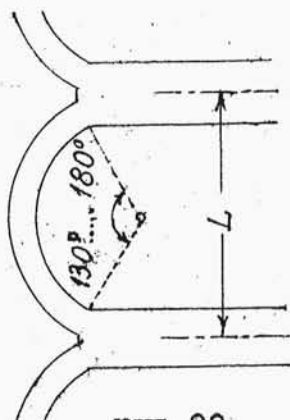
#### Rozstaw filarów.

Rozstaw filarów wynosi  $L =$  od 18 do 22 m





/rys.22/, natomiast odległość między filarami w świetle zależy od kąta środkowego łuku i powinna być taka, by uzyskać minimum objętości muru. To minimum otrzymuje się dla



rys.22.

kąta środkowego zawartego w granicach od  $130^{\circ}$  do  $180^{\circ}$  /porów.ustęp "Wymiarowanie sklepienia"/.

Większy rozstaw filarów stosuje się przy wyższych zaporach. Przy małym rozstawie koszt sklepienia jest nieznaczny, natomiast filary wypadają droższe. Odwrotnie rzecz się ma, gdy rozstaw jest duży.

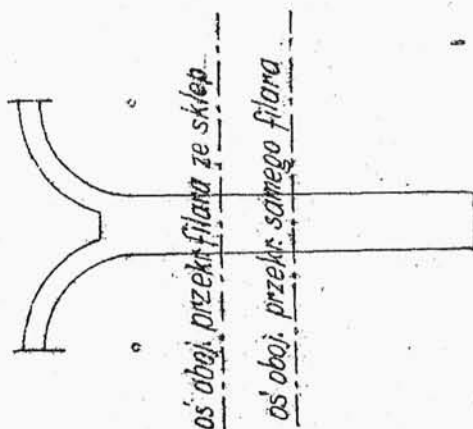
Rozstaw filarów z zasady jest jednakowy. Jeśli trzeba uczynić go różnym np. celem umieszczenia między niektórymi filarami turbogeneratorów /które wymagają dużo miejsca/, wówczas te filary, na których wspierają się łuki o różnej rozpiętości narażone są na działanie sił bocznych, skierowanych równoległe do osi zapory /o ile łuki złączone są z filarami/. W tym wypadku filar narażony będzie na skręcanie. Jeśli łuki nie są złączone

z filarami, wtedy tylko część siły bocznej wskutek tarcia przeniesie się na filar, pozostała część przejdzie na sąsiednie łuki, wywołując w nich dodatkowe naprężenia. Stąd wniosek, że nie należy wykonywać odstępów między filarami znacznie różniących się od siebie.

Na marginesie statycznego obliczenia filara.

Jeśli sklepienia i filary betonowane są jednocześnie, jeśli są ze sobą powiązane należy przy pomocy wkładek stalowych /rys.13/ - wówczas przy obliczaniu naprężeń w filarze można by uwzględnić współpracę sąsiednich połówek sklepień /rys.23/. Jednak z powodu słabych wymiarów sklepień i dużego odstępu skrajnych punktów sklepienia od osi przekroju filara, współpraca przekroju sklepienia z filarem przy przenoszeniu naprężeń w płaszczyznach poziomych jest co najmniej wątpliwa. Dlatego też przyjmuje się, że w przekrojach poziomych sklepienia z filarem nie współpracują.

Grube filary o ściankach zewnętrznych pionowych powinno się betonować najpierw, osobno, aby miały czas dobrze osiąść, i dopiero później



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