

wyrównania kątowych i stycznych odkształceń /zestawienie na str. 335/.

Po wybudowaniu zapory mierzono ściśle odkształcenia. Odkształcenia radialne w okolicy środka łuku odpowiadały połowie wielkości wyliczonych w ostatecznym wyrównaniu, a na prawym przyczółku były równe lub nieco większe od wyliczonych. Wskazywałoby to na to, że odkształcenie skały jest nieco większe niż przyjęte w założeniach /współczynnik sprężystości skały przyjęto za duży/, podczas gdy współczynnik sprężystości betonu jest raczej większy niż przyjęto w założeniu. Co się tyczy odkształceń stycznych, to wielkość ich - zbyt mała w granicach błędu obserwacji - nie pozwoliła na pomiar, jednakże zauważono, że w kierunku lewego przyczółka są one nieco większe niż to wypadało z obliczeń.

U w a g i k o ń c o w e .

Z a s t o s o w a n i e z a p ó r ł u k o w y c h .

Zapory łukowe wymagają daleko mniej /o 20 % do 50 %/ materiału na swoją budowę niż zapory ciężkie tej samej wysokości. Zapory łukowe są bardzo stateczne, bo z racji swego kształtu nie mogą się

przewrócić pod działaniem parcia wody lub wyporu. Z drugiej strony - wskutek niewielkich grubości zapór łukowych a dużych naprężeń, występujących w nich - do budowy trzeba zastosować doborowy materiał /cement wysokiego gatunku/, a wykonanie musi być bardzo staranne. Wykonanie już samo przez się jest kosztowne i trudne wskutek krzywych powierzchni muru.

Zapory łukowe można postawić tylko w wąskich, głębokich dolinach /wąwozach, kanionach/, a oprócz trzeba na skałach dostatecznie wytrzymałych /największe wymagania stawia się stałości równowagi stoków/. Kształt doliny powinien być możliwie zbliżony do kształtu litery *U*, gdyż wtedy odkształcenia zapory zbliżone będą najwięcej do odkształceń cienkościennego sklepienia. W dolinie kształtu *V* daje się odczuwać duży wpływ zamocowania muru zapory w dnie i stokach doliny, zaporą odkształca się raczej jak mur wspornikowy, a wpływ łukowego wygięcia nie ma dominującego znaczenia.

Należy tu zaznaczyć, że dla zapory w dolinie kształtu *U* wypada promień krzywizny i kąt środkowy prawie stały w części górnej, zmniejsza-

jąc się dopiero w najniższych przekrojach. W dolinach kształtu V promień krzywizny zapory jest co raz mniejszy w kolejnych przekrojach od korony zapory do fundamentu.

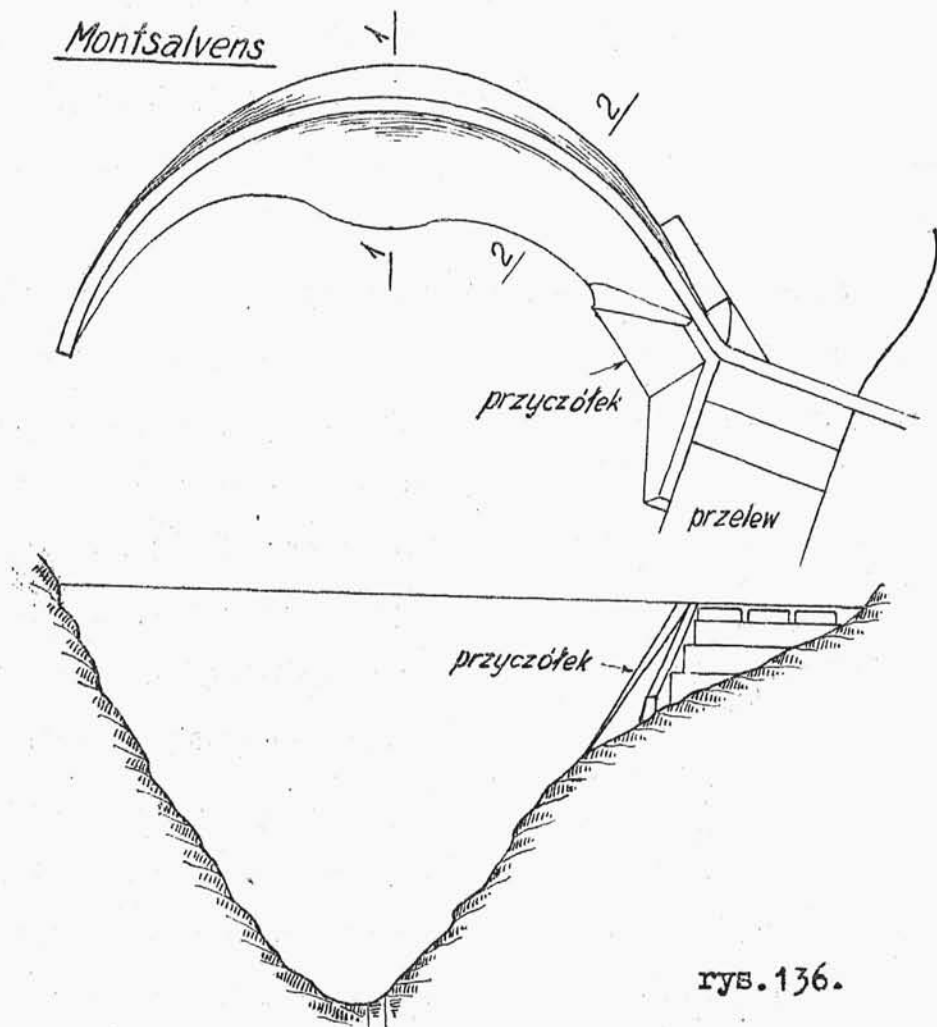
Zapór łukowych nie można budować w dolinach szerokich a płytkich, gdyż wtedy za duży wpływ na wielkość naprężeń ma ciężar własny zapory, która zachowywałaby się raczej jak mur ciężki. W takich warunkach ekonomiczniejsza jest zaporą ciężką /zbudowana w linii prostej/.

Według Résala stosunek szerokości doliny $2.l$
- w koronie zapory - do wysokości zapory

$$\frac{2.l}{H} \leq 2,5;$$

określa doliny odpowiednie do zamknięcia zaporą łukową. W dolinach, dla których stosunek powyższy wyraża się liczbą 3, kształt łukowy zapory nie ma już wielkiego znaczenia. Większość dotychczas wybudowanych zapór łukowych ma rozpiętość /w koronie/ nieprzekraczającą 160 m. Jedynie zaporą w kanionie Boulder rz. Colorado odbiega od tej granicy $/2.l = 320 \text{ m}/$.

Gdy dolina na pewnej wysokości zbytnio się rozszerza /rys.136/, na ogół jednak odpowiada wy-

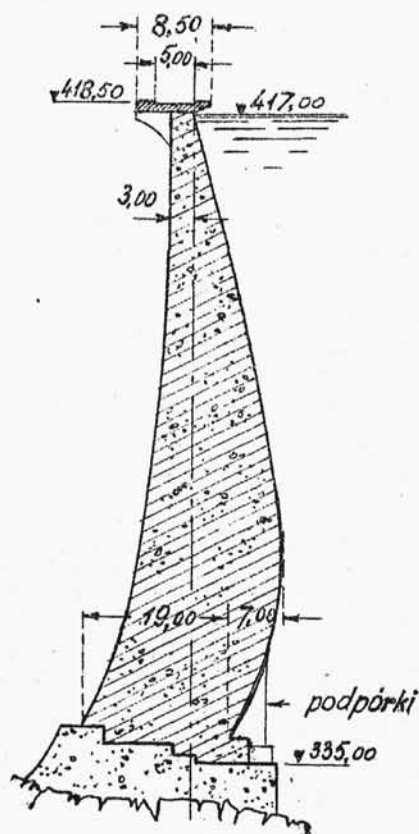


maganiom wyżej omówionym, wówczas w odpowiednim miejscu można wybudować przyczółek w postaci zapory ciężkiej, o którą oprą się wezglowia łukowej części zapory. Rys. 136 przedstawia takie rozwiązanie zastosowane przy budowie zapory w Montsalvens na rz. Jogne w Szwajcarii. Przyczółek tej zapory wykorzystany został dla wykonania w nim

przelewu. Przekroje poprzeczne pokazane są na rys. 108. Podobnie zresztą wykonano w Ariel, budując zapórę na rz. Lewis, porów. rys. 129 i tekst na str. 323.

Ostatnio ukazała się publikacja inż. Coyne'a /projektanta zapory w Marèges- Francja/, w której autor wypowiada zdanie, że mogą być z korzyścią bu-

dowane zapory łukowe w dolinach, dla których stosunek wysokości zapory do długości w koronie jest 1:5 a nawet 1:6. Ponieważ obliczenie zapory łukowej przy uwzględnieniu współdziałania łuków i wsporników jest bardzo skomplikowane i nie jest bezwzględnie pewne, Coyne proponuje, aby u podstawy zapory wykonywać łuki co raz cieńsze, co jest zawsze możliwe wo-



rys. 137.

bec zmniejszającej się rozpiętości nawet przy wzrastającym ciśnieniu wody, i przez to wykluczyć czy też bardzo silnie zredukować współpracę wsporników. Zapora pracuje wtedy tylko jako szereg łuków elastycznych zakotwionych w stokach i tak może być obliczana. Z takiego ujęcia zagadnienia wypadł przewis 7 - metrowy muru zapory w Marêges po za podstawę fundamentu przy wysokości zapory 80 m /rys.137/. Przewis, który znajduje się całkowicie od strony zbiornika, wywołuje we wsporniku moment gnący przeciwnego znaku niż moment wywołany parciem wody. Ponieważ przy zbiorniku pustym przewis wywołałby od strony wody naprężenia sięgające 60 kg/cm^2 , ustawiono po tej stronie żelbetowe podpory, na których spoczywa mur, gdy zbiornik jest pusty, i od których może się na drobny wymiar unieść, gdy zbiornik zostanie napełniony.

Z a p o r a w B o u l d e r .

Największą zaporę łukową i jednocześnie najwyższą zaporę na świecie zbudowano w St. Zjedn. A. P. na rz. Colorado w kanionie Boulder. Zaporę tę nazwano imieniem prezydenta Hoovera /w literaturze

technicznej amerykańskiej używana jest nazwa Boulder - damm/.

Budowa gigantycznej zapory Hoovera, wielkiego zbiornika wody, kanału nawadniającego i wodociągu była ciekawym przedsięwzięciem nie tylko ze względu na swe rozmiary, tak znacznie odbiegające od dotychczasowych norm, lecz także ze względu na ogromne znaczenie gospodarcze.

Myśl o budowie zapory w Boulder powstała w 1905r., a przez dwadzieścia kilka lat trwały studia i prace przygotowawcze. Już to dowodzi ogromu przedsięwzięcia. W dodatku przy projektowaniu musiano rozwiązać wiele zawiłych zagadnień finansowych: każdy projekt wymagał bowiem wielkiego nakładu kapitału, rzeka przepływa przez 7 stanów, co komplikuje rozliczenie finansowe, a wreszcie ujście rz. Colorado znajduje się w Meksyku.

Colorado jest największą rzeką zachodniej części St.Zjedn.; jej długość 2735 km, zlewnia 632 000 km² /obszar całej Polski 388 400 km²/. Przepływ roczny wynosi średnio od 22 do 24 miliardów m³. Wahanie rocznego przepływu w różnych latach mieszczą się w granicach od 10 do 33 miliardów m³.

W ciągu roku wahania są jeszcze większe: od min. $35 \text{ m}^3/\text{sek}$ do max. $8000 \text{ m}^3/\text{sek}$. Colorado prowadzi bardzo dużo rumowiska i namułu: przy ujściu średnio rocznie 100.....170 milionów m^3 , z tego $1/5$ dostarcza rz.Gila, dopływ Colorado. Takie masy наносów wytworzyły olbrzymią deltę przy ujściu Colorado w zatoce Kalifornijskiej.

Nadającym się do zamieszkania jest tylko dolny bieg rzeki. W środkowym biegu rzeka płynie w kanionie miejscami ponad 1500 m głębokim. Colorado przepływa przez obszary pustynne, które są największym rezerwatem finansowym St.Zjedn. dotychczas niewyżytkanym z powodu zbyt suchego klimatu oraz częstych i wysokich powodzi, wyrządzających wiele szkód. Walka z powodziami jest bardzo kosztowna i tylko dla odcinka rzeki w okolicy miejscowości Yuma /blisko ujścia/ wynosi 100 000 dolarów rocznie /konserwacja wałów/.

Zasób energii wodnej rz.Colorado obliczają na 7 milionów KM, z tego mniej więcej połowę można wykorzystać na wytworzenie energii elektrycznej.

Przy projektowaniu zapory i zbiornika pod uwagę wzięto następujące cele:

1/ Nawodnienie i użyźnienie obszarów pustynnych w

St. Zjedn. i Meksyku. Obecnie pod uprawą jest około 1 milion ha ziemi. Po wykonaniu nawodnienia dla użytku rolników oddane będzie jeszcze:

1 800 000 ha w Kalifornii

800 000 ha w Meksyku

Dla pokrycia zapotrzebowania wody dla potrzeb rolnictwa wystarczy mniej więcej 1/4 rocznego przepływu.

- 2/ Ochrona powodziowa i uregulowanie odpływu. Na skutek wybudowania zbiornika wielkie wody będą zmniejszone do 2750 m³/sek.
- 3/ Ochrona przed zamulaniem ujścia. Do tego jednak nie wystarczy sama zaporą im. Hoovera: cała rz. Colorado wraz z dopływami /powyżej zbiornika w Boulder/ musi być odpowiednio zabudowana celem zmniejszenia ilości wleczanego rumowiska. W związku z tym zbudowano na rz. Gila zapórę im. prez. Coolidge'a. O zaporze tej mowa jest w następnym rozdziale /zapory kopulaste/.
- 4/ Wyzyskanie sił wodnych. Zakład wodny ma stałą moc 485 000 kW / 660 000 KM/ czyli okragło 4 miliardy kWh rocznie. Moc instalowana 1,835 milionów KM.

Zbyt energii elektrycznej na miejscu będzie bardzo ograniczony /małe zaludnienie i niemal zupełny brak przemysłu/. Głównym odbiorcą będzie stan Kalifornia, w szczególności miasto Los Angeles.

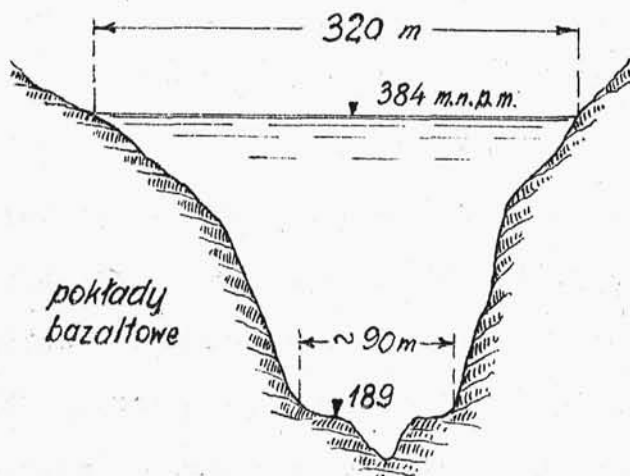
- 5/ Dostarczenie wody dla wodociągów 13 miast okręgu Los Angeles. Wodociąg dostarczy rocznie 1200 milionów m^3 wody, t.j. okragło $40 m^3/sec$. Woda ta musi być podniesiona na wysokość 495 m, aby mogła przepłynąć grawitacyjnie przez działy wód w górach Sierra. Dla ujęcia wody do wodociągu jest budowana druga zapora 155 mil poniżej Boulder, mianowicie Parker - damm, 96 m wysoka.
- 6/ Dostarczenie wody do kanału Pan - Amerykańskiego /All - American - Canal/, który służyć będzie żegludze i nawadnianiu.

Zatwierdzony i wykonywany projekt przewiduje budowę zapory 727' /222 m/ wysokiej, zamykającej zbiornik o pojemności 37,3 miliardów m^3 . Cofka sięga 175 km. Parowanie wody i inne straty obliczono w wielkości 4' \approx 1220 mm rocznie. Rezerwa powodziowa zbiornika wynosi 5 miliardów m^3 .

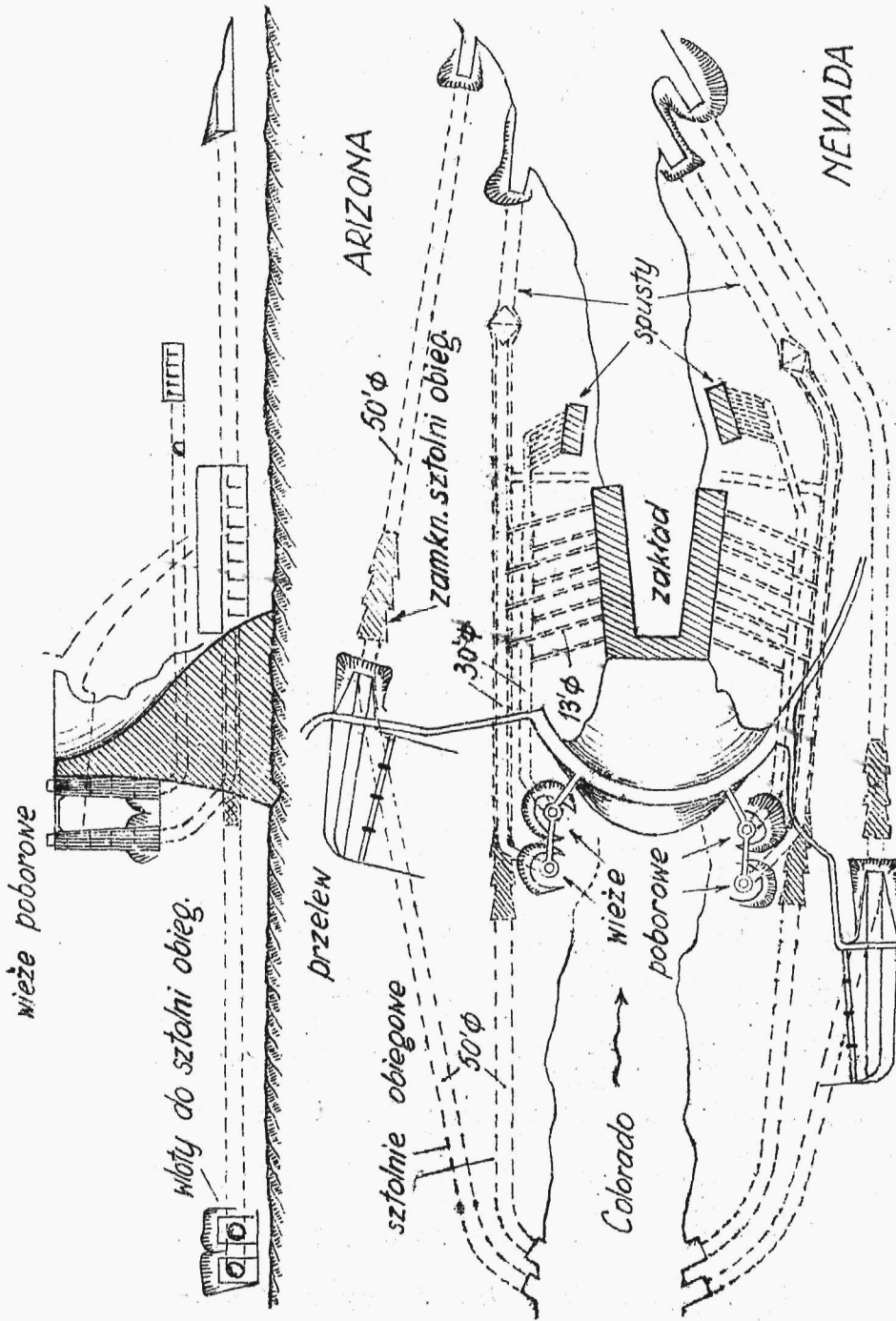
Kształt kanionu Boulder pokazany jest na rys.138, ogólną sytuację zapory podaje rys.139, a przekrój zapory - rys.140.

Zapora swym przekrojem pionowym nie jest podobna do innych zapór łukowych, gdyż trzeba tu było uwzględnić ciężar własny zapory. Dlatego część górna przypomina kształtem swym zaporę łukową, część dolna - zaporę ciężką. Zresztą kształt ten wypróbowany został starannie na modelu.

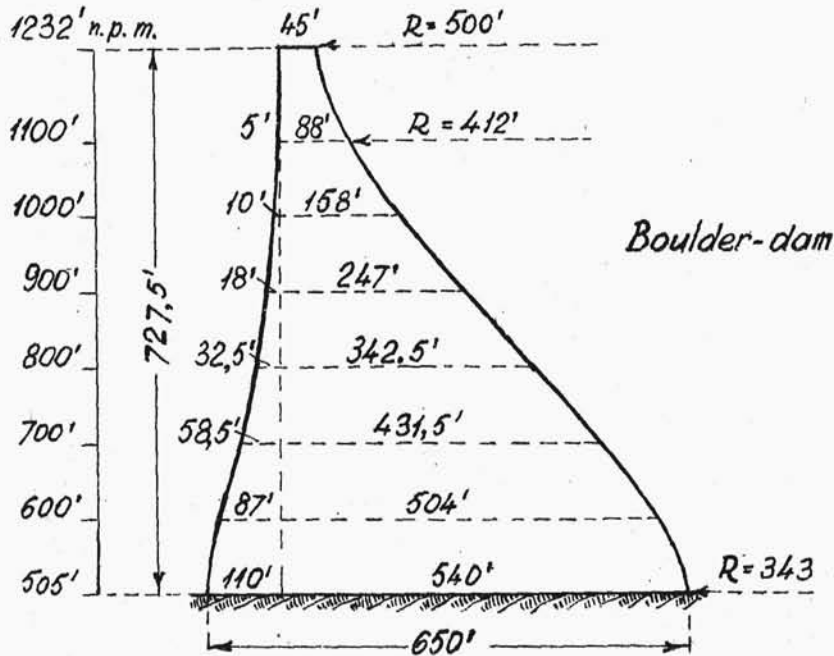
Zakład wodny w formie podkowy zbudowany jest u stóp zapory i na obu brzegach. Budynek środkowy



rys.138.



Tys. 139.



rys. 140.

zawiera rozdzielnię, pracownię i składy, a w skrzydłach znalazły pomieszczenie turbogeneratory, na razie po 6 w każdym skrzydle /po rozbudowie będzie po 8/.

Żelbetowe wieże poborowe /z zamknięciem cylindrycznym/ mają 116 m wysokości i \varnothing 25 m u spodu a \varnothing 19,5 m u góry. Główne przewody doprowadzające wodę do turbin mają 30' \varnothing /9,14 m/.

Cztery sztolnie obiegowe \varnothing 50' /15,24 m/, długości średnio 1200 m każda, mogły odprowadzić każdą wodę w czasie budowy. Po wykończeniu zapory i zbiornika dwie sztolnie odprowadzają tylko wody

- 4/ siły ścinające w płaszczyznach poziomych,
- 5/ skręcanie zapory utwierdzonej w stokach i dnie doliny,
- 6/ ugięcie się fundamentu /deformacje podłoża/,
- 7/ wpływ pęcznienia betonu pod wodą /nasiąkanie betonu/,
- 8/ zjawisko płynności betonu wskutek dużego ciśnienia /obciążenia/,
- 9/ współczynnik Poissona,
- 10/ zmienność współczynnika sprężystości betonu,
- 11/ nieliniowy rozkład naprężeń w przekrojach płaskich.

Przyjęto dopuszczalne naprężenia ściskające 32 kg/cm^2 , rozciągające: -8 kg/cm^2 .

Studia wstępne i szczegółowe prowadzone były bardzo skrupulatnie i starannie, szczególnie dużo czasu poświęcając badaniom wytrzymałościowym, a samą zaporę zbadano wszechstronnie na modelu, przy czym przekonano się, że zaporę mimo swej dużej grubości zachowuje się jak sklepienie elastyczne /porów rozdź. "Badanie zapór na modelach"/. Techniczne opracowanie programu budowy i jego wprowadzenie w czyn było równie starannie potraktowane, jak sam projekt zapory.

Kolejność robót ustalono jak następuje:

- 1/ wykonanie sztolni obiegowych,
- 2/ wybudowanie dwóch grobli zamykających miejsce budowy zapory,
- 3/ wykonanie fundamentu zapory:
 - przygotowanie podłoża skalnego,
 - uszczelnienie skały,
 - założenie rur odwadniających,
 - betonowanie fundamentu,
- 4/ betonowanie zapory,
- 5/ wykończenie urządzeń dodatkowych: wież poborowych i przelewów,
- 6/ budowa zakładu,
- 7/ roboty instalacyjne.

Beton układany był w kolumnach o przekroju około 15 x 15 m, i wysokościach 1,50 m. Przerwa w betonowaniu poszczególnych warstw wynosiła 72 godziny. Wobec wielkiej ilości ciepła, wydzielającego się przy wiązaniu betonu układanego wielkimi masami, zastosowano chłodzenie go zimną wodą, przepływającą przez sieć specjalnie założonych rur 2"Ø, założonych w odległościach 1,50 m w pionowym kierunku, a około 3,00 m w poziomym. Po uzyskaniu tem-

peratury betonu takiej, jaka odpowiada normalnej temperaturze w wykończonej zaporze przy pełnym zbiorniku, szwy między kolumnami były uszczelniane zaprawą cementową pod ciśnieniem. Szczegóły omówione są w III cz. skryptu.

W odległości 8 km od miejsca budowy zapory założono /za 2 miliony dolarów/ osiedle Boulder - City obliczone na 5000 mieszkańców /robotników, inżynierów, urzędników administracji i kierownictwa robót, przedsiębiorców, kupców, handlowców i t.d./. Osiedle jest wyposażone we wszelkie urządzenia techniczno - zdrowotne a także rozrywkowe.

Koszty budowy zbiornika i zapory podano w cz. I skryptu na str.21 /nie ma tam kosztu budowy wodociągu do Los Angeles/. Ogólny koszt obliczony był na 165 milionów dolarów przed deprecjacją pieniądza.

O zaporze w Boulder jest bardzo dużo artykułów w czasopismach technicznych, zwłaszcza w amerykańskim Engineering News Record, poza tym dużo artykułów znaleźć można w Engineering /London/, w czasopismach technicznych niemieckich /Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure, Bautechnik, Bau-

Ingenieur, Wasserkraft und Wasserwirtschaft/ następnie w Génie Civil, Annales des Ponts et Chaussées i innych. W czasopismach polskich brak szczegółowych opisów.

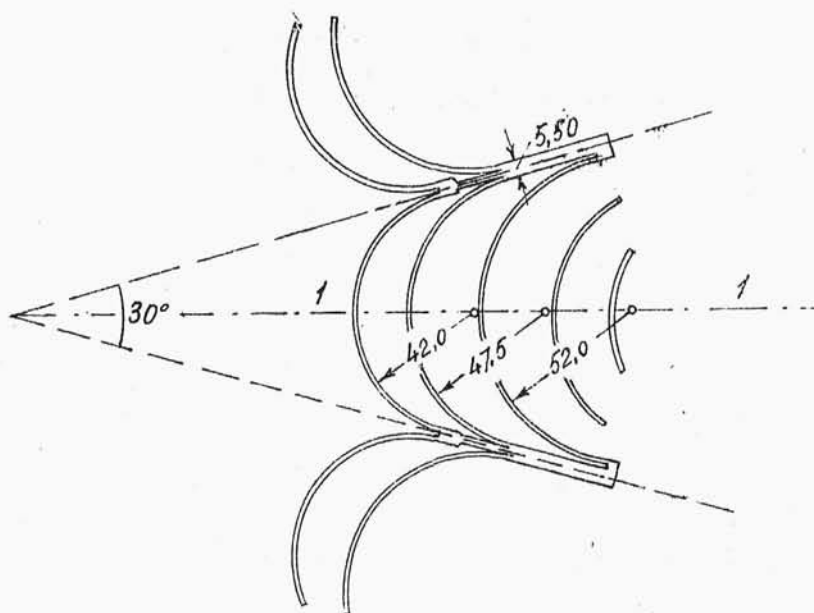
Z a p o r a ł u k o w a c i e n k o ś c i e n n a .

We Francji w r.1927 Mesnager i Veyrier zaprojektowali dla zbiornika w Marèges na rz.Dordogne zaporę łukową cienkościenną - barrage voûte à chute fractionnée /rys.141/.

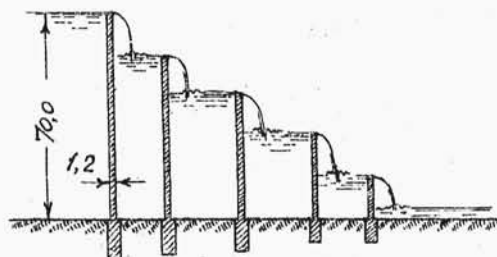
Konstrukcja składa się z 5 zapór łukowych coraz niższych ustawionych jedna za drugą. Dwie pierwsze /najwyższe/ tworzą zapory o łukach wielokrotnych wspartych na dwóch filarach ustawionych pod kątem 30° do siebie. Przestrzenie między zaporami są wypełnione wodą. Korony wszystkich zapór na całej swej długości wykonane są jako przelewy. Grubości łuków są nieprawdopodobnie małe i jednakowe na całej wysokości zapór.

Konstrukcja taka pomyślana była głównie w celu zmniejszenia niebezpieczeństwa rozmywania dna i powierzchni odpowietrznej zapory /spadek 70 - metrowy zastąpiony został 5 stopniami 14 m

Zbiorniki i zapory II 23.



Przekrój 1-1



rys. 141.

wysokości każdy/. Poza tym jednak zaporą Mesnager'go i Veyrier'go ma według projektodawców jeszcze inne zalety: kubatura muru jest mała, zapory są cienkie i jednakowej grubości, zatem łatwe i tanie do wykonania, wreszcie znikomy jest wpływ jednostronnego nagrzania się lub oziębienia

łuków, które są z obu stron otoczone wodą.

Obok zalet opisywana zapora ma jednak poważne wady, które przesądziły o jej losach. Przede wszystkim budowla jest delikatna, mało odporna na wpływy dynamiczne przelewającej się masy wody powodziowej. Gdy załamie się jeden łuk, całość runie od razu. Łuki są tak cienkie, że mogą się zawalić przy silnym wietrze, gdy zbiornik jest pusty /ściana 70 m wysoka ma tylko 1,20 m grubości !/. Należy zawsze pamiętać, by zbiorniki pośrednie były napełniane i opróżniane jednocześnie ze zbiornikiem głównym. W rezultacie koncepcja Mesnager'go i Veyrier'go nie doczekała się realizacji.

-----0000000000-----

