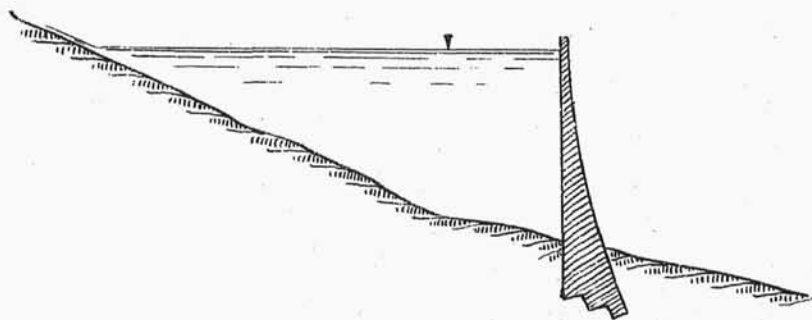


# ZAPORY

Zapory służą do przegradzania dolin rzecznych w celu utworzenia zbiornika wody /rys.79/.

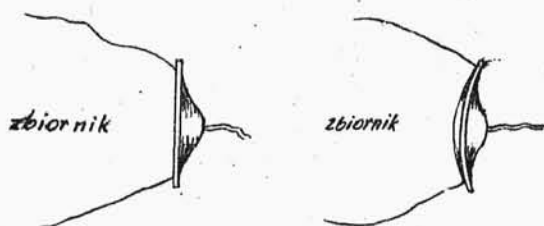
/Porównaj także rys.1,20,21,26,27 i inne/.



rys. 79.

Zapory mogą być:

1. z muru lub betonu, wykonane jako
  - a- zapory ciężkie w kształcie muru oporowego, pełne lub puste wewnątrz,
  - b- sklepienie pojedyncze /zapory łukowe/,
  - c- sklepienia wielokrotne,
  - d- kopuły pojedyncze i wielokrotne,
  - e- kryte płytami, żelbetowe,
2. ziemne, wykonane sposobem
  - a- francuskim /całe ze szczelnego materiału/,
  - b- angielskim /z rdzeniem szczelnym/,
  - c- amerykańskim /z rdzeniem szczelnym, spławiane lub półspławiane: "hydraulic fill or semihydraulic fill dams"/,
3. z narzutu kamiennego, z uszczelnieniem
  - a- osiowem lub
  - b- na skarpie,
4. drewniane /kaszycowe/,
5. żelazne.



rys. 80.

Ponadto, niezależnie od materiału, z jakiego są wykonane, rozróżniamy zapory z osią w prostej lub w łuku /rys.80/.

## ZAPORY MUROWANE / BETONOWE / .

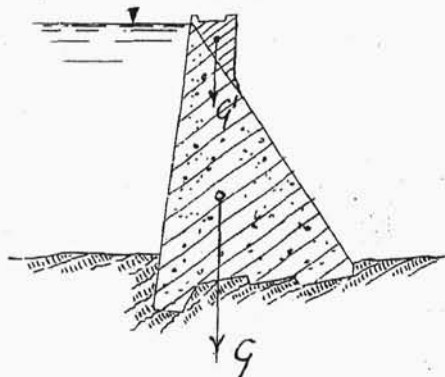
### SIŁY DZIAŁAJĄCE NA ZAPORĘ .

Przy obliczaniu zapory murowanej / kamiennej lub betonowej / musimy liczyć się z działaniem następujących sił:

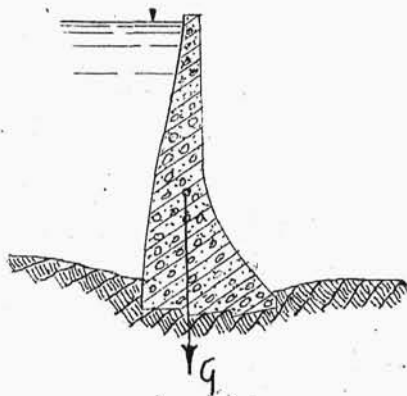
1. ciężar zapory  $G$ ,
2. parcie wody  $P$ ,
3. parcie lodu  $L$ ,
4. ewentualne parcie ziemi  $Z$  /o ile istnieje uszczelniający nasyp od strony zbiornika/,
5. siły wywołane zmianami temperatury zewnętrznej i wewnętrznej /wiązania cementu/,
6. wypór w samym korpusie zapory,
7. wypór  $U$  - parcie wody od spodu ku górze na stopę fundamentu.

### C i ę ż a r   z a p o r y .

Ciężar zapory zależy od kształtu jej przekroju poprzecznego i od materiału. Dla zapory ciężkiej stosuje się z reguły przekrój poprzeczny w kształcie trójkąta o wierzchołku znajdującym się na poziomie lustra wody. Do ciężaru zapory dochodzi jeszcze cię-



rys.81.



rys.82..

zar  $G'$  korony, jednakże wpływ tego ciężaru jest stosunkowo niewielki /rys.81/.

Kształt przekroju poprzecznego zapory łukowej jest zupełnie inny, bardziej skomplikowany, stąd też obliczenie ciężaru  $G$  staje się bardziej zawiłe /rys.82/.

Ciężar gatunkowy betonu waha się w granicach  $\gamma_o = 2,2 \dots 2,5 \text{ t/m}^3$  i musi być dokładnie obliczony. Gdy ciężar gatunkowy skały wynosi  $\gamma_s = 2,6 \text{ t/m}^3$ , to tłuczeń z tej skały ma ciężar właściwy

$$\gamma_s' = (1 - 0,33) \cdot 2,6 = 1,74 \text{ t/m}^3,$$

jeśli przyjmujemy, że w zwartej masie kruszywa znajduje się 33 % miejsc próżnych. Beton 1 : 8 /stosunek cementu do kruszywa/, albo, jak się obecnie ozna-

cza: 150 kg cementu na 1 m<sup>3</sup> kruszywa, wymaga dla otrzymania 1 m<sup>3</sup> betonu: 200 kg cementu i 1,2 m<sup>3</sup> kruszywa /cyfry wzięte z tablic niemieckich/. Zatem beton taki ważyć będzie:

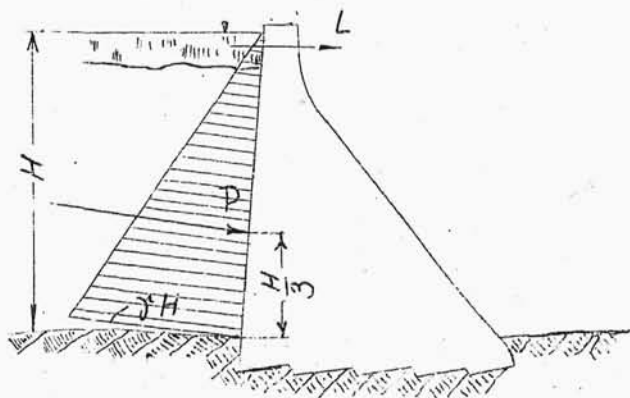
$$\gamma_0 = 1,2 \cdot 1,74 + 0,2 = 2,29 \text{ t/m}^3$$

Ciężar gatunkowy betonu będzie największy przy użyciu tłucznia ze skał krystalicznych, mniejszy przy użyciu skał osadowych. Najpewniejsze określenie ciężaru właściwego betonu polega na wykonaniu i zważeniu próbek objętości 1 m<sup>3</sup> lub wycięciu próbki z gotowego muru .

### Parcie wody i lodu .

Parcie hydrostatyczne /rys.83/ wzrasta od wartości zerowej na powierzchni wody do maksymalnej wielkości  $\gamma \cdot H \text{ t/m}^2$

u spodu zapory wysokiej na  $H \text{ m}$  .Wy-  
padkowa parcia wody  
 $P = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \text{ t/mb}$  /li-  
czona na 1 m długoś-  
ci zapory/ zaczepia  
w odległości  $\frac{H}{3}$  od



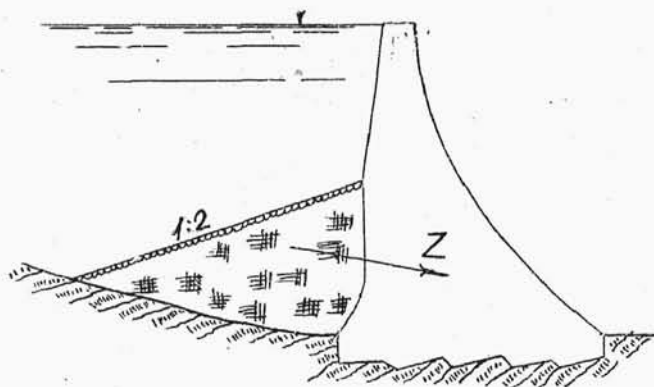
rys.83.

dna zbiornika.

Co się tyczy parcia lodu, to z doświadczeń przyjęto, iż lód o grubości powłoki 0,75 m może wyrząść parcie poziome w wysokości 20 t na 1 mb długości zapory, zaś lód o grubości 1,0 m doprowadza wielkość parcia do 30 t/mb. Parcie lodu może dojść do 50 t/mb. Przeważnie jednak parcia lodu nie uwzględnia się.

Przed parciem lodu można zabezpieczyć się, wprowadzając sprężone powietrze pod lód, koło ściany zapory, na głębokość taką, gdzie woda ma około  $+4^{\circ}\text{C}$ . Powietrze to wywołuje ruch wody ciepłej ku górze i powoduje temsamem topnienie lodu przy murze zapory. Sposób ten stosuje się jednak rzadko, a wogóle urządzeń ochronnych przed zamarzaniem zbiornika nie wykonywa się.

#### Parcie ziemnego nasypu.



Nasyp glinia-  
sto-piaszczysty  
dobrze ubity sto-  
sowano dawniej  
w zaporach niemiec-  
kich Intzege w ce-

rys. 84.

lu ochrony zapory przed podsiąkaniem wody /rys.84/. Obecnie tego się nie stosuje, mając do dyspozycji inne, pewniejsze środki.

S i ł y   w y w o ł a n e  
z m i a n a m i   t e m p e r a t u r y .

Tu trzeba rozróżnić:

1. ciepło powstałe przy wiązaniu      betonu,
2. różnicę temperatury od strony wody i powietrza oraz
3. wahania temperatury zewnętrznej .

Jeżeli chodzi o zapory murowane, to podniesienie się temperatury podczas wiązania      cementu jest nieznaczne wobec małej stosunkowo ilości cementu, a dużej objętości użytych innych materiałów oraz wobec powolnego postępu budowy. W praktyce podniesienie się temperatury od wiązania      cementu w zaporach murowanych nie ma znaczenia. Zapory tego rodzaju wymagają kosztownej robocizny murarskiej: każdy kamień musi być wymyty i dobrze obsadzony w zaprawie.

Jedną z największych zapór z kamienia na cencie wykonano niedawno w Sudanie na Niebieskim Nilu

w Sennar, gdzie robocizna była bardzo tania, a wykonanie w betonie wymagałoby kosztownych urządzeń.

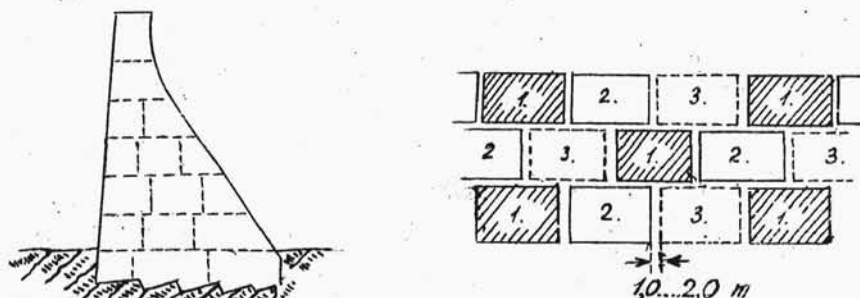
Ze względu na szybkość wykonania i związaną z tem oszczędność na kosztach oprocentowania kapitału w czasie budowy - nie wykonywa się dziś prawie zupełnie zapór murowanych. Budowa zapory murowanej wymaga dużo czasu i robocizny, na skutek czego w zwykłych warunkach jest za kosztowna.

Dziś zapory wykonywa się wyłącznie z betonu. Przy należytej organizacji pracy układa się od 1000 do 3000 i więcej m<sup>3</sup> betonu na dobę. Ta masa betonu wywiązuje znaczne ilości ciepła: temperatura wewnątrz betonu dochodzi do +50°C i więcej, zależnie od jakości cementu, składu betonu, ilości dodanej wody i t.p. Masa betonu ostyga w ten sposób, iż prędzej stygną części zewnętrzne zaś wewnętrzne wolniej, beton wobec tego kurczy się nierównomiernie, co, wobec dużych różnic temperatury powietrza zewnętrznego i betonu wewnątrz zapory, powoduje w zaporze znaczne naprężenia dodatkowe, a w konsekwencji niedopuszczalne pęknięcia: zaporę traci swą bezwzględną szczelność.

Ponieważ nie wolno dopuścić do powstawania zbyt dużych naprężeń od temperatury wiązania, dla-



tego buduje się zaporę oddzielnymi blokami, przedzielonymi podczas budowy pustymi przestrzeniami. Podział na bloki uskutecznia się w płaszczyznach prostopadłych i równoległych do osi zapory /rys.85/.



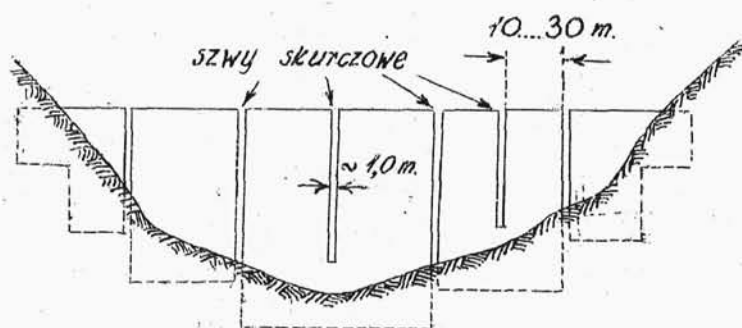
rys.85.

Bloki układa się obok siebie w odstępie od 1,0 do 2,0 m, przyczem stawia się kolejno bloki 1,1,1... ...2,2,2....3,3,3....i.t.d., by mogły stygnąć zewsząd otoczone powietrzem.

Przy budowie zapory łukowej w Ariel /Kalifornja/ na pewnych blokach wypróbowano sztuczne oziębianie wodą, przepływającą siecią rurek umieszczonych w bloku. Metoda ta jest systematycznie stosowana przy budowie zapory Hoovera /215 m wysok./. W blokach 15×15 m umieszczone są rurki 1"  $\varnothing$ , ogólnej długości 240 km. Tłoczyć się będzie do 8000  $\ell$ /min wo-

dy chłodnej o temperaturze  $5,55^{\circ}\text{C}$  ; woda wypływająca będzie miała temperaturę  $18,8^{\circ}\text{C}$  .

Nawet przy budowie cienkich /łukowych/ zapór pozostawia się w pewnych odstępach pionowe szwy skurczowe przez całą szerokość zapory, przyczem niekoniecznie wszystkie te szwy muszą dochodzić do stopy fundamentu./Rys.86/.



rys.86.

Szwy dylatacyjne w miarę tężenia betonu rozszerzają się i po pewnym czasie /gdy beton ostygł/ muszą być szczelnie zamknięte, o czym obszerniej w rozdziale o wykonaniu zapór betonowych.

W zaporach łukowych, gdzie mur jest stosunkowo cienki, temperatura wiązania gra bardziej podrzędną rolę, gdyż ochładza się szybko, w czym pomagają otwarte szczeliny dylatacyjne. Zato wielką rolę grają tu

zmiany temperatury zewnętrznej /insolacja i mróz/ oraz różnica temperatury wody z jednej strony zapory i powietrza z drugiej. Niekiedy trzeba się liczyć z różnicami dochodzącymi do  $30^{\circ}\text{C}$ . Przy obliczaniu naprężeń trzeba dodać algebraicznie naprężenia wywołane istnieniem wspomnianej różnicy temperatur z obu stron zapory. Przeciwdziałanie tym dodatkowym naprężeniom jest technicznie nie do przeprowadzenia i dlatego muszą być uwzględnione w obliczeniach.

Wpływ dodatkowych naprężeń może być tak znaczny, że powstaną najniebezpieczniejsze dla zapory naprężenia rozciągające, co pociąga za sobą konieczność zbrojenia betonowego korpusu zapory.

Przy grubych zaporach /ciężkich/ nie uwzględnia się wpływu różnicy temperatur powietrza i wody. Wpływ zmiany temperatury sięga do wewnątrz muru nie głębiej jak na  $\sim 3,0\text{ m}$ .

### Wypór wody.

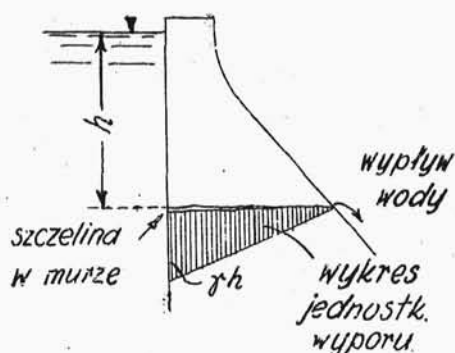
Dalszym czynnikiem, który bierzemy pod uwagę przy obliczaniu zapór ciężkich, jest wypór wody, który wystąpić może bądź w samym korpusie zapory, bądź pod stopą fundamentu.

### Wypór w korpusie zapory.

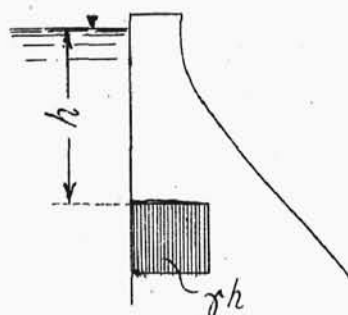
Wypór w korpusie zapory powstanie wówczas, gdy jest w nim jakieś pęknięcie poziome /rys.87/. Na głębokości  $h$  metrów wartość wyporu wynosi  $\gamma h$  t/m<sup>2</sup>. Naprężenia od wyporu sumują się z naprężeniami normalnymi, wynikającymi z działania sił zewnętrznych, i wówczas naprężenie sumaryczne od strony wody może osiągnąć wartość ujemną /rozrywanie muru/.

Jednakże podstawy takiego obliczenia nie są pewne. Nie ulega wątpliwości, że, gdyby powstało pęknięcie od strony wody, na krawędzi muru wystąpi wypór o wartości równej całemu ciśnieniu słupa wody. Bardziej w głąb zapory wypór musi maleć. Prawo, według którego wypór maleje, nie da się ustalić doświadczalnie. Gdyby pęknięcie miało miejsce na całej grubości zapory i woda mogła wyciekać po drugiej stronie zapory, wówczas wypór będzie maleć prostoliniźnie od swej pełnej wartości  $\gamma h$  na krawędzi od strony wody - do zera na krawędzi od strony powietrza /rys. 87/.

Gdyby pęknięcie sięgało tylko do pewnej granicy wgłąb zapory, a woda nie wyciekała po stronie zewnętrznej, wypór będzie miał wartość stałą na całej



rys. 87.



rys. 88.

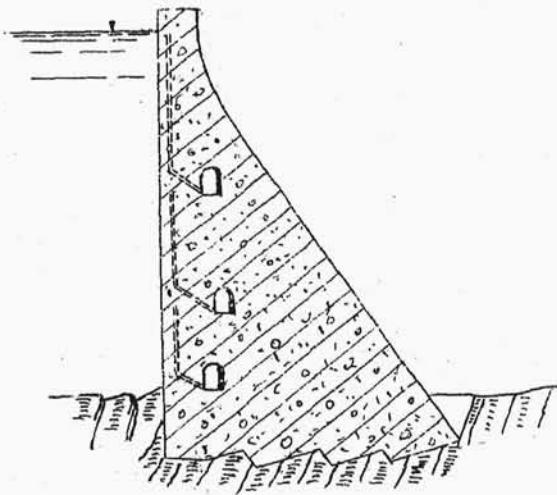
głębokości pęknięcia i będzie równy pełnemu parciu wody /rys.88/.

Zachodzi pytanie, czy przyjęcie wyporu wewnątrz zapory jest wogóle uzasadnione. Jeśli przekrój muru jest tak obliczony, aby nie byłociągnięć po stronie wody, trudno przypuścić, aby tam mogło powstać pęknięcie. Zaś zupełnie wykluczone jest utworzenie się szczeliny, gdy od strony wody naprężenia normalne cisnące będą co najmniej równe parciu słupa wody w danej głębokości. Ten ostatni warunek /t.zw. warunek Levy'ego/ wymaga jednak wydatnego zwiększenia objętości muru, co znów podnosi koszty budowy zapory.

Obecna fabrykacja cementu pozwala korzystać z tak wysokiego gatunku tego materiału, że nie potrze-

bujemy się obawiać pęknięć w zaporach, wykonywanych teraz niemal powszechnie z betonu, nawet wtedy, gdy od strony wody naprężenia cisnące spadną do zera.

Z powyższych więc względów w obliczeniach pomija się możliwość wyporu w korpusie zapory. Aby zaś mieć pewność, że wypór na żadnej wysokości wewnątrz zapory nie powstanie, staramy się wykluczyć możliwość dostania się wody pod ciśnieniem do środka zapory.



rys. 89.

W tym celu zewnętrzne /od strony wody/ partje zapory wykonywa się z betonu o większej zawartości cementu na  $1 \text{ m}^3$  kruszywa, a poza tem zakłada się dreny odwadniające w korpusie zapory/rys.89/. szczegóły tych i innych urządzeń opisane są w odpowiednim ustępie rozdziału o wykonywaniu zapór betonowych w części III. niniejszego skryptu.

wiednim ustępie rozdziału o wykonywaniu zapór betonowych w części III. niniejszego skryptu.