



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Budownictwo ziemne Budowle wodne

**Jerzy Flisiak
Michał Kowalski**

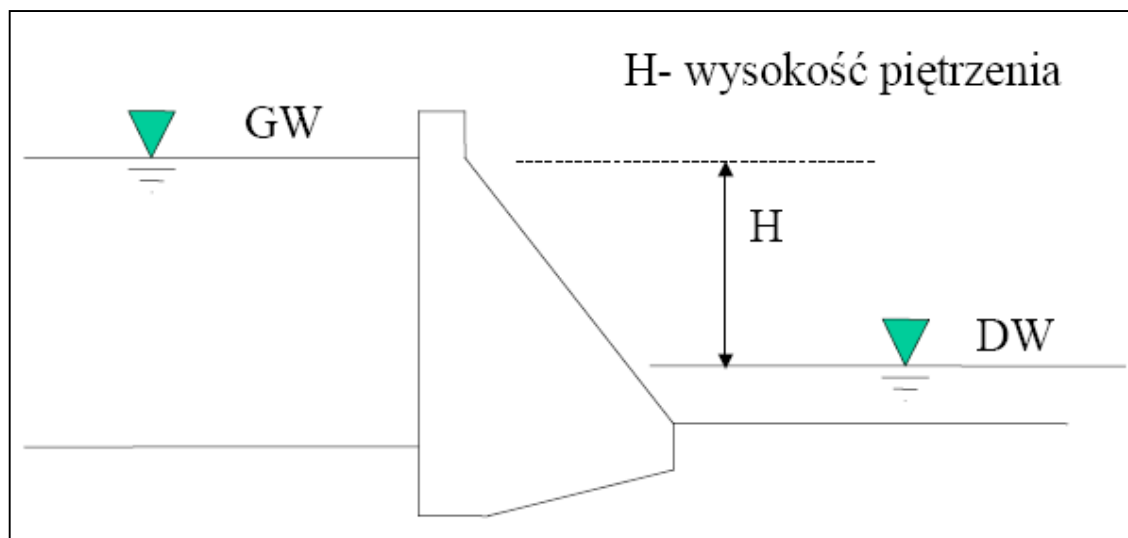
**Nazwa wydziału: Górnictwa i Geoinżynierii
Nazwa katedry: Geomechaniki, Budownictwa
i Geotechniki**

Klasyfikacja budowli wodnych

- 1. Budowle piętrzące (klasa budowli zależy od wysokości piętrzenia)**
 - ziemne i z betonu, posadowione na skale,
 - ziemne nie posadowione na skale,
 - z betonu nie posadowione na skale.
- 2. Budowle wodne dla celów energetycznych (klasa budowli zależy od mocy instalowanej MW),**
- 3. Budowle wodne dla melioracji podstawowych (klasa budowli zależy od powierzchni obszaru nawadnianego lub odwadnianego),**
- 4. Budowle służące do celów ochrony przed zalewem:**
 - wały przeciwpowodziowe,
 - zapory boczne,
 - pompownie,
 - śluzy działowe.
- 5. Budowle służące do celów ruchu i transportu rzeczno-
(klasa budowli zależy od klasy drogi wodnej).**

Zadania budowli piętrzących

1. Retencja wód (tworzenie zbiorników) dla celów
 - pitnych,
 - energetycznych.
2. Wytworzenie rezerwy powodziowej,
3. Utworzenie akwenów wodnych dla celów rekreacyjnych,
4. Podniesienie zwierciadła wody celem zwiększenia głębokości (np. dla celów żeglugi – jazy).



Warunki lokalizacji

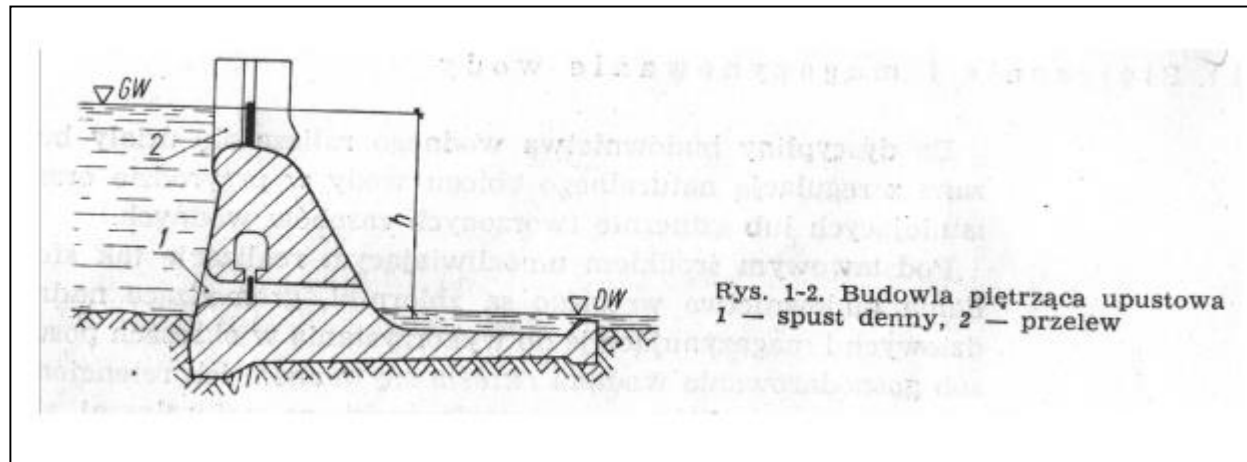
Warunki lokalizacji:

- **budowa geologiczna podłoża,**
- **szerokość przekroju zaporowego,**
- **zwartość doliny,**
- **ewentualne koszty uszczelnienia podłoża.**

Odpływ ze zbiornika

Urządzenia do sterowania odpływem ze zbiornika:

- spusty denne,
- sztolnie,
- przelewy.



Klasyfikacja zapór

- 1. Zapory drewniane**
- 2. Zapory z betonu**
 - ciężkie,
 - łukowe,
 - wielołukowe,
 - filarowe.
- 3. Zapory ziemne i narzutowe**
 - ziemne jednorodne,
 - ziemne z rdzeniem lub ekranem gruntowym,
 - narzutowe z ekranem żelbetowym lub asfaltowym.
- 4. Zapory stalowe**

Zapory drewniane

Zapory drewniane były szeroko stosowane w początkach rewolucji przemysłowej ze względu na prostotę i szybkość budowy. W obecnych czasach ich zastosowanie zostało znacząco ograniczone ze względu na krótki okres użytkowania oraz ograniczoną maksymalną wysokość.



AGH

Zapory drewniane

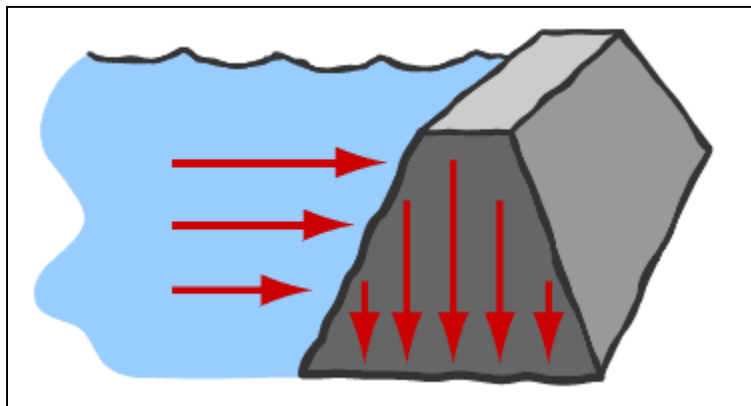
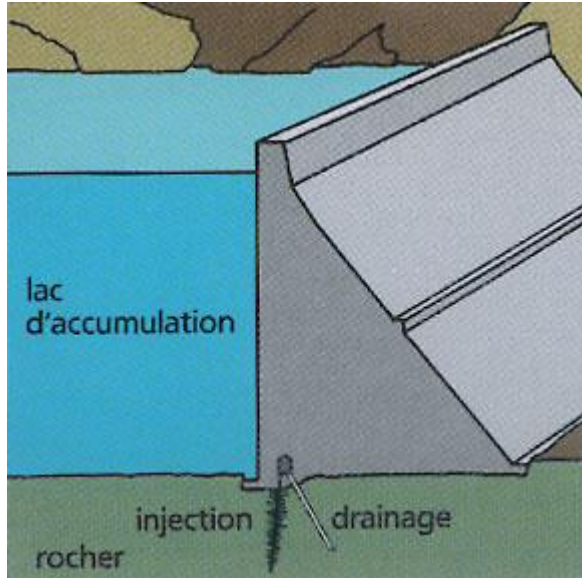


Zapora drewniana w Michigan, fotografia z 1978r.

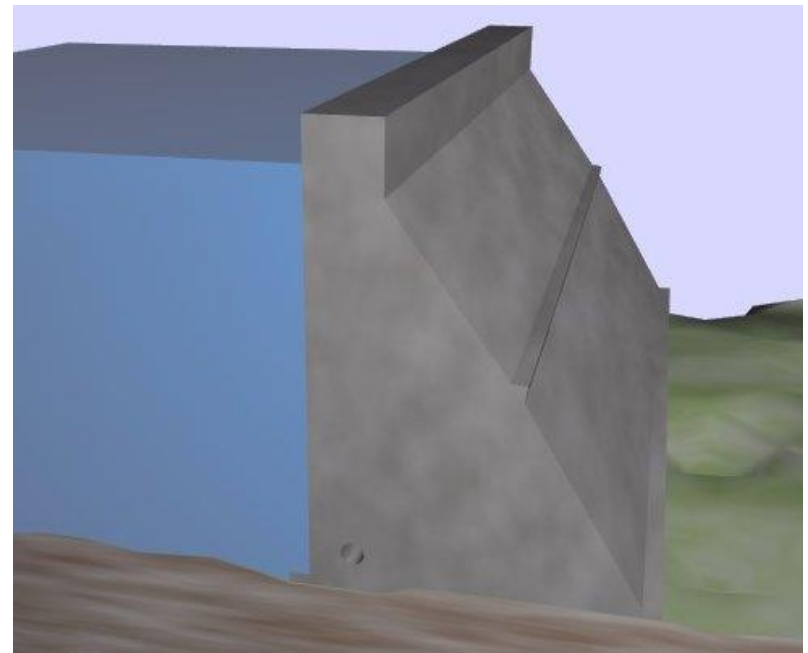


AGH

Zapory ciężkie



Zapory ciężkie: ciężar muru betonowego powstrzymuje napór wody.



Zapory ciężkie

W zaporach ciężkich stateczność jest zapewniona przez konstrukcję o takich wymiarach oraz kształcie, który zapobiega przewróceniu, poślizgowi oraz zniszczeniu podłoża. Zapora nie ulegnie obróceniu, gdy moment względem punktu obrotu spowodowany ciśnieniem hydrostatycznym od wody będzie mniejszy od momentu będącego wynikiem działania wypadkowej siły ciężkości zapory.

Najwyższą zaporą typu ciężkiego na świecie jest zapora Grande Dixence Dam w Szwajcarii.



AGH Zapora Hoovera

Betonowa zapora wodna typu grawitacyjno-łukowego, zbudowana w Czarnym Kanionie na rzece Kolorado w Stanach Zjednoczonych, na granicy stanów Arizona i Nevada. W chwili ukończenia w 1936 była zarówno największą na świecie elektrownią wodną, jak i największą na świecie konstrukcją betonową. Została pokonana pod oboma względami przez zaporę Grand Coulee w 1945. Obecnie jest to 38. elektrownia wodna pod względem wielkości na świecie.





AGH

Zapora Hoovera





AGH

Zapora Grand Coulee

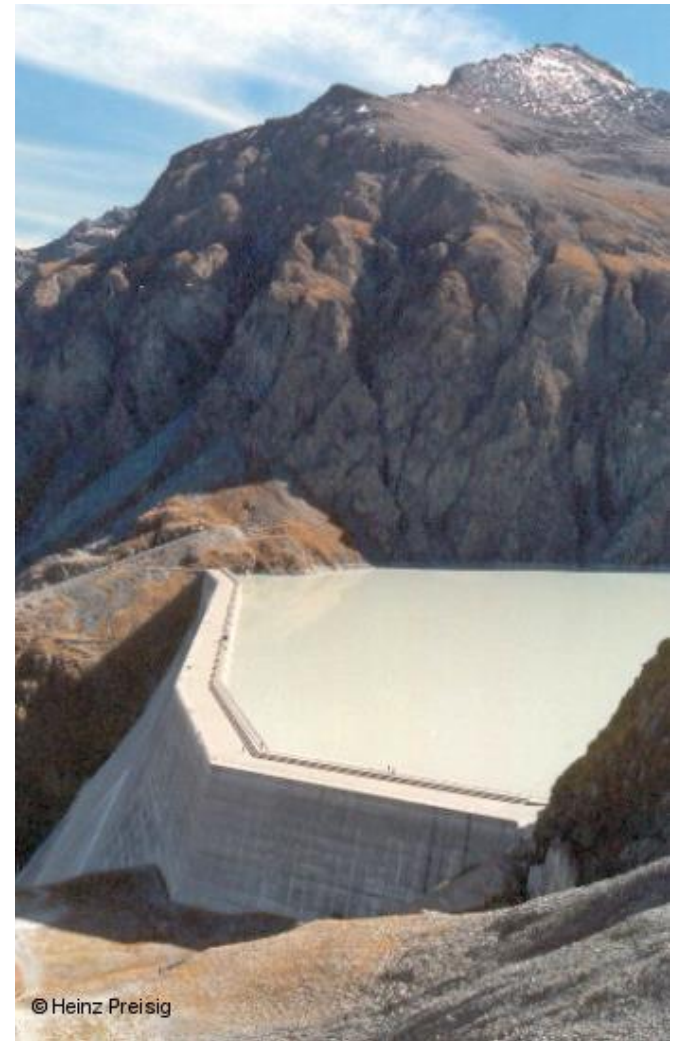


Zapora Grand Coulee na rzece Columbia w Waszyngtonie jest uznawana za największą konstrukcją betonową w USA. Zapora ma prawie milę długości oraz jest wyższa od Wielkiej Piramidy w Gizie.



AGH

Zapora Grande Dixence



© Heinz Preisig



AGH

Zapora Grande Dixence

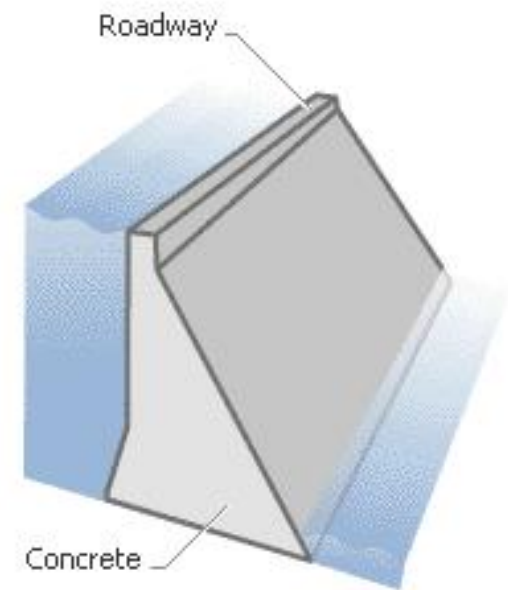
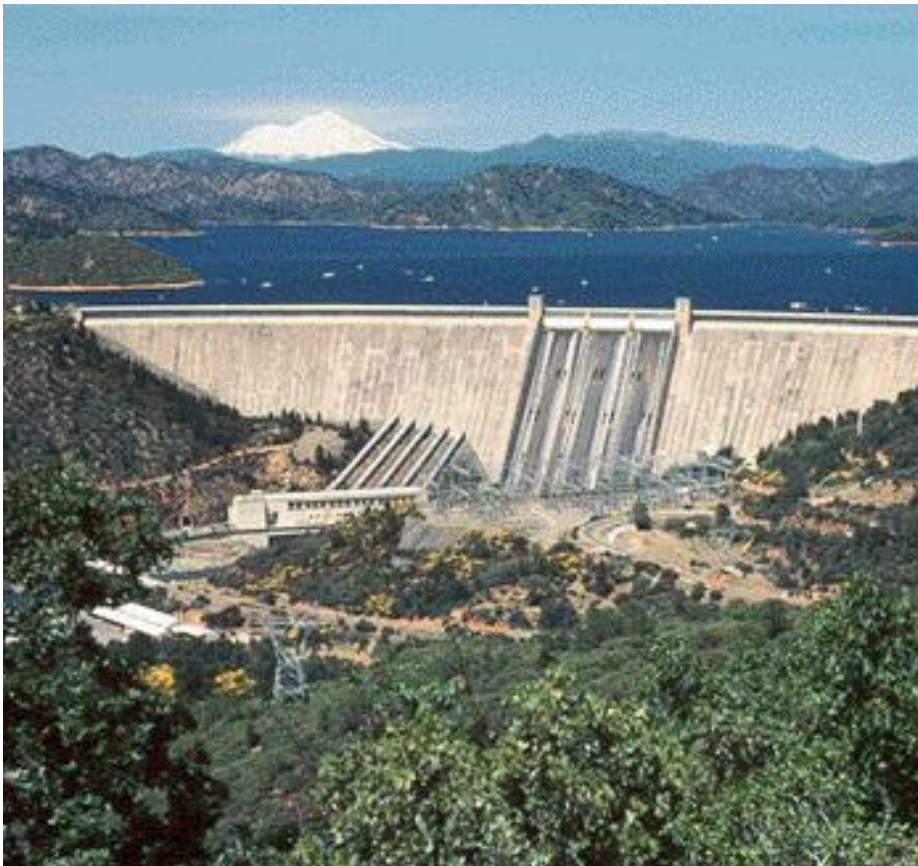
Zapora Grande dixence – zbudowana z bloków o wymiarach 16x16x16 m połączonych w monolityczną całość.

Skały poniżej podstawy zapory zostały poddane iniekcji do głębokości 200 m w celu zapewnienia wodoszczelności.

Zapora została obliczona dla 9 stopnia w skali Mercalliego. (IX. Ruinous - General panic; damage considerable in specially designed structures, well designed frame structures thrown out of plumb. Damage great in substantial buildings, with partial collapse. Buildings shifted off foundations.)

Zapora Shasta na rzece Sacramento

Zapora o wysokości 183 m, długości 1055 m. Szerokość podstawy: 165.5 m.



Concrete gravity dam

Najwyższa zapora wodna w Polsce

Zapora betonowa – ciężka z poszerzonymi fugami dylatacyjnymi w Solinie na rzece San.

Wysokość: 82m

Długość: 664m

Kubatura: 760 000 m³

Tama utworzyła jezioro o pojemności 474 mln m³, powierzchni ponad 2100 ha oraz maksymalnej głębokości 60 m. Objęło ono 27 km długości rzeki San oraz 14 km Solinki, z łączną długością linii brzegowych wynoszącą 150 km.



AGH

Najwyższa zapora wodna w Polsce





AGH

Najwyższa zapora wodna w Polsce

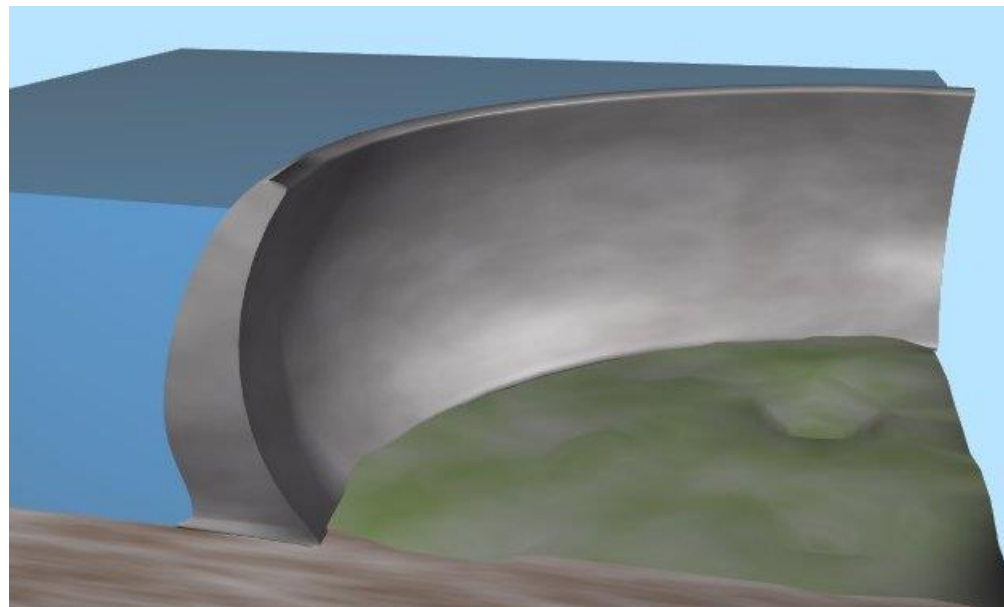
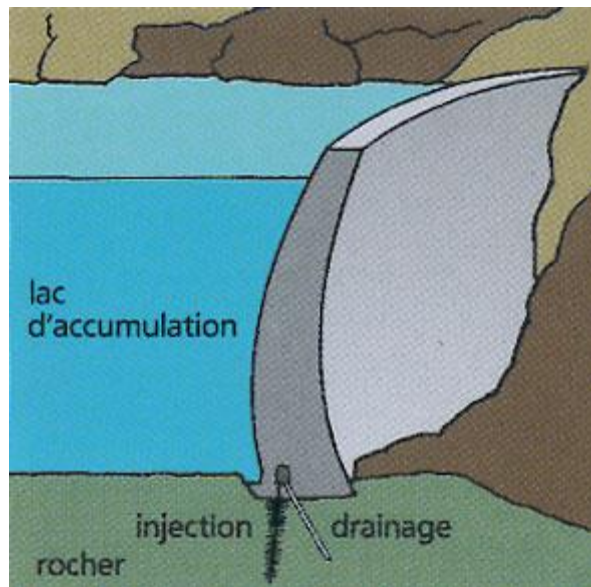




AGH

Zapory łukowe

Ciśnienie wody jest przenoszone na przyczółki przez pionowo i poziomo zakrzywiony mur betonowy.

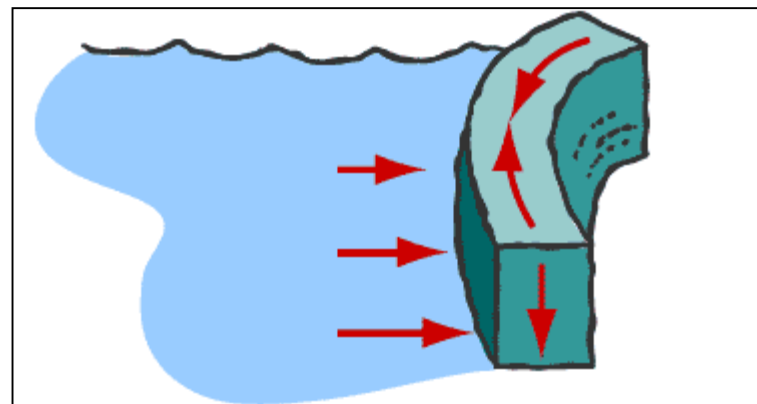


Zapory łukowe

Zapora łukowa jest zakrzywioną konstrukcją betonową w sposób, który powoduje powstanie naprężeń ściskających wzdłuż łuku wywołanych przez ciśnienie hydrostatyczne wody. Obciążenia z konstrukcji betonowej są przenoszone na przyczółki oraz podłoże. Konstrukcja zapory łukowej często jest wstępnie sprężana.

Zaleta: mniejsza ilość betonu w porównaniu do zapór ciężkich.

Wada: znaczne wymagania co do wytrzymałości skał podłoża oraz przyczółków.





AGH

Zapora El Atazar





AGH

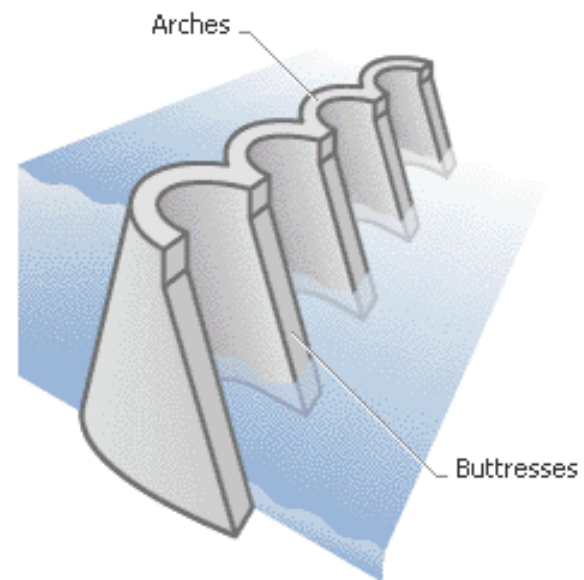
Zapora Roosvelta



Zapora Roosvelta zbudowana w roku 1911, zmodyfikowana w 1996.

Zapory wielołukowe

Zapora Barlett w Arizonie na rzece Verde

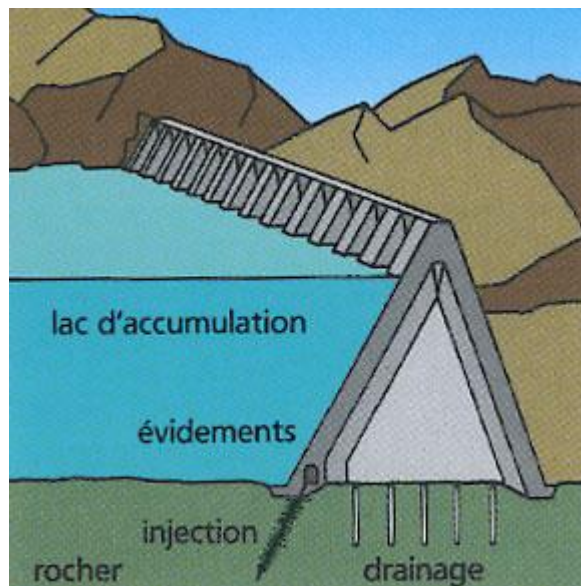


Multiple arch dam

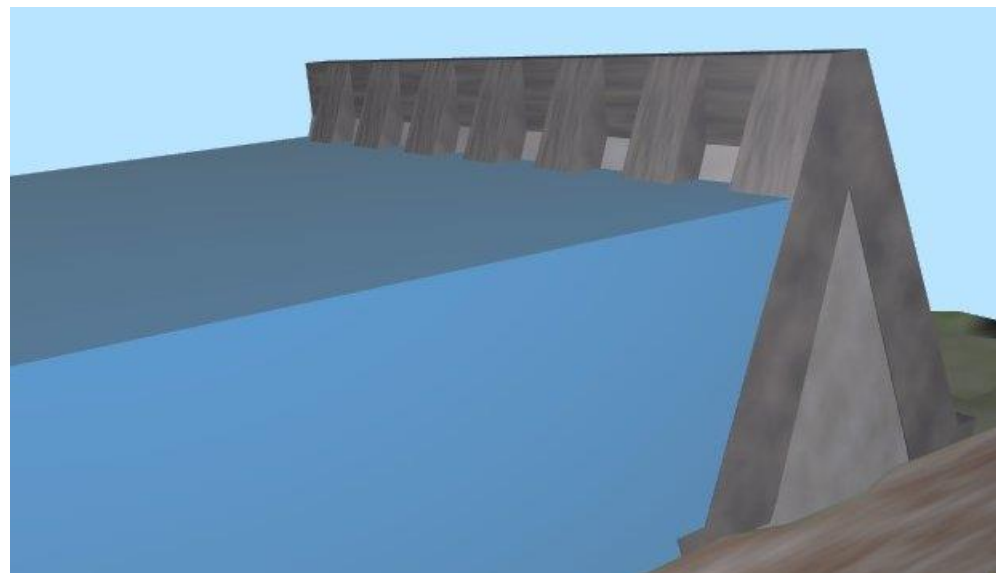


AGH

Zapory filarowe



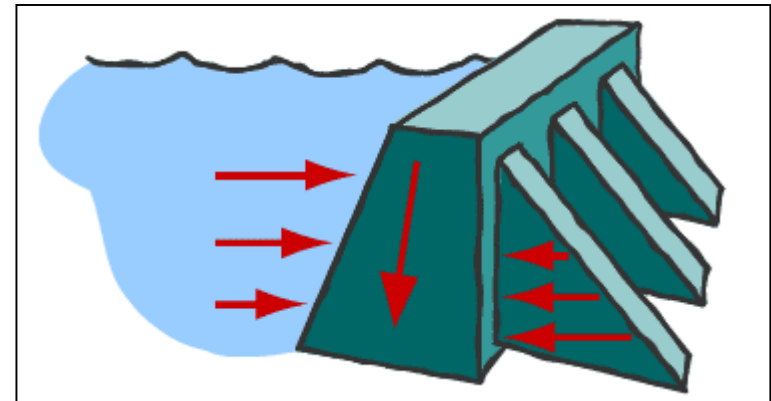
Betonowy mur oparty na przyporach, które przenoszą obciążenie na podłoże.



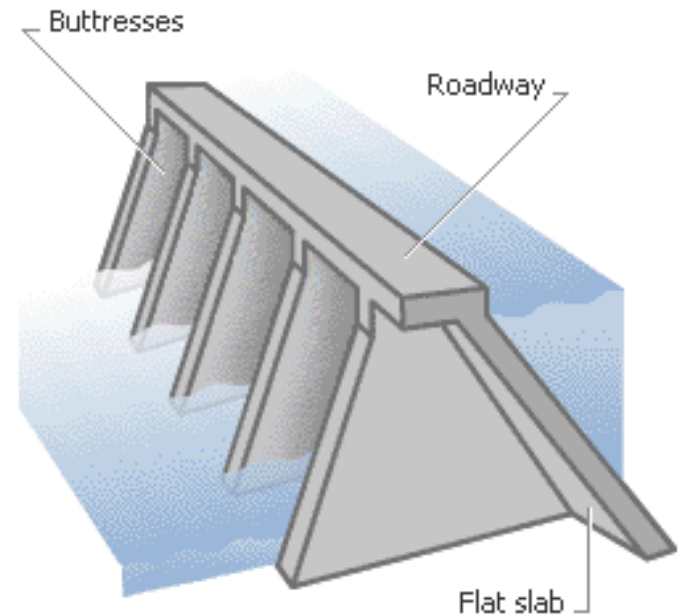


AGH

Zapory filarowe



Zapora filarowe



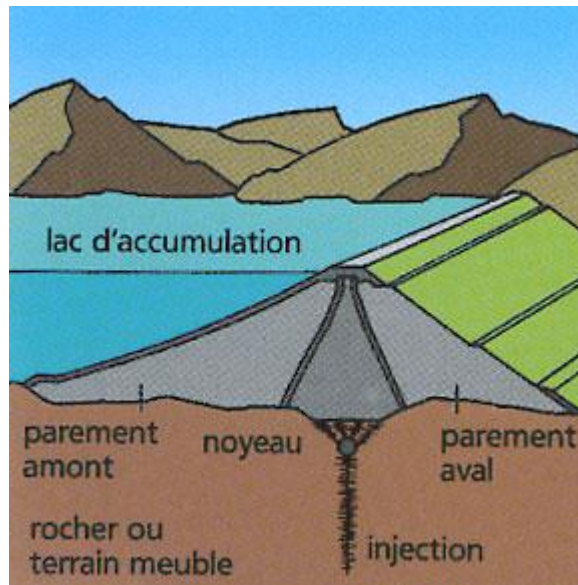
Flat slab buttress dam

Zapora Tahoe w Kaliforni (33m, 1913 r.)

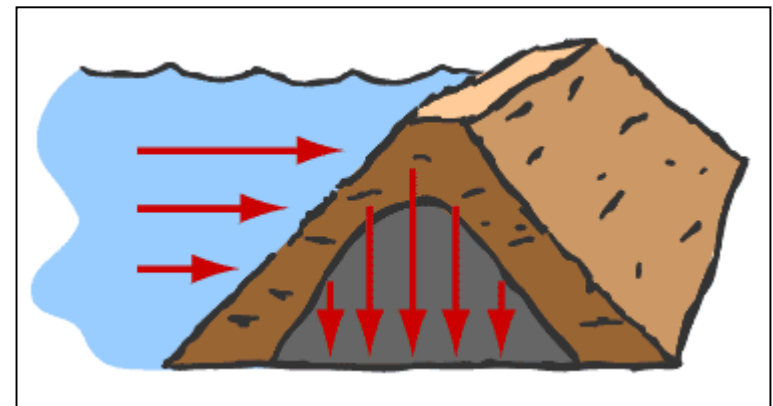


AGH

Zapory ziemne



zapory o niewielkich nachyleniach skarp, występujące w wielu wariantach konstrukcyjnych.



Klasyfikacja zapór ziemnych

- 1. Z uwagi na rozmieszczenie gruntów w przekroju poprzecznym**
 - zapory jednorodne,
 - zapory strefowane.
- 2. Z uwagi na rodzaj uszczelnienia korpusu zapory**
 - zapory bez uszczelnień,
 - zapory z rdzeniem pionowym lub pochyłym,
 - zapory z ekranem.
- 3. Z uwagi na rodzaj uszczelnienia podłoża**
 - zapory bez uszczelnienia,
 - z przesłoną pionową pełną,
 - z przesłoną zawieszoną lub niepełną,
 - z uszczelnieniem poziomym ponuru (fartuchem).
- 4. Z uwagi na metodę wykonania**
 - zapory sypane i zagęszczane mechanicznie,
 - zapory wykonywane metoda hydrauliczna (namywane).

Budowa zapory ziemnej

Zapora ziemna w przekroju poprzecznym ma kształt zbliżony do trapezu. **Korpus** zapory to nasyp ziemny lub narzut kamienny wzniesiony nad podłożem.

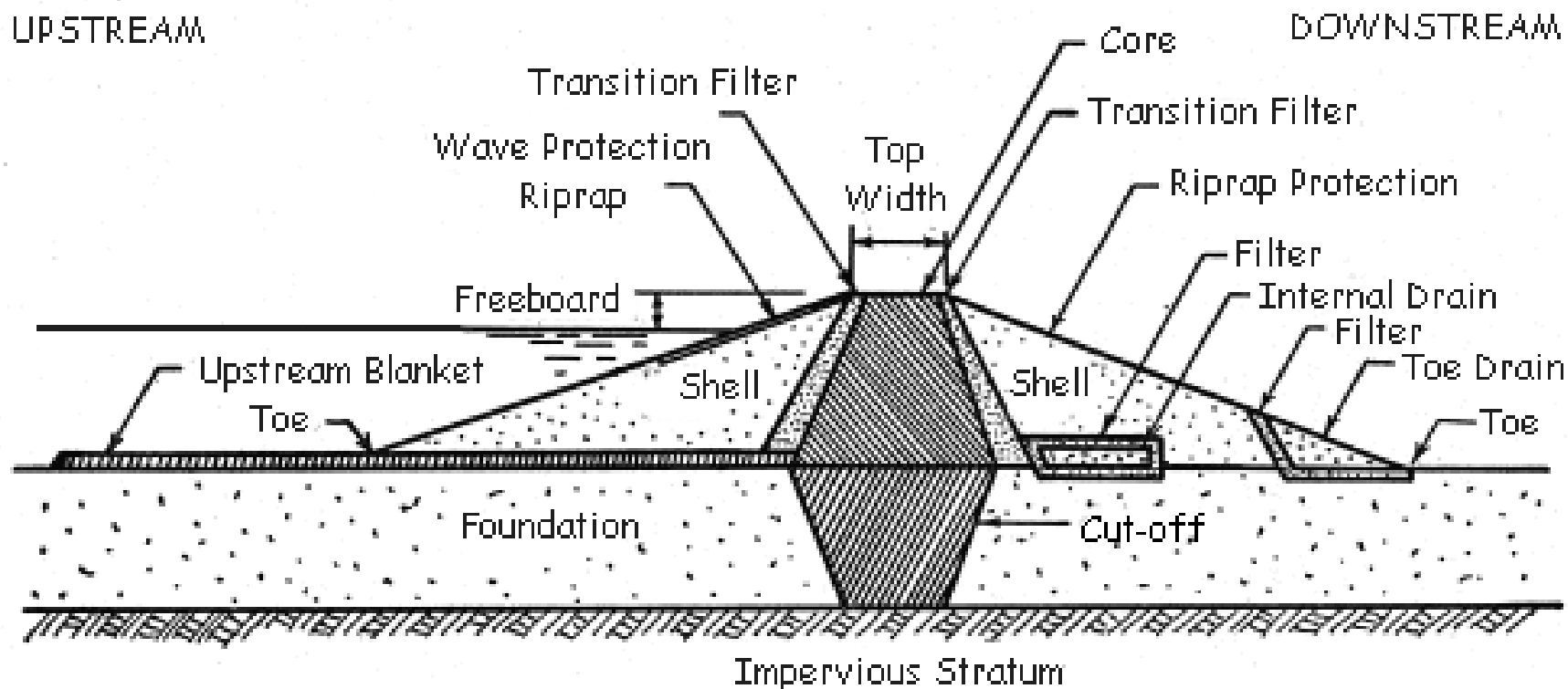
W korpusie można wyróżnić części statyczne (nasypy statyczne), elementy uszczelniające, drenaże, warstwy przejściowe i filtry odwrotne.

Górna płaszczyzna korpusu to korona zapory. Dolna płaszczyzna korpusu jest podstawą zapory. Pochylone powierzchnie boczne to skarpy – odводnia (górna) i odpowietrzna (dolna). Skarpy mają nachylenie określone stosunkiem wysokości zapory do rzutów skarp na ich płaszczyzny posadowienia. Nachylenie skarp na swojej długości mogą być stałe lub zmienne. W przypadku zapór wysokich skarpy (szczególnie odpowietrzne) bywają rozdzielone ławeczkami, stanowiącymi przejścia robocze i służącymi do ujmowania wód opadowych, spływających po powierzchni skarp.

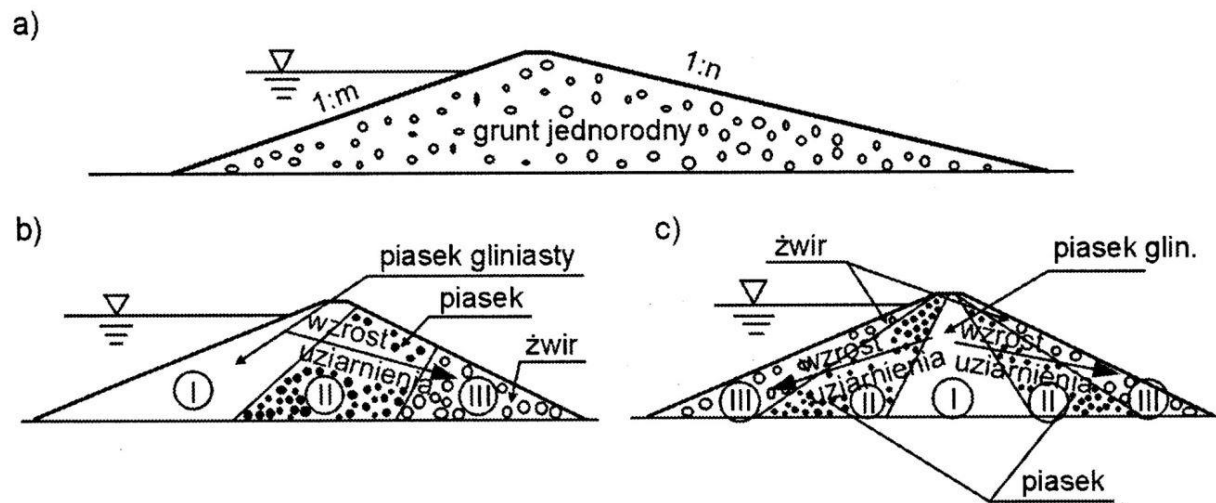


AGH

Zapory ziemne



Konstrukcje zapór nasypowych



Zapory bez odrębnych elementów uszczelniających:

- a) Jednorodna
- b) Strefowana – z kilku rodzajów gruntu – układ niesymetryczny
- c) Strefowana – z kilku rodzajów gruntu – układ symetryczny



AGH

Konstrukcje zapór nasypowych

Zapory z elementami uszczelniającymi:

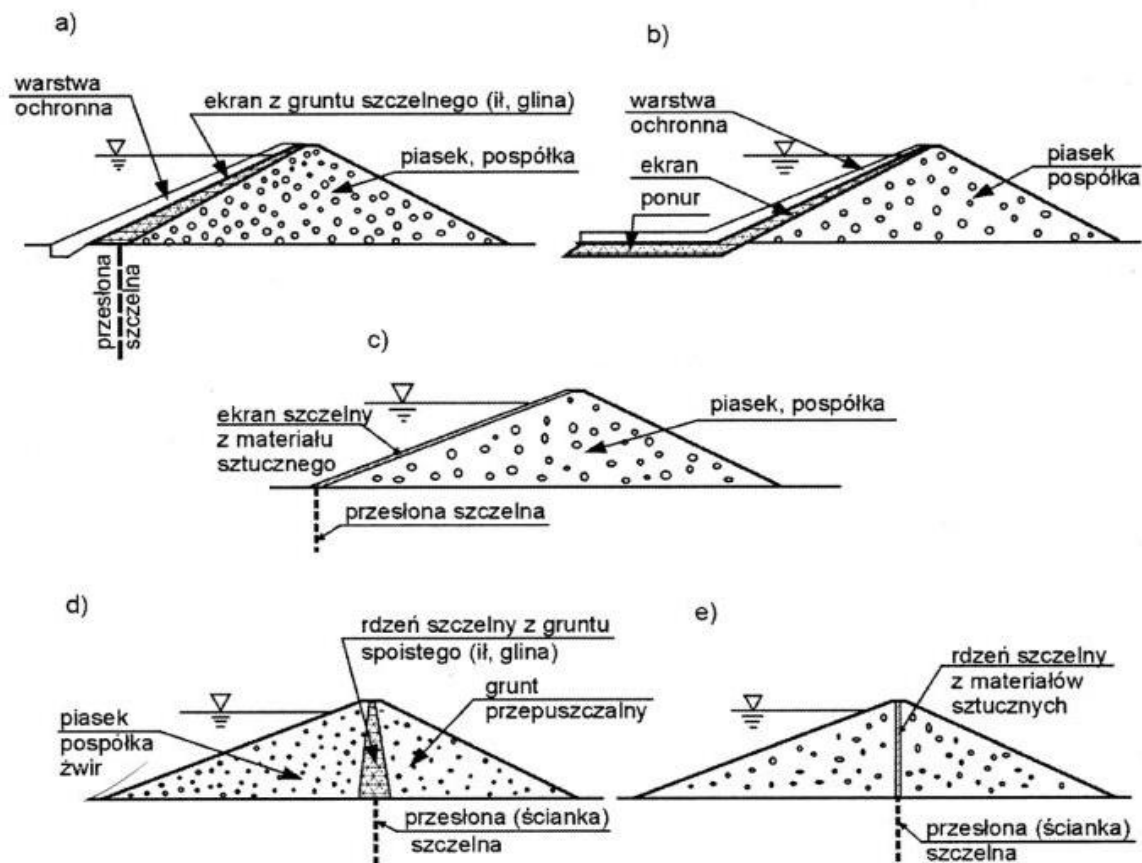
a) Z ekranem iłowym na skarpie

b) Z ekranem iłowym z ponurem

c) Z ekranem z materiału sztucznego (płyty betonowe, żelbetowe, asfaltobeton, folia)

d) Z rdzeniem iłowym w osi zapory

e) Z rdzeniem z materiału sztucznego (beton, żelbet, asfaltobeton)



Podział ze względu na lokalizację i warunki pracy

Ze względu na lokalizację i warunki pracy zapory ziemne dzielimy na:

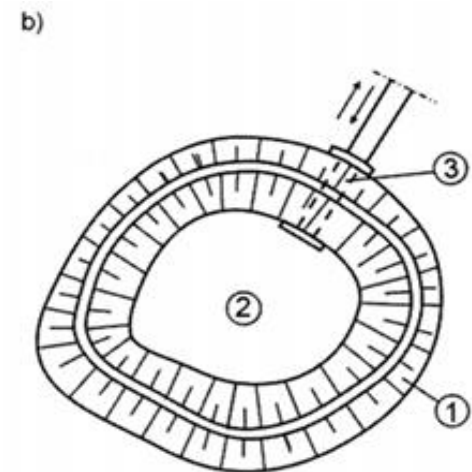
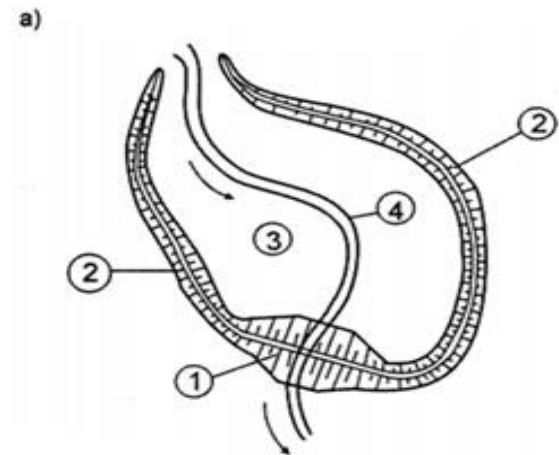
- Czołowe
- Boczne
- Obwałowania zbiorników sztucznych

Zbiornik na rzece

1 - zapora czołowa, 2 - zapory boczne,
3 - czasza zbiornika, 4 - rzeka.

Zbiornik górny elektrowni szczytowo-pompowej

1 - obwałowanie zbiornika, 2 - czasza zbiornika,
3 - doprowadzenie (odprowadzenie) wody do zbiornika





AGH

Elektrownia szczytowo pompowa Żar





AGH

Elektrownia szczytowo pompowa Żar

Elektrownia szczytowo-pompowa nie jest właściwie źródłem energii ale ją magazynuje. Co więcej prawie 30% energii elektrycznej jest w tym procesie tracone. Taka elektrownia składa się z dwóch zbiorników wodnych znajdujących się na różnych poziomach, przy czym różnica poziomów powinna być jak największa. Oba zbiorniki połączone są rurami umieszczonymi na powierzchni lub pod ziemią. W okresie niskiego zapotrzebowania na energię elektryczną np. w nocy lub latem następuje pompowanie wody ze zbiornika dolnego do górnego, a więc zamiana energii elektrycznej na potencjalną ciężkości, a następnie w godzinach szczytu następuje odwrócenie procesu.



Zapora Nurecka

Zapora wodna w Tadżykistanie, na rzece Wachsz. Wysokość 300 m.



Zapora Nurecka

Zapora Nurek jest najwyższą zaporą ziemną i drugą co do wysokości zaporą wodną. Została zbudowana przez Związek Radziecki w latach 1961-1980.

Jest to nietypowa budowla ziemna z centralnym rdzeniem uformowanym z cementu. Suchy cement, pod wpływem działającego na niego ciśnienia i wilgoci, uzyskał odpowiednią wytrzymałość wiążąc wodę zawartą w gruncie (technologia podobna jak przy wykonywaniu bezpośrednio w gruncie ubijanych pali fundamentowych). Na tak uformowanym rdzeniu została usypana grobla ze skał, kamieni i ziemi o wysokości 300 m i długości 704 m. Objętość materiału skalnego, wykorzystanego do budowy zapory, wynosi ok. 54 mln m³.

Zapora Nurecka

Korpus budowli zbudowany został z siedmiu stref ułożonych symetrycznie względem rdzenia. W związku z położeniem Tadżykistanu w strefie sejsmicznej, konieczne było zastosowanie dodatkowych zabezpieczeń antysejsmicznych - wykonano specjalne pasy antysejsmiczne

Nurecka elektrownia wodna składa się z 9 turbin, każda o mocy 335 MW. Pierwszą oddano do eksploatacji 1972r zaś ostatnią 1979r. Zdolność projektowa wynosi 2700 megawatów energii elektrycznej.

Woda używana jest do nawadniania około 650 000 hektarów użytków rolnych.



AGH

Zapora Nurecka





AGH Zapora Rogun

Realizacja inwestycji rozpoczęła się w październiku 2016 r. Niezwykłości jednak temu projektowi nadaje planowana wysokość zapory - aż 335 m. Będzie to najwyższa zapora na świecie, skonstruowana przy użyciu rumoszu skalnego i gliny. Zainstalowanych zostanie w niej sześć turbin Franciszka (600 MW każda) - potencjał energetyczny o mocy 3600 MW.



Zapora w Nidzicy

Zapora została zbudowana na rzece Dunajec, opierając się o skały pasma Pienin. Głównym założeniem przy jej projektowaniu było spełnienie funkcji przeciwpowodziowej. Pierwotne plany zostały przedstawione w 1919 r. Gabrielowi Narutowiczowi, późniejszemu Prezydentowi RP, który zajmował się podobnymi zagadnieniami w Szwajcarii. Zapora Niedzica jest najwyższą w Polsce zaporą ziemną z centralnym uszczelnieniem glinowym. Jej wysokość maksymalna od chodnika galerii wynosi 56 m. Długość zapory wynosi 404 m. Korona budowli ma szerokość 7 m i jest udostępniana do ruchu pieszych oraz przejazdu pojazdów obsługi. Zapora została zbudowana z wykorzystaniem 1,7 mln m³ żwiru.

Poniżej zapory znajduje się elektrownia wodna z dwiema turbinami i generatorami, o mocy 46 megawatów i wadze 250 ton każda. Sam budynek elektrowni sięga 40 metrów pod ziemię i ma 7 kondygnacji.



AGH

Zapora w Nidzicy





AGH

Zapora w Nidzicy



Klasy budowli hydrotechnicznych

Stałe budowle hydrotechniczne zalicza się do jednej z czterech klas ważności I, II, III, IV. Klasami wyższymi, którym stawia się większe wymagania, są klasy o niższych liczbach porządkowych; najwyższą klasą ważności jest klasa I.

W zależności od klasy budowli hydrotechnicznej różnicuje się warunki:

- 1) przepływów obliczeniowych,**
- 2) współczynników przyjmowanych w obliczeniach statycznych,**
- 3) bezpiecznych wzniesień koron budowli, brzegów nad określonym położeniem zwierciadła wody i poziomami wtaczania się fal,**
- 4) wyposażenia w urządzenia technicznej kontroli budowli,**
- 5) zakresu wymaganych studiów przedprojektowych i projektowych, w tym badań modelowych,**
- 6) wyposażenia upustów.**



AGH

Klasy budowli hydrotechnicznych

Lp.	Nazwa, charakter lub funkcja budowli	Opis i miano wskaźnika		Wartość wskaźnika dla klasy				Uwagi
				I	II	III	IV	
1	2	3		4	5	6	7	8
1	Budowle stale piętrzące wodę, których awaria powoduje utratę pojemności zbiornika lub może spowodować zatopienie falą wypływającą przez zniszczoną lub uszkodzoną budowlę	Wysokość piętrzenia H [m]	a) na podłożu skalnym	$H > 30$	$15 < H \leq 30$	$5 < H \leq 15$ m	$2 < H \leq 5$	Wysokość piętrzenia określona w § 3 pkt 4
			b) na podłożu nieskalnym	$H > 20$	$10 < H \leq 20$	$5 < H \leq 10$	$2 < H \leq 5$	
		c) Pojemność zbiornika V [mln m ³]		$V > 50$	$20 < V \leq 50$	$5 < V \leq 20$	$0,2 < V \leq 5$	Pojemność przy maksymalnym poziomie piętrzenia (Max PP)
		d) Obszar zatopiony przez falę powstałą przy normalnym poziomie piętrzenia F [km ²]		$F > 50$	$10 < F \leq 50$	$1 < F \leq 10$	$F \leq 1$	Obszar zatopiony jest to obszar, na którym głębokość wody przekracza 0,5 m
		e) Liczba ludności na obszarze zatopionym w wyniku zniszczenia budowli L [osób]		$L > 300$	$80 < L \leq 300$	$10 < L \leq 80$	$L \leq 10$	Poza stałymi mieszkańcami do liczby ludności wlicza się również załogi fabryk, biur, urzędów itp. oraz osoby przebywające w ośrodkach zakwaterowania zbiorowego (hotele, domy wczasowe itp.)
2	Budowle do nawodnień lub odwodnień	Obszar nawadniany lub odwadniany F [km ²]		$F > 200$	$20 < F \leq 200$	$4 < F \leq 20$	$F \leq 4$	
3	Budowle przeznaczone do ochrony przeciwpowodziowej	Obszar chroniony F [km ²]		$F > 300$	$150 < F \leq 300$	$10 < F \leq 150$	$F \leq 10$	Obszar, który przed obwałowaniem ulegał zatopieniu wodami o prawdopodobieństwie $p = 1\%$



AGH

Klasy budowli hydrotechnicznych

1	2	3	4	5	6	7	8
4	Elektrownie wodne i budowle piętrzące wchodzące w skład elektrowni ciepłych i jądrowych	Moc elektrowni P [MW]	$P > 150$	$50 < P \leq 150$	$5 < P \leq 50$	$P \leq 5$	
5	Budowle umożliwiające żeglugę	Klasa drogi wodnej	-	V-IV	III-II	I	
6	Budowle przeznaczone do zaopatrzenia w wodę miast i osiedli oraz zakładów przemysłowych	Użytkowanie wody	Budowle zalicza się do klasy I lub II				Indywidualnie przeprowadzona analiza ważności użytkownika wody

Klasy budowli hydrotechnicznych

- 1) Klasę budowli drugorzędnej przyjmuje się o jeden stopień niższą od ostatecznie ustalonej klasy budowli głównej.
- 2) Gdy budowla główna zaliczona jest do klasy IV, również budowlę drugorzędną zalicza się do tej klasy.
- 3) Tymczasowych budowli hydrotechnicznych nie zalicza się do poszczególnych klas, z wyjątkiem przypadków, gdy ich zniszczenie może wywołać następstwa o charakterze katastrofalnym dla miast i osiedli oraz placu budowy realizowanych budowli głównych klas I i II.
- 4) Tymczasową budowlę, w sytuacji określonej w pkt 3, zalicza się do klasy nie wyższej niż III.
- 5) Budowle piętrzące o wysokości piętrzenia nieprzekraczającej 2,0 m i gromadzące wodę w ilości poniżej 0,2 mln m³ nie podlegają klasyfikacji według niniejszego załącznika pod warunkiem, że ich zniszczenie nie zagraża terenom zabudowanym.

Klasy budowli hydrotechnicznych

- 6) Budowle wymienione w pkt 5 powinny spełniać warunki techniczne dla budowli klasy IV.**
- 7) Klasa budowli powinna być ustalona w projekcie budowlanym zatwierdzanym przez właściwy organ administracji architektoniczno-budowlanej.**
- 8) Budowle hydrotechniczne należy zaliczać do klasy najwyższej spośród klas ustalonych na podstawie poszczególnych wskaźników.**
- 9) Budowle hydrotechniczne okresowo piętrzące wodę przeznaczone do ochrony przeciwpowodziowej należy klasyfikować wyłącznie według lp. 3.**
- 10) Budowle hydrotechniczne wymienione w lp. 3 nie mogą być zaliczone do klasy niższej niż I, jeżeli ich zniszczenie może mieć katastrofalne skutki dla aglomeracji i zabytków oraz zakładów przemysłowych o podstawowym znaczeniu dla gospodarki. Ustaloną III i IV klasę budowli hydrotechnicznej należy podnieść o jeden stopień ważności, gdy jej zniszczenie może zagrazić terenom zamieszkałym lub terenom intensywnych upraw rolnych.**

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

Obliczanie stateczności i nośności budowli hydrotechnicznych wykonuje się według metod określonych w Polskich Normach dotyczących tych obliczeń.

Budowle hydrotechniczne żelbetowe i kamienne oraz wykonane z betonu słabo zbrojonego, posadowione na podłożu **nieskalnym**, powinny spełniać warunki bezpieczeństwa w zakresie:

- 1) przekroczenia obliczeniowego oporu granicznego podłoża gruntowego;
- 2) poślizgu po podłożu lub w podłożu;
- 3) przekroczenia dopuszczalnych wartości osiadań i różnicy osiadań oraz przechylenia;
- 4) przebicia hydraulicznego i sufozji gruntu podłoża i przyczółków;
- 5) nośności konstrukcji;
- 6) wystąpienia nadmiernych ciśnień w podstawie budowli hydrotechnicznej oraz w podłożu.

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

Budowle piętrzące żelbetowe i kamienne oraz wykonane z betonu słabo zbrojonego, posadowione na podłożu **skalnym** sprawdza się w zakresie:

- 1) przekroczenia obliczeniowego oporu granicznego podłoża;
- 2) poślizgu po podłożu i w podłożu;
- 3) obrotu;
- 4) wystąpienia naprężeń rozciągających od strony odwodnej, w poziomie posadowienia, a dla budowli hydrotechnicznych wykonanych z betonu słabo zbrojonego i kamiennych - również w przekrojach powyżej poziomu posadowienia;
- 5) wystąpienia nadmiernych ciśnień w podstawie budowli hydrotechnicznej oraz w podłożu;
- 6) przebieg hydraulicznych w szczelinach podłoża skalnego i przyczółków;
- 7) nośności konstrukcji.

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

Ziemne budowle piętrzące sprawdza się w zakresie:

- 1) stateczności skarp wraz z podłożem;
- 2) gradientów ciśnień filtracyjnych i możliwości przebiccia lub sufozji;
- 3) chłonności, wydajności drenaży;
- 4) wartości osiadań korpusu i odkształceń podłoża budowli hydrotechnicznej;
- 5) niebezpieczeństwa wystąpienia poślizgu po podłożu i w podłożu;
- 6) niebezpieczeństwa wyparcia słabego gruntu spod budowli hydrotechnicznej.

W przypadku występowania w podłożu i korpusie budowli piętrzącej gruntów piaszczystych lub pylastych w stanie luźnym, należy sprawdzić możliwość upłynnienia tych gruntów w wyniku działających obciążeń.

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

Dla sprawdzenia warunków stateczności według I stanu granicznego nośności budowli hydrotechnicznej, z wyjątkiem skarp budowli hydrotechnicznych ziemnych i zboczy, stosuje się zależność:

$$\gamma_n \cdot E_{dest} \leq m \cdot E_{stab}$$

gdzie:

E_{stab} – oznacza obliczeniowe oddziaływania stabilizujące, którymi są:

- obliczeniowy opór graniczny podłoża gruntowego,
- suma rzutów na płaszczyznę poślizgu wszystkich sił od obciążeń obliczeniowych przeciwdziałających przesunięciu, wyznaczonych z uwzględnieniem obliczeniowych wartości parametrów geotechnicznych,
- moment wszystkich sił obliczeniowych przeciwdziałających obrotowi,
- składowa pionowa obciążeń obliczeniowych w poziomie posadowienia przy sprawdzaniu stateczności na wypłynięcie,

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

E_{dest} – oznacza obliczeniowe oddziaływania destabilizujące, którymi są odpowiednio:

- obciążenia przekazywane przez fundamenty na podłoże gruntowe,
- składowa styczna wszystkich obciążeń obliczeniowych mogących spowodować przesunięcia budowli hydrotechnicznej w płaszczyźnie poślizgu,
- momenty wszystkich sił obliczeniowych mogących spowodować obrót,
- składowa pionowa wartości obliczeniowej wyporu w poziomie posadowienia przy sprawdzaniu stateczności na wypłynięcie,

γ_n – oznacza współczynnik konsekwencji zniszczenia,

m – oznacza współczynnik korekcyjny.

Zależność powyższą stosuje się przy sprawdzaniu nośności podłoża gruntowego budowli hydrotechnicznej, poślizgu budowli hydrotechnicznej po podłożu lub w podłożu, obrotu budowli hydrotechnicznej oraz jej wypłynięcia.



AGH

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

Współczynnik konsekwencji zniszczenia budowli hydrotechnicznej (z wyłączeniem skarp i zboczy)

Dla klasy budowli	Współczynnik konsekwencji zniszczenia budowli hydrotechnicznej γ_n			
	I	II	III	IV
Podstawowy układ obciążeń	1,20	1,15	1,10	1,05
Wyjątkowy układ obciążeń	1,15	1,10	1,05	1,00

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

Obciążenia podstawowe - obciążenia stałe oraz zmienne, których przeniesienie jest głównym celem projektowanego obiektu lub jego części. Symbol obciążeń podstawowych: P.

Obciążenia dodatkowe - obciążenia zmienne występujące jednocześnie z obciążeniami podstawowymi w określonych warunkach środowiska, eksploatacji i budowy, których przeniesienie nie jest głównym celem projektowanego obiektu lub jego części. Symbol obciążeń dodatkowych: D.

Obciążenia wyjątkowe - obciążenia zmienne przekraczające wartości normowe dla obiektu lub jego części, występujące w warunkach nietypowych lub awaryjnych. Symbol obciążeń wyjątkowych: W.

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

Układ obciążeń - kombinacje obciążeń:

- **układ podstawowy P** - obciążenia podstawowe,
- **układ dodatkowy PD** - obciążenia podstawowe i niektóre dodatkowe, które mogą wystąpić równocześnie,
- **układ wyjątkowy PW** - obciążenia podstawowe i jedno z wyjątkowych oraz te z dodatkowych, które występują lub mogą wystąpić równocześnie z obciążeniem wyjątkowym.

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

m – współczynnik zależny od rodzaju sprawdzanego warunku stateczności, rodzaju konstrukcji i przyjętej metody obliczeń konstrukcji.

Jeżeli Polskie Normy nie stanowią inaczej, współczynniki korekcyjne m należy przyjmować:

- 1) przy sprawdzeniu przekroczenia obliczeniowego oporu granicznego podłoża gruntowego i nośności gruntu:
 - a) gdy stosuje się rozwiązanie teorii granicznych stanów naprężeń, $m = 0,9$,
 - b) przy przybliżonych metodach oznaczania parametrów gruntu $m = 0,8$,
- 2) przy sprawdzeniu poślizgu po podłożu $m = 0,8$,
- 3) przy sprawdzeniu poślizgu w podłożu:
 - a) gdy przyjmuje się kołowe linie poślizgu w gruncie, $m = 0,8$,
 - b) gdy stosuje się inne, bardziej uproszczone metody obliczeń, $m = 0,7$,
- 4) przy sprawdzeniu stateczności na obrót $m = 0,8$.



AGH

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

W obliczeniach uwzględnia się naprężenia efektywne wyznaczone z uwzględnieniem prognozowanych ciśnień wody w porach gruntów podłoża. Jeżeli wyniki prognozy ciśnień wody w porach są niepewne, warunek stanu granicznego nośności sprawdza się zarówno dla warunków pracy bez drenażu, jak i warunków pracy z drenażem, przyjmując odpowiednio całkowite lub efektywne parametry wytrzymałościowe gruntów w podłożu.

Dopuszcza się stosowanie innych metod obliczeń stateczności budowli hydrotechnicznych opartych na rozwiązaniu równań równowagi, stosując odpowiedni współczynnik pewności.

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

Gradienty ciśnień filtracyjnych występujące w podłożu wszystkich budowli hydrotechnicznych oraz w korpusie zapór ziemnych powinny spełniać zależność:

$$\gamma_i \cdot i \leq i_{kr}$$

gdzie:

i - oznacza gradient ciśnień filtracyjnych,

i_{kr} - oznacza wartości krytyczne gradientu dla danego gruntu,

γ_i - oznacza współczynnik pewności, który niezależnie od klasy budowli wynosi:

$\gamma_i = 1,5$ dla podstawowego układu obciążeń,

$\gamma_i = 1,3$ dla wyjątkowego układu obciążeń.

Wartości gradientu ciśnienia filtracyjnego należy wyznaczyć dla warunków filtracji ustalonej i nieustalonej, wywoływanej wahaniami stanów wody oraz procesami konsolidacji w gruntach spoistych.

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

Sprawdzenie stateczności skarp budowli hydrotechnicznych ziemnych oraz zboczy polega na wykazaniu, że jest spełniona zależność:

$$\gamma_p \cdot E_{dest}^{ch} \leq E_{stab}^{ch}$$

gdzie:

E_{dest}^{ch} , E_{stab}^{ch} - oznaczają charakterystyczne oddziaływania stabilizujące i destabilizujące,

γ_p - oznacza współczynnik pewności.

Wartość współczynnika pewności niezależnie od klasy budowli hydrotechnicznej wynosi:

1,5 - dla podstawowego układu obciążeń,

1,3 - dla wyjątkowego układu obciążeń.

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

Podane wartości współczynnika pewności dotyczą obliczeń wykonywanych dokładnymi metodami, w tym metodami Morgensterna-Price`a, GLE, Spencera, MES, przy przeciętnym rozpoznaniu podłoża. W przypadku dokładnego rozpoznania budowy podłoża w układzie warstw geotechnicznych i przeprowadzenia badań właściwości gruntów spoistych w poszczególnych warstwach podłoża, podane wartości mogą być zmniejszone do wartości 1,3 dla podstawowego układu obciążeń i 1,15 dla wyjątkowego układu obciążeń.

Dla budowli hydrotechnicznych klasy III i IV dopuszcza się wykonywanie obliczeń stateczności metodami uproszczonymi, w tym metodą szwedzką lub metodą dużych brył; przy zastosowaniu metod uproszczonych wartość współczynnika pewności wynosi:

- 1,3 - dla podstawowego układu obciążeń,
- 1,15 - dla wyjątkowego układu obciążeń.



AGH

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

Dla budowli hydrotechnicznych klasy I i II parametry wytrzymałościowe gruntów spoistych powinny być wyznaczane na podstawie wyników odpowiednich badań. Dla gruntów niespoistych oraz dla gruntów spoistych w budowlach hydrotechnicznych klasy III i IV dopuszcza się stosowanie metod korelacyjnych, w tym wyznaczanie tych parametrów na podstawie wyników sondowania statycznego, dynamicznego lub dylatometrycznego.

Wartości charakterystyczne obciążeń i parametrów geotechnicznych wyznacza się według metod określonych w Polskich Normach dotyczących tych wartości.



AGH

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

W przypadku występowania w korpusie lub bezpośrednio w podłożu pod budowlą hydrotechniczną gruntów spoistych warunki stateczności tej budowli hydrotechnicznej należy sprawdzić dla dwóch przypadków obliczeniowych:

- 1) z uwzględnieniem drenażu - wprowadzając do obliczeń występujące ciśnienia wody w porach i efektywne parametry wytrzymałościowe;**
- 2) bez uwzględnienia drenażu - wprowadzając do obliczeń naprężenia całkowite i parametry wytrzymałościowe wyznaczone w warunkach bez drenażu.**



AGH

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

Stateczność zboczy zbiorników sprawdza się z uwzględnieniem przewidywanego zakresu wahań poziomów piętrzenia i prędkości zmian poziomu wody.

Dla określenia nadwyżek wysokości nasypów ziemnych budowli hydrotechnicznych niezbędnych dla utrzymania projektowanej rzędnej korony opracowuje się prognozę osiadań; dla budowli hydrotechnicznych klasy I i II prognozę sporządza się w oparciu o parametry geotechniczne podłoża i materiału użytego do budowy budowli hydrotechnicznych, określone na podstawie wyników badań polowych i laboratoryjnych; dla budowli hydrotechnicznych klas niższych parametry geotechniczne można oznaczyć na podstawie badań polowych określonych w Polskich Normach dotyczących tych badań.

Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

Budowle hydrotechniczne powinny zapewniać:

- 1) regulowanie przepływu wody zgodnie z wymaganiami eksploatacyjnymi, ustalonymi w dokumentacji budowy,**
- 2) bezpieczne przepuszczenie przepływów wezbraniowych z zachowaniem wzniesienia korony budowli ponad poziomy wód występujące przy tych przepływach,**
- 3) bezpieczne przepuszczenie lodu oraz innych ciał pływających i wleczonych.**

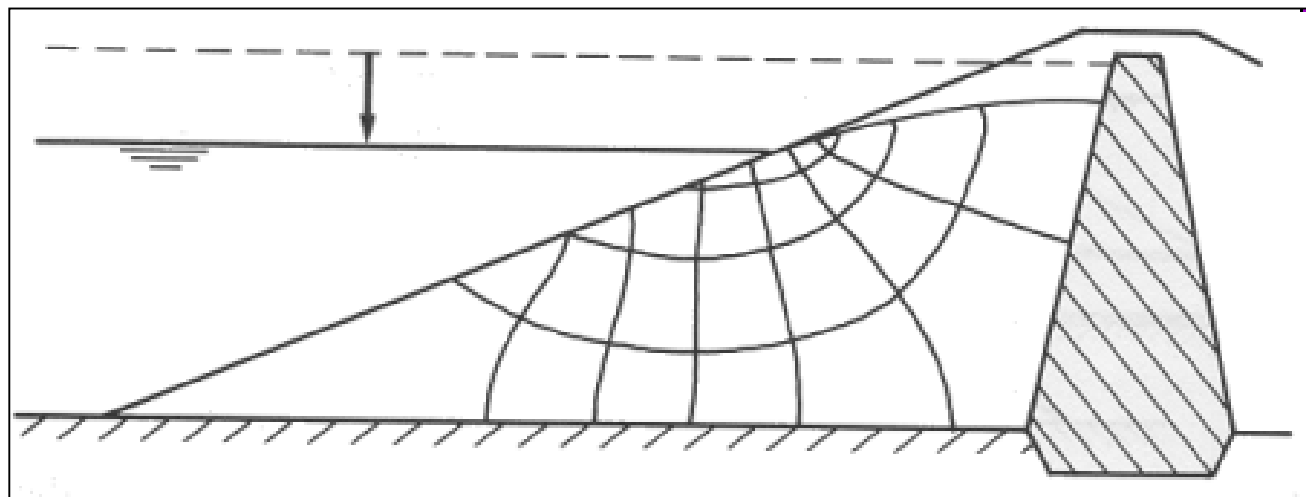
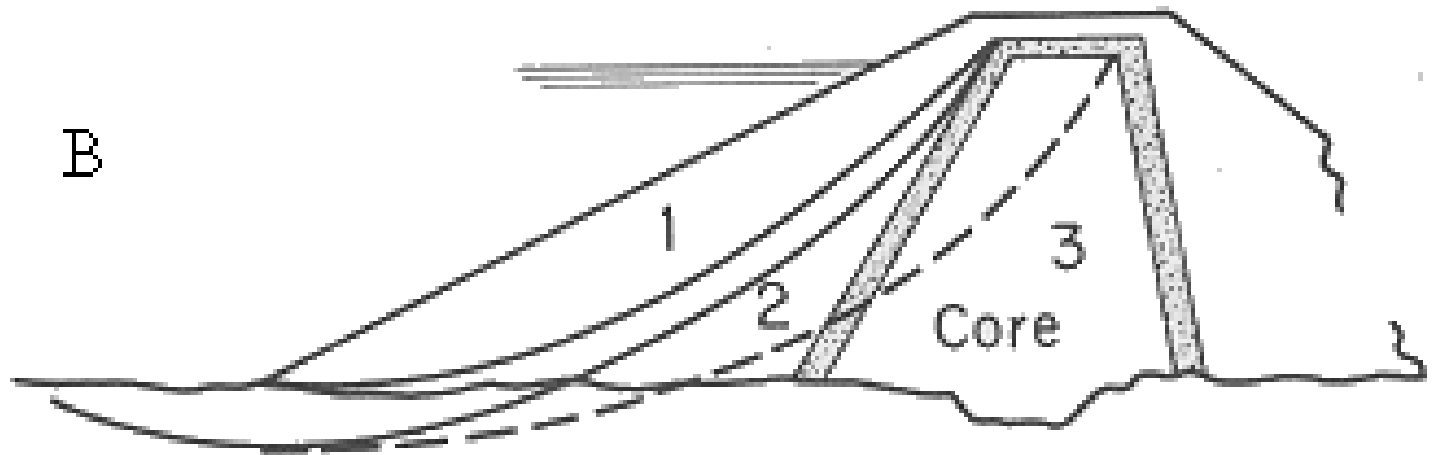
Przepływy wód przez budowle hydrotechniczne powinny być przepuszczane przez przelewy i urządzenia działające pod ciśnieniem wód oraz inne budowle hydrotechniczne przystosowane do przepuszczania wód.

Zdolność przepustowa przelewu w normalnych warunkach eksploatacji powinna wynosić co najmniej 80% przepływu miarodajnego; pozostała część przepływu powinna być przeprowadzona przez inne urządzenia do przepuszczania wód.



AGH

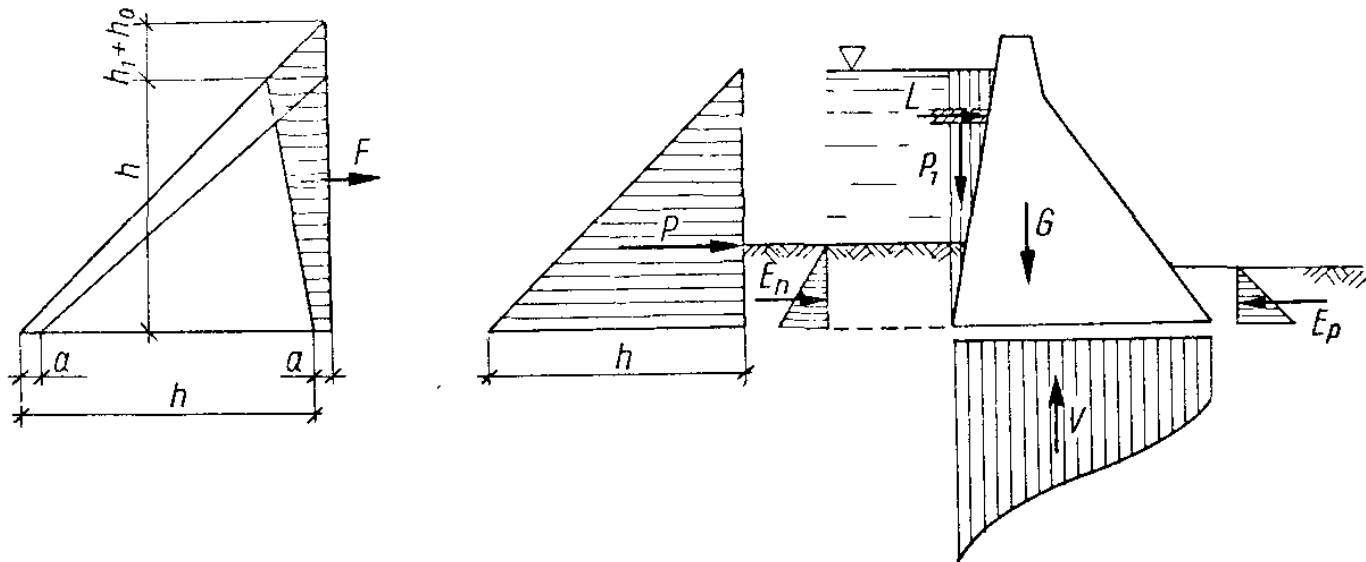
Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

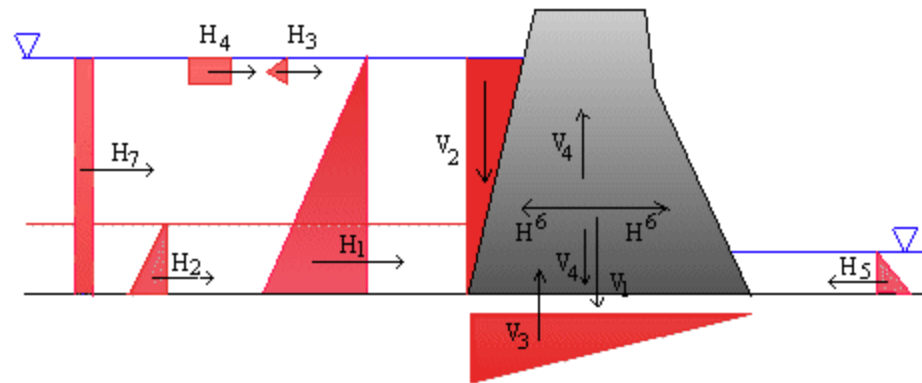


Obciążenia w budownictwie wodnym

Uwagi ogólne:

- Obciążenia od ciężaru własnego są dominującymi,
- Obciążenia zmienne, użytkowe są małe w porównaniu z ciężarem własnym.



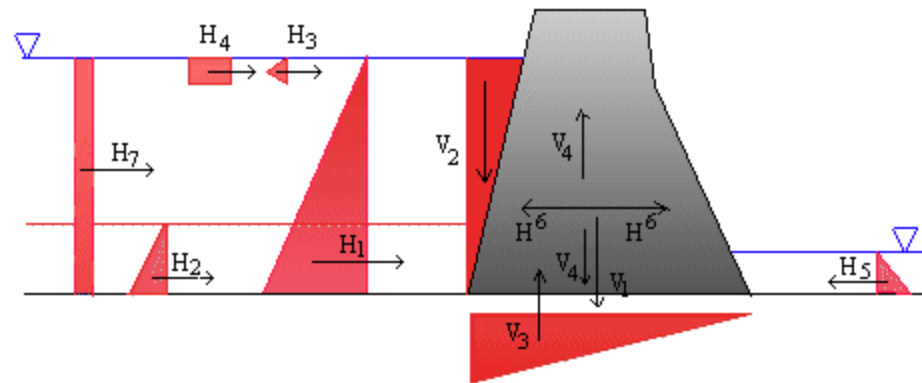


Horizontal Loads

Headwater (H1) - For the basic calculation of stability the level in the reservoir will be assumed at or above the level required for the passage of the design flood. In many instances the dam is designed for the highest level of watertightness, e.g. a concrete parapet.

Silt (H2) - A changed land usage as a result of a dam may well result in increased erosion, causing a deposition of silt. Unless very deep deposits of silt are likely it is adequate to assume a triangular load allotting an appropriate relative density to the fluid. This would have a maximum value of 1.4.

Obciążenia w budownictwie wodnym

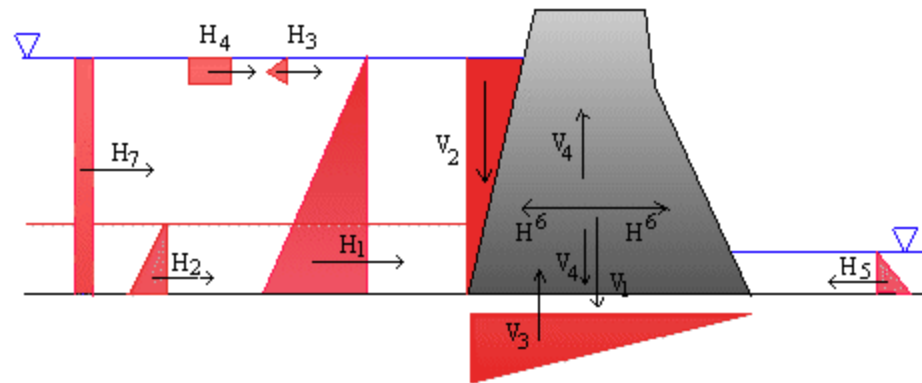


Horizontal Loads

Reservoir Behaviour (H3) - Wind and other natural causes will induce movement in the reservoir as waves, reservoir set-up or seiche effect.

Ice Loading (H4) - It is assumed that ice will not form and exert pressure on the dam at times of maximum flood. The slope of the upstream face of the dam as well as the slope and roughness of the valley walls will influence the magnitude of ice loading. Even wind blowing down the reservoir at 50 km/hr may increase the ice loading by 4-5 t/m of exposed face.

Obciążenia w budownictwie wodnym



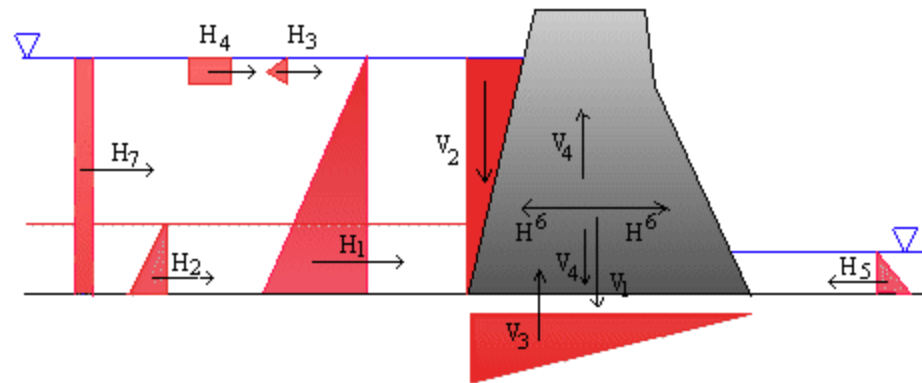
Horizontal Loads

Tailwater (H5) - In some cases water is ponded downstream from the dam. Assistance from this may be assumed but it must not be overlooked that, in the case of an overflow dam, flood waters passing over the dam might well evacuate such water from the face of the dam.

Seismic Force (H6) - Force acting on dam in horizontal plane.

Seiche effect (H7) - Is an undulation in the reservoir water due to natural causes, intermittent wind, variation in atmospheric pressure, earthquake and motion of the Earth. Usually less than 0.5m, though levels of 2m have been reported in Lake Geneva.

Obciążenia w budownictwie wodnym

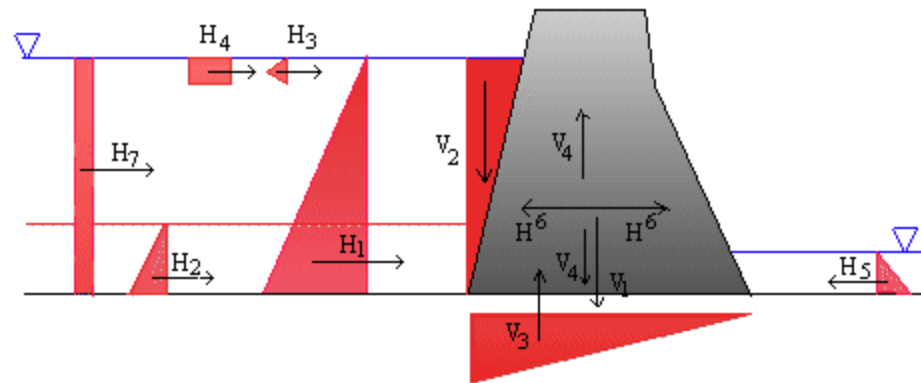


Vertical Loads

Weight of Dam (V_1)- The unit weight of material in the dam should be determined as accurately as possible. An underestimation by 1% will represented a considerable additional cost on the dam.

Vertical Water Loading (V_2) - Imposed on any sloping surface of the dam, usually the upstream face, but also on the downstream for overflow dams.

Obciążenia w budownictwie wodnym



Vertical Loads

Uplift (V_3)- Hydrostatic forces acting within a dam and its foundations including interstitial or pore pressures. Some Engineers rely on drainage to prevent occurrence of uplift, assuming the drainage will be effective for the entire life on the dam, therefore some inclusion for uplift must be included in the design. [k values vary between 0.25 to 0.50 depending on conditions.]

Seismic Force (V_4) - Force acting on dam in vertical plane.

Największa katastrofa zapory ziemnej

Na początku sierpnia 1975 roku przez Chiny przeszedł tajfun Nina. Tama Shimantan miała przetrwać powódź zdarzającą się raz na 500 lat, jednak 6 sierpnia spadło tyle wody co zazwyczaj w ciągu całego roku. Wzmożone opady spowodowały że lustro wody podniosło się o 1,9m ponad limit. Przy 40 cm wody przelewającej się przez grzbiet, tama runęła. W ciągu 5 godzin ze zbiornika wypłynęło ok 120 milionów metrów sześciennych wody.

Następnie zapadła się 118m tama Banqiao na rzece Ru, która miała przetrwać powódź zdarzającą się raz na 1000 lat.

W ciągu sześciu godzin ze zbiornika wypłynęło 2 miliardy 300 milionów ton wody. Rozpad tamy utworzył poruszającą się z prędkością 50 km/h ścianę wody o wysokości 6 metrów i szerokości 12 kilometrów. Powódź rozprzestrzeniła się na ponad milion hektarów gruntów rolnych w 29 hrabstwach i gminach.



AGH

Największa katastrofa zapory ziemnej

