ZAPORA poprzeczna budowla piętrząca umieszczona zazwyczaj na obszarze zalewowym rzeki i powodująca powstanie zbiornika wodnego. Wysokość i długość zależna od projektowanej **pojemności zbiornika,** a także od szerokości doliny, głębokości rzeki, pochylenia skarp. Zapory z ziemi, drewna, kamienia, betonu, żelbetu, stali.
Ważny właściwy wybór miejsca do fundamentowania zapory. Szczegółowe badania geologiczne -właściwości gruntu.
Podstawowa część zapory to *korpus*. Najwyższy element to *korona* –wysokość jej wzniesienia nad Max PP określają przepisy. Szerokość korony zależy od funkcji (droga służbowa czy komunikacyjna ogólnodostępna. *Szerokość podstawy zapory* –to szerokość najwyższego bloku, *długość* wymiar zapory wzdłuż korony pomiędzy brzegami (stąd długości bloków często są mniejsze od szerokości). W korpusie zapory

-dreny pionowe, przejmujące wodę filtrującą przez korpus,
-galerie kontrolne (1 – 5 zależnie od wysokości zapory)

Typy zapór:

-ciężkie (ziemia. kamień, beton, drewniane skrzynie wypełnione kamieniem) duży ciężar -wytrzymałość materiału nie jest wykorzystana , wielkie siły tarcia pod fundamentem, grunt pod stopą fundamentu powinien być wytrzymały, o małej ściśliwości, odporny na działanie wody, jednorodny (bez słabszych warstw, pęknięć, szczelin). Przy dużych spiętrzeniach tylko na gruntach skalnych.

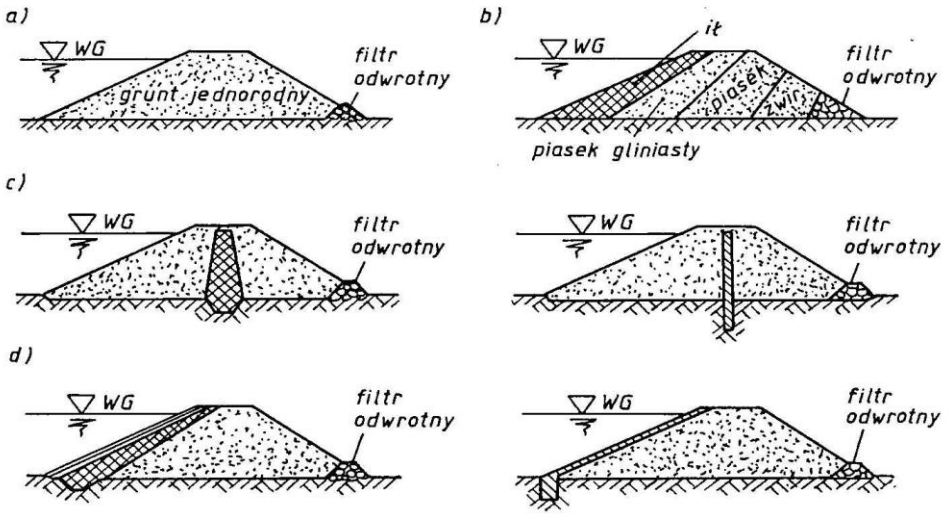
-lekkie (kamień, beton, żelbet, stal, drewno) mają jeszcze większe wymagania ponieważ wywołują większe obciążenie gruntu.

Zapory budujemy w miejscu gdzie dolina rzeki jest wąska i tworzy tzw. *gardło*. Oś zapory prostopadle do kierunku doliny i kierunku strumienia wody w rzece –zapora czołowa, w odróżnieniu od bocznych ograniczających wielkośc zbiornika lub chroniące miejscowości.

Zapory ziemne

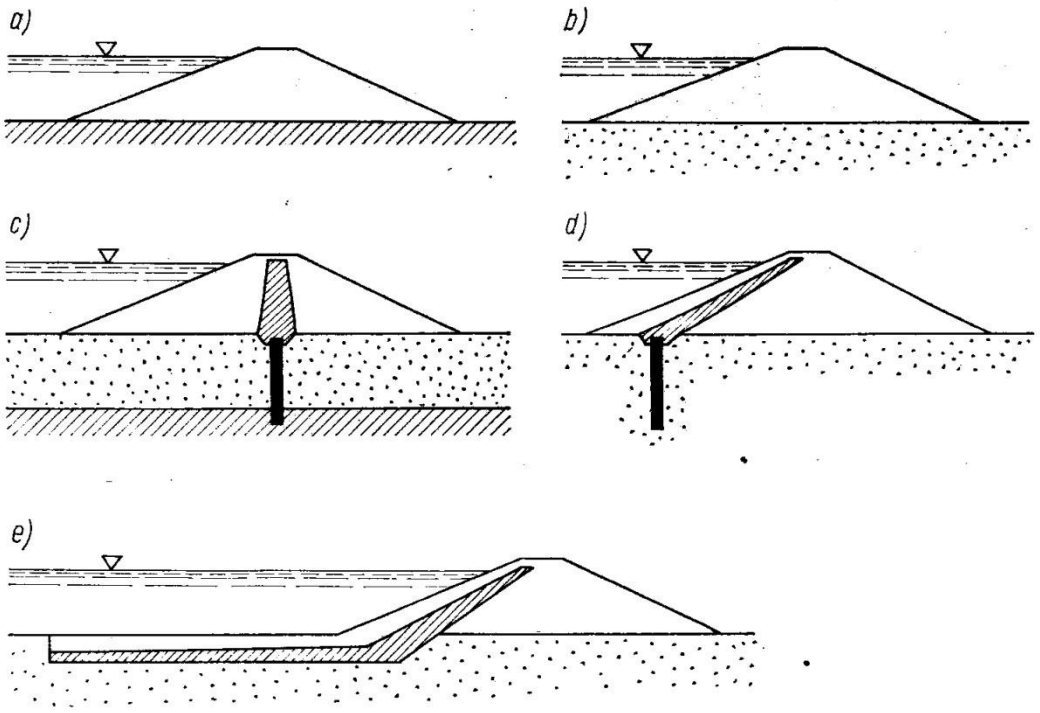
(ziemne TE, narzutowe - kamienne ER, ziemno narzutowe) –z gruntu rodzimego, kamienia łamanego lub rumoszu skalnego przystosowane **do stałego piętrzenia wody** w odróżnieniu od wałów przeciwpowodziowych, grobli, grodzy…):
typy

-jednorodne (piasek, glina) np. Koronowo,
-z kilku warstw (strefowane),
-z nieprzepuszczalnym ekranem (plastycznym: glina, torf lub sztywnym: beton, żelbet, stal)
-z nieprzepuszczalnym wewnętrznym rdzeniem:
jądro -gdy plastyczny (grunt spoisty),
przepona -gdy sztywny (żelbet, beton, asfaltobeton, blacha falista)
-zapory mieszane strona odwodna z ziemi reszta z kamienia.



Rys. 2.79. Zapory ziemne: a – jednorodna, b – strefowana, c – z rdzeniem iłowym i żelbetowym, d – z ekranem iłowym i żelbetowym

z uwagi na rodzaj uszczelnienia podłoża:
• zapory bez uszczelnienia,
• z przesłoną pionowa pełna,
• z przesłoną zawieszoną lub niepełna,
• z uszczelnieniem poziomym ponuru (fartuchem),



Rys. 2-2. Podział zapór z uwagi na uszczelnienie podłoża: a) zapora na podłożu nieprzepuszczalnym, b) zapora na podłożu przepuszczalnym, bez uszczelniania podłoża, c) zapory z przesłoną (przeponą) uszczelniającą, sięgającą do warstwy nieprzepuszczalnej, d), e) przedłużenie drogi filtracji w podłożu, d) za pomocą przepony zawieszonej, e) za pomocą fartucha (ponuru)
(Uwaga: sposoby uszczelnienia podłoża lub przedłużenia drogi filtracji nie zależą od konstrukcji elementów uszczelniających zaporę)

z uwagi na metodę wykonania:

- zapory sypane i zagęszczane mechanicznie Tresna, Dobczyce Oroville USA 230 m,
- narzutowe nie ma w Polsce Takase Japonia 176 m,
- ziemno narzutowe Nurek Tadżykistan 300 m, Czorsztyn, Tresna, Klimkówka
- zapory wykonywane metoda hydrauliczną (namywane, grunt transportowany rurociągami) jedyna w Polsce – Koronowo
- zapory wykonane za pomocą wybuchów kierowanych na zboczach doliny –rzadko, w rejonach słabo zaludnionych, pozwala na szybkie wykonanie dużej części robót

Zapory napławiane (namywane) materiał jest transportowany rurociągami tłocznymi w postaci mieszaniny gruntu z wodą (pulpy). Konsystencja 1:7 ÷1:10. Zalety szybkość wykonania bez konieczności zagęszczania. Jednak przy szybkim wznoszeniu może dojść do nadmiernego wzrostu ciśnień przy powolnym odsączaniu wody i rozsadzenia korpusu (budowa Fort Peck). Do namywania stosuje się ***piaski i pospółki*** (o minimalnej zawartości cząstek pylastych i iłowych). W zależności od składu granulometrycznego gruntu otrzymamy zaporę jednorodną lub z wyraźną szczelną strefą rdzeniową (namywanie dwustronne) lub strefą odwodną (jednostronne). Grunt dobiera się na podstawie wskaźnika różnoziarnistośi i zawartości cząstek o średnicy poniżej 0,05 mm.

Kryteria wyboru typu zapory ziemnej:

- istnienie złóż materiałów miejscowych
- właściwości tych materiałów
- warunki geologiczne i właściwości podłoża
- możliwości techniczne (np. posiadany sprzęt)
- rozwiązanie budowli upustowych
- sposób przepuszczania wód budowlanych
- czas trwania budowy (np. z uwagi na warunki klimatyczne)
- dopuszczalne ze względu na gospodarkę wodną straty filtracyjne
- analiza ekonomiczna.

Zapory ziemne mogą być wykonywane na prawie każdym podłożu:

- na podłożu skalnym zawsze,
- na podłożu z gruntów niespoistych (piaski, żwiry, kamienie…) należy zastosować elementy uszczelniające,
- na podłożu spoistym bardziej łagodne nachylenie skarp,
- na gruntach słabych (organiczne, namuły, torfy…) należy
  - usunąć wierzchnią warstwę słabego gruntu
  - przyspieszyć konsolidację (np. przez zastosowanie drenażu) lub
  - zastosować zatopienie nasypu zapory w podłożu (czasem przy użyciu materiałów wybuchowych)

Materiały do budowy zapór

Materiały o dobrej stateczności, niespoiste (piaski, żwiry) oraz narzut kamienny nie gwarantują szczelności. Grunty spoiste (gliny i iły) o dużej szczelności są niekorzystne z uwagi na stateczność. Można stosować wszystkie grunty lecz unikać:

- gruntów zawierających części organiczne (ponad 3%),
- gruntów zawierających części rozpuszczalne (ponad 5%),
- gruntów kamienistych i kamieni ulegających rozkładowi pod wpływem czynników atmosferycznych (np. iłołupki),
- namułów, pyłów i lessów,
- torfów

Dobrze jest wykorzystywać do budowy materiał z czaszy zbiornika (oszczędność terenu i zagospodarowanie wyeksploatowanych złóż).

Korpus zapory

- grunty niespoiste (bez elementów uszczelniających po analizie strat filtracyjnych, czase powiększając wymiary poprzeczne zapory),
- bez elementów uszczelniających – piaski gliniaste i gliny piaszczyste (lepiej jednak skarpę odpowietrzną wykonać z gruntu niespoistego (polepszając stateczność, warunki filtracji i zabezpieczając przed przemarzaniem)
- wykorzystanie glin iłów do budowy korpusy wymaga ochrony skarpy odpowietrznej i zastosowania drenażu (dla przyspieszenia konsolidacji)

Uszczelnienia gruntowe wykonuje się z piasków gliniastych i glin piaszczystych, glin i iłów. Wyjątkowo do niskich zapór torfy o stopniu rozłożenia ponad 50%.

Na korpus i uszczelnienie mogą być wykorzystywane grunty żwirowe, żwirowo –otoczakowe iotoczakowe z zawartością części piaszczystych i gliniastych (częste w rejonach górskich i podgórskich).

Rdzenie wykonuje się równocześnie z korpusem zapory (uwaga jego spoisty materiał nie może być układany ani zimą ani w czasie opadów). Ekrany układa się po zbudowaniu zapory (zagrożenie zsuwem). Rdzeń pochyły jest rozwiązaniem najkorzystniejszym również z uwagi na stateczność. Stateczność części odpowietrznej z rdzeniem jest gorsza niż z ekranem, odwodnej odwrotnie.

Nachylenie skarp w oparciu o obliczenia stateczności.
Wstępnie, średnie nachylenie można przyjmować następująco:

- dla gruntów niespoistych
  - skarpy bez wypływu wody, odpowietrzne oraz odwodne dla zapór żwirowych i z narzutu kamiennego (lub chronionych taką warstwą)

$$\frac{1}{m} = tg\alpha = \frac{1}{n} \cdot tg\varphi \quad \text{gdzie}$$

m –współczynnik nachylenia skarpy
n –współczynnik bezpieczeństwa (pewności)
φ –kąt tarcia wewnętrznego gruntu

  - skarpy z wypływem oraz odwodne

$$\frac{1}{m} = tg\alpha = \frac{\gamma_w}{\gamma_{opw} + \gamma_w} \cdot \frac{1}{n} \cdot tg\varphi \approx \frac{tg\varphi}{2 \cdot n}$$

γ_w ciężar objętościowy wody
γ_{opw} –ciężar objętościowy gruntu z uwzględnieniem wyporu
przy czym n przyjmuje się mniejsze (jak dla obciążeń wyjątkowych)

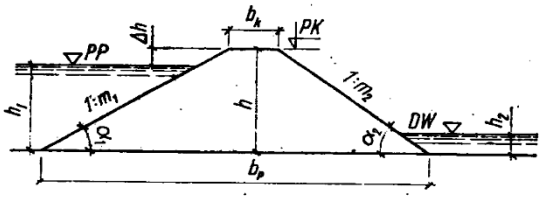
- dla gruntów spoistych nachylenie zależy również od wysokości zapory

orientacyjnie wg wzoru Behera

$$\frac{1}{m} = tg\alpha = \frac{1}{n} \cdot \left(tg\varphi + \frac{2 \cdot c}{\gamma_0 \cdot h} \right) \qquad \text{gdzie}$$

φ –kąt tarcia wewnętrznego gruntu z uwzględnieniem wilgotności,
c –spójność gruntu (kohezja),
γ_0 –ciężar objętościowy gruntu (dla skarpy odwodnej z uwzględnieniem wyporu tj. grunt nasycony wodą oraz zmniejszony jak dla obciążenia wyjątkowego współczynnik n)
h wysokość zapory
Zapory wysokie mogą mieć skarpę w postaci powierzchni łamanej (nachylenie malejące ku dołowi).
Z powyższego wynika, że skarpa odpowietrzna jest najczęściej bardziej stroma niż odwodna. Dla niskich zapór –do 5 m można nie sprawdzać stateczności (o ile w podłożu nie ma torfów lub namułów) i przyjmować

grunt	Nachylenie skarpy		
	odwodnej	odpowietrznej	
		z drenażem	bez drenażu
Sypki (piaski)	1:2,5	1:2	1:2
spoisty	1:2	1:1,5	1:1,75



Rys. 2-5. Podstawowe wymiary zapory z miejscowych materiałów h — wysokość zapory, Δh — wzniesienie korony nad statycznym poziomem piętrzenia (bez falowania $\Delta h = h_z$, z falowaniem $\Delta h = h_e + h_w + h'_z$), PP — statyczny poziom piętrzenia, PK — rzędna korony zapory, b_k — szerokość korony, b_p — szerokość podstawy, m_1, m_2 — współczynniki nachylenia skarp odwodnej i odpowietrznej, α_1, α_2 — kąty nachylenia skarp odwodnej i odpowietrznej, h_1, h_2 — głębokości wody górnej i dolnej, DW — poziom dolnej wody

Zapory wysokie mogą mieć skarpę w postaci powierzchni łamanej (nachylenie malejące ku dołowi).

Stateczność i osiadanie
Stateczność zapory ziemnej (korpusu i podłoża) należy zapewnić w czasie budowy jak i eksploatacji. Współczynniki bezpieczeństwa zależą od klasy budowli.

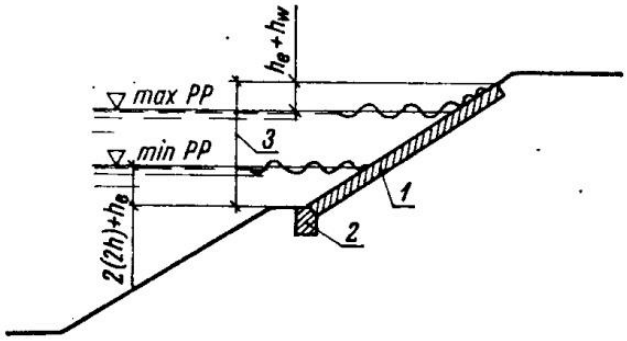
ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 20 kwietnia 2007 r.**w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie:**
§ 32. Ziemne budowle piętrzące sprawdza się w zakresie:
1) stateczności skarp wraz z podłożem;
2) gradientów ciśnień filtracyjnych i możliwości przebicia 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.

Bezwzględna wartość osiadania z reguły nie powoduje zagrożenia budowli (uwaga jednak na koronę zapory), niebezpieczne natomiast są różnice osiadań poszczególnych części powodujące spękania lub wzajemne przemieszczenia prowadzące do powstawania szczelin lub zniszczenia połączeń pomiędzy elementami. Osiadanie składa się z osiadania korpusu zapory (przy dobrym zagęszczeniu zwykle nieznaczne) oraz podłoża pod wpływem obciążenia zaporą.
Stateczność sprawdzamy dla:
- okresu budowy (przypadek budowlany) do momentu pierwszego napełnienia zbiornika,
- okresu normalnej eksploatacji (przypadek eksploatacyjny) przy normalnej rzędnej piętrzenia i poziomie wody dolnej dla SNQ, sprawdza się głównie skarpę odpowietrzną, a odwodną przy znacznych i częstych wahaniach zwierciadła wody,
- warunków nadzwyczajnych: skarpę odpowietrzną przy poziomach wody odpowiadającej przepływowi miarodajnemu, skarpę odwodną przy szybkim obniżaniu zwierciadła wody.

Stateczność sprawdza się dla układów płaskich w płaszczyźnie prostopadłej do osi podłużnej zapory przy jednostkowej grubości wycinka zapory (1m). Założenie takie daje ok. 15% zapas bezpieczeństwa w stosunku do obliczeń w układzie przestrzennym. Stateczność sprawdza się zakładając, że w stanie równowagi granicznej następuje przekroczenie wytrzymałości gruntu na ścinanie wzdłuż całej powierzchni poślizgu. Współczynnik stateczności to stosunek sił utrzymujących do sił powodujących poślizg. Dla różnych powierzchni oraz metod obliczeniowych wartości współczynnika stateczności będą różne. Powierzchnia poślizgu dla której będzie najmniejszy jest powierzchnią najbardziej niebezpieczną, a współczynnik współczynnikiem miarodajnym (bezpieczeństwa, pewności). Wybór najniebezpieczniejszej powierzchni poślizgu i współczynnika bezpieczeństwa wymaga wykonania dużej ilości obliczeń.
Metody:
- metoda momentów Felleniusa (tzw. szwedzka) –powierzchnia poślizgu w postaci walca. Rozpatruje się sumy momentów względem osi powierzchni poślizgu. Bryłę odłamu dzieli się na pionowe wycinki (paski) i nie uwzględnia sił wzajemnego oddziaływania pomiędzy paskami,
- metoda sił Bishopa – może być stosowana przy założeniu kołowych i innych (np. łamanych) powierzchni poślizgu. Powierzchnie poślizgu dobiera się zależnie od typu zapory i charakteru podłoża. RYS> str 102. Przedstawia się ją z uwzględnieniem oddziaływania poszczególnych klinów między sobą.

Metody te jednak nie dostarczają informacji o wartości rzeczywistych odkształceń (przemieszczeń) w warunkach rzeczywistej pracy statycznej zapory oraz o początkach tworzenia się stanów plastycznych (płynięcia)i ich rozwoju do momentu zniszczenia. Pełniejszy obraz daje określenie stanu naprężenia i odkształcenia w zaporze i podłożu, przy zróżnicowanych właściwościach fizycznych i złożonym układzie obciążeń poprzez zastosowanie metody elementów skończonych.

Umocnienia skarpy odwodnej
Górna część skarpy zabezpieczona tak jak odpowietrzna, zwykle jednak umocnienie doprowadza się do korony. Najczęściej stosuje się umocnienia z ***płyt betonowych lub żelbetowych***. Powinny być obliczone na uderzenie fal przyłożone na środku płyty. Również umocnienia z ***asfaltobetonu i geomembran.***
W niskich zaporach o łagodnych skarpach można stosować ***umocnienia żwirowe***. Jeśli umocnienie nie pełni roli uszczelnienia może być również wykonane z ***narzutu kamiennego***.
Ławeczki na skarpie odwodnej mogą być stosowane jedynie w przypadku zmiany typu umocnienia.

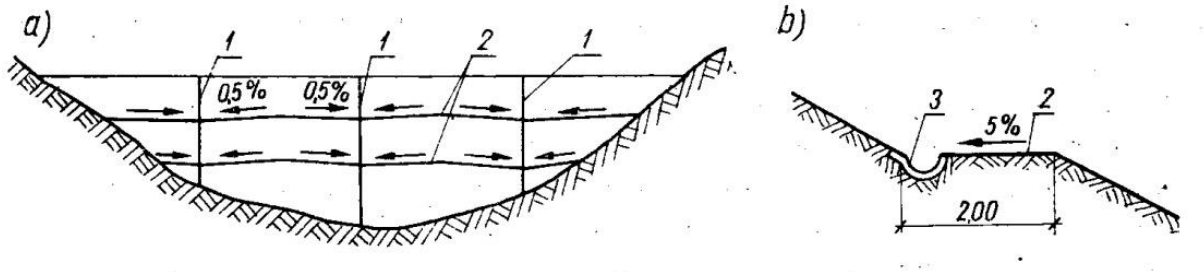


Rys. 2-36. Minimalny zakres umocnienia skarpy odwodnej

1 — ubezpieczenie, *2* — oparcie ubezpieczenia, *3* — wymagany zakres zasadniczego umocnienia skarpy, h_w — wartość wtaczania się fali przy max *PP*, 2 (2*h*) — dwie wysokości fali przy min *PP*, h_e — spiętrzenie eoliczne (często pomijane)

Umocnienia skarpy odpowietrznej

Zazwyczaj obsiewana jest ***trawą***, w terenach górzystych ***narzut kamienny***. Skarpa zapory narzutowej nie wymaga umocnienia. Dolna część skarpy, podtapianej wodą powinna być zabezpieczona przed falowaniem (np. żwirem). Jeśli wysokość zapory przekracza 15 m stosuje się ***ławeczk***i (m. in. dla zmniejszenia erozji przez wody opadowe). Ławeczki co ok. 10 m w pionie. Rowki i kanaliki najwygodniej wykonać z prefabrykowanych korytek betonowych.



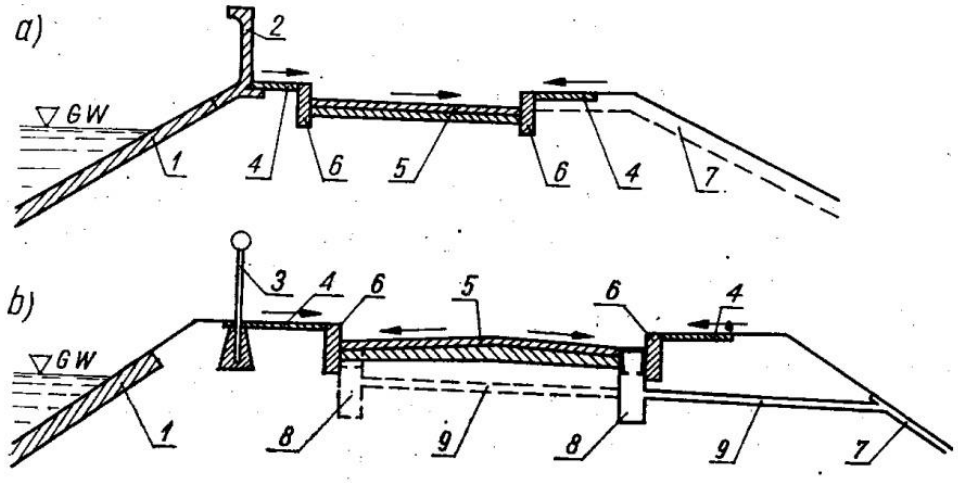
Rys. 2-38. Odwodnienie skarpy odpowietrznej zapory ziemnej: a) widok od strony wody dolnej, b) przekrój przez ławeczkę

1 — kanaliki (rowki), *2* — ławeczki z rowkami *3*

Korona zapory

Szerokość korony zapory dostosowana do dróg komunikacyjnych, wzniesienie korony ponad zwierciadło wody wg przepisów (rozporządzenie).

Gdy nie ma ruchu kołowego –darniowanie lub żwirowanie. Wskazane nadanie spadku poprzecznego w kierunku skarpy odpowietrznej (5%). Do głębokości przemarzania powinny znajdować się grunty niespoiste. Jeśli na koronie znajduje się droga to stanowi ona umocnienie. Wody opadowe odprowadza się za pomocą rowków lub studzienek i rurociągów do drenażu stopy zapory. Od strony odwodnej koronę należy zaopatrzyć w balustradę lub szczelny parapet (zazwyczaj przedłużenie ubezpieczenia skarpy).



Rys. 2-39. Schematy odwodnienia korony zapory: a) jednostronne — rowkami, b) dwustronne — studzienkami

1 — ubezpieczenie skarpy odwodnej, 2 — szczelny parapet połączony z ubezpieczeniem skarpy, 3 — balustrada, 4 — chodniki, 5 — nawierzchnia jezdni, 6 — krawężniki, 7 — rowki powierzchniowe (por. rys. 2-38, odnośnik 1), 8 — studzienki kanalizacyjne z osadnikami, 9 — podziemne przewody kanalizacyjne

Połączenie zapory z podłożem wykonuje się zdejmując wierzchnią warstwę z częściami organicznymi. Powierzchnia tak utworzonego wykopu powinna być wyrównana i spulchniona. Na zboczu należy zachować jego pochylenie, unikając ostrych stopni, ławeczek, zębów, aby umożliwić równomierna zagęszczenie nasypu i zapobiec powstawaniu przesklepień a następnie uprzywilejowanych dróg filtracji.
W zaporach wykonywanych bez przesłon filtracyjnych w miejscach połączenia materiał zapory powinien mieć przepuszczalność zbliżoną do podłoża (inaczej może dojść do kontaktowych rozmyć).
W zaporach z rdzeniem należy zwrócić uwagę na połączenie rdzenia z podłożem lub przesłoną podłoża. Połączenie to powinno zapewnić trwałe (nie naruszane w wyniku osiadań) połączenie rdzenia z przyległymi warstwami.

Zapory betonowe

Zapory betonowe (wg Międzynarodowej Komisji Wielkich Zapór):

-zapory ciężkie (grawitacyjne) PG,
-zapory łukowe (lekkie) VA,
-zapory filarowe (półciężkie i lekkie) CB,
-zapory łukowe –ciężkie VA/PG,
-zapory wielołukowe MV/MA

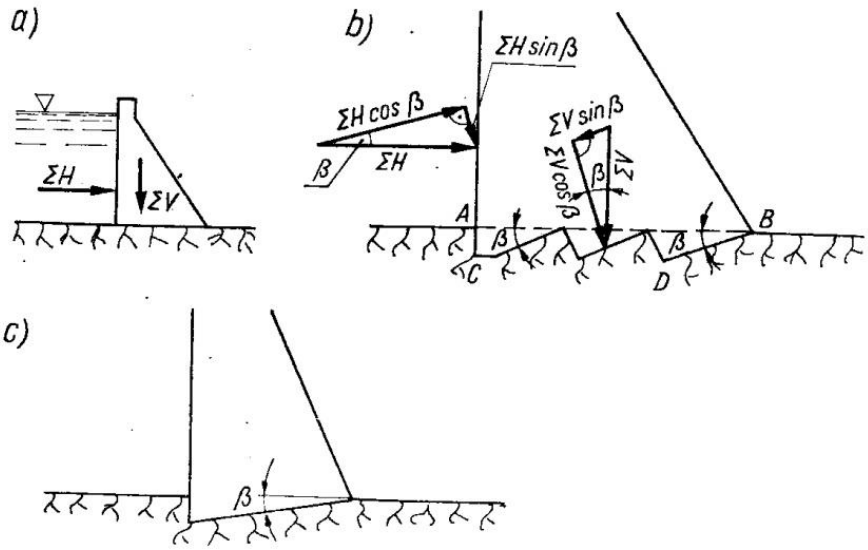
Zapory betonowe dzielimy na dwie grupy
-**parcie wody przenoszone jest przez stopę fundamentową na dno doliny**. Ich stateczność zapewniona jest przez siły tarcia i ewentualnie przyczepności pomiędzy stopą zapory a podłożem. Przy czym wykorzystuje się ciężar zapory (ciężkie) lub składową pionową parcia wody (oszczędnościowe i lekkie).
-**parcie wody przenoszone jest głównie na ściany doliny** (łukowe). Wymagają dobrych warunków geologicznych (mocnej skały na zboczach) oraz stosunkowo wąskiej doliny.
-**rozwiązania mieszane**

Ze względu na duże wymiary (długość) zapory są podzielone na ***bloki*** (sekcje) podzielone ***dylatacjami*** (warunki termiczne, zmienne warunki posadowienia, wymogi technologii układania betonów hydrotechnicznych). Zapory ciężkie - dylatacje w postaci pionowych płaszczyzn, łukowe–ciężkie pionowe lecz z zazębieniami. Bloki z przelewami (z zamknięciami i bez zamknięć) i spustami to ***części upustowe***, z ujęciami wody dla elektrowni to ***elektrowniane***, łączące z brzegami – ***głuche.***

Wybór rodzaju zapory zależy przede wszystkim od warunków geologicznych. Zapory oszczędnościowe i lekkie mogą mieć mniejszy ciężar (oszczędność betonu) ponieważ puste przestrzenie w części środkowej i odpowietrznej powodują zmniejszenie wyporu.

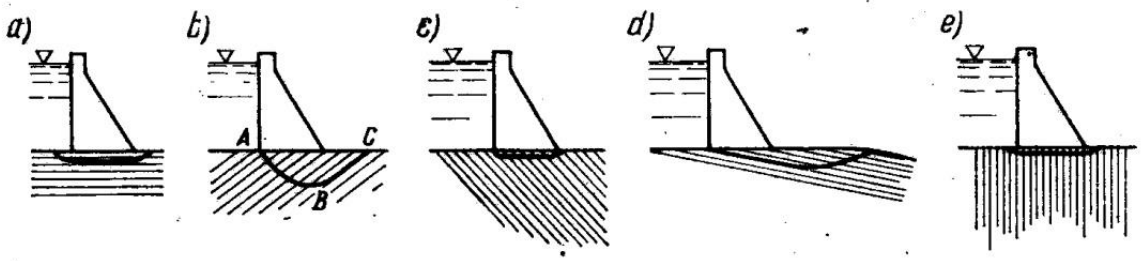
ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 20 kwietnia 2007 r.**w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie:**
§ 30. Budowle hydrotechniczne żelbetowe i kamienne oraz wykonane z betonu słabo zbrojonego posadowione na **podłożu nieskalnym** powinny 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.
§ 31. 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) przebić hydraulicznych w szczelinach podłoża skalnego i przyczółków;
7) nośności konstrukcji.

Stateczność zapory na przesunięcie (podstawowy warunek bezpieczeństwa zapory posadowionej na skale). Sprawdzamy ją zakładając powierzchnie poślizgu wzdłuż stopy fundamentowej (styk zapora – podłoże) oraz w samym podłożu.
Siłą przesuwającą jest pozioma składowa parcia wody, z ewentualnym parciem namułów lub lodu. Przeciwstawia się tym siłom siła tarcia oraz przyczepność pomiędzy betonem a skałą. Siła tarcia jest wprost proporcjonalna do sił normalnych do powierzchni (w tym przypadku pionowych –ciężar budowli +składowa pionowa parcia wody pomniejszone o wartość wyporu).
Dla niewielkich obiektów, posadowionych na słabych skałach przyczepność betonu do skały często się pomija.
Wartości współczynników tarcia oraz przyczepności należy wyznaczać w oparciu o badania polowe.
Polepszenie stateczności można uzyskać przez pochylenie stopy fundamentu – dla uniknięcia dużych głębokości najczęściej w kilku odcinkach. Należy wtedy sprawdzić możliwość ścięcia betonu (płaszczyzna AB) oraz podłoża (płaszczyzna CDB).



Rys. 2-50. Schematy obliczeń stateczności na poślizg w stopie fundamentowej budowli piętrzących posadowionych na skale: a) pozioma stopa fundamentowa, b) nachylenie stopy fundamentowej z zazębieniem (stosowane w praktyce — por. rys. 5-28, c) jednolite nachylenie stopy

Poślizg zapory może również nastąpić wraz z częścią podłoża. Zagrożenie zależy tu od układu warstw i spękań podłoża. Szczególnie niebezpieczne- przewarstwienia iłołupków (w skałach fliszowych –Karpaty) oraz spękania i szczeliny wypełnione glinami lub iłami.



Typowe przykłady zagrożeń a) upad poziomy – możliwośc poziomego poślizgu wzdłuż warstw, b)opad w stronę górnej wody – możliwośc poślizgu po powierzchni cylindrycznej, c)stromy upad w stronę dolnej wody – warunki korzystne, niewielkie prawdopodobieństwo poślizgu, d) niekorzystny upad w stronę dolnej wody (kąt mniejszy od 15 ^{0}), możliwość poślizgu jak w a), e)upad pionowy lub zbliżony (kąt powyżej 60^0) –przypadek korzystny.

W przypadku c i d wystarczy sprawdzenie możliwości przesunięcia wzdłuż stopy fundamentowej, a i d sprawdzamy podobnie uwzględniając współczynnik tarcia i spójności dla skały (kontaktu między warstwami. Przypadek b wymaga sprawdzenia poślizgu wzdłuż różnych powierzchni podobnie jak przy obliczaniu stateczności skarp.

Obliczenia statyczne zapory ciężkiej

Ustalenie nachylenia skarp zapory

Obliczenia statyczne przeprowadza się jak dla zadania płaskiego, a więc dla odcinka zapory o jednostkowej długości. Rozpatruje się teoretyczny trójkątny przekrój zapory. Przy dowolnie nachylonych skarpach zapory i wypełnionym zbiorniku działają na nią następujące siły:

- ciężar własny zapory,
- parcie wody górnej (które rozkłada się na składowe poziomą i pionową)
- parcie wody dolnej
- wypór

Przy pustym zbiorniku tylko ciężar własny i ewentualnie wypór hydrostatyczny.

Warunkiem stateczności zapory jest niedopuszczenie do naprężeń rozciągających w stopie zapory i w korpusie. Z analizy naprężeń wynika, że ściana odwodna zapory powinna być pionowa lub zbliżona do pionu.

Obliczenia statyczne zapory oszczędnościowej (półciężkiej) przeprowadza się analogicznie jak zapory ciężkiej – należy tylko obliczenia wykonywać nie na mb długości, a rozpatrywać siły działające na poszczególne sekcje.

Połączenie zapory betonowej z podłożem wymaga:

- ustalenia głębokości posadowienia (nośna skała),
- przygotowania powierzchni skały,
- zabezpieczenia odsłoniętej skały przed czynnikami atmosferycznymi,
- wykonania ewentualnych zastrzyków między warstwą betonu a podłożem (zwiększenie szczelności, przyczepności oraz zwiększenie modułu sprężystości bezpośrednio stykającego się z betonem podłoża).

Podłoże powinno być wyrównane z zachowaniem stopni wzdłuż zapory, ich układ powinien być powiązany z warunkami geologicznymi i przebiegiem szwów dylatacyjnych. Powierzchnia skały powinna być oczyszczona ze zwietrzelin, odłamków, roślin, cząstek gliniastych lub ilastych (druciane szczotki, woda, sprężone powietrze). Oczyszczoną powierzchnię natychmiast pokrywa się warstwą betony chroniąc ją przed niszczącym działaniem czynników atmosferycznych.
W celu dokładnego połączenia zapory z podłożem często wykonuje się iniekcję złączową tj. wykonanie otworów wierconych przez już ułożony blok betonowy na głębokość 1 – 1,5 m w podłożu i wprowadzenie do nich pod ciśnieniem zaczynu cementowego.

Szczegóły konstrukcyjne
Korona zapory jeśli nie stanowi drogi publicznej to jej minimalna szerokość -3 m. Jeśli droga publiczna to szerokość uzależnia się od wymogów dotyczących drogi. Spadek poprzeczny nawierzchni korony w stronę odwodną (1-2 ‰), odwodnienie za pomocą studzienek przy krawężnikach i rur odprowadzających wodę do zbiornika (wylot ich wysunięty, by woda nie powodowała zacieków. Koronę zaopatruje się w balustrady (stalowe lub żelbetowe). Balustrada pełna odwodna może spełniać rolę parapetu, pozwalającego obniżyć koronę zapory. Odcinki korony nad sekcjami przelewowymi muszą spełniać przepisy dotyczące mostów.

Dylatacje
Podział budowli na niezależne elementy jest konieczny ze względu na rozszerzalność termiczną budowli, różnice obciążeń, odkształcalność podłoża ...
W budowlach wodnych zachodzi konieczność zachowania szczelności szwu dylatacyjnego. Jeśli nie można zapewnić możliwości wymiany uszczelnienia należy przewidzieć możliwość wykonania dodatkowego uszczelnienia. Obecnie stosuje się taśmy z tworzyw sztucznych, a do naprawy: żele akrylowe, elastyczną żywicę poliuretanową o niskiej lepkości i stałej objętości.

Zaporę ciężką dzieli się na bloki o max. szerokości 20 m. Sekcje na zboczach, zmiana rodzaju podłoża lub wymiary sekcji przelewowych lub elektrownianych mogą być mniejsze. Be3tonowanie wykonuje się stopniowo, blokami roboczymi, których wysokość nie powinna przekraczać 2,5 m (zjawiska termiczne). Rodzaj betonu dostosowuje się do betonowanych stref (strona odpowietrzna, odwodna, rozkład naprężeń).

Oprócz cech wytrzymałościowych betony hydrotechniczne powinny charakteryzować się wodoszczelnością, mrozoodpornością, odpornością na agresję chemiczną, małą kalorycznością, małym skurczem, możliwie dużym ciężarem objętościowym.
Urządzenia upustowe służą do regulowania przepływu wody ze względu na gospodarkę wodną na zbiornikach.
Dzielimy je na:
-**powodziowe** –do przepuszczania wielkich wód –lepiej gdy nie mają zamknięć i działają samoczynnie,
-**robocze** –do wypuszczania określonej ilości wody, do opróżniania zbiornika, do przepuszczania wody w czasie budowy.

Urządzenia upustowe muszą spełniać następujące warunki:

- **przeprowadzać wodę bezpiecznie dla elementów piętrzących, upustowych, zboczy doliny, stanowiska dolnego i skarp koryta odpływowego,**
- **wymiary muszą gwarantować przeprowadzanie wód zgodnie z przepisami,**

- **zapewniać możliwość przepuszczania lodu, śryżu, ciał pływających, ewentualnie rumowiska,**
- **umożliwiać regulację przepływu zgodnie z wymogami eksploatacyjnymi,**
- **stwarzać możliwość opróżnienia zbiornika,**
- **umożliwiać przepuszczanie wód w czasie budowy.**

Przelewy mogą łączyć bezpośrednio stanowisko dolne i górne lub jako przelewy stokowe przechodzą w bystrza omijające budowlę zasadniczą.
Spusty mają przekrój zamknięty i przechodzą przez korpus zapory lub przez zbocza doliny. W litych skałach spusty mogą być poprowadzone jako sztolnie wydrążone w skale przez górotwór pod zboczem doliny. W skałach wulkanicznych (granity, bazalty) nieobudowane, w skałach osadowych obudowane pancerzem betonowym, żelbetowym lub stalowym.
Wloty spustów znajdują się poniżej poziomu wody górnej. Spusty służą do:

- ***przepuszczania wód budowlanych,***
- ***opróżniania zbiornika,***
- ***przepuszczania wód wezbraniowych,***
- ***regulacji odpływu***

Przelanie się wody przez koronę zapory ziemnej oznacza jej całkowite zniszczenie i katastrofę –dlatego konieczne przelewy stałe (jak jazy stałe) tzw. przelewy bezpieczeństwa. Również przelewy wieżowe (kielichowe). Najczęściej do przepuszczania wody budowla betonowa.

Opracowano na podstawie:

- Wiesław Depczyński, Andrzej Szamowski: Budowle i zbiorniki wodne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999,
- Walenty Jarocki: Budownictwo wodne cz. II Budowle wodne, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa 1963
- Konstanty Fanti z zespołem: Budowle piętrzące, Arkady , Warszawa 1972
- Stefan Bednarczyk, Adam Bolt, Stanisław Mackiewicz : Stateczność oraz bezpieczeństwo jazów i zapór, Wyd. Politechniki Gdańskiej, 2009