

KORIŠTENJE VODNIH SNAGA



PRELJEVI, TEMELJNI ISPUSTI, ...
(ponavljanje HG)

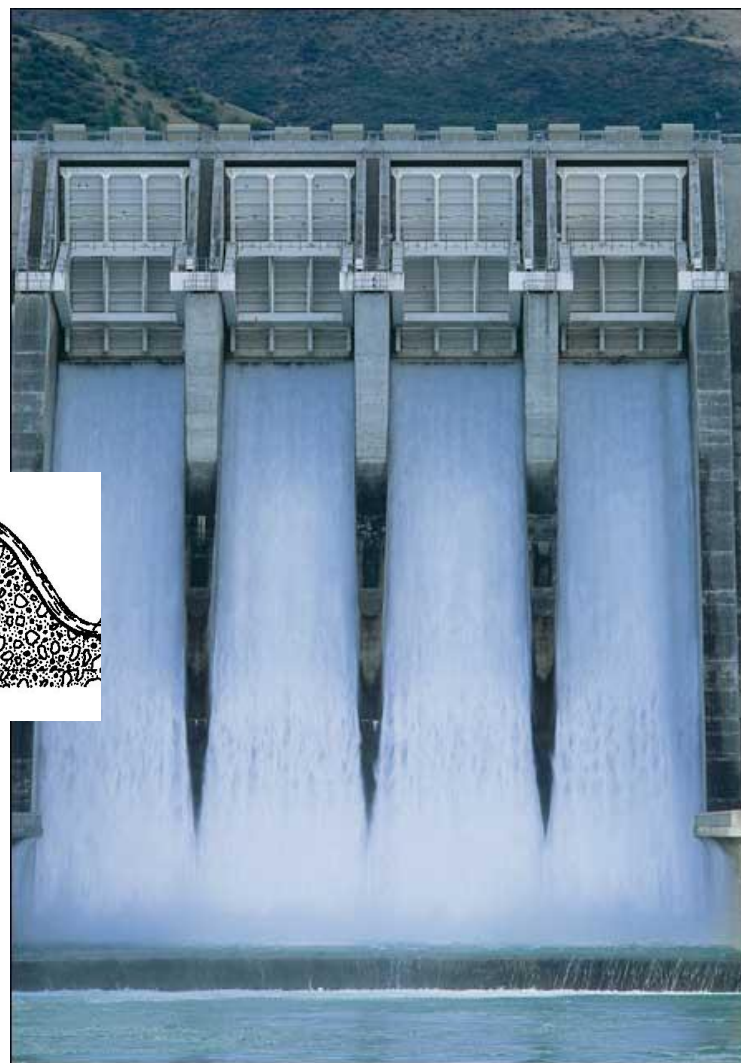
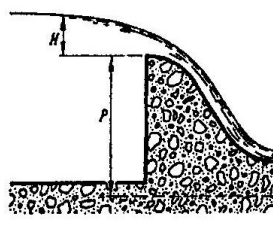
PRELJEVI

□ Podjela prema položaju:

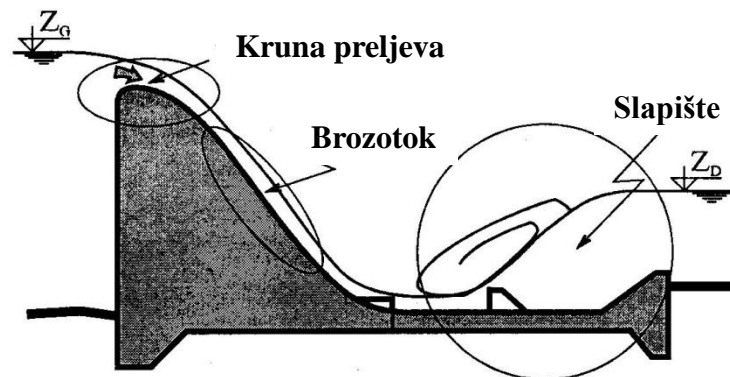
- Na objektu
- Na boku doline
- Samostojeće građevine

□ Podjela prema načinu upravljanja:

- Fiksni (nema zapornice)
- Sa pokretnim uređajem - zapornicom



DIJELOVI PRELJEVA



1.) Preljev sa slapištem

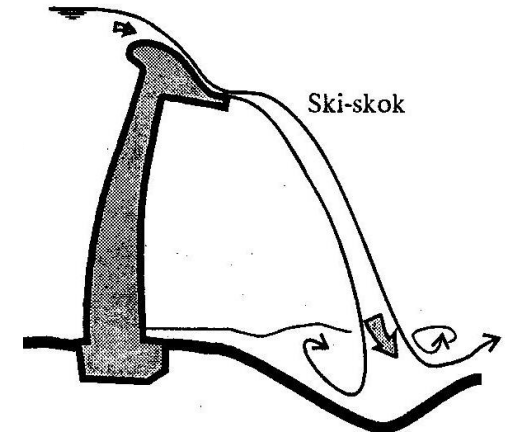
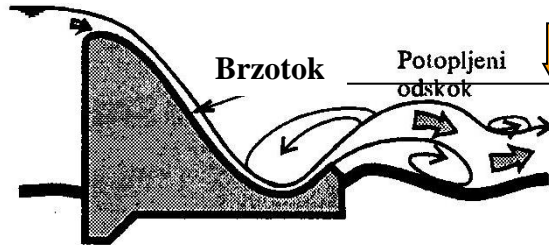
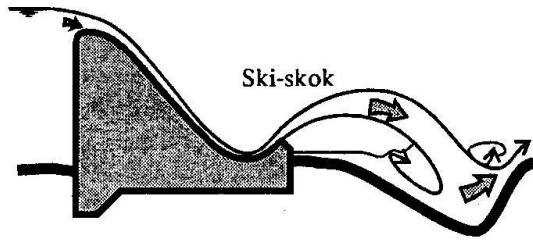
- **Kruna preljeva**
- **Korito – brzotok** (za transport vode od krune preljeva do slapišta)
- **Slapište – bučnica** (za umirenje vode)

- Na izbor proračunskog protoka (PP) utječe:
 - Ugroženost nizvodnog područja
 - Značaj brane
 - Tip brane
 - Tip preljeva
 - Pouzdanost hidroloških podataka
 - Retencijske mogućnosti akumulacije

- Najčešće se uzima **1000** (i provjerava **10 000**)-**godišnja velika voda** za proračun, iako se ukoliko su ugroženi životi ljudi koji žive nizvodno može uzeti i **maksimalno moguća velika voda** (SAD).

□ PRELJEVI NA OBJEKTU

1.) Preljev sa slapištem (umirujućim bazenom)

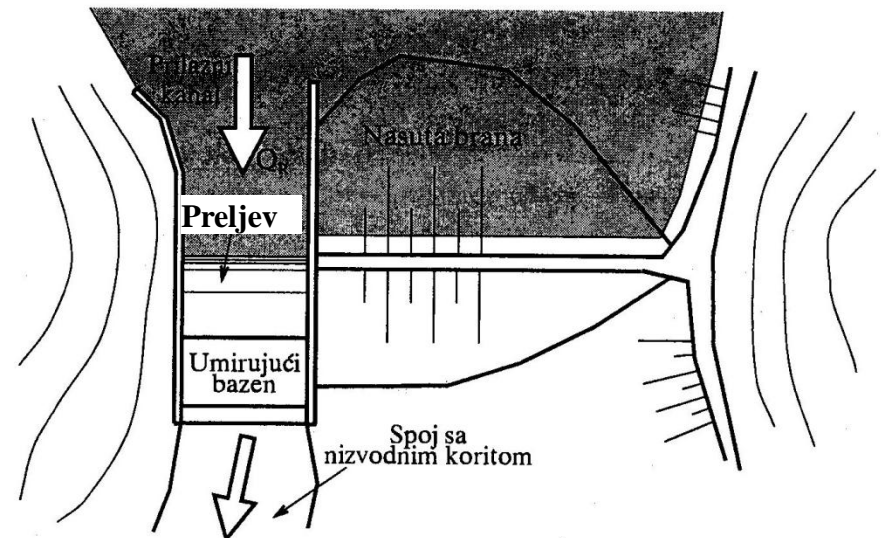


2.) Preljev sa nepotopljenim odskokom (ski-jump)

3.) Preljev s potopljenim odskokom

4.) Preljev sa odskokom na lučnoj brani (ski-jump)

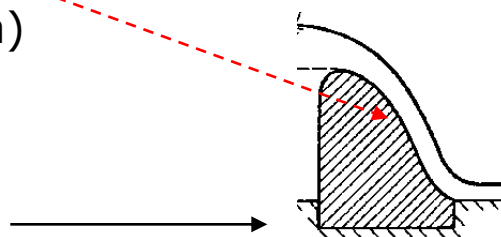
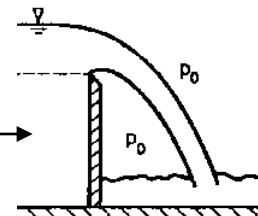
□ Betonske brane najčešće imaju preljev preko tijela brane, dok se kod nasutih može dio brane izvesti u betonu kao preljev.



Slobodni preljevi

□ Vrste slobodnih preljeva:

- S oštrim bridom
- Sa širokim pragom
- Praktičnog profila (prati konturu mlaza koji nastaje kod preljevanja preko oštrobridnog preljeva)



□ Slobodni preljev:

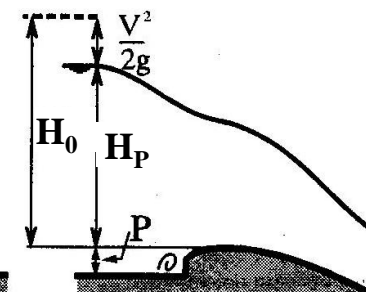
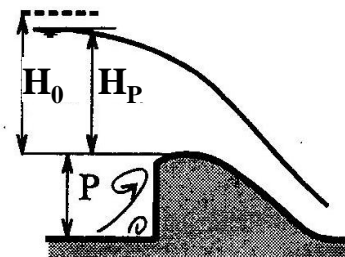
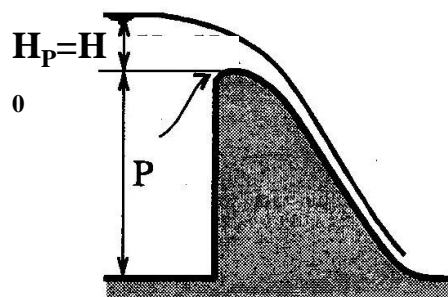
$$P \geq 1,33H_P \rightarrow$$

$$\frac{v^2}{2g} \text{ je malo} \rightarrow H_P = H_0$$

$$Q_P = C_P \cdot L \cdot \sqrt{2g} H_0^{3/2}$$

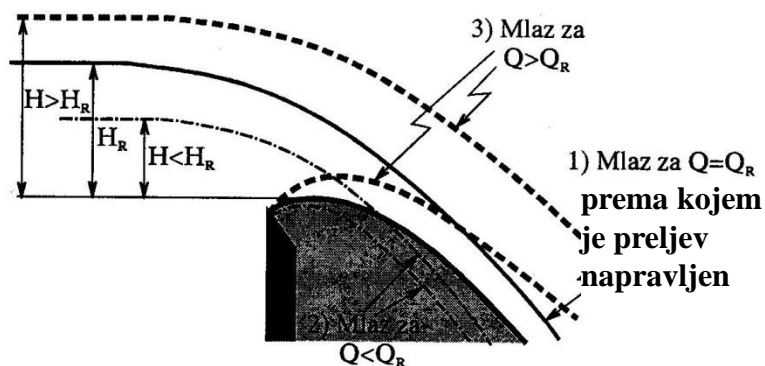
C_P -koef.preljevanja
ovisi o tipu preljeva

L - duljina preljeva



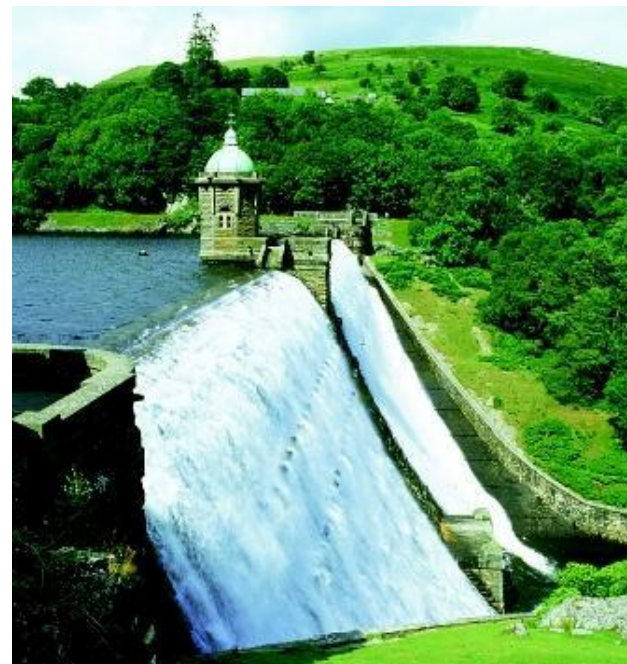
Slobodni preljevi

□ Vakumski preljev:



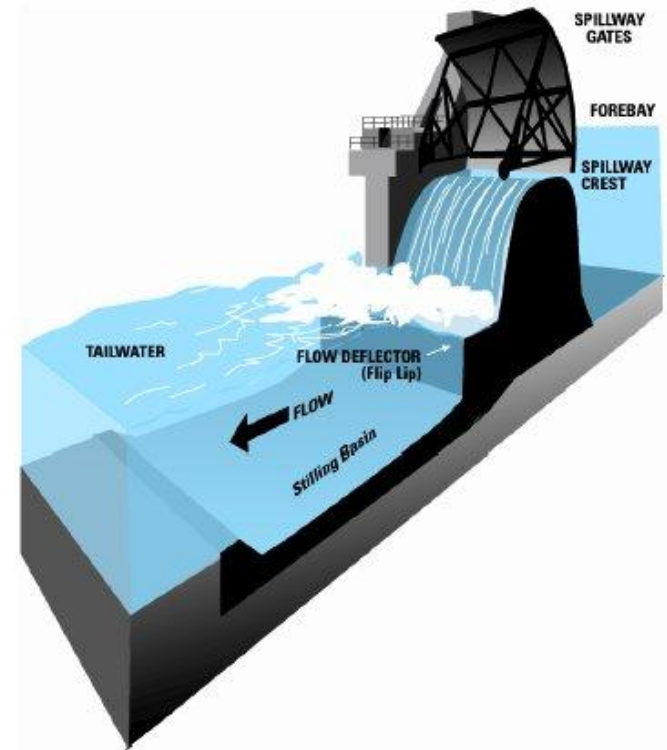
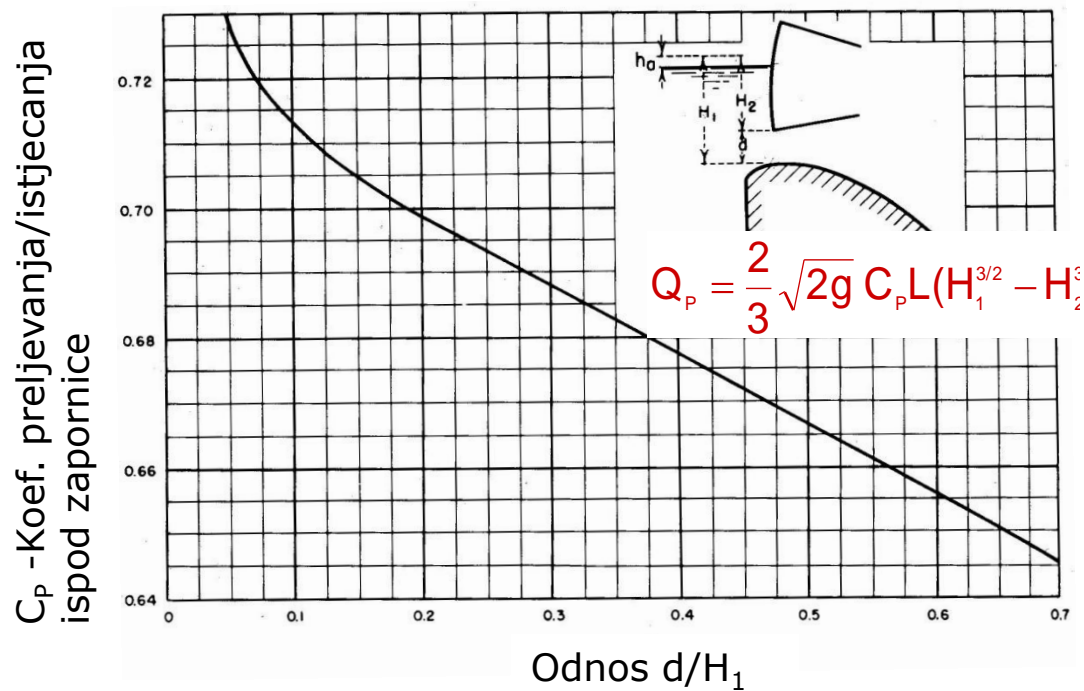
□ Oblik konture preljeva praktičnog – Creagerov preljev ($C_p=0,49$)

(nema vakuma jer preljevni profil ulazi u tijelo brane):

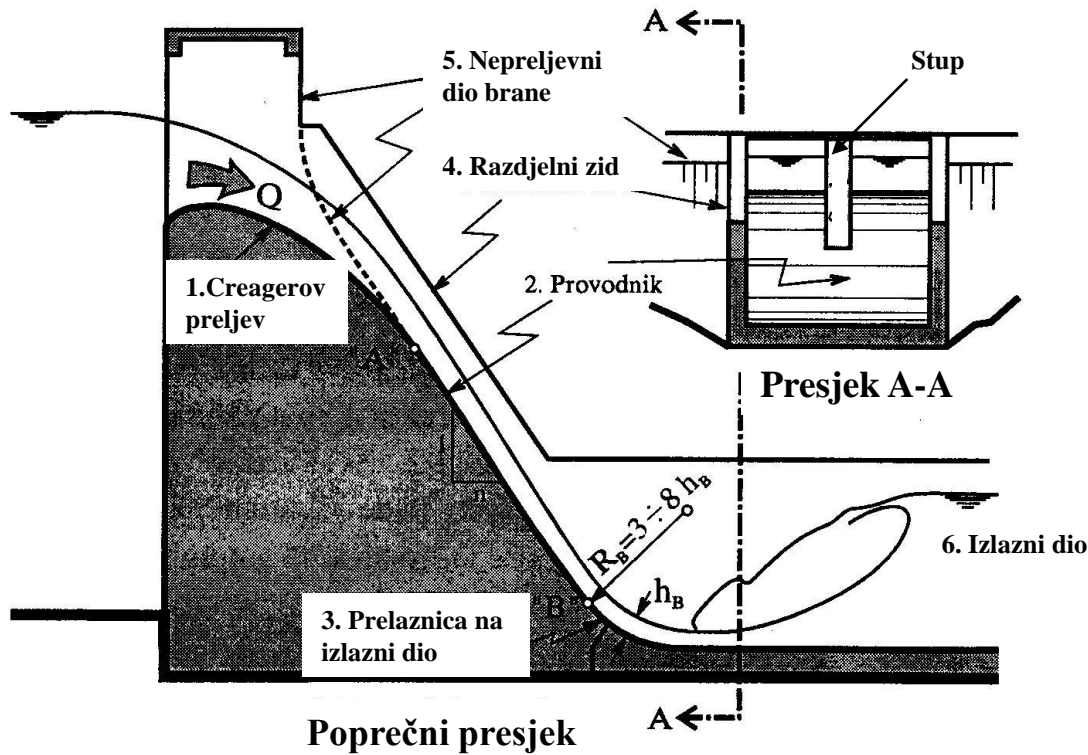


Preljevi sa zapornicama

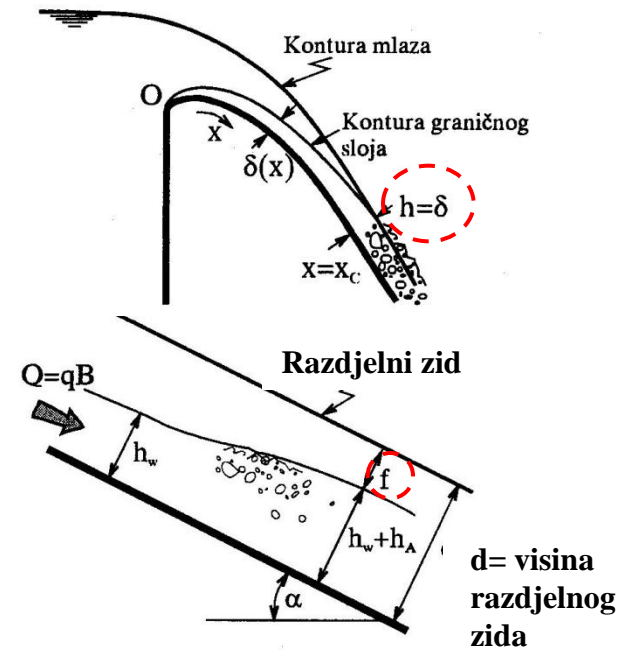
- istjecanje ispod zapornice

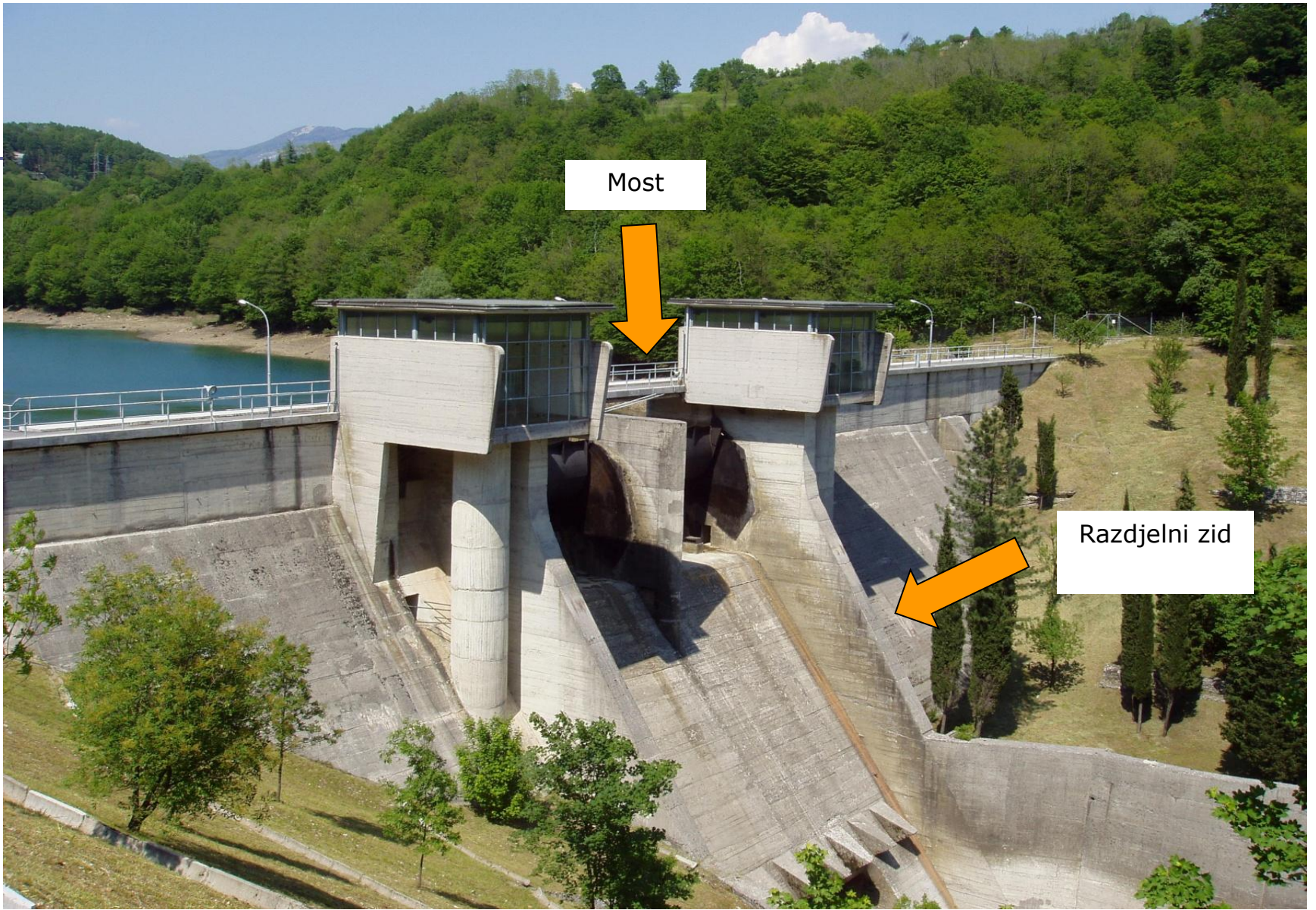


Preljevna polja



Ozračivanje mlaza





Most

Razdjelni zid





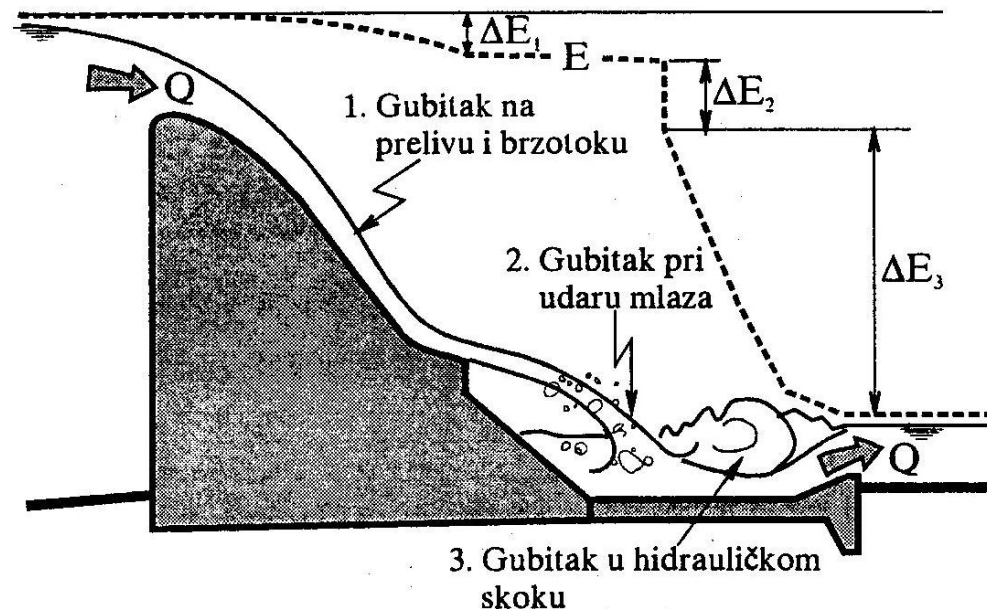
Preljev praktičnog profila (Lepenica), oštećenja preljeva i brzotoka

Slapište

□ Disipacija energije kod evakuacijskih organa:

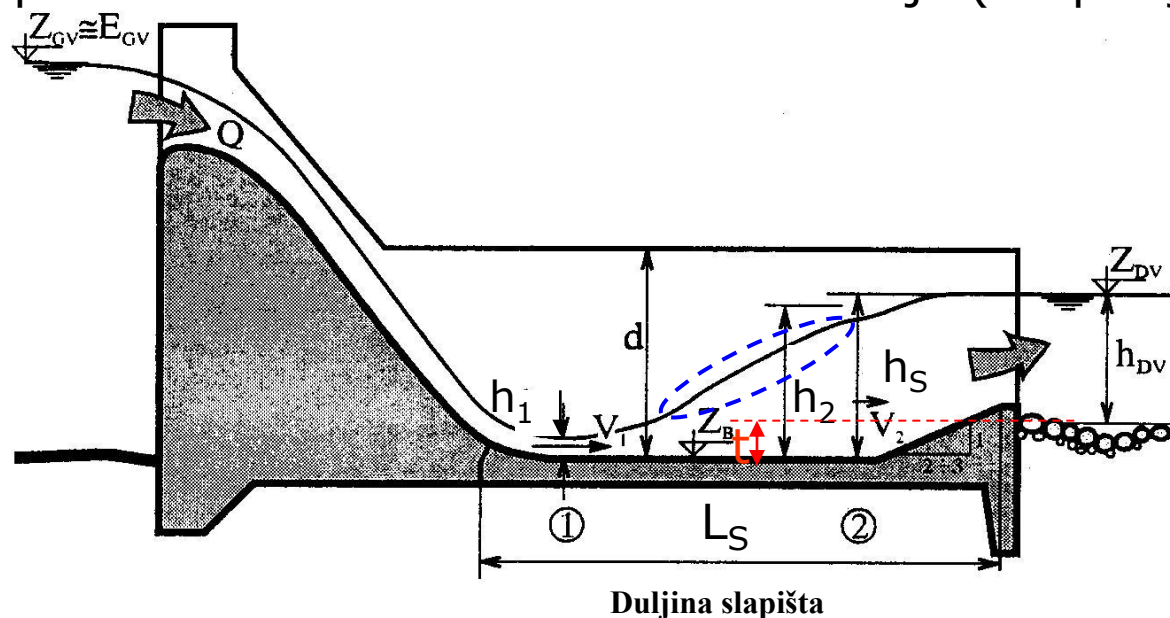
- Mali dio energije utroši se na trenje duž brzotoka (ΔE_1)
- Ako se preljevni mlaz odbaci u zrak, gdje se djelomično rasprši i odzračí, dio energije se utroši na stiskanje mjehurića uvučenog zraka pri udaru mlaza o vodenu površinu nizvodnog toka (ΔE_2)

- Najveći dio akumulirane energije troši se u vrtlozima (turbulenciji) koji nastaju prilikom prelaska mlaza iz silovitog u mirno tečenje (ΔE_3)

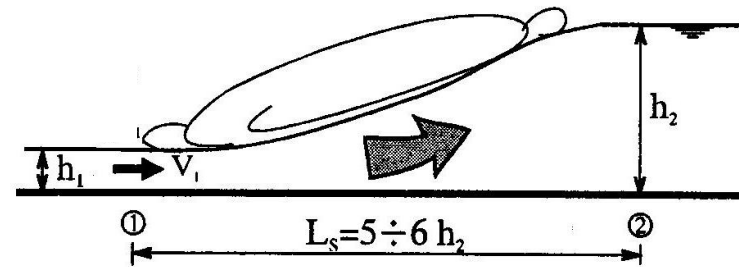
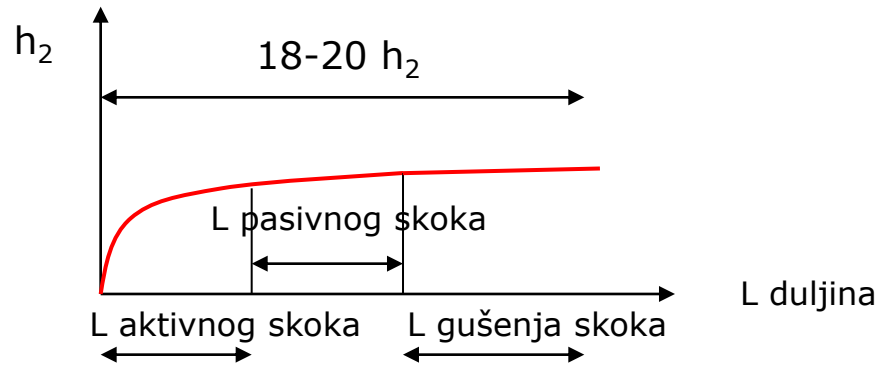


Slapište - dimenzioniranje

- Kod slapišta (umirujućeg bazena) treba odrediti:
 - Širinu slapišta B
 - Duljinu slapišta L_S
 - Kotu dna
 - Visinu bočnih zidova d
 - Dimenzije i raspored dodatnih elemenata za umirenje (disipaciju) energije



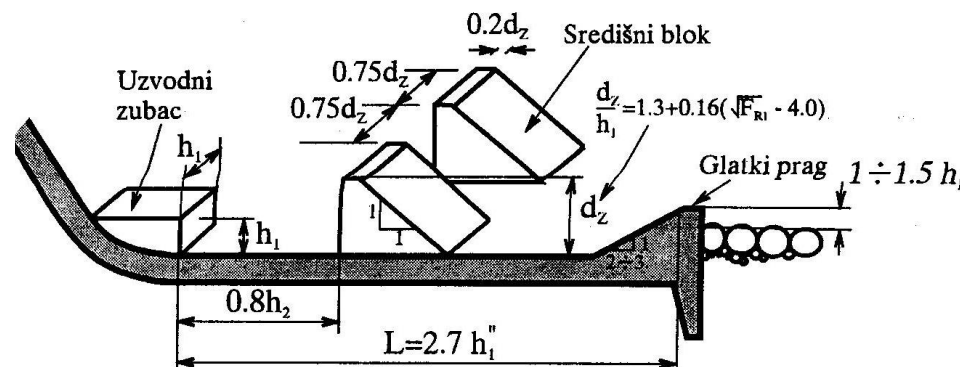
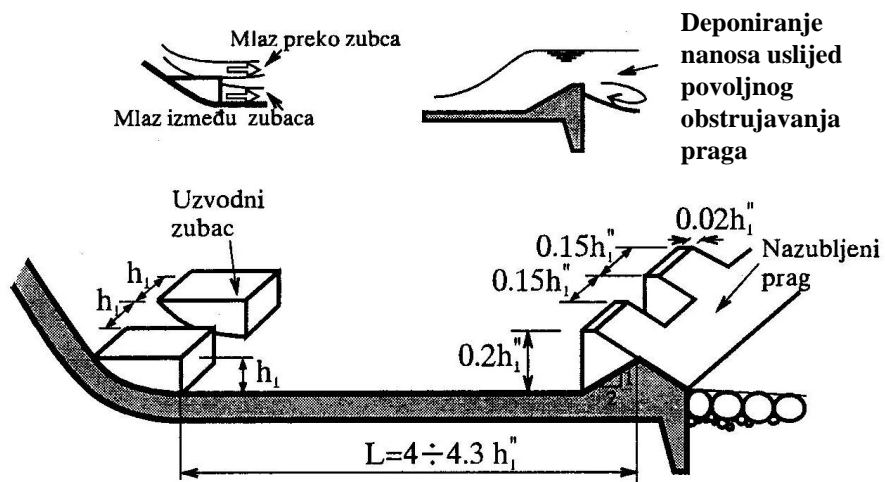
Slapište – duljina slapišta



Slapište – duljina slapišta

- Potrebna duljina slapišta može se skratiti na $(2,5-4)h_2$.
- Skraćenje slapišta moguće je ostvariti korištenjem:
 - **Uzvodnih zubaca** – mlaz se razbija na veći broj manjih uskih mlazeva, stvara se sila otpora koja doprinosi stabilizaciji mlaza i “smanjenju” druge spregnute dubine
 - **Nizvodnog praga** – koji može biti gladak ili nazubljen, podiže mlaz na izlazu iz slapišta da bi se postiglo povratno strujanje koje onda ne uzrokuje potkopavanje temelja)
 - **Središnjih zubaca-blokova** – zadržavaju skok u slapištu i omogućuju znatno kraći bazen nego kod ostalih tipova, također se smanjuje i druga spregnuta dubina u odnosu na slapište bez disipatora energije.

Slapište – duljina slapišta



Napomena: $h_1'' = h_2$ (druga spregnuta dubina)

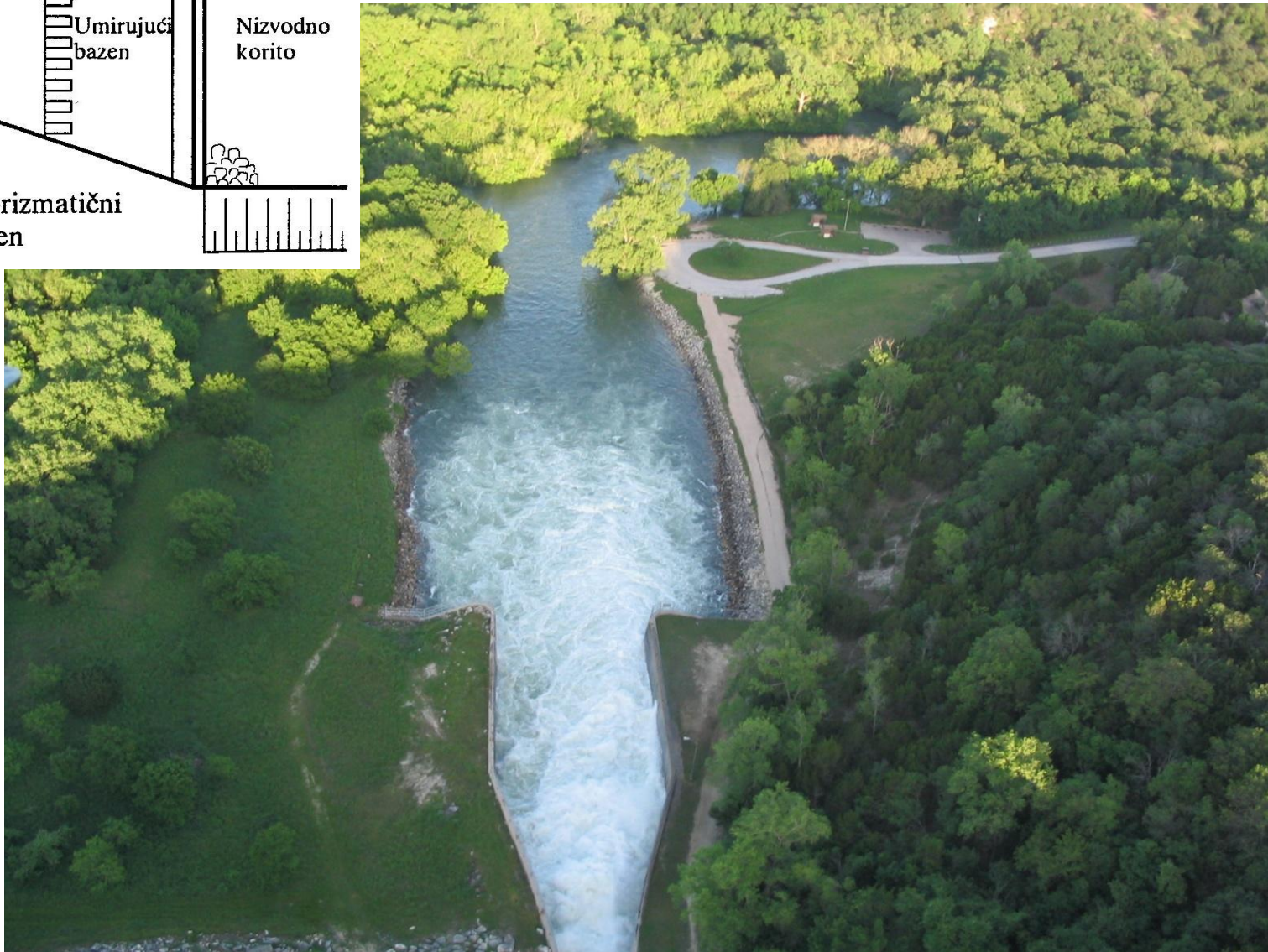
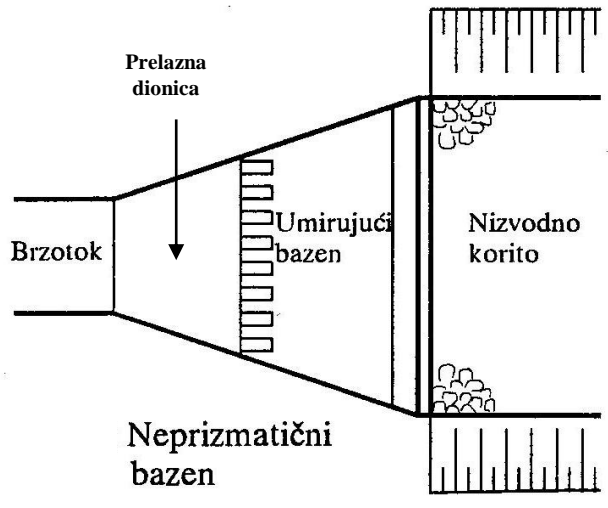
□ Visina bočnih zidova:

$$h_z = h_2 + f ; f = 0,5 - 0,7 \text{ m}$$

Slapište

- Kod definiranja oblika i dimenzija slapišta treba uzeti u obzir slijedeće uvjete:
 - Širinu riječne doline
 - Topografiju terena i dispoziciju objekta
 - Oblik protočne krivulje donje vode
 - Geološki sastav temeljnog tla slapišta (zbog erozije nizvodnog korita i nosivosti temeljnog tla)

- U slapištu se mogu pojaviti dinamička opterećenja:
 - Dinamički uzgon
 - Kavitacija
 - Vibracije





Slapište na brani Valiči



Slapište temeljnog ispusta i bunarskog preljeva -Lokvarsko jezero



**Više povezanih slapišta (u kaskadama)
akumulacija Bajer - Fužine**

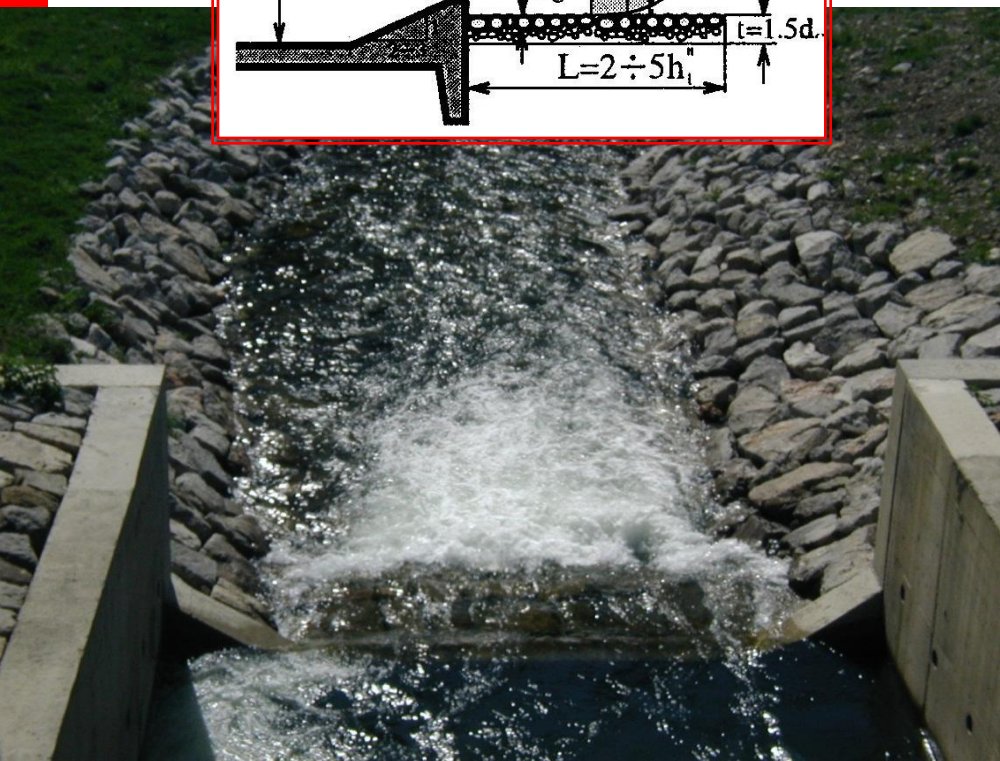
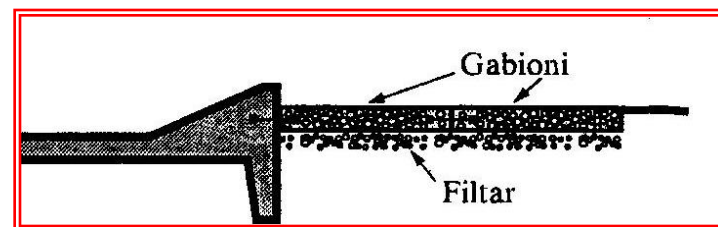
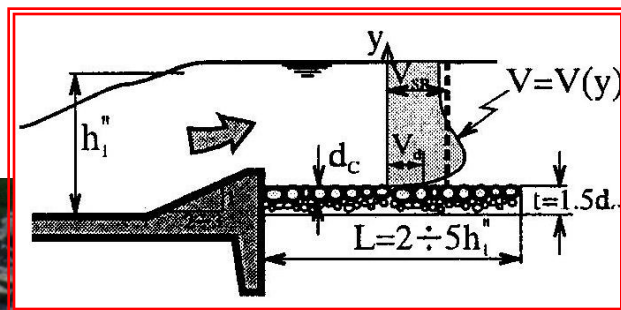
Zaštita korita nizvodno od slapišta

Ekonomski je neisplativo umiriti svu energiju u slapištu pa dio neuništene energije djeluje nizvodno od slapišta, stoga se dno mora zaštititi na duljini od $(2-5) h_2$ (na slici h_1'').

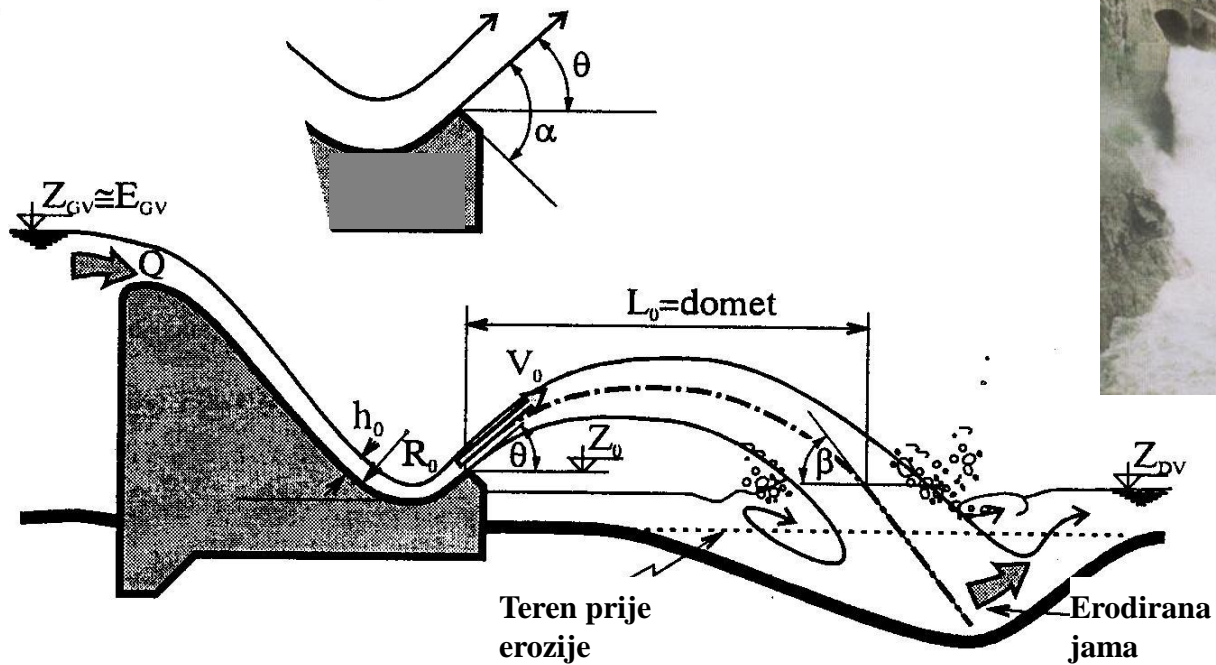
Zaštita se izvodi korištenjem:

- Kamenih obloga, rip-rap

- Gabiona i sl.

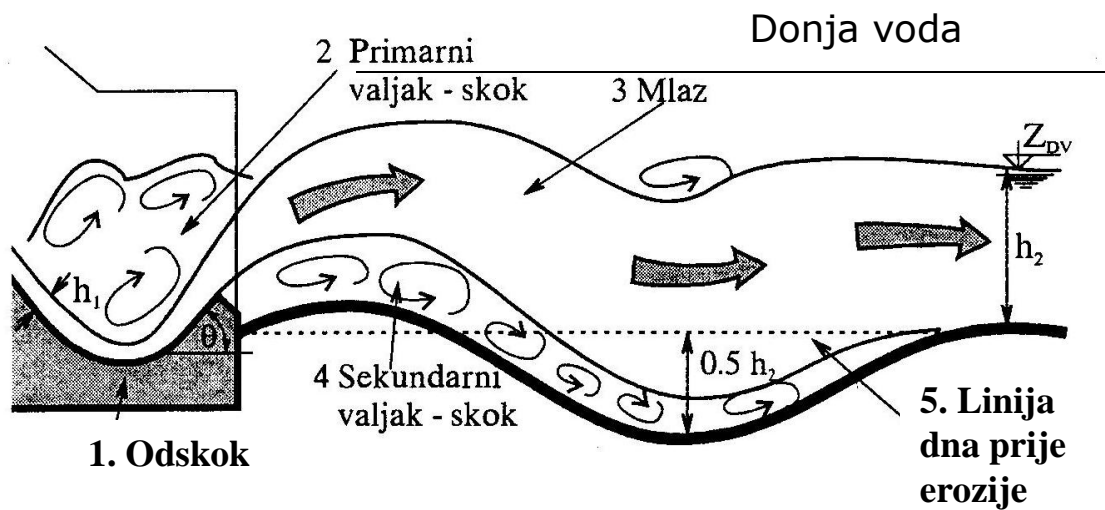


„Ski – jump” – odbačeni skok

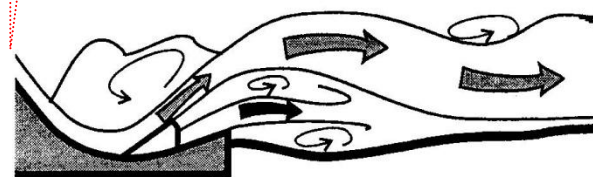
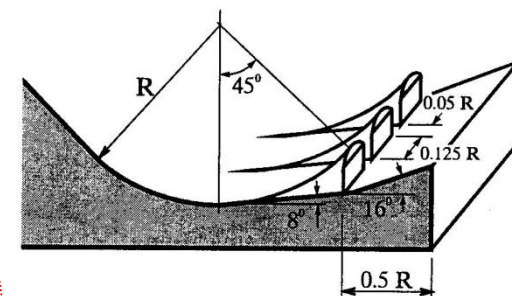




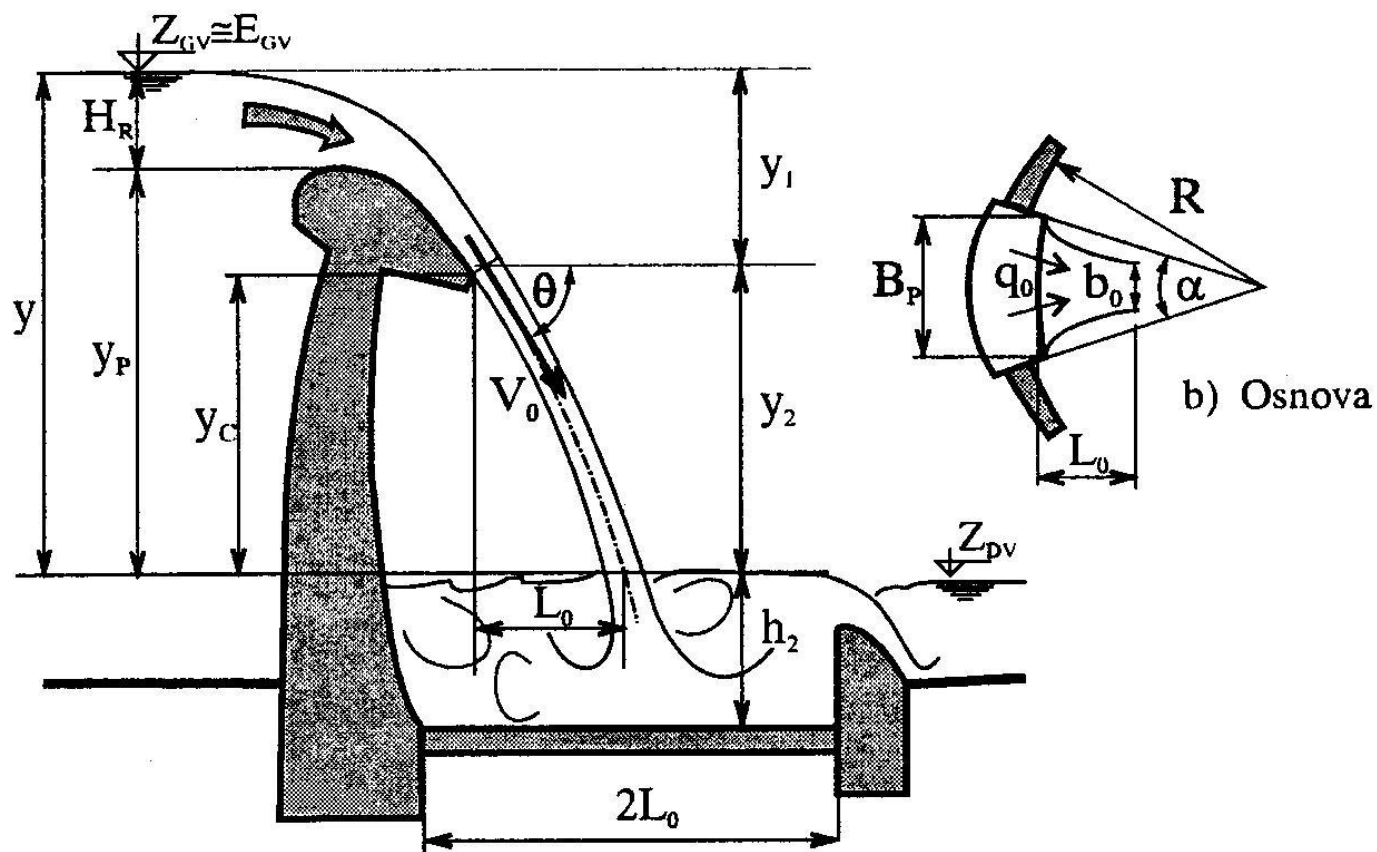
Potopljeni odbačeni skok



Olakšan - šuplji odskok



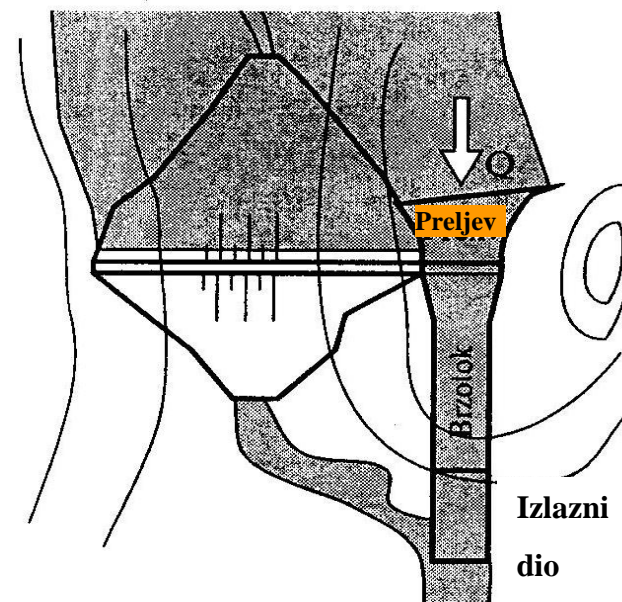
Preljevi lučnih brana



Preljevi kod nasutih brana

PRELJEVI S BRZOTOKOM

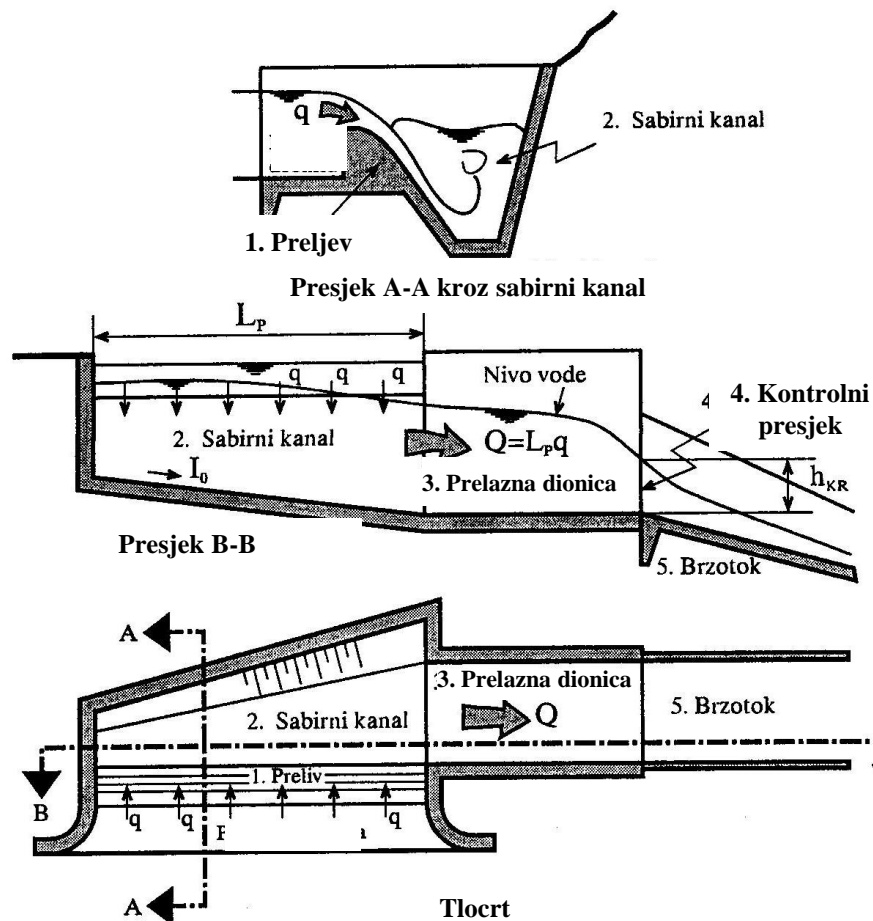
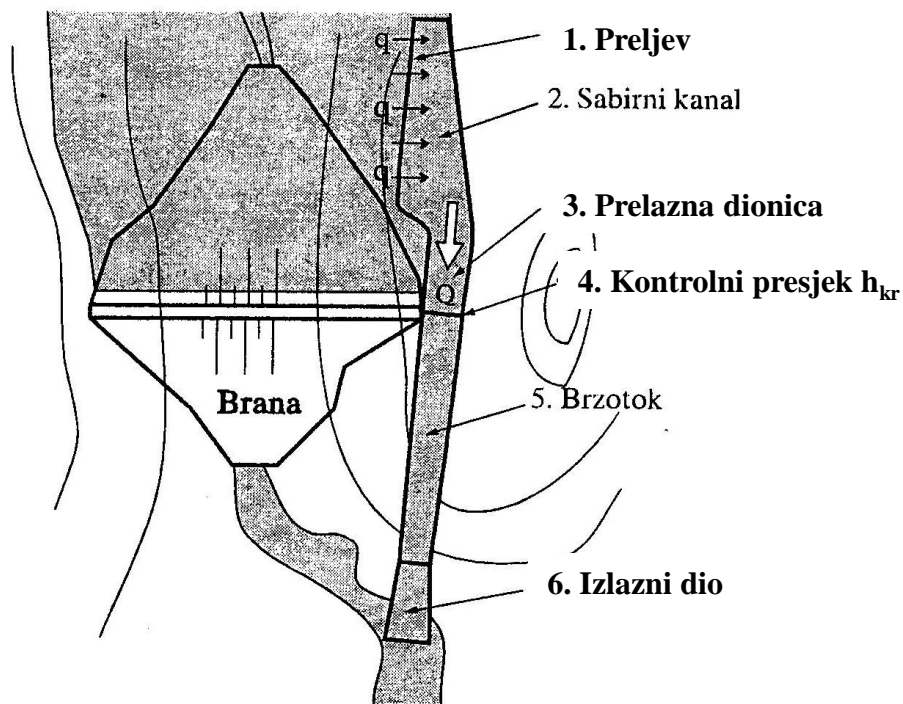
□ Čeoni preljev:



Preljevi kod nasutih brana

PRELJEVI S BRZOTOKOM

□ Bočni preljev:



Bočni preljev sa sabirnim kanalom



Bočni preljev sa sabirnim kanalom (Botoniga)



Odvod kroz tijelo brane



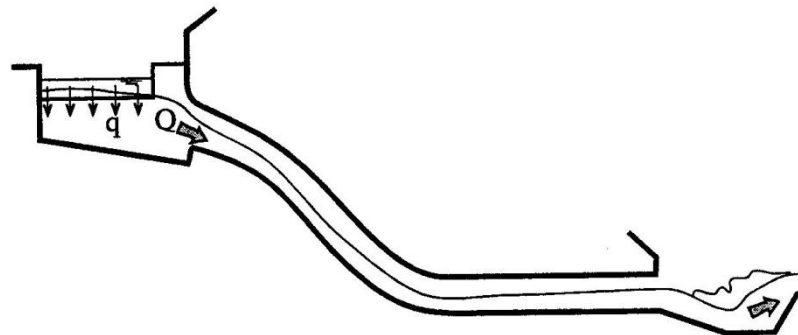
Brzotok preljeva

Bočni preljev sa sabirnim kanalom (Botoniga)

Preljevi kod nasutih brana

PRELJEVI S BRZOTOKOM

□ Bočni preljev:



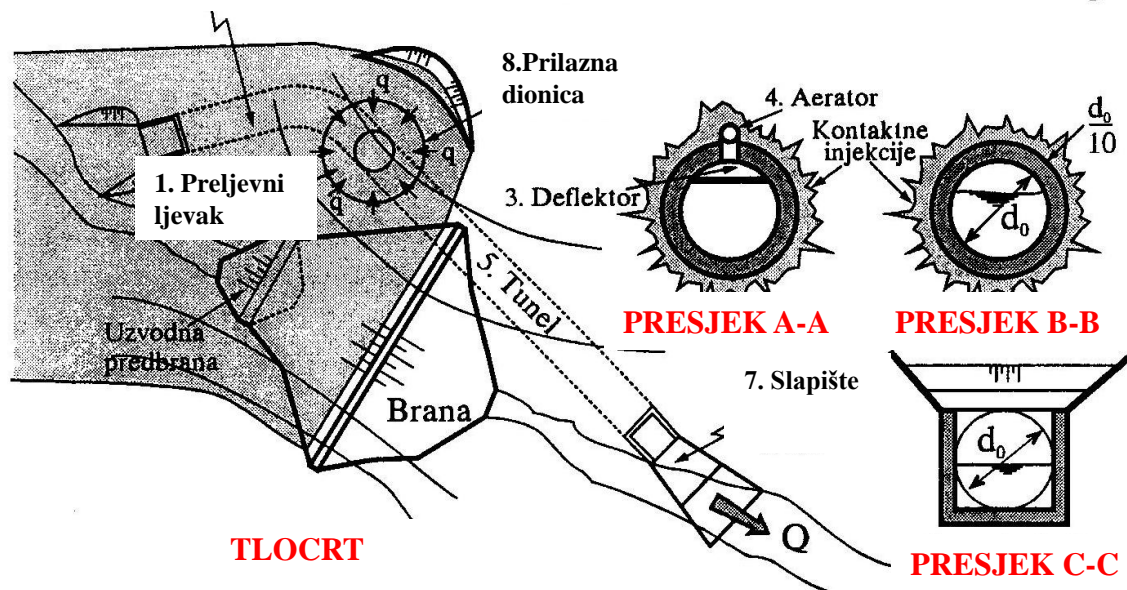
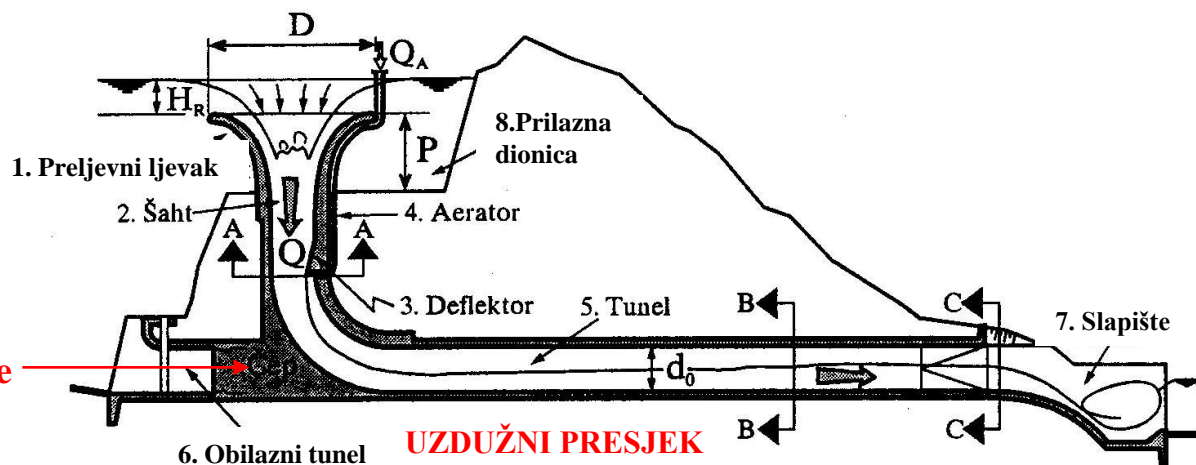
Bočni preljev sa tunelskim provodnikom

Preljevi kod nasutih brana

PRELJEVI S BRZOTOKOM

□ Bunarski (šahтни) preljev:

plombiranje



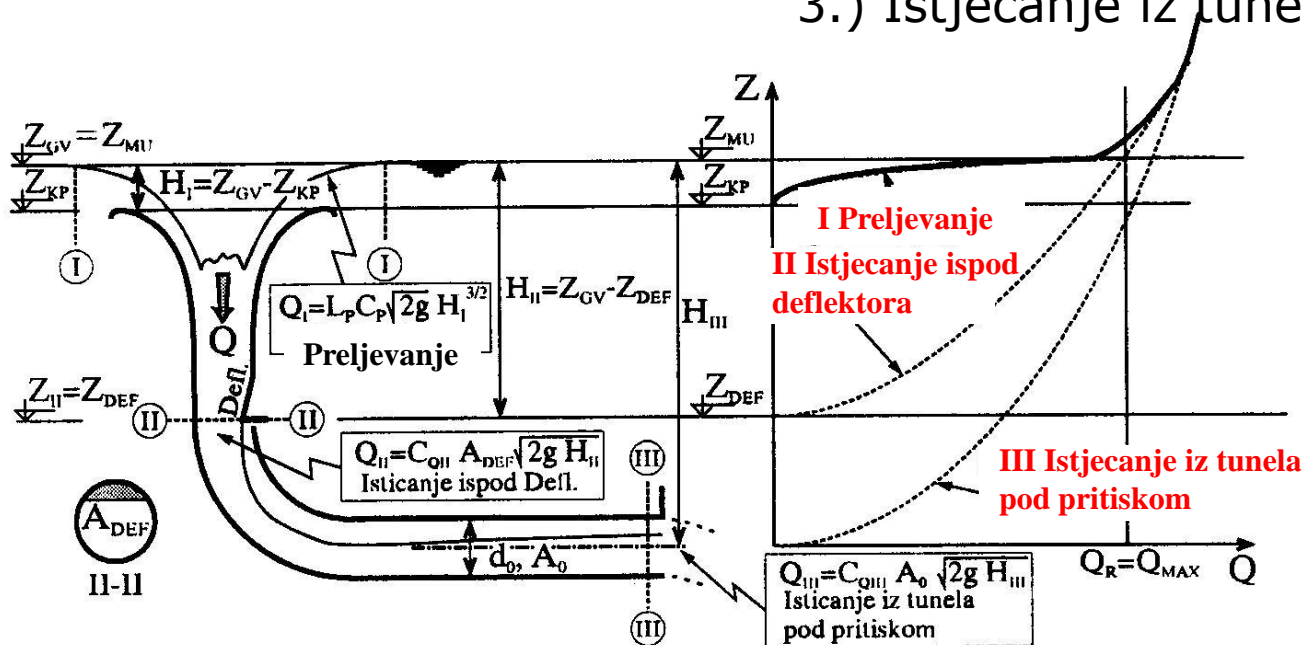
Preljevi kod nasutih brana

PRELJEVI S BRZOTOKOM

□ Bunarski (šahтни) preljev:

□ Proračun bunarskog preljeva

- Potrebno je provesti proračun za tri presjeka:
 - 1.) Preljev
 - 2.) Istjecanje ispod deflektora
 - 3.) Istjecanje iz tunela pod pritiskom.

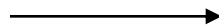




Bunarski preljev na Lokvarskom jezeru



Jedan bunarski preljev u funkciji



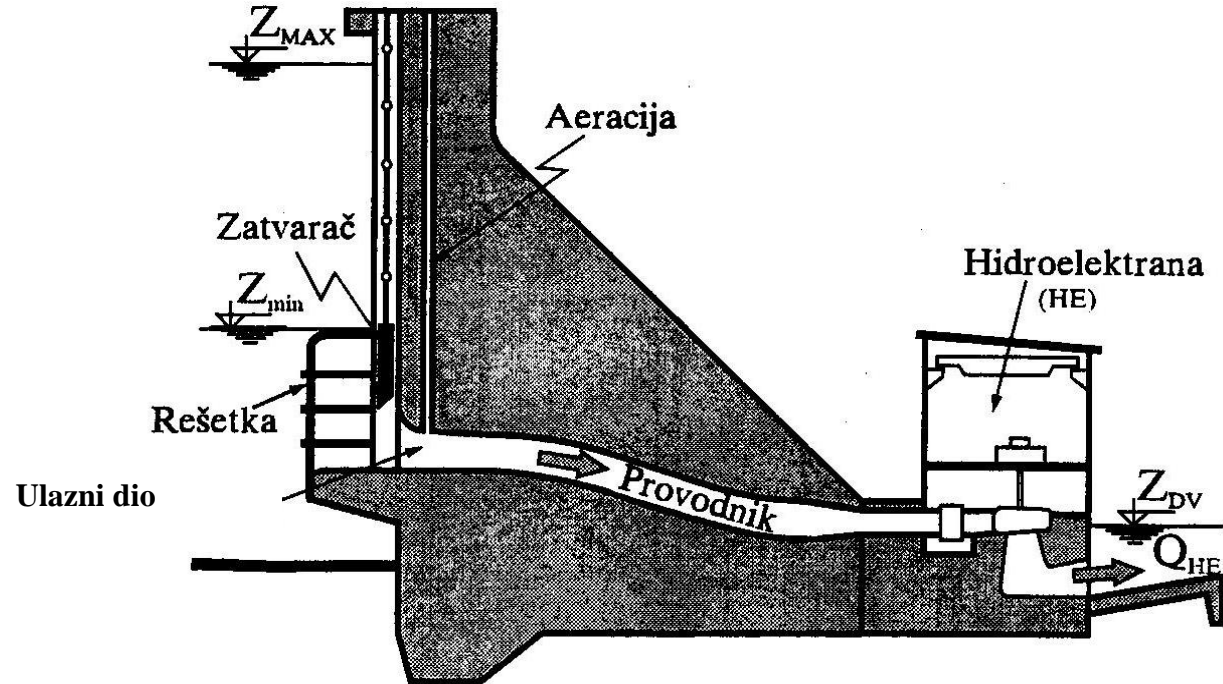
TEMELJNI ISPUSTI

- Mora biti postavljen ispod minimalne radne razine.
- Služi za pražnjenje akumulacije:
 - radi pregleda i popravaka
 - kao evakuacijski organ za vrijeme velikih voda
 - za pražnjenje nanosa koji se istaložio
- Postavlja se:
 - **Kroz tijelo brane** (kod betonskih)
 - **Oko brane - kroz teren** (kod nasutih i ponekad kod betonskih)
 - **Ispod brane** (koristi se rijetko)

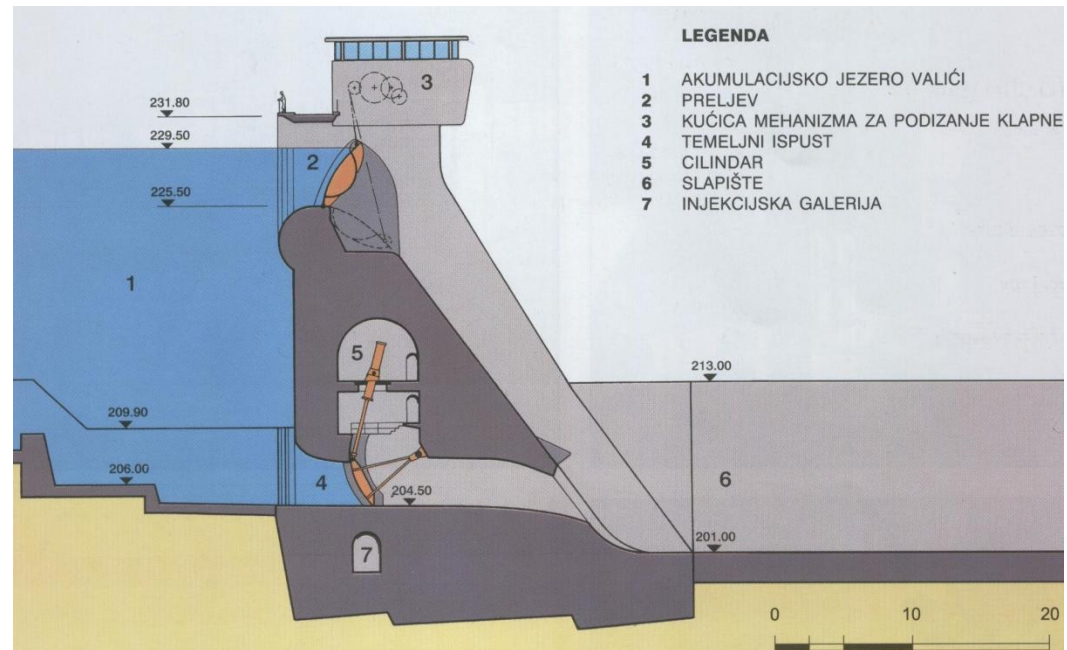
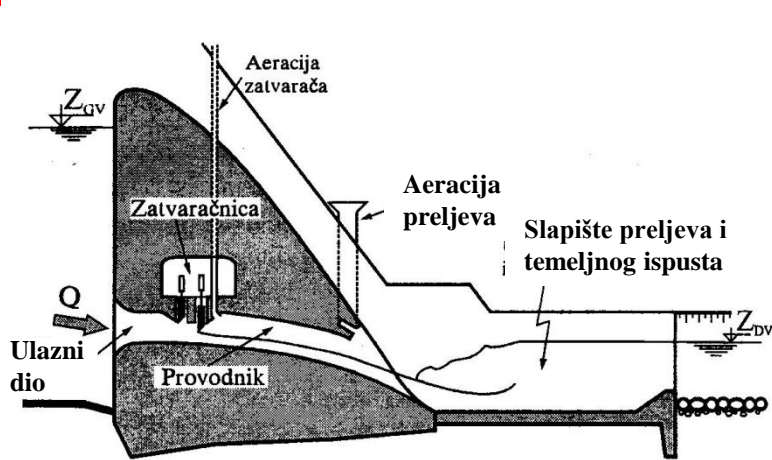
Temeljni ispusti

□ Temeljni ispust se sastoji od:

- Ulazne građevine
- Provodnika
- Kontrolnog dijela – za regulaciju – zatvaračnica sa zatvaračem
- Izlaznog dijela
- Slapišta



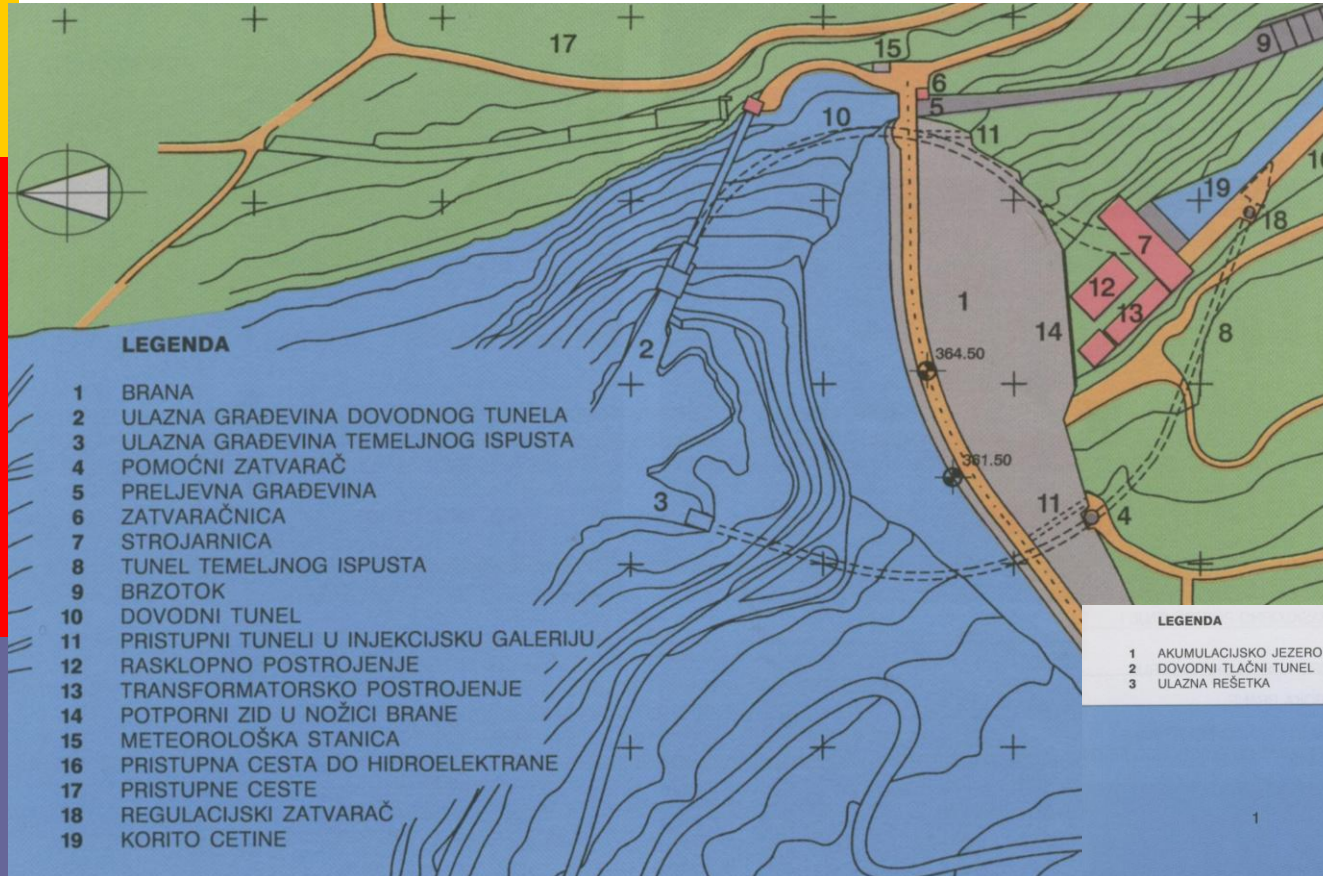
Temeljni ispusti – kroz tijelo brane



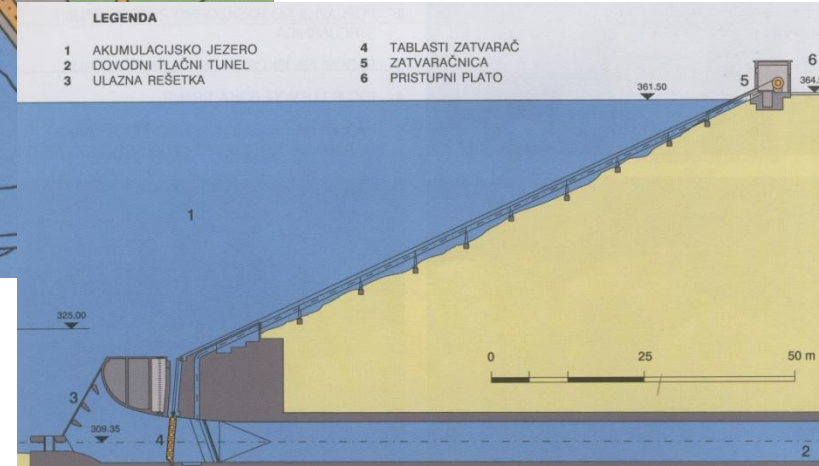


Temeljni ispusti

– oko/ispod brane-kroz teren:



**Peruča
(na Cetini)**



Temeljni ispusti - proračun

$$Q = \mu \cdot F \cdot \sqrt{2g\Delta H}$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum \xi_{\text{LOK}} + \sum \xi_{\text{LIN}}}}$$

Q – protok

μ – koef. gubitaka

F – površina poprečnog presjeka tunela

ξ_{LOK} – lokalni gubici (uslijed trenja)

ξ_{LIN} – linijski gubici (na ulazu, rešetci, u krivinama,...)

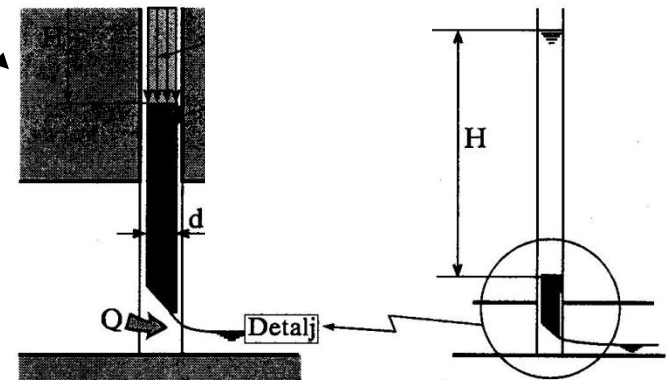
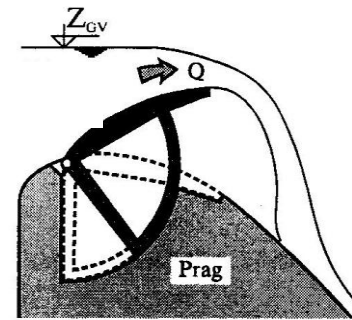
Temeljni ispusti



ZAPORNICE I ZATVARAČI

- Služe za regulaciju protoka:
 - Na preljevu – **zapornice/ustave**
 - Kroz temeljni ispust – **zatvarači**

- Projektiranje, izrada, montaža održavanje zapornica i zatvarača posao inženjera strojarstva.



Zapornice na preljevima

□ Podjela:

■ Zapornice koje se oslanjaju na **BOKOVE**:

- GREDNE
- PLOČASTE
- SEGMENTNE
- VALJKASTE
- KUKASTE

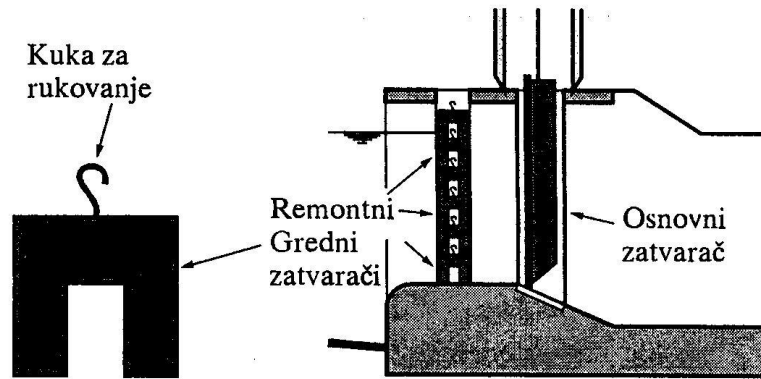
■ Zapornice koje se oslanjaju na **KRUNU**:

- SEKTORSKE
- ZAKLOPKE
- KRUŽNE
- KROVASTE

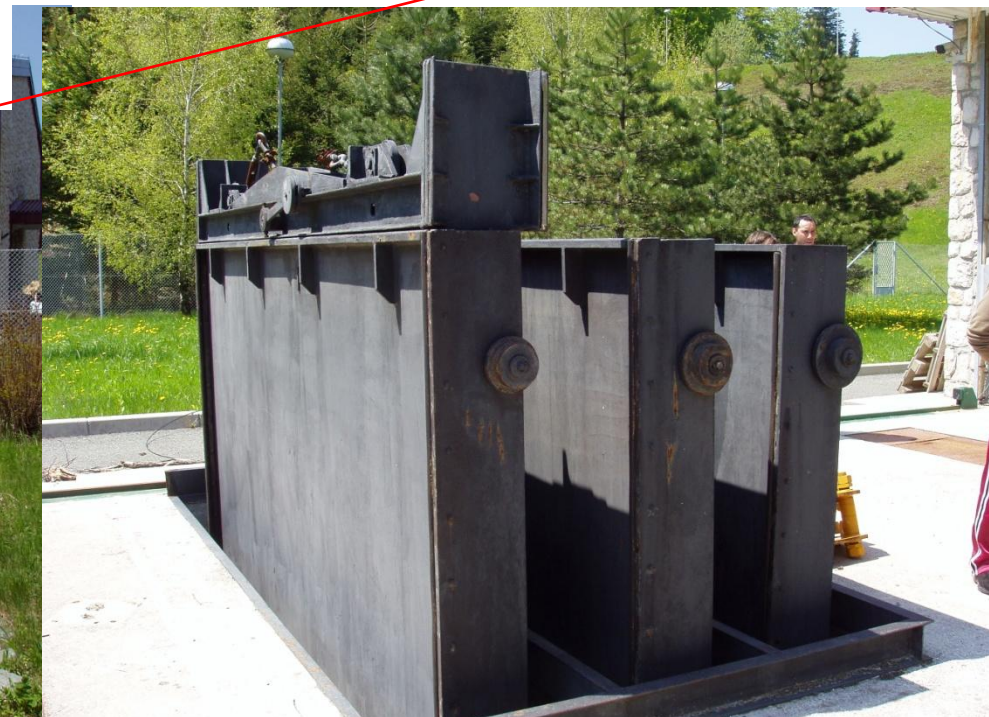
Zapornice koje se oslanjaju na bokove

□ GREDNE ZAPORNICE

izvode se samo kao pomoćni (remontni) zatvarači



HE Lepenica



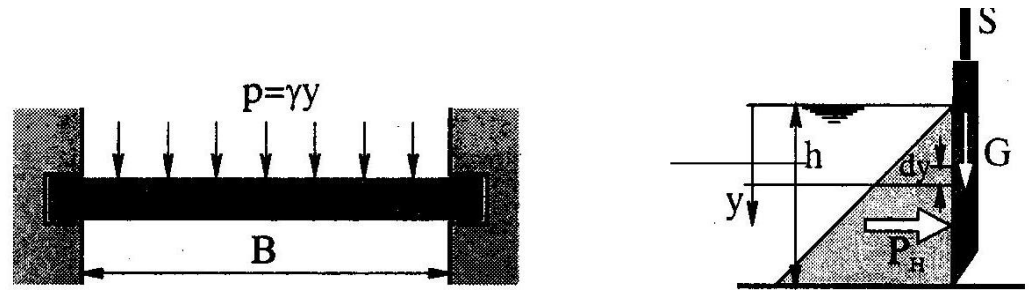


HE Varaždin



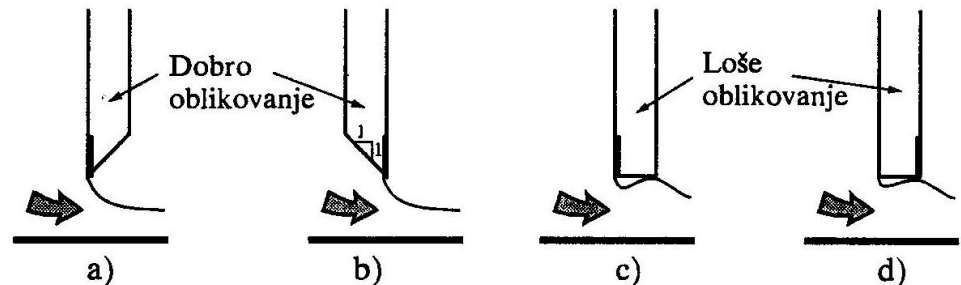
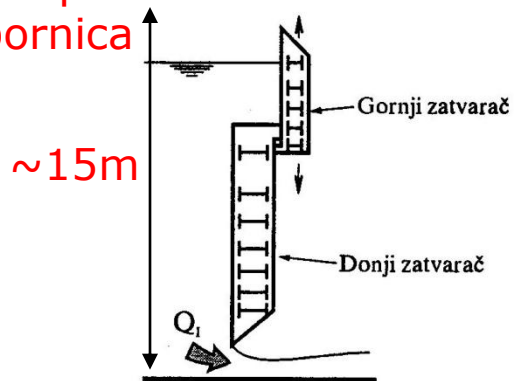
Zapornice koje se oslanjaju na bokove

□ PLOČASTE ZAPORNICE



- Vododrživost u utorima osigurava se gumenim brtvama.
- Koriste se za otvore površine do 50 m².
- Prosječna visina zapornice 4–5 m.
- Mana: potrebna još 2x tolika visina za smještaj podignut zapornice te za smještaj uređaja za podizanje.

Dvodjelna pločasta zapornica



Zapornice koje se oslanjaju na bokove

□ SEGMENTNE ZAPORNICE

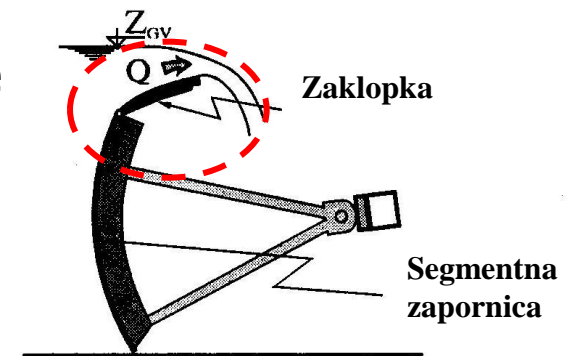
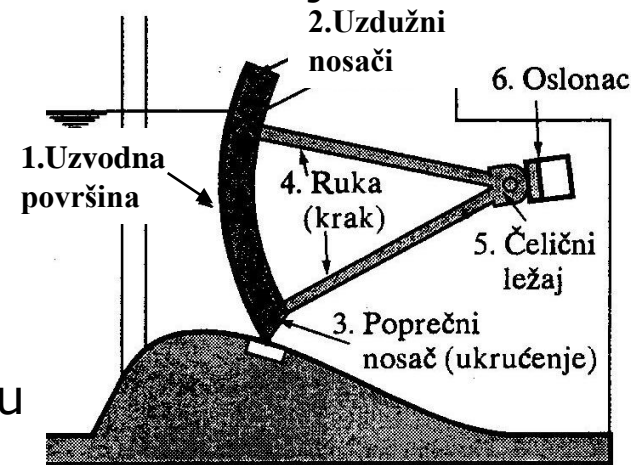
- najčešće se koriste kao zapornice na preljevima većih objekata.

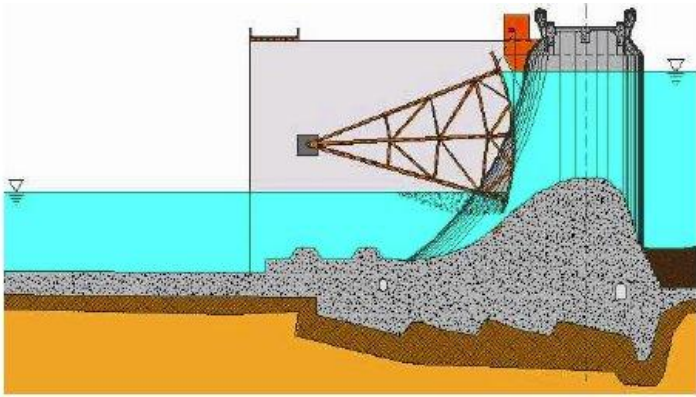
- Zatvaraju površine do 560 m^2
- Raspon $L=15-40 \text{ m}$
- Visina $H=12-18 \text{ m}$
- Izvedeno max. $L= 56 \text{ m}$ i $H= 22,5 \text{ m}$

- Brtvljenje se izvodi na bokovima i na dnu korištenjem gumenih traka.

- Za finu regulaciju na segmentnoj zapornici može se izvesti zaklopka koja omogućuje prepuštanje plutajućih elemenata, leda, granja i sl.

- Opterećenje hidrostatičkog pritiska prenosi se preko uzvodne površine te krakova na oslonce.



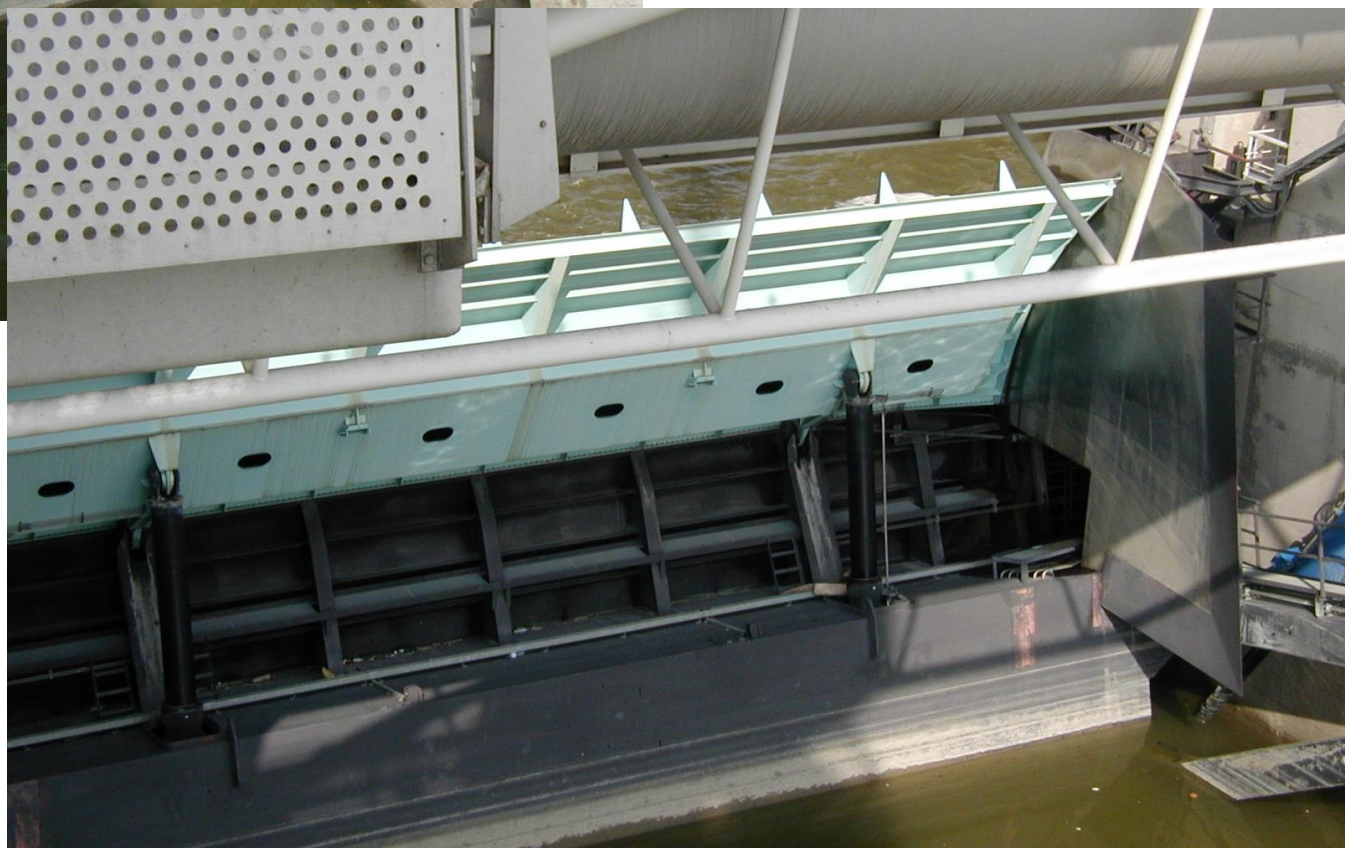
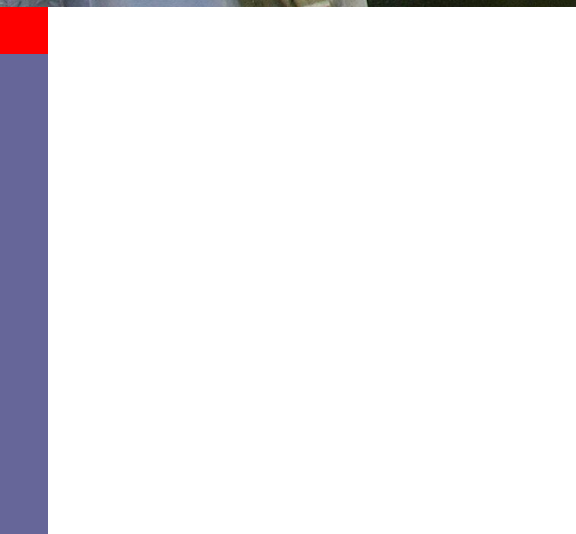


Brana na Dravi
(za HE Čakovec)





Brana na Dunavu
Freudenau
(Beč)



Zapornice koje se oslanjaju na bokove

□ SEGMENTNE ZAPORNICE

□ Prednosti:

- Zbog kružnog oblika vanjske površine zapornice (prema vodi), krutost zapornice je velika pa se teško vitoperi, manje je podložna vibracijama i zahtijeva manje materijala od pločastih zapornica
- Nema utora u stupovima po liniji kontakta sa zapornicom čime se poboljšava strujna slika i izbjegava mogućnost zatrpavanja utora nanosom ili plovećim objektima
- Tijelo segmentne zapornice predstavlja puno povoljniju strujnu konturu od donjeg brida pločaste zapornice, pa je istjecanje pri manjim otvorima stabilnije (nego kod pločastih)
- Za podizanje zapornice potrebne su relativno male sile (u odnosu na pločaste)
- Nije potrebna visoka konstrukcija za podizanje zapornice

□ Mane:

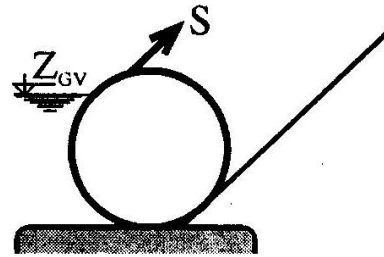
- Velika koncentracija napreznja u okolini oslonca obično zahtijeva prednaprezanje i složenu skupu konstrukciju stupova
- Konstrukcija same zapornice i ležišta je složena
- Kraci zapornice zahtijevaju znatno duže stupove nego kod pločastih zapornica

Zapornice koje se oslanjaju na bokove

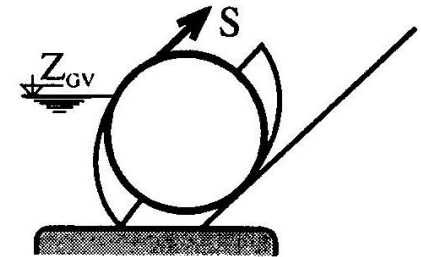
□ VALJKASTE ZAPORNICE

- Sastoje se od šupljeg cilindra koji se pomoću zupčanika kotrlja (podiže i spušta) po kosoj ravnini.

- Visine do 10 m.
- Dužine do 50 m.



a) Običan-Valjkasti



b) Sa gornjim i donjim štitom

- Na vrhu može biti još i zaklopka.
- Prednosti:
 - Velika krutost i mogućnost zatvaranja velikih širina otvora
 - Dobra evakuacija leda, plivajućih objekata i nanosa
- Mane:
 - Cijena (zbog složenosti)

Zapornice koje se oslanjaju na krunu

□ SEKTORSKE ZAPORNICE

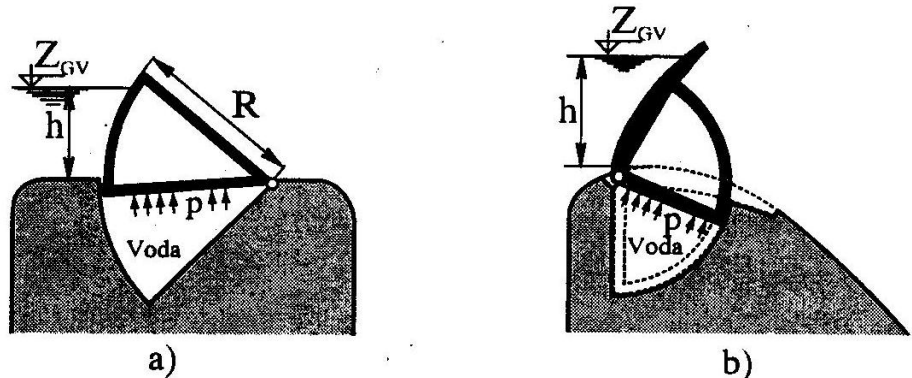
- Oslanjaju se cijelom dužinom na krunu (prag) objekta, stoga su vrlo krute i imaju mogućnost zatvaranja velikih raspona (preko 50 m).
- Upuštaju se u utore/otvore na samoj brani.

- Položaj oslonca:

- Nizvodno
- Uzvodno

- **Prednosti:**

- Precizna regulacija razine vode i protoka
- Velika brzina manevriranja i velika krutost
- Nisu potrebni visoki stupovi i prostor za smještaj uređaja za podizanje zapornice
- Dobri uvjeti za pronošanje leda i plivajućih objekata



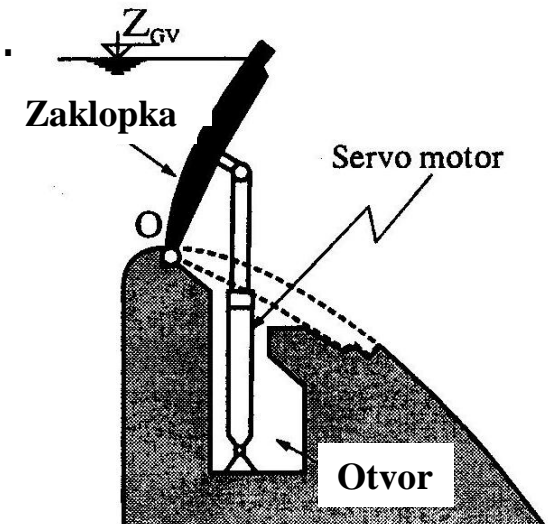
- **Mane:**

- Teško održavanje zbog nanosa (treba čistiti otvor ispod zapornice)
- Zimi potrebno zagrijavanje
- Teški uvjeti remonta
- Zahtijevaju visok prag za smještaj zapornice

Zapornice koje se oslanjaju na krunu

□ ZAKLOPKE (KLAPNE)

- Zglobno su povezane s krunom (pragom) na uzvodnoj strani.
- Pokreće ih servo uređaj.
- Često se kombiniraju sa drugim zapornicama.
- Malih su visina (do 5 m).



□ Prednosti:

- Brzina manevriranja
- Precizna regulacija razine vode i protoka
- Nisu potrebni stupovi
- Dobri uvjeti za pronošnje leda i plivajućih objekata

□ Mane:

- Osjetljivost na vibracije
- Potrebna visina/dubina praga za ugradnju
- Potrebno čišćenje otvora za servo uređaj

Zatvarači na temeljnim ispustima, dovodima,...

- Vrste – 3 grupe:
 - **PLOČASTI i SEGMENTNI**
 - **LEPTIRASTI i KUGLASTI** (princip otvoreno/zatvoreno)
 - **IGLASTI i TELESKOPSKI** (regulacija od - % protoka)

- Namjena:
 - Za **regulaciju** protoka - Koriste se zatvarači koji omogućavaju stabilan rad pri svim proticajima - **segmentni i iglasti**
 -
 - Za **remont** - neregulacijski -imaju samo dva položaja

 - **Brzi havarijski** zatvarač podignut ili potpuno spušten otvoren/zatvoren – **kuglasti, leptirasti, pločasti**

Zatvarači

Zajedničke osobine i problemi koji se javljaju:

- Velike brzine ispod zatvarača, koje su rezultat visokog pritiska povećavaju opasnost od kavitacijske erozije
- Vibracije mogu nastati zbog periodičnog odljepljivanja mlaza nekontroliranog procurivanja ili nizvodne prepreke (utori, nizvodni zatvarač,...)
- Teže su pristupačni za ugradnju, rukovanje i održavanje
- Potrebno je osigurati vezu s atmosferskim pritiskom nizvodno od zatvarača (aeracijska cijev) da nebi došlo do podtlaka

Zatvarači

Zajedničke osobine i problemi koji se javljaju:

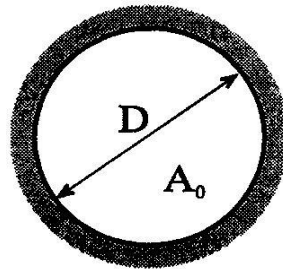
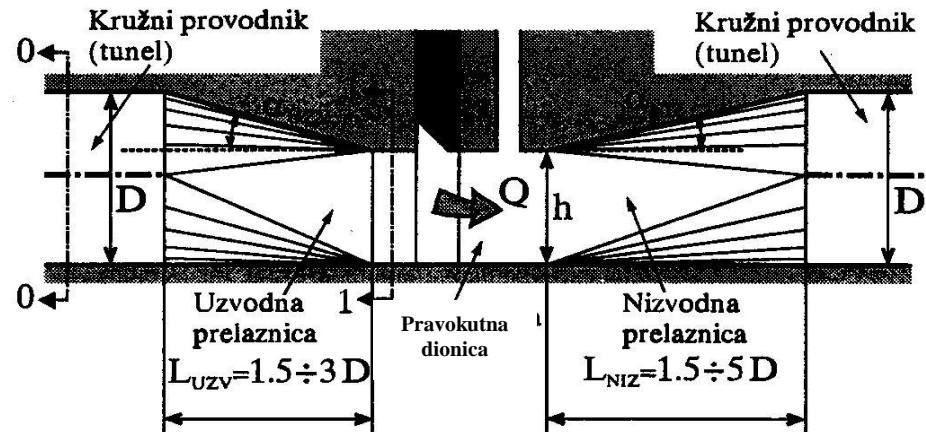
Pristup zatvaračima

- Pristup je otežan (osim kod zatvarača na nizvodnom kraju dovoda) jer se nalaze u tijelu brane ili u šahtu duboko ispod površine terena.

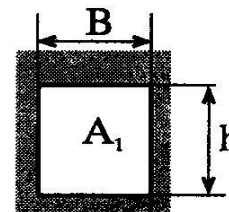
- Prilaz:
 - **Betonske brane – šahtovi i galerije**
 - **Nasute – šahtovi ili kule sa pristupnim mostovima**

Zatvarači

Zajedničke osobine i problemi koji se javljaju:



Presjek 0-0



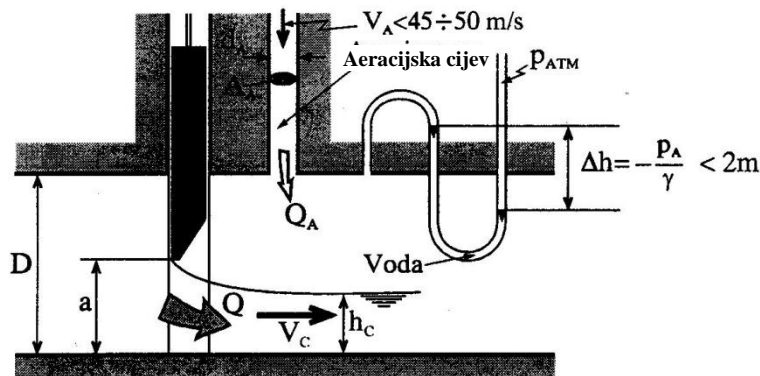
Presjek 1-1

Prelaznice kod dovoda pod pritiskom

Zatvarači

Ozračno okno (aeracijska cijev)

- Dovod zraka treba se osigurati iza svakog glavnog i pomoćnog zatvarača (osim zatvarača na kraju cjevovoda).
- Brzina zraka $\sim 45-50$ m/s.



$$\frac{Q_A}{Q} = 0,04(Fr - 1)^{0,85}$$

$$Fr = \frac{V_c}{\sqrt{gh_c}}$$

- Protok zraka raste s pojačanjem turbulencije mlaza, koji uvlači mjehure zraka u vodeni tok, a turbulencija raste sa silovitošću toka koja se kod tečenja sa slobodnim vodenim licem kvantificira Fr-brojem.
- Promjer aeracijske cijevi: iz uvjeta da podtlak (Δh) nesmije biti više od 2 mVS što je obično zadovoljeno za brzine zraka $v_A \leq 45-50$ m/s.

Zatvarači

PLOČASTI I SEGMENTNI ZATVARAČI

Koriste se na dovodima velikog poprečnog presjeka sa pritiscima do 100-njak mVS.

PLOČASTI

- Koriste se kao havarijski, remontni i regulacijski.

- **Prednosti** (u odnosu na segmentni) :
 - Manji gabariti otvora u koji se smješta zatvarač i pogonski mehanizam
 - Jednostavnija i jeftinija konstrukcija
 - Manja naprezanja u osloncu

Zatvarači

PLOČASTI I SEGMENTNI ZATVARAČI

Koriste se na dovodima velikog poprečnog presjeka sa pritiscima do 100-njak mVS.

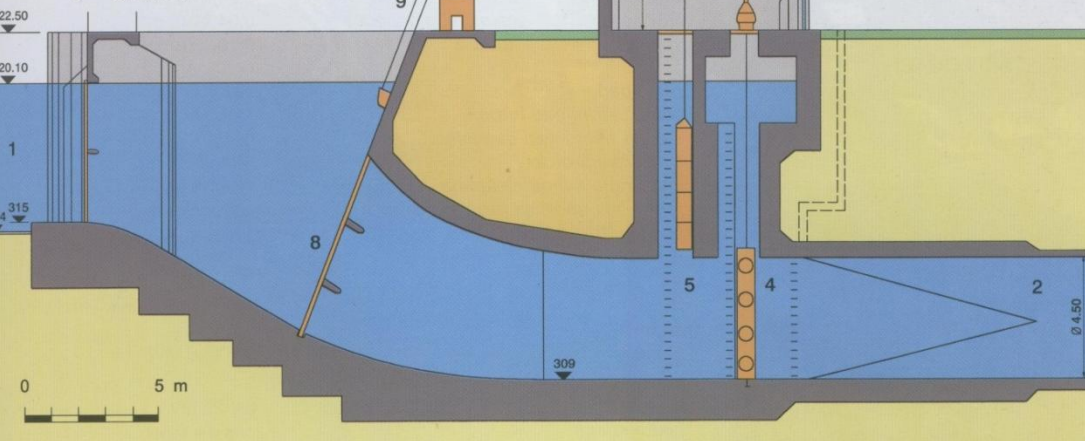
SEGMENTNI

- Koriste se kao regulacijski.
- Postavljaju se najčešće na nizvodnom kraju dovoda

- **Prednosti** (u odnosu na pločasti):
 - Manja pogonska snaga za podizanje zatvarača
 - Bolji uvjeti istjecanja zbog oblika konture zatvarača
 - Lakše i pouzdanije brtvljenje
 - Manja mogućnost kavitacije i vibracije, jer nema prepreka / utora
 - Veća krutost konstrukcije i bolja otpornost na vibracije
 - Nema opasnosti od začepljenja utora nanosom

LEGENDA

- 1 AKUMULACIJSKO JEZERO SABLJACI
- 2 DOVODNI TLAČNI TUNEL
- 3 ZATVARAČNICA
- 4 TABLASTI ZATVARAČ
- 5 POMOĆNA GREDNA ZAPORNICA
- 6 SERVO MOTOR
- 7 MOSNA DIZALICA
- 8 ULAZNA REŠETKA
- 9 ČISTILICA

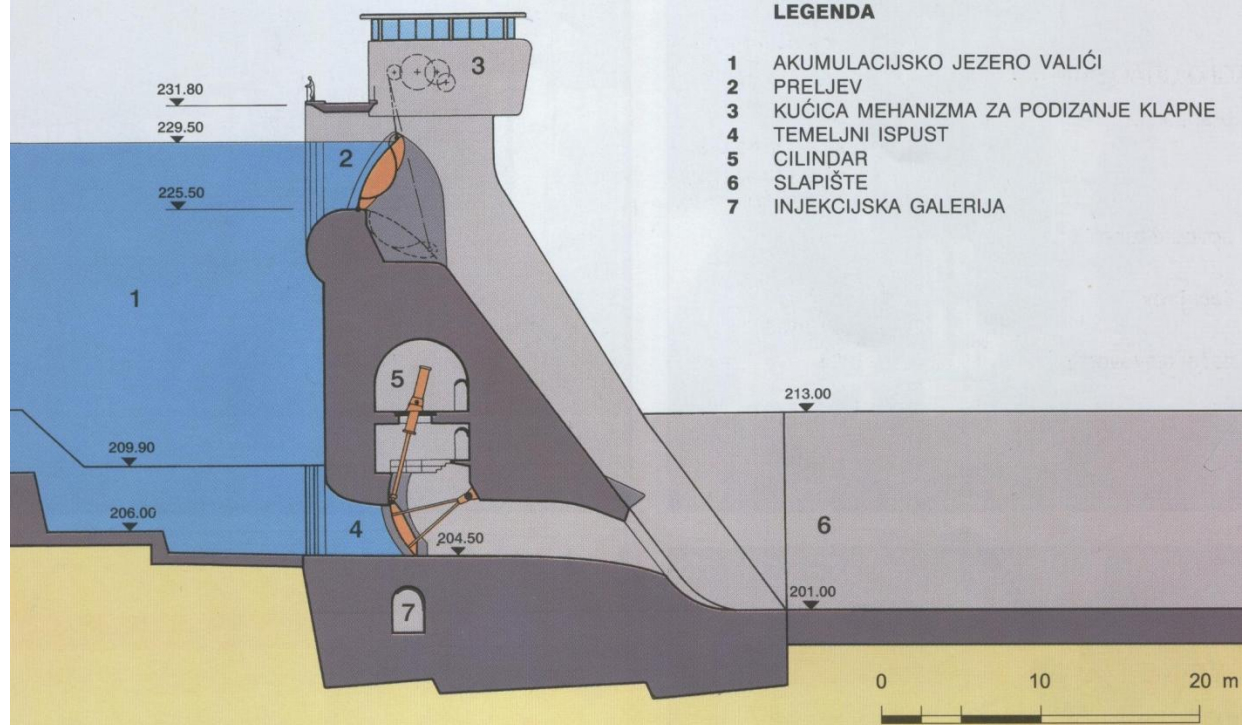


Brana Sabljaci (Zagorska Mrežnica, Ogulin)

Ulazni uređaj za HE s pločastim zatvaračem

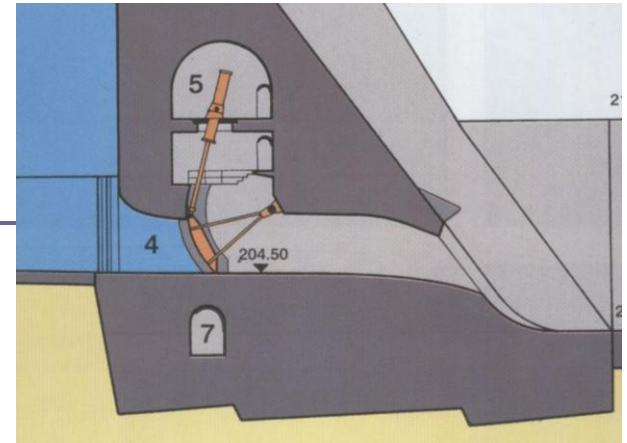
LEGENDA

- 1 AKUMULACIJSKO JEZERO VALIĆI
- 2 PRELJEV
- 3 KUĆICA MEHANIZMA ZA PODIZANJE KlapNE
- 4 TEMELJNI ISPUST
- 5 CILINDAR
- 6 SLAPIŠTE
- 7 INJEKCIJSKA GALERIJA



Brana Valići (Rječina, Rijeka)

Temeljni ispust sa segmentnim zatvaračem



Brana Valići (Rječina, Rijeka)

Temeljni ispust sa
segmentnim zatvaračem





Temeljni ispust sa pločastim zatvaračem na brani Botonega

Pločasti zatvarači na ulazu u malu HE



(u sklopu HE Varaždin)



Zatvarači

LEPTIRASTI ZATVARAČI

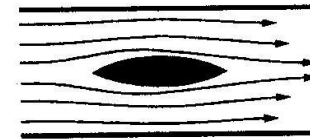
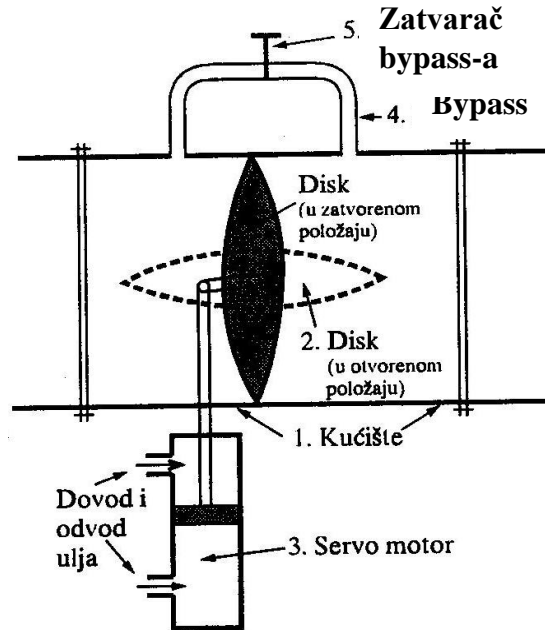
- Najčešće se koristi kao havarijski na dovodima pod pritiskom.
- Ne koristi se za regulaciju protoka.
- Koristi se na padovima do 300m.

- **Prednosti** leptirastog zatvarača:
 - Dobro brtvi
 - Jednostavne je konstrukcije
 - Pouzdan je u korištenju
 - Relativno lagan i malih gabarita

- Najveći **nedostatak** leptirastog zatvarača:
 - Veliki lokalni gubitak $\xi_{lok} = 0,10-0,25$ kod otvorenog zatvarača.

Zatvarači

LEPTIRASTI ZATVARAČI



Potpuno otvoren



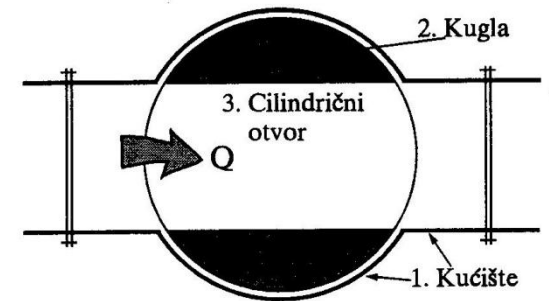
Djelomično otvoren

- Bypass je potreban za se cijev nizvodno od zatvarača postupno napuni vodom, jer naglo podizanje zatvarača može uzrokovati snažan hidraulički udar.
- Bypassom se izjednačavaju pritisci ispred i iza glavnog zatvarača pa treba manja sila za njegovo pokretanje.

Zatvarači

KUGLASTI ZATVARAČI

- Može se koristiti i pri vrlo velikim pritiscima (1700 mVS).
- Ima dva radna položaja:
 - potpuno otvoren
 - potpuno zatvoren
- Koristi se kao havarijski zatvarač najčešće kod dovoda za HE.
- Odlično brtvi i ima vrlo male hidrauličke gubitke, ali je velikih dimenzija, velike težine i visoke cijene, te je za njegovo pokretanje potrebna velika sila.

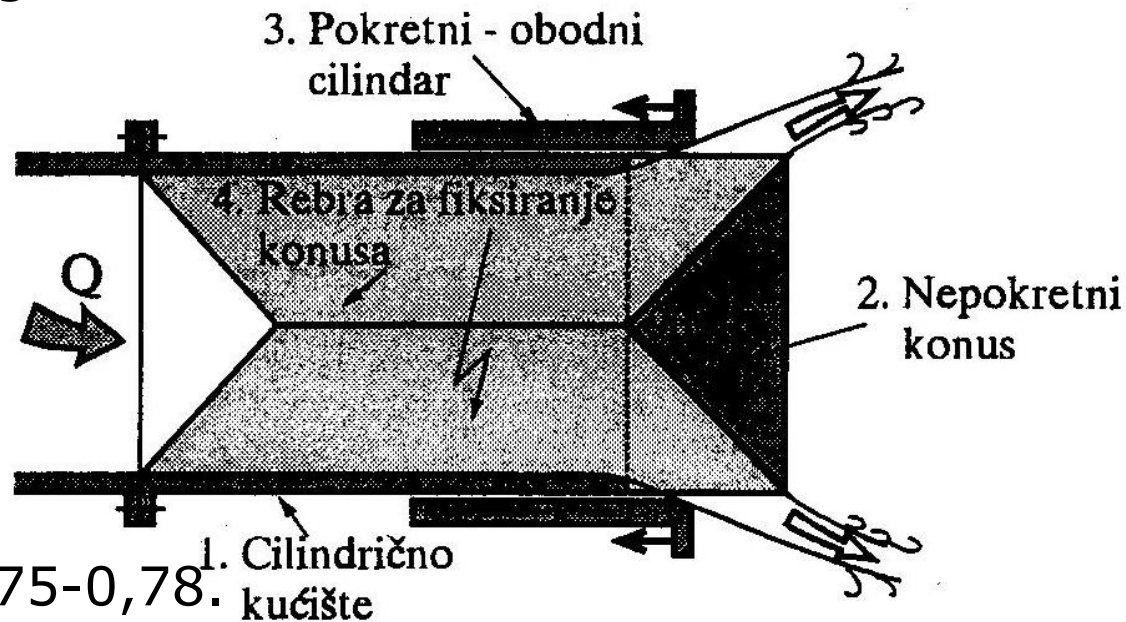


Zatvarači

KONUSNI regulacijski ZATVARAČ

“Howel – Bunger” ili “teleskopski” zatvarač

- Sastoji se od:
 - Nepokretnog cilindričnog kućišta
 - Hidraulički oblikovanih rebara
 - Nepokretnog konusa
 - Pokretnog obodnog cilindra



- Kontrakcija mlaza: 0,75-0,78.

Zatvarači

KONUSNI regulacijski ZATVARAČ

“ Howel – Bunger” ili “teleskopski” zatvarač

□ **Prednosti:**

- Laka i ekonomična konstrukcija
- Radni dio je u suhom
(mehanizam za pokretanje zatvarača)
- Izlazni konus raspršuje mlaz i pri tome se disipira energija
- Može se ispuštati nanos bez da se zatvarač začepi

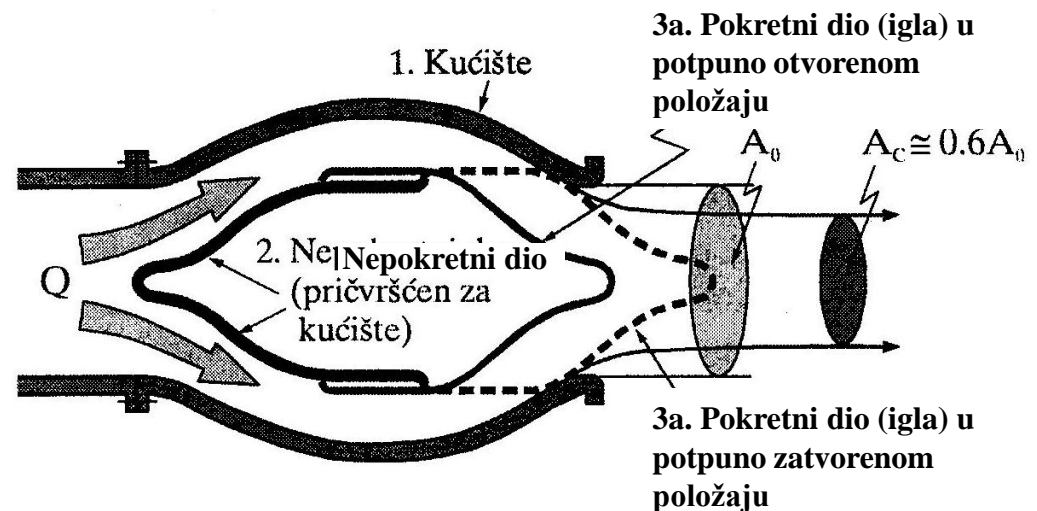
□ **Mane:**

- Prskanje vode
- Vibracije zbog pomicanja točke odljepljivanja mlaza

Zatvarači

IGLASTI REGULACIJSKI ZATVARAČI

- Koristi se kod lučnih brana, kada se mlaz želi točno usmjeriti bez prskanja.
- Složene je konstrukcije i vrlo skup, osjetljiv na nanos i kavitaciju na "iglama".
- Kontrakcija mlaza iznosi 0,6



Zatvarači

KRUŽNO CILINRIČNI ZATVARAČI

- Koristi se na dubinskim zahvatima u vidu kule ili šahta.

