

KORIŠTENJE VODNIH SNAGA

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

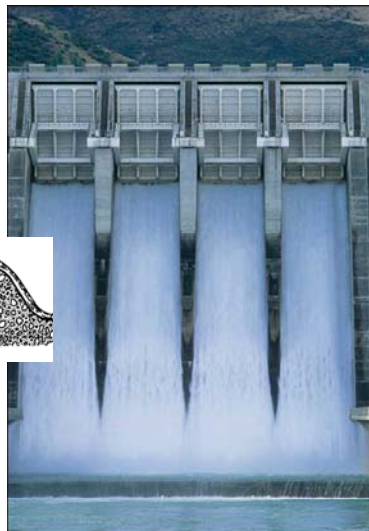
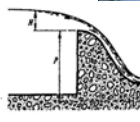
PRELJEVI

□ Podjela prema položaju:

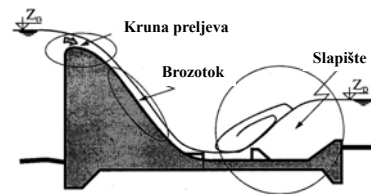
- Na objektu
- Na boku doline
- Samostojeće građevine

□ Podjela prema načinu upravljanja:

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



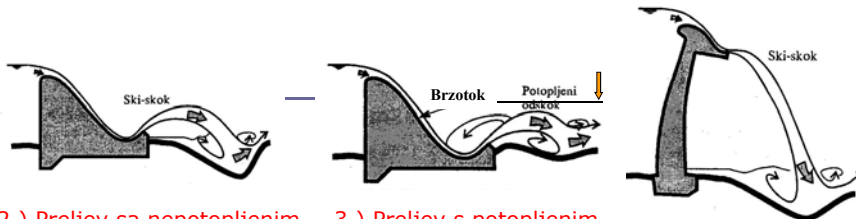
DIJELOVI PRELJEVA



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)

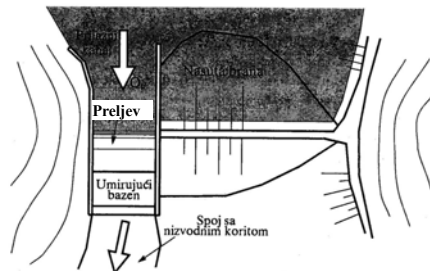


2.) Preljev sa nepotopljenim odskokom (ski-jump)

3.) Preljev s potopljenim odskokom

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

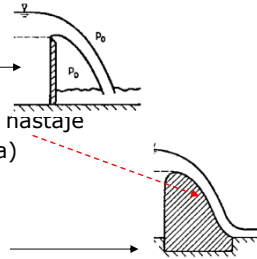
- Betonske brane najčešće imaju preljev preko tijela brane, dok se kod nasutih može dio brane izvesti u betonu kao preljev.



Slobodni preljevi

□ Vrste slobodnih preljeva:

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

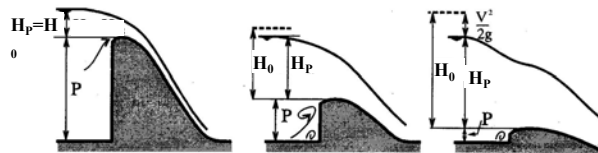


□ Slobodni preljev:

$$Q_p = C_p \cdot L \cdot \sqrt{2gH_0}^{3/2}$$

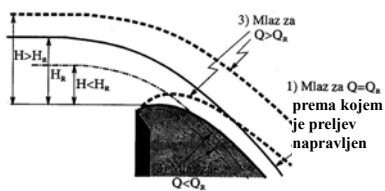
C_p -koef.preljevanja
 ovisi o tipu preljeva
 L - duljina preljeva

$$P \geq 1,33H_p \rightarrow \frac{V^2}{2g} \text{ je malo} \rightarrow H_p = H_0$$



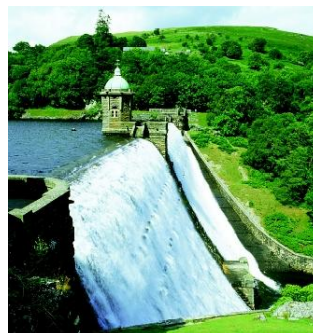
Slobodni preljevi

□ Vakumski preljev:



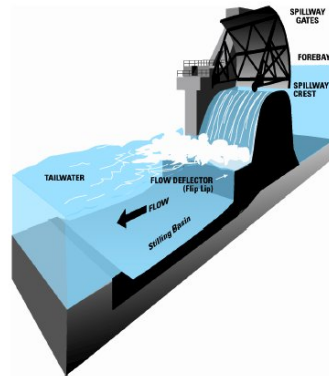
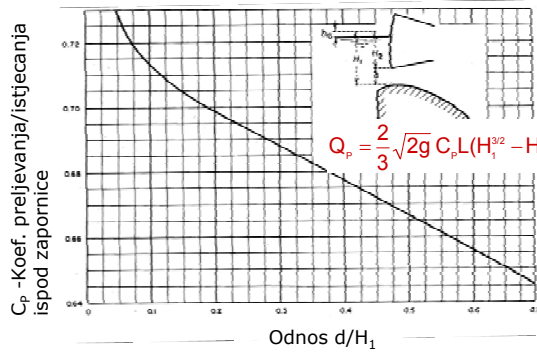
□ Oblik konture preljeva praktičnog - Creagerov preljev ($C_p=0,49$)

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

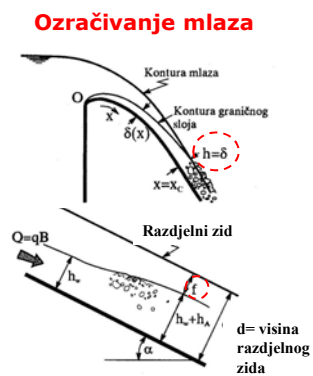
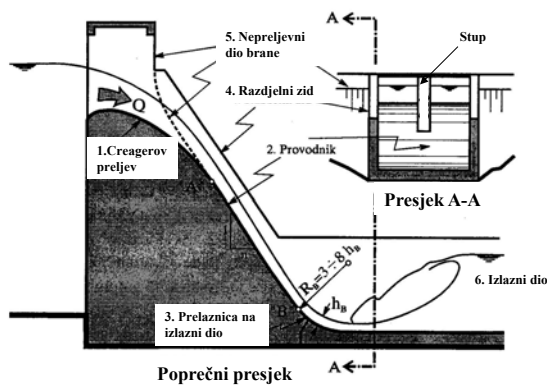


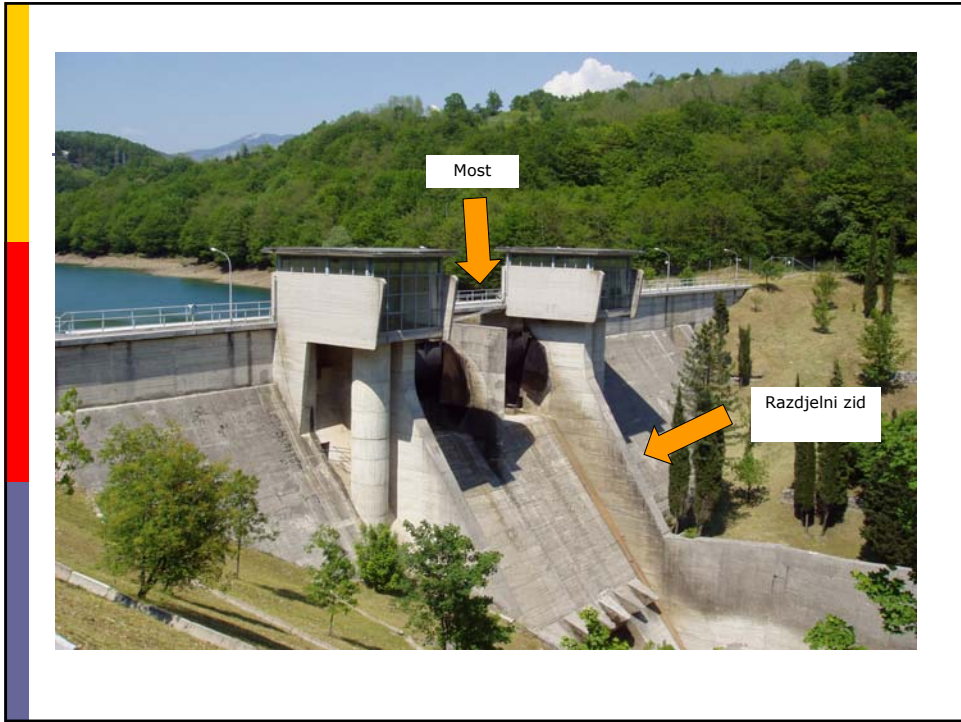
Preljevi sa zapornicama

- istjecanje ispod zapornice



Preljevna polja





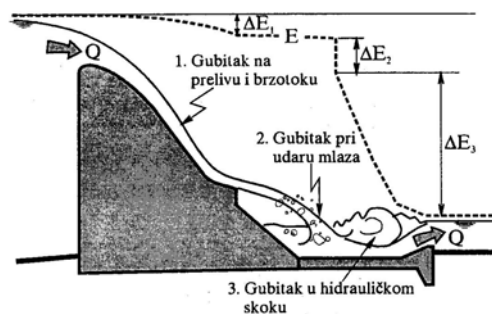


Preljev praktičnog profila (Lepenica), oštećenja preljeva i brzotoka

Slapište

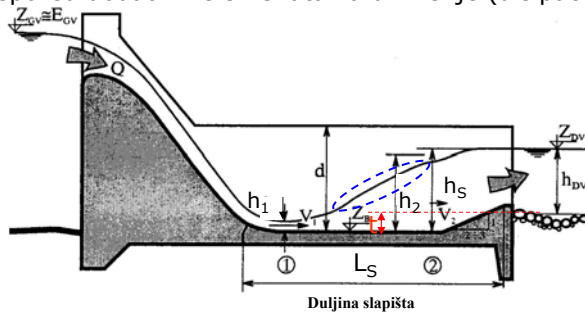
□ Disipacija energije kod evakuacijskih organa:

- Mali dio energije utroši se na trenje duž brzotoka (ΔE_1)
- Ako se preljevni mlaz odbaci u zrak, gdje se djelomično rasprši i odzrači, 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)

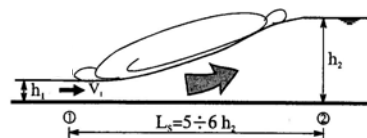
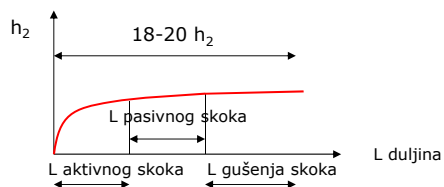


Slapište - dimenzioniranje

- 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



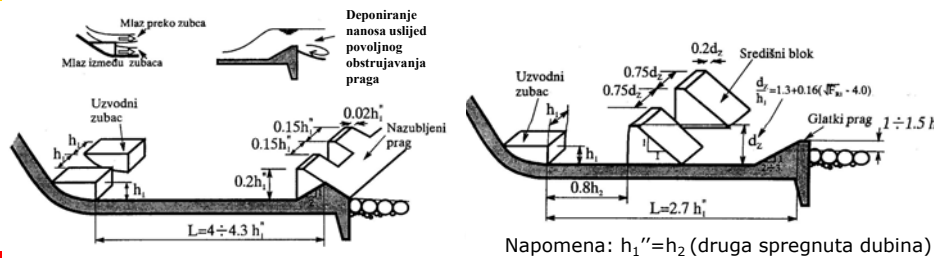
Slapište – duljina slapišta



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



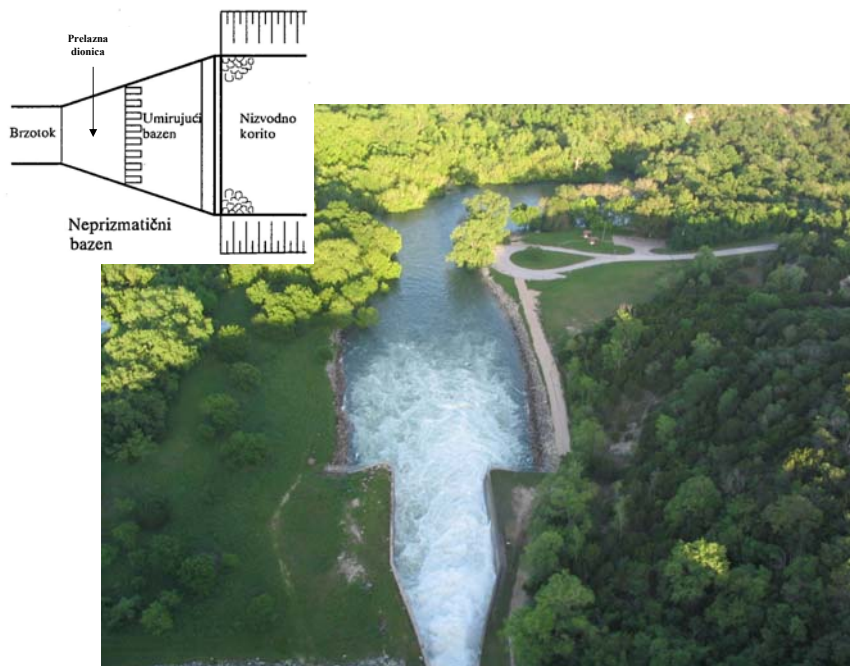
- **Visina bočnih zidova:**

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

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 Valići



Slapište temeljnog ispusta i bunarskog preljeva -Lokvarsko jezero



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

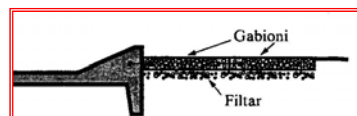
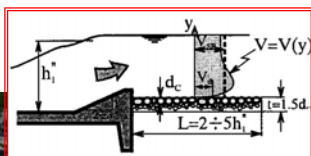
Zaštita korita nizvodno od slapišta

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'').

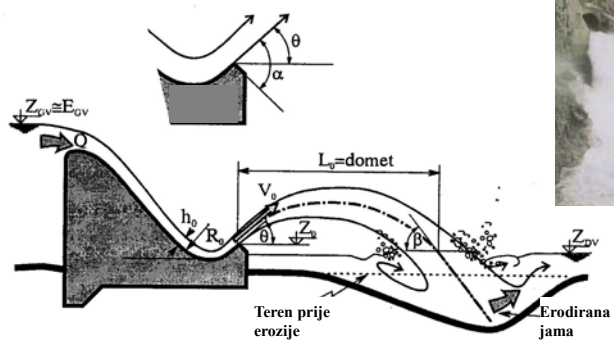
Zaštita se izvodi korištenjem:

- Kamenih obloga, rip-rap

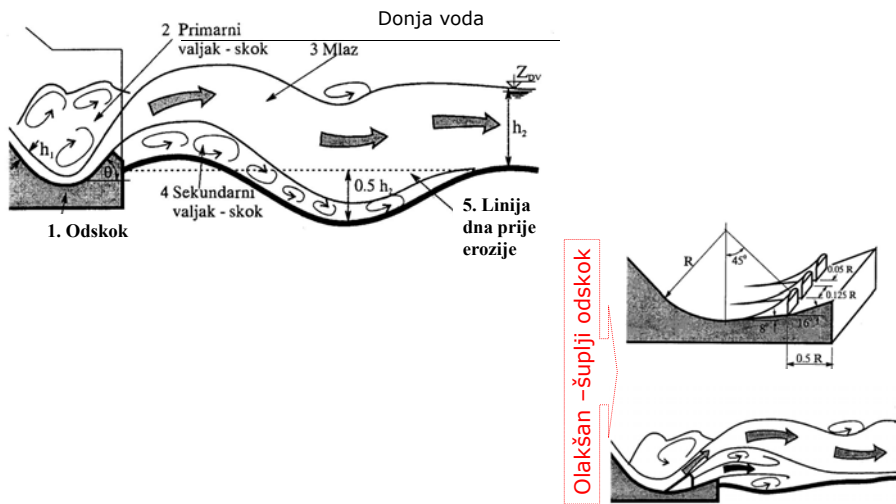
- Gabiona i sl.



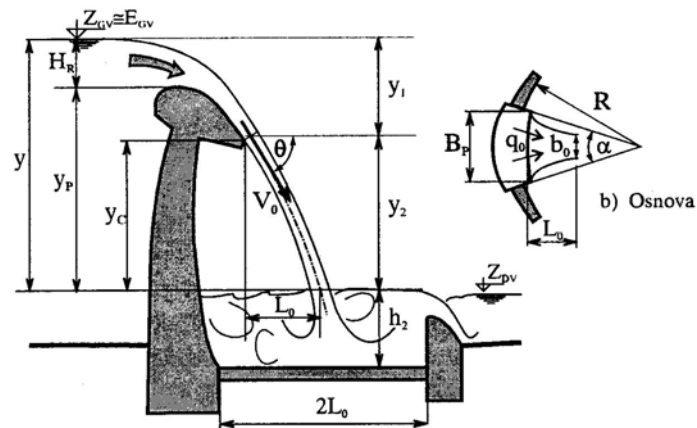
„Ski – jump” – odbačeni skok



Potopljeni odbačeni skok



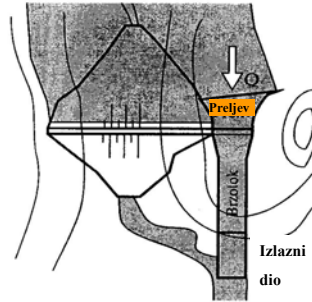
Preljevi lučnih brana



Preljevi kod nasutih brana

PRELJEVI S BRZOTOKOM

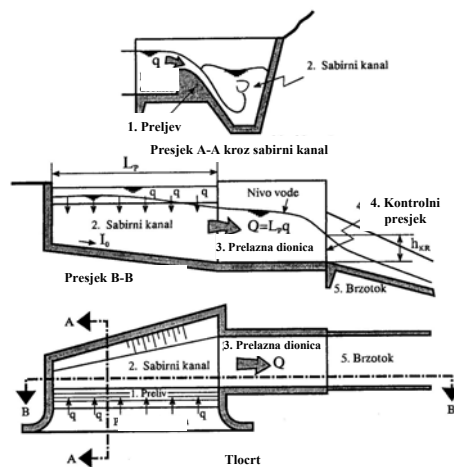
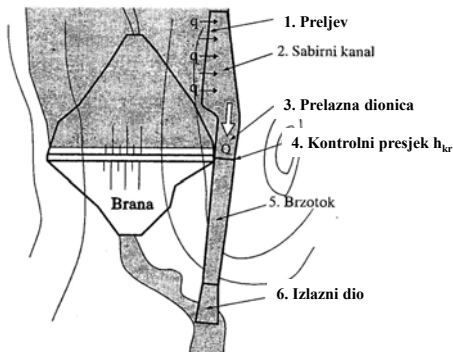
□ Čeoni preliv:



Preljevi kod nasutih brana

PRELJEVI S BRZOTOKOM

□ Bočni preliv:



Bočni preliv sa sabirnim kanalom



Bočni preljev sa sabirnim kanalom (Botoniga)



Odvod kroz tijelo brane



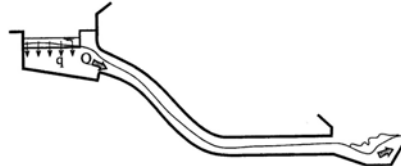
Brzotok preljeva

Bočni preljev sa sabirnim kanalom (Botoniga)

Preljevi kod nasutih brana

PRELJEVI S BRZOTOKOM

□ Bočni preljev:

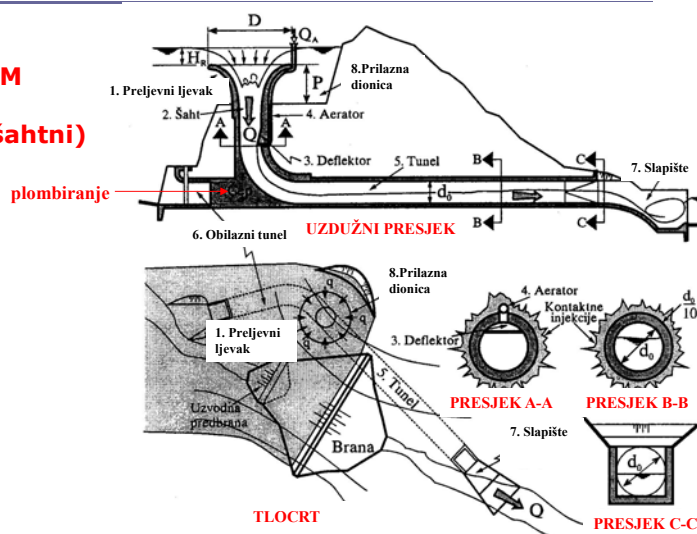


Bočni preljev sa tunnelskim provodnikom

Preljevi kod nasutih brana

PRELJEVI S BRZOTOKOM

□ Bunarski (šahtni) preljev:



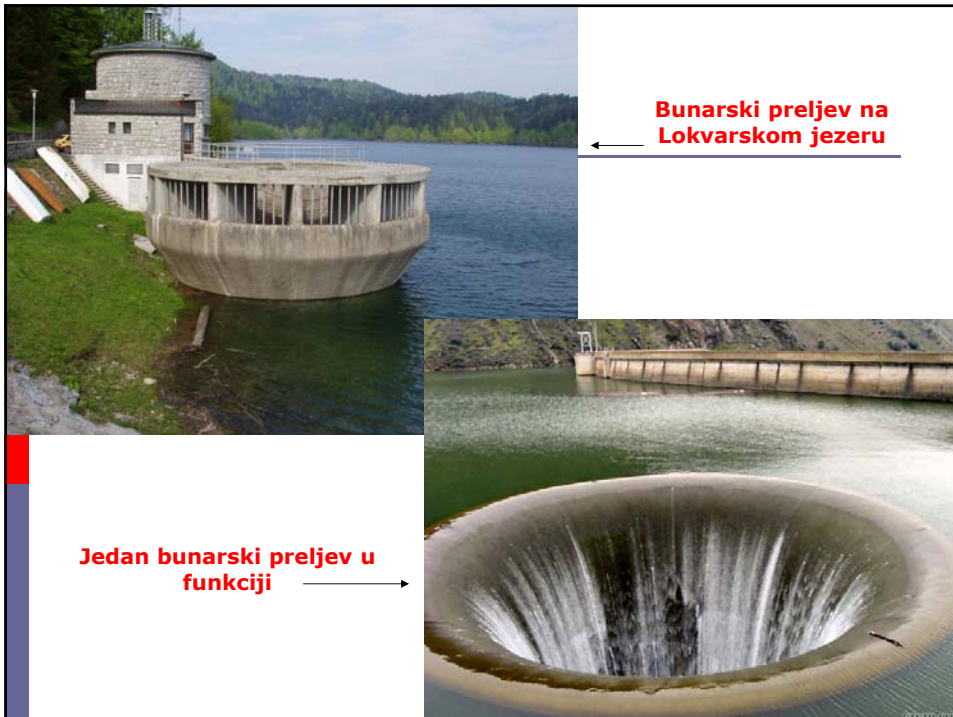
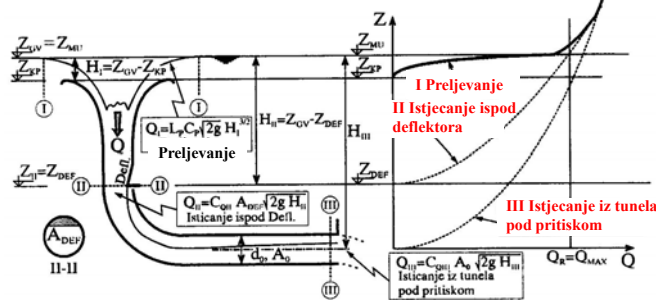
Preljevi kod nasutih brana

PRELJEVI S BRZOTOKOM

□ Bunarski (šahtni) preljev:

□ Proračun bunarskog preljeva

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

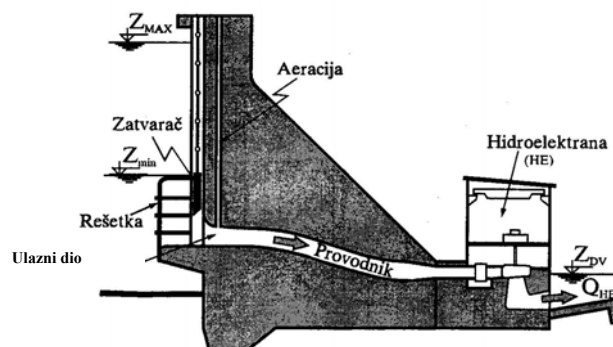


TEMELJNI ISPUSTI

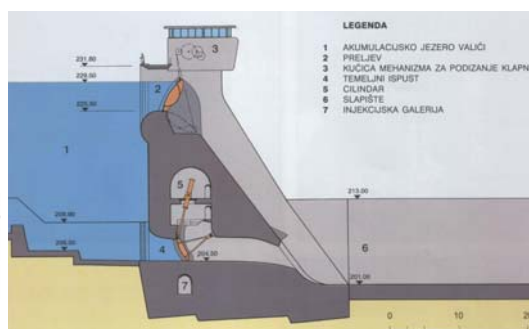
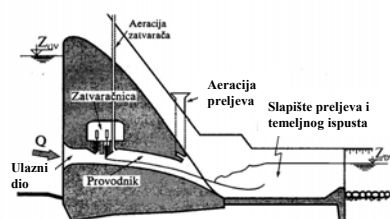
- Mora biti postavljen ispod minimalne radne razine.
- Služi za pražnjenje akumulacije:
 - radi pregleda i popravaka
 - kao evakuacijski organ za vrijeme velikih voda
 - za pražnjenje nanosa koji se istaložio
- Postavlja se:
 - **Kroz tijelo brane** (kod betonskih)
 - **Oko brane - kroz teren** (kod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

Temeljni ispusti

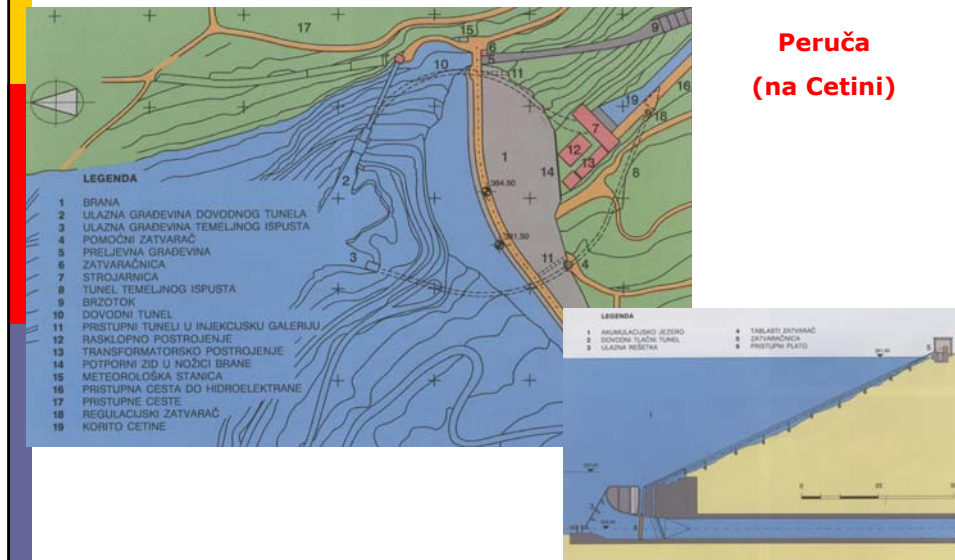
- **Temeljni ispust se sastoji od:**
 - Ulazne građevine
 - Provodnika
 - Kontrolnog dijela – za regulaciju – zatvaračnica sa zatvaračem
 - Izlaznog dijela
 - Slapišta



Temeljni ispusti – kroz tijelo brane



Temeljni ispusti – oko/ispod brane-kroz teren:



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



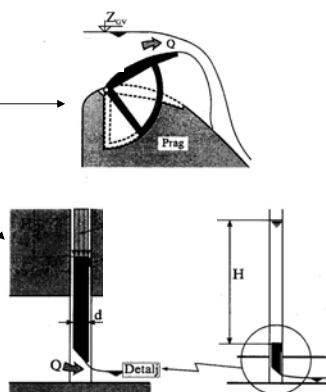
ZAPORNICE I ZATVARAČI

□ 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

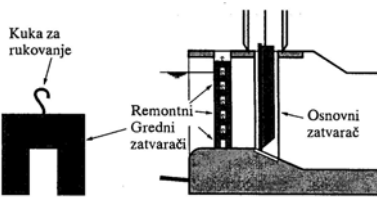
■ Zapornice koje se oslanjaju na **KRUNU**:

- SEKTORSKE
- ZAKLOPKE
- KRUŽNE
- KROVASTE

Zapornice koje se oslanjaju na bokove

□ **GREDNE ZAPORNICE**

izvode se samo kao pomoćni (remontni) zatvarači



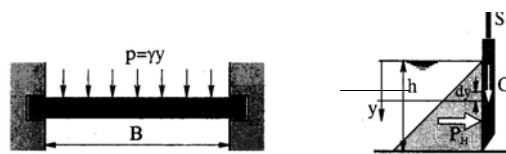
HE Lepenica





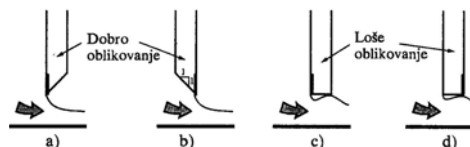
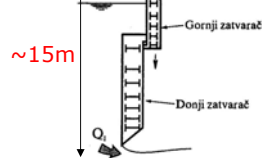
Zapornice koje se oslanjaju na bokove

□ 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

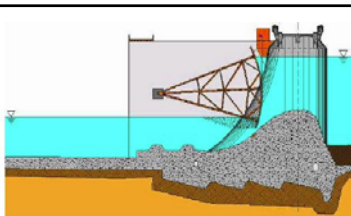
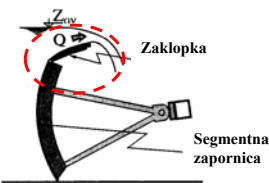
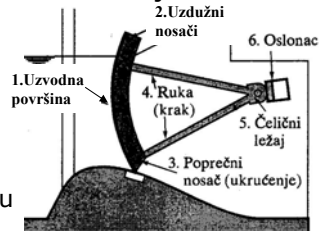
- najčešće se koriste kao zapornice na preljevima većih objekata.

- Zatvaraju površine do 560 m²
- Raspon L=15-40 m
- Visina H=12-18 m
- Izvedeno max. L= 56 m i H= 22,5 m

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

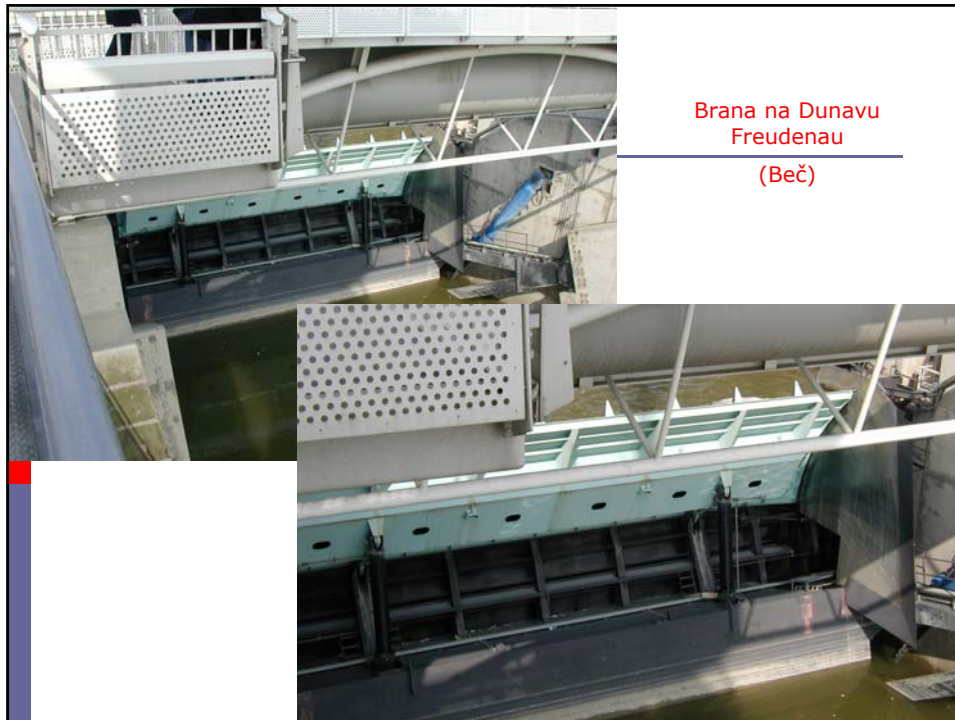
- Za finu regulaciju na segmentnoj zapornici može se izvesti zaklopka koja omogućuje prepuštanje plutajućih elemenata, leda, granja i sl.

- 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:

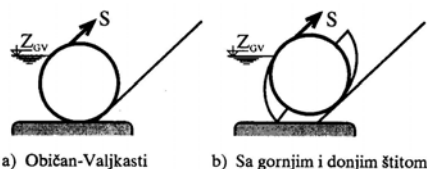
- Velika koncentracija napreznja u okolini oslonca obično zahtijeva prednaprezanje i složenu skupu konstrukciju stupova
- Konstrukcija same zapornice i ležišta je složena
- Kraci zapornice zahtijevaju znatno duže stupove nego kod pločastih zapornica

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.



- 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)

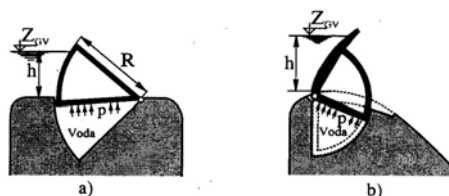
Zapornice koje se oslanjaju na krunu

□ 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 pronosjenje leda i plivajućih objekata

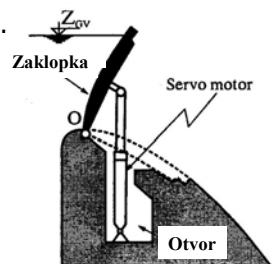


- **Mane:**
 - Teško održavanje zbog nanosa (treba čistiti otvor ispod zapornice)
 - Zimi potrebno zagrijavanje
 - Teški uvjeti remonta
 - Zahtijevaju visok prag za smještaj zapornice

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

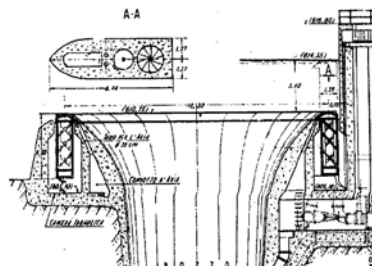
□ Mane:

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

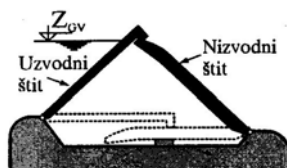
Zapornice koje se oslanjaju na krunu

□ KRUŽNE ZAPORNICE

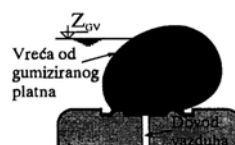
- koriste se na bunarskom preljevu, te upuštaju u krunu preljeva



□ KROVNE ZAPORNICE



□ GUMENE ZAPORNICE



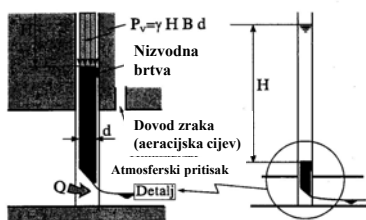
Zatvarači na temeljnim ispustima, dovodima,...

- 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**

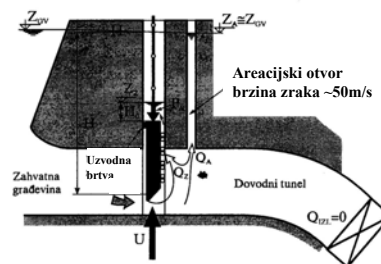
Zatvarači

Zajedničke osobine i problemi koji se javljaju:

- Veliki hidrostatički pritisak uvjetuje veliku debljinu (i masu) zatvarača, kao i velike sile za podizanje i spuštanje zatvarača
- Teško se postiže vododrživost zbog visokog pritiska i potrebe brtvljenja gornjeg brida zatvarača



Nizvodno brtvljenje



Uzvodno brtvljenje

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:

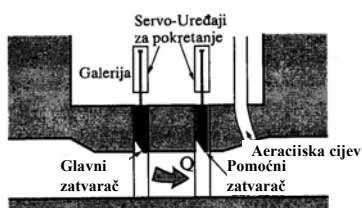
Pristup zatvaračima

- 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**

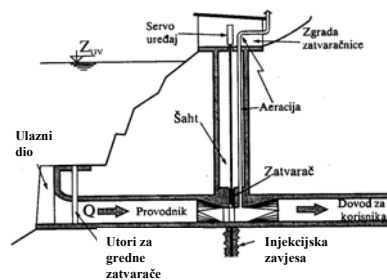
Zatvarači

Zajedničke osobine i problemi koji se javljaju:

- Mehanizam za pokretanje zatvarača može biti:
 - Neposredno iznad zatvarača – dubinske zatvaračnice
 - Iznad razine u akumulaciji – površinske zatvaračnice



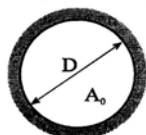
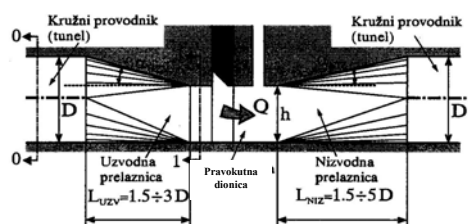
Dubinska zatvaračnica



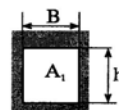
Površinska zatvaračnica

Zatvarači

Zajedničke osobine i problemi koji se javljaju:



Presjek 0-0



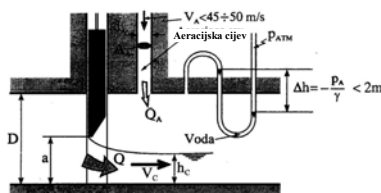
Presjek 1-1

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

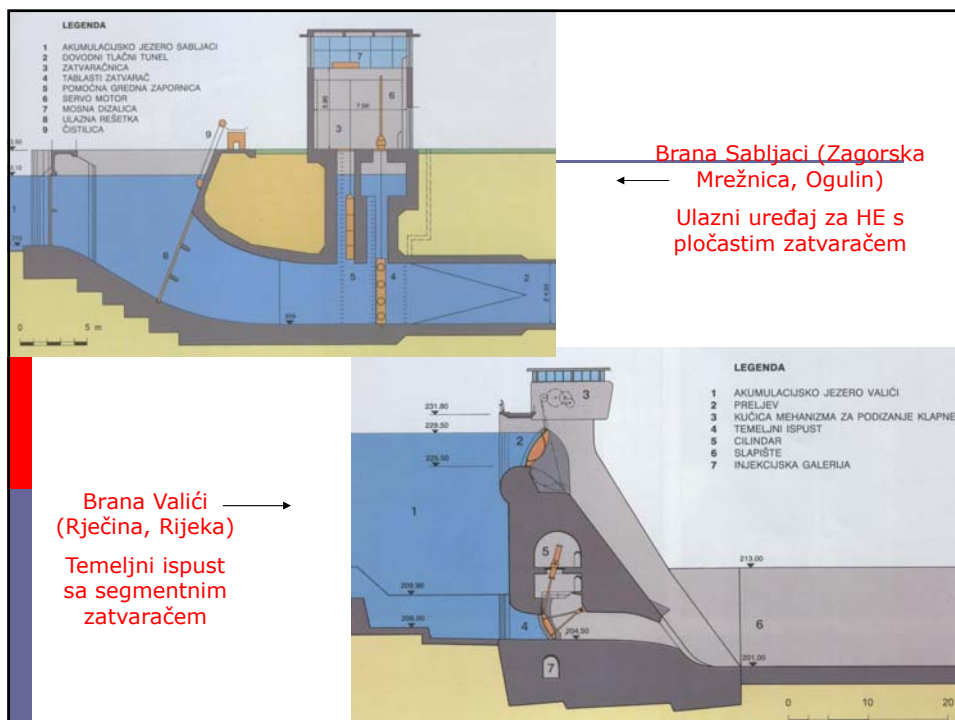
- Koriste se kao havarijski, remontni i regulacijski.
- **Prednosti** (u odnosu na segmentni) :
 - Manji gabariti otvora u koji se smješta zatvarač i pogonski mehanizam
 - Jednostavnija i jeftinija konstrukcija
 - Manja naprezanja u osloncu

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





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)

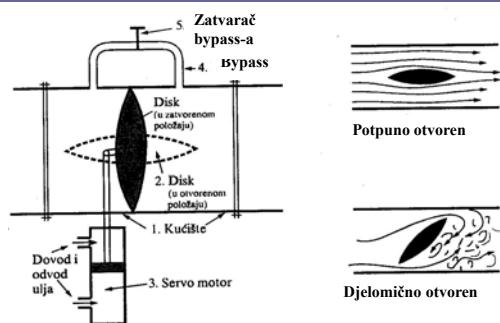
Zatvarači

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

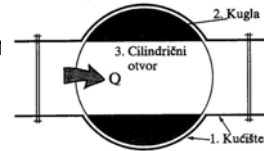


- Bypass je potreban za se cijev nizvodno od zatvarača postupno napuni vodom, jer naglo podizanje zatvarača može uzrokovati snažan hidraulički udar.
- Bypassom se izjednačavaju pritisci ispred i iza glavnog zatvarača pa treba manja sila za njegovo pokretanje.

Zatvarači

KUGLASTI ZATVARAČI

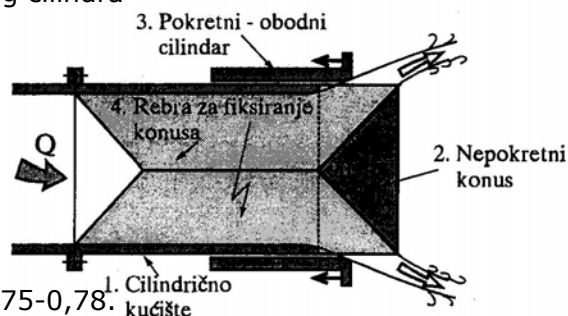
- Može se koristiti i pri vrlo velikim pritiscima (1700 mVS).
- Ima dva radna položaja:
 - potpuno otvoren
 - potpuno zatvoren
- Koristi se kao havarijski zatvarač najčešće kod dovoda za HE.
- Odlično brtvi i ima vrlo male hidrauličke gubitke, ali je velikih dimenzija, velike težine i visoke cijene,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

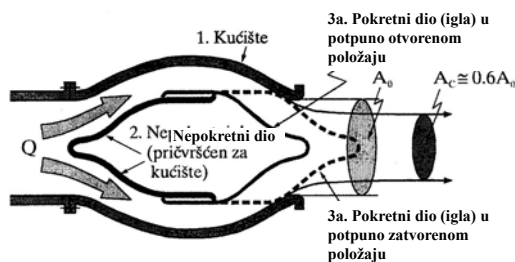
KONUSNI regulacijski ZATVARAČ “Howel – Bunger” ili “teleskopski” zatvarač

- **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.

