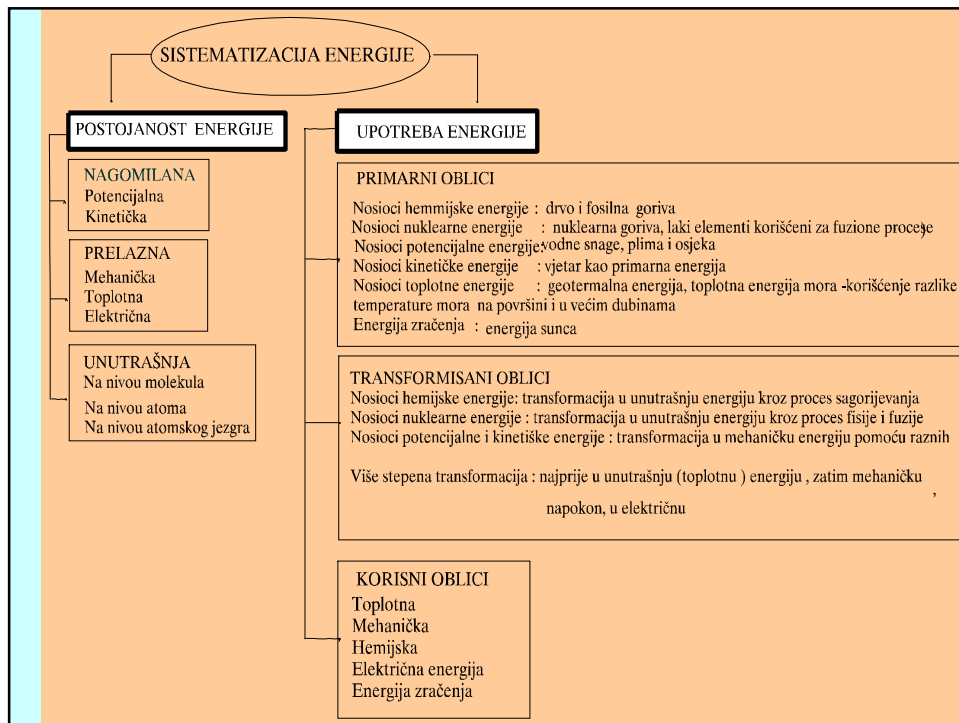




Energija i snaga

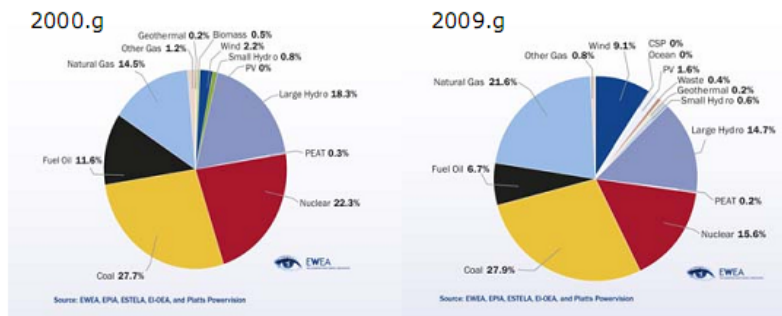
- **Energija** je sposobnost obavljanja rada.
- Energija se u prirodi javlja u različitim oblicima.
- Po zakonu o održanju energije:
 - energija se ne može proizvesti niti izgubiti već može samo **izvršenjem rada ili transformacijom** promijeniti svoj oblik.
- **Snaga** se definise kao promjena energije u vremenu, odnosno brzina obavljanja rada



Električna energija

- Električna energija je najplemenitiji vid energije jer se samo ona može dalje transformirati u sva četiri oblika korisne energije.
- Posebna joj je prednost pogodnost dopremanja do svih potrošača i jednostavna transformacija u sve korisne oblike.
- Električna energija je i najskuplji oblik energije jer se do nje dolazi kroz najviše transformacija u kojima se dio energije prenosi u druge – nekorisne, pa čak i štetne oblike.

Udio pojedinih oblika energije u ukupnoj proizvodnji energije u EU 2000. g i 2009. g



- ▣ Hidroelektrane danas proizvode oko **24%** svjetskih potreba za električnom energijom, a ukupna instalirana snaga u svijetu je **675GW**.

Velike HE u svijetu – prema instaliranoj snazi

- ▣ **Three Gorges Dam, Kina**

- 22.5GW, 80.8 TWh/god

- ▣ **Itaipu, Brazil / Paragvaj**

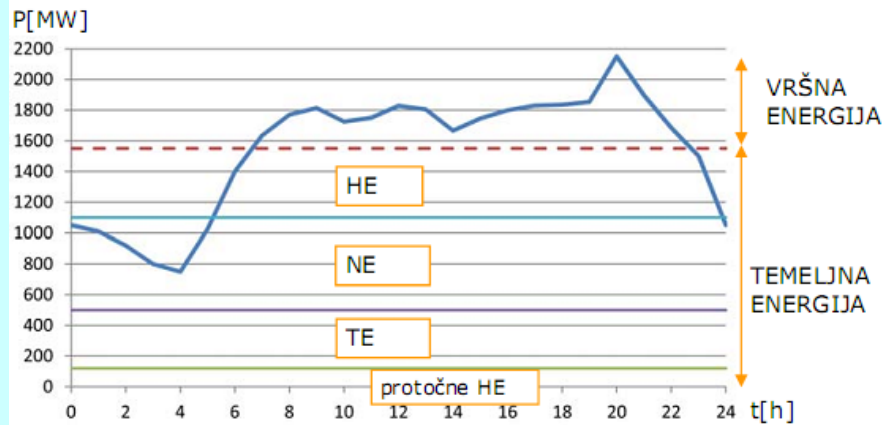
- 14.0GW, 94.7TWh/god



- ▣ **Guri, Venezuela**

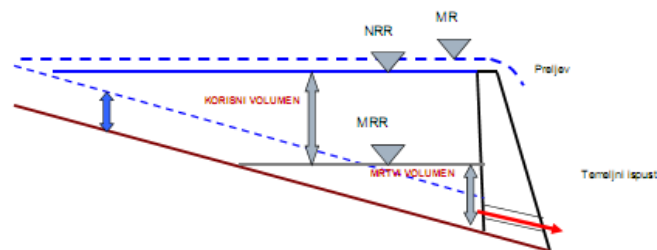
- 10.2GW, 53.41TWh/god

Osnovna podjela izvora napajanja



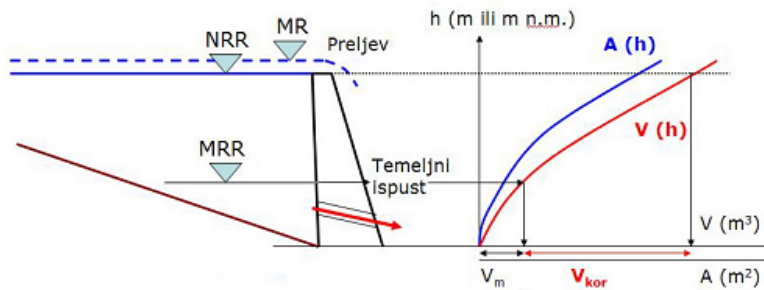
Osnovni parametri akumulacije

- Kota normalnog uspora (NRR)
 - kota kod koje je ispunjen korisna zapremina akumulacije
- Kota minimalnog radnog nivoa (MRR)
 - kota ispod koje se ne uzima voda za korisnika
- Kota maksimalnog radnog nivoa (MR)
 - maksimalna kota nivoa vode u akumulaciji.



Osnovni parametri akumulacije

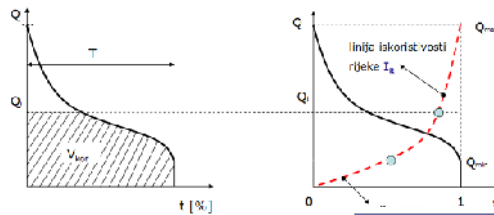
- **Kriva zapremine i površine akumulacije**
 - definira ovisnost volumena akumulacije i površine vodnog lica o nivou vode u akumulaciji.



Pokazatelji karakteristika akumulacije

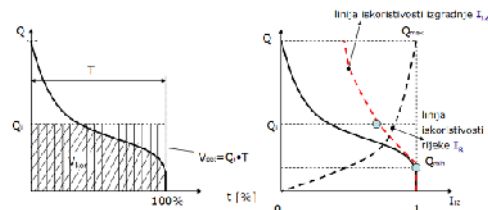
Doprinos akumulacije

- **ISKORISTIVOST RIJEKE (I_R)** $I_R = V_{kor} / V$



- **ISKORISTIVOST IZGRADNJE (I_{IZ})**

$$I_{IZ} = V_{kor} / V_{pot} = V_{kor} / (Q_i \cdot T)$$



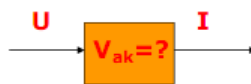
Dimenzionisanje akumulacije

PRISTUPI:

- DETERMINISTIČKI PRISTUP
 - grafički
 - analitički
- STOHAISTIČKI PRISTUP (određuje vjerovatnocu)
 - bolje i kvalitetnije

TIPOVI ZADATAKA:

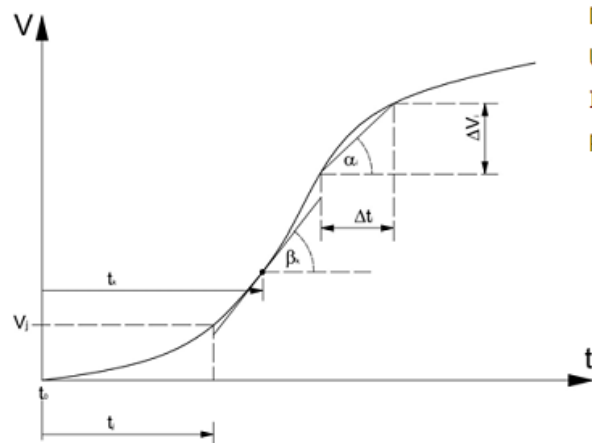
- 1) Poznati ulaz i izlaz, kolika mora biti akumulacija?



- 2) Poznati ulaz i akumulacija, koliki mora biti izlaz?



Sumarna kriva



DOTOKA
ULAZA
IZLAZA
POTREBA

Vrste regulisanja dotoka

- **višegodišnje izravnanje**
 - omogućava da se višak vode iz vodnih godina prebaci u period sušnih godina
- **godišnje ili sezonsko izravnanje**
 - omogućava da se voda iz vodnih perioda u toku jedne godine prebacuje u sušne periode iste godine
- **nedeljno izravnanje**
 - uravnotežuje neravnomjernost potrošnje tokom tjedna
- **dnevno izravnanje**
 - uravnotežuje neravnomjernost potrošnje u toku jednog dana.

Podjela vodnih snaga

- **TEORETSKI PRISUTNE VODNE SNAGE**
 - Snage kojima raspolažu vodni tokovi nekog sliva pri bruto raspoloživim padovima i srednjim protocima rijeka na odgovarajućim potezima
- **TEHNIČKI ISKORISTIVE VODNE SNAGE**
 - Snage koje se mogu koristiti današnjim standardnim metodama i tehničkim dostignućima
- **EKONOMSKI ISKORISTIVE VODNE SNAGE**

HIDROENERGETSKI POTENCIJAL

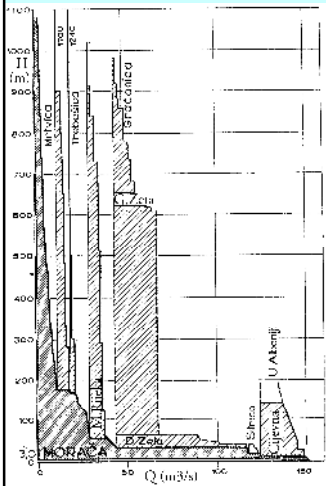
- Energija koja se može dobiti djelovanjem zapremine vode V , na prosječnom padu H

$$\begin{aligned} W &= m \cdot g \cdot H = \rho \cdot g \cdot V \cdot H \\ &= 1000 [\text{kg/m}^3] \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot V \text{ m}^3 \cdot H [\text{m}] = 9810 \cdot V \cdot H [\text{Nm}] \\ &= 1 [\text{Nm}] = 1 \text{ Ws} = \left[\text{J} = \frac{1}{3600} [\text{Wh}] = \frac{1}{3600000} [\text{kWh}] \right] = \\ &= \frac{9810}{3600000} \cdot V \cdot H [\text{kWh}] \\ &= \frac{V \cdot H}{367} [\text{kWh}] \end{aligned}$$

VIDOVI HIDROENERGETSKIH POTENCIJALA

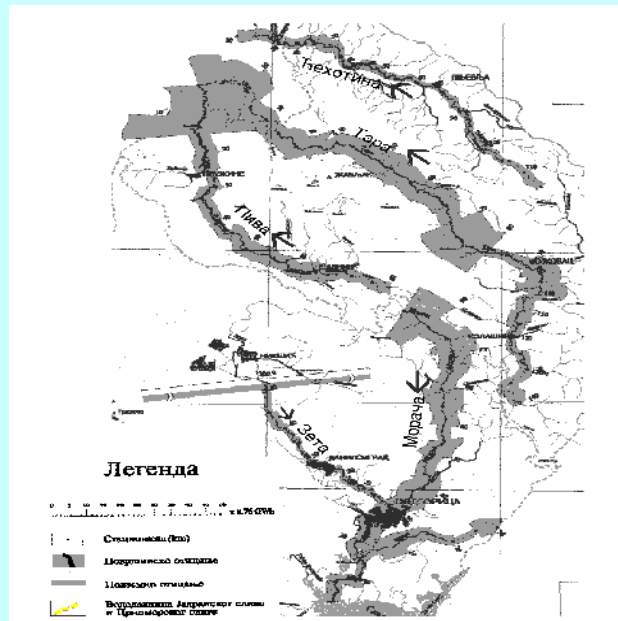
Hidroenergetski potencijali se prikazuju u sljedećim vidovima:

- kao ukupna sumarna velicina za neki sliv, vodotok ili dio sliva;
- površinski specifični potencijal prikazan po jedinici površine (kWh/m^2); specifični linijski potencijal duž razmatranog vodotoka (kWh/km) kao na slici;
- bruto potencijal pregradnog mjesta, ukoliko se računa sa ukupnim proticajem bez ograničenja po instalisanosti
- kao tehnički iskoristiv potencijal pregradnog mjesta, računajući sa ograničenjem po instalisanosti postrojenja.



Pregled prosječnog vodnog potencijala glavnih vodotoka u Crnoj Gori

Rijeka	Staga (MM)	Energija (GWh/god)
<i>Riva</i>	155	1361
<i>Tara</i>	257	2255
<i>Jehotina</i>	53	463
<i>Lim</i>	164	1438
<i>Ibar</i>	14	118
<i>Morača i Zeta</i>	168	1469
<i>Zeta</i>	229	2007
<i>Malarijeka</i>	52	452
<i>Ojerna</i>	32	283
<i>UKUPNO</i>	<i>1124</i>	<i>9846</i>



Primjer linijskog prikaza vodnog potencijala duž nekoliko glavnih vodotoka u Crnoj Gori

Energija vodnog toka

- Rad koji vodni tok obavlja na nekoj dionici može se definisati kao rad koji na toj dionici obavlja težina vode G

$$W = F \cdot L = G \cdot \sin \alpha \cdot L = \left| \begin{array}{l} G = \rho g V \\ \sin \alpha \cdot L = H \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} V = Q \cdot t \\ \end{array} \right. = \rho g V H = \underline{\underline{\rho g Q t H}}$$

- Snaga vodnog toka**

$$P = \rho g Q H = \left| \begin{array}{l} \rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \\ g = 9,81 \text{ m/s}^2 \end{array} \right. = \underline{\underline{9,81 Q H \text{ [kW]}}}$$

Energija vodnog toka

- Osnovni princip korištenja snage i energije vode u prirodi
 - **hidrotehničkim građevinama smanjiti rad vode u prirodi i oslobođenu energiju iskoristiti za obavljanje nama korisnog rada** – proizvodnju električne energije.

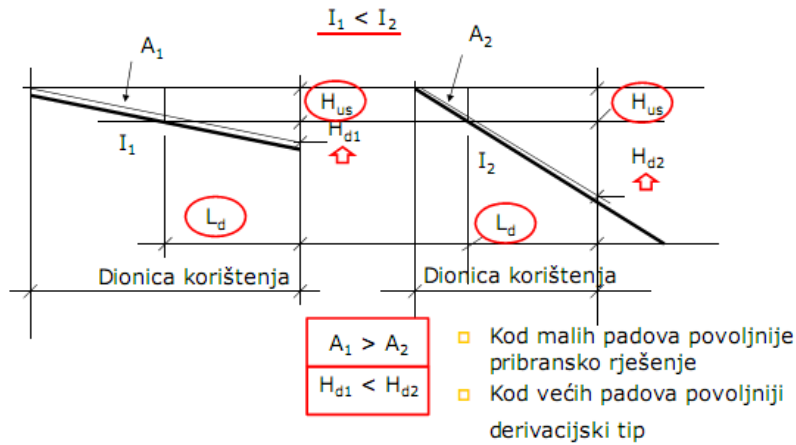
To se može postići

koncentracijom pada na što kraćoj dionici i smanjivanjem otpora vodotoka.

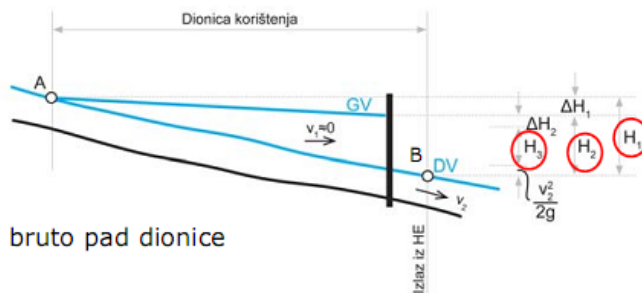
- Praktično to se postiže:
 - usporavanjem toka branom u cilju koncentracije pada u jednoj tački s priborskom HE
 - derivacijom vode dovodima i odvodima pod pritiskom ili sa slobodnim tečenjem
 - kombinovano: usporavanjem toka i derivacijom.

Energija vodnog toka

- Preliminarni odabir rješenja

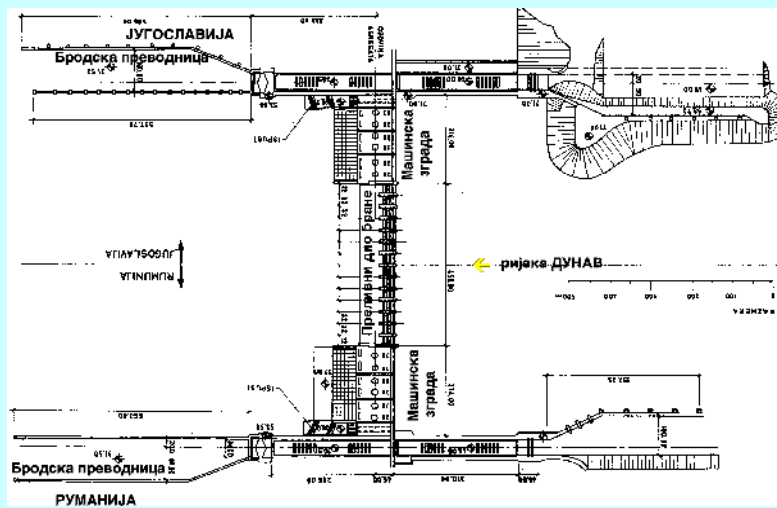
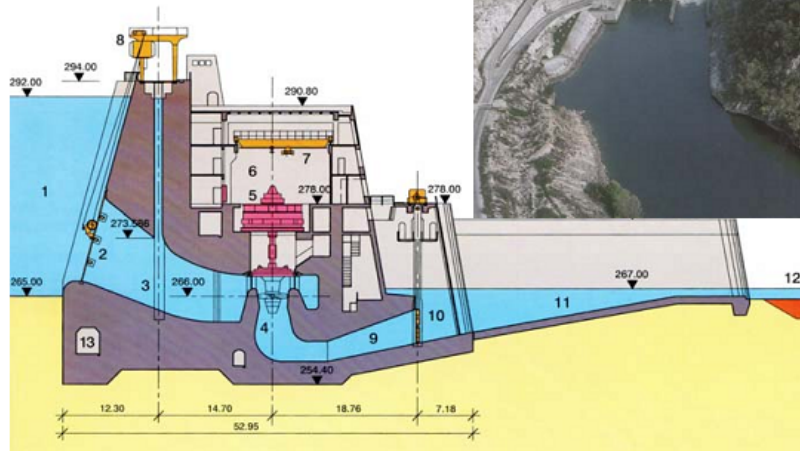


Pibranske hidroelektrane

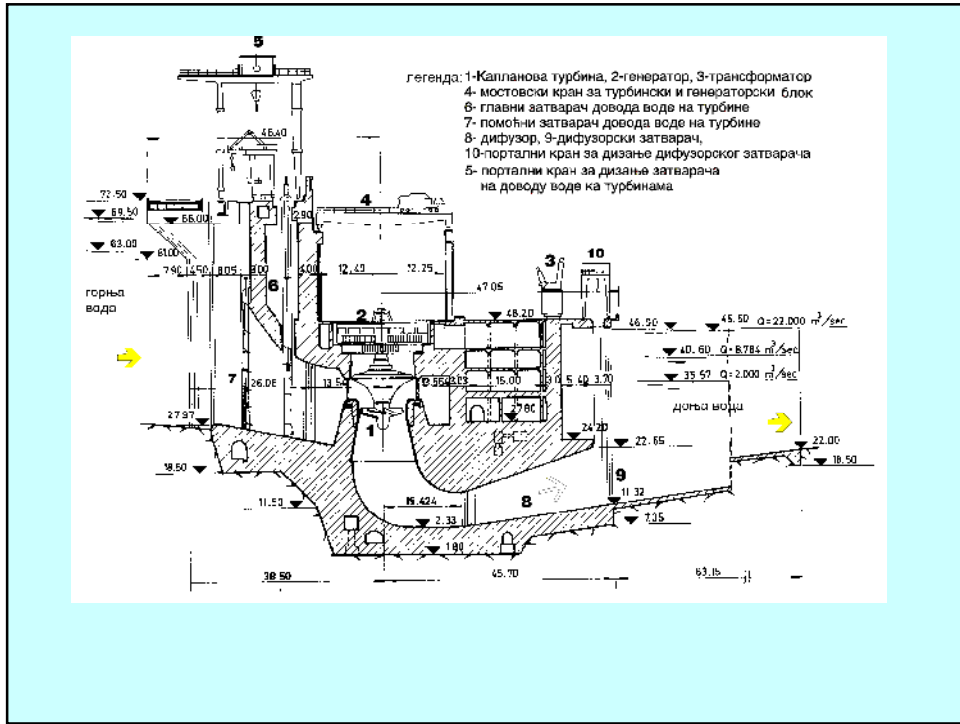


- H_1 - bruto pad dionice
- H_2 - bruto pad elektrane
 $H_2 = GV - DV$
- H_3 - neto pad
 $H_3 = H_2 - (\Delta H_2 + \frac{v_2^2}{2g})$
- ΔH_1 - gubitak na padu u uspornom području
- ΔH_2 - gubitak na padu u dovodu elektrane

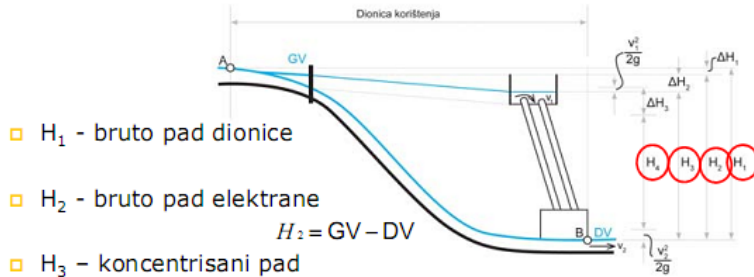
Primjer pribranske HE



Osnova pribranske HE Djerdap (MZ je kao konstruktivni element u sastavu brane)

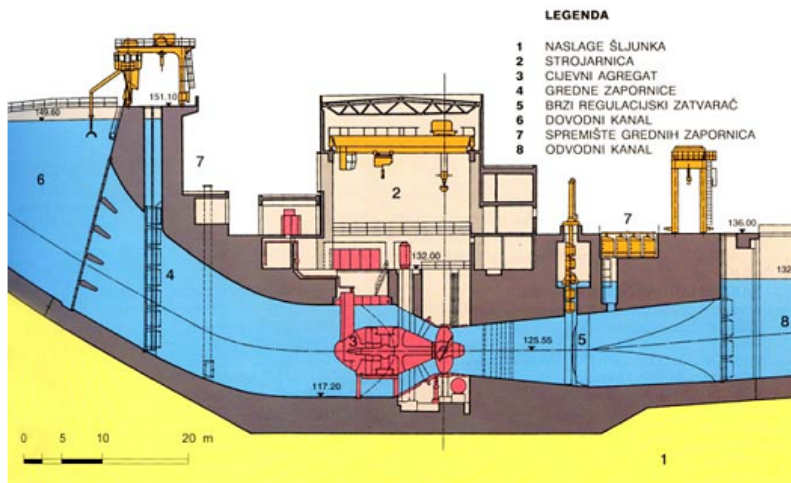


Derivacijske hidroelektrane dovod sa slobodnim vodnim licem

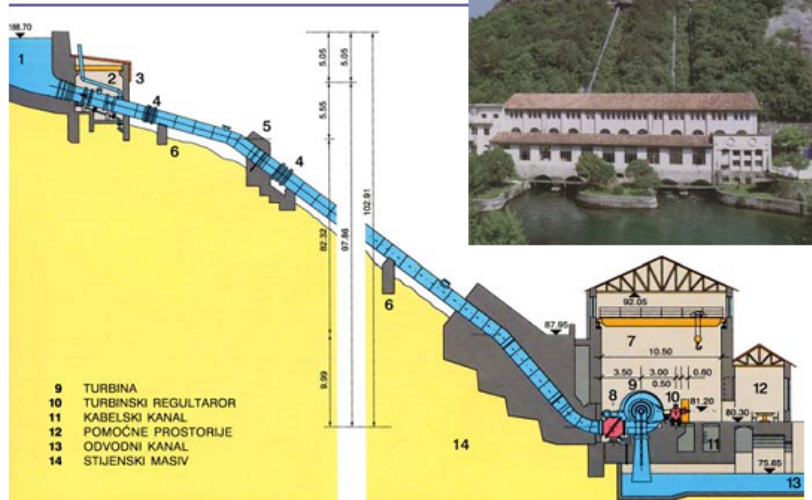


- H_1 - bruto pad dionice
 - H_2 - bruto pad elektrane
 $H_2 = GV - DV$
 - H_3 - koncentrisani pad
 $H_3 = H_2 - \Delta H_2$
 - H_4 - neto pad koji se koristi na turbini
 $H_4 = H_3 - (\Delta H_3 - \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g})$
- ΔH_1 - gubitak na padu u uspornom području
 - ΔH_2 - gubitak na padu u derivaciji
 - ΔH_3 - gubitak na padu u strmom dovodu

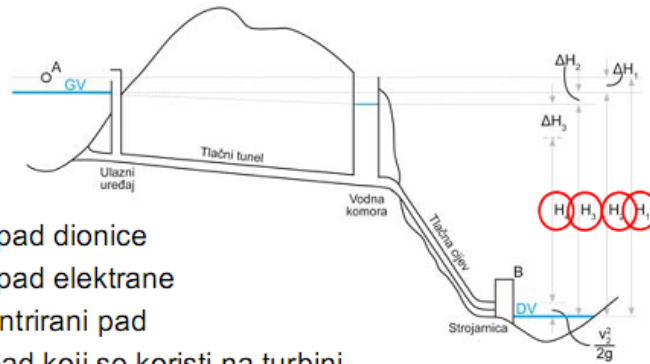
Primjer derivacione HE



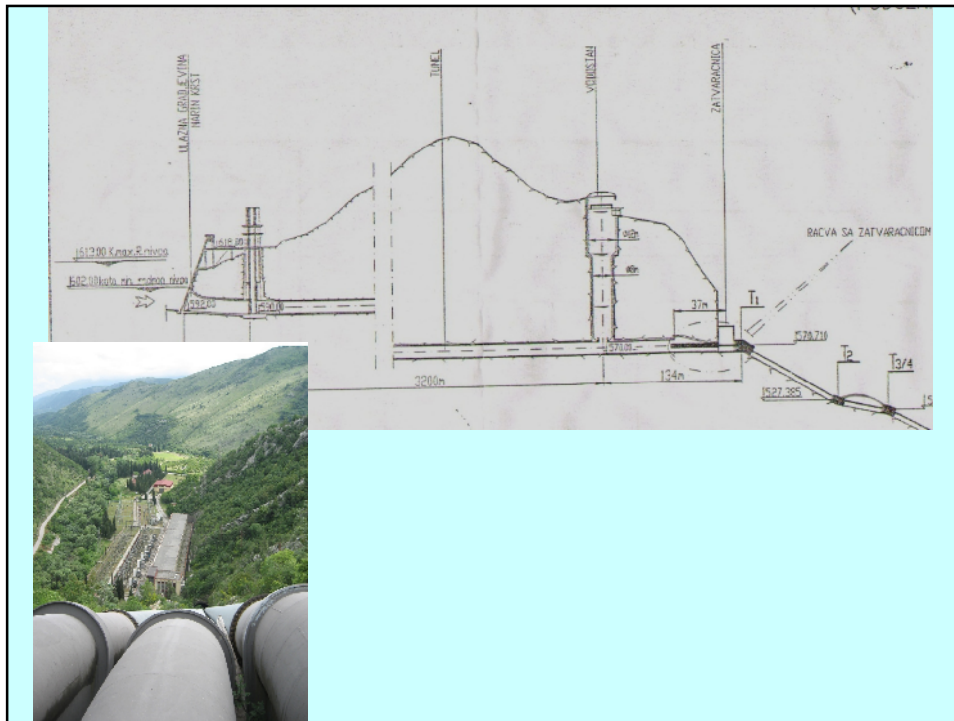
Primjer derivacione HE



Derivacione hidroelektrane dovod pod pritiskom

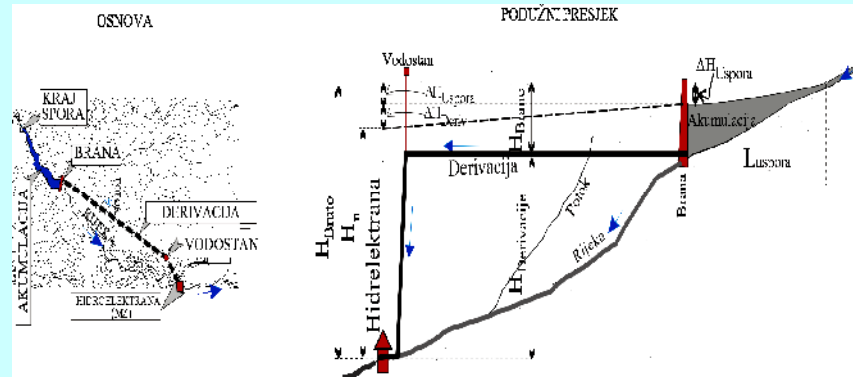


- H_1 – bruto pad dionice
 - H_2 – bruto pad elektrane
 - H_3 – koncentrirani pad
 - H_4 – neto pad koji se koristi na turbini
-
- ΔH_1 – gubitak na padu u uspornom području
 - ΔH_2 – gubitak na padu u derivaciji
 - ΔH_3 – gubitak na padu u strmom dovodu



Kombinovana shema

Koncentracija se ostvaruje branom i derivacijom, iskoristivi pad postrojenja (H_n) cine padovi formirani branom (H_{brane}) i derivacijom ($H_{derivacije}$), umanjeni za gubitak pada u zoni uspora (ΔH_{Uspora}) i na dovodnoj derivaciji ($\Delta H_{Dovodnoj}$):



Kombinacija sa spustanjem donje vode

U kombinaciji sa nekom od navedenih mogućnosti, pad se može koncentrisati i spustanjem donje vode, vjestackom intervencijom u koritu. Ukoliko se bagerovanjem i drugim mjerama obori kota donje vode za ΔH , tada je iskoristiv pad na tom postrojenju povećan

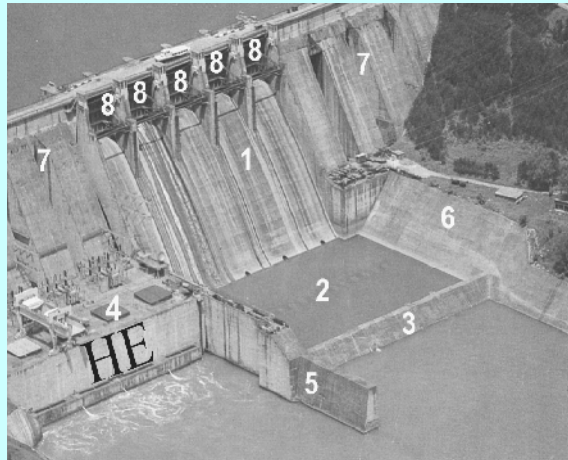
$$H = H_{pov} + \Delta H$$

U nekim okolnostima, kod rijeka sa sitnim aluvijalnim materijalom, dolazi i do prirodne erozije korita i spustanja nivoa donje vode (DV), sa cime se mora racunati i u fazi projektovanja, kako bi se kota obrnutog kola postavila na nivo kojim ce se i nakon erozije stvarati bezbjedan pad, bez pojave kavitacije.

Podjela prema položaju i konstrukciji masinske zgrade (MZ)

Prema ovoj podjeli mogu e su dvije osnovne grupe:

- € hidroelektrane kod kojih je mašinska zgrada (MZ) u sastavu hidro vora brane,
- € hidroelektrane kod kojih je mašinska zgrada (MZ) sasvim nezavisna od brane kao hidro vora.

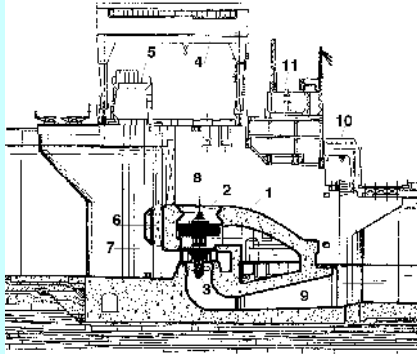


Legenda :

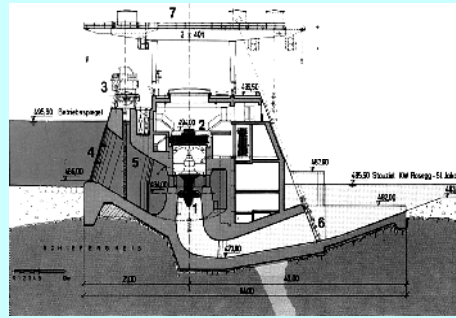
1-prelivni dio brane, 2-slapište, 3-odbojni zid slapišta, 4 - hidroelektrana, 5-razdioni zid, 6-krilni zid slapišta, 7-neprelivni dio brane, 8-ustave

Polo`aj rje~ne hidroelektrane (HE) u sklopu brane i njenih eva-ku-acionih organa (ustave, prelivni dio, slapište i razdioni zid)

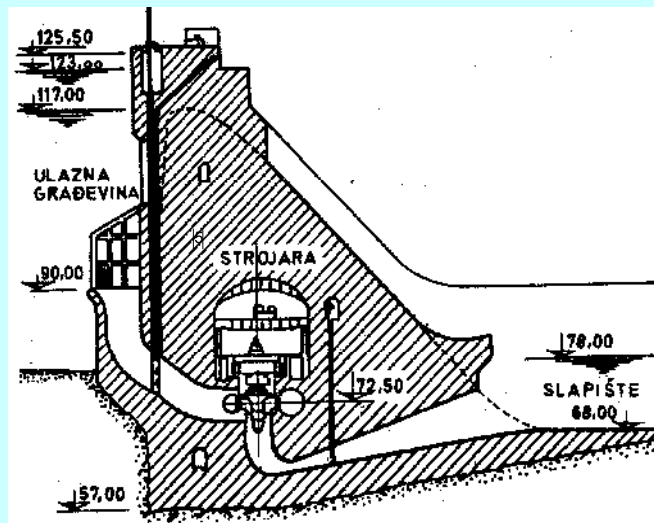
Specijalni slucajevi rijecnih hidroelektrana



Prezivne HE

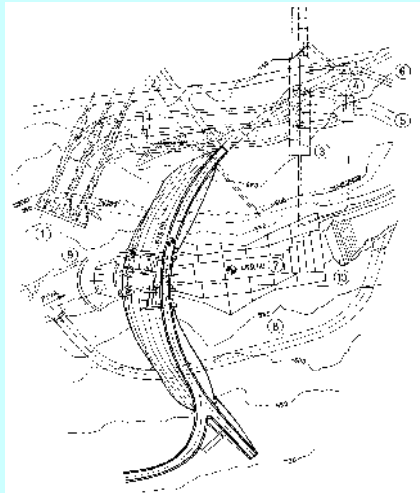


Stubne HE



Hidroelektrana smjestena u tijelu gravitacione brane

Pribranska postrojenja srednjeg i visokog pritiska

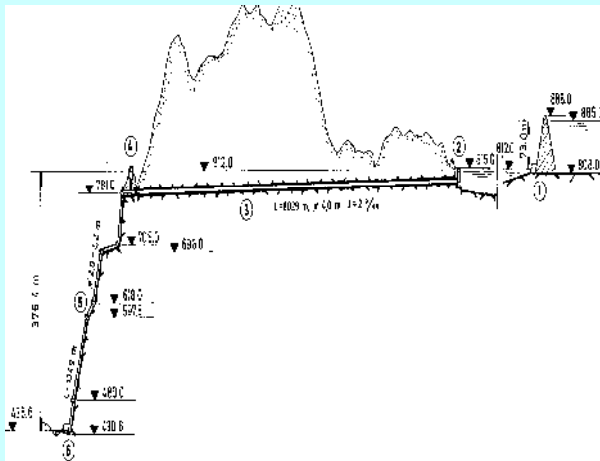


Legenda :

- 1- vodozahvat u vidu kosih Źtolni,
- 2-3- maŹinska podzemna zgrada HE,
- 4- donji vodostan
- 5- izlazna vada-odvod voda sa turbina u vodotok
- 6- rezervni pristup MZ
- 7- slapiŹte
- 8- opto-ni tunel- tunel za skretanje rijeke kod izgradnje objekata
- 9- uzvodna predbrana za skretanje voda u opto-ni tunel
- 10- nizvodna predbrana

Situacija postrojenja HE PIVA u neposrednoj blizini lu-ne brane : vodozahvat na lijevoj obali u vidu kosih Źtolni (1), podzemnom MZ(3), donjim vodostanom i odvodom (5)

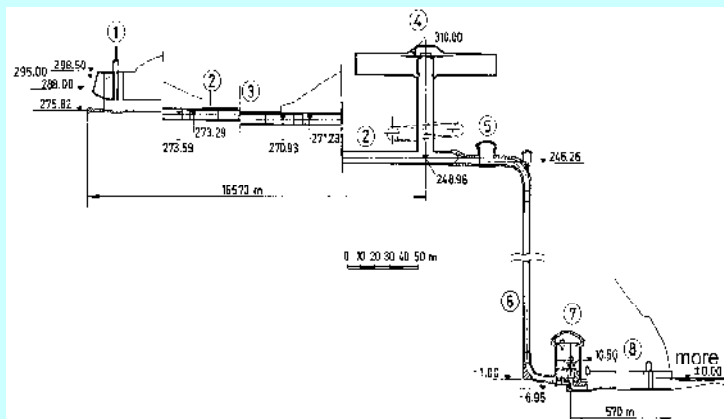
Hidroelektrane kod kojih maŹinska zgrada nije dio hidro vora



Legenda: 1- HE Kokin Brod; 2- ulazna graevina za derivaciju ka HE Bistrica;

3- derivacija-tunel ka HE Bistrica; 4- vodostan sa zatvara-nicom; 5- cjevovod ka HE Bistrica; 6- HE Bistrica

. PoduŹni presjek kroz postrojenja HE koja ne pripadaju hidro voru brane (HE Bistrica i HE Kokin Brod,



Legenda:

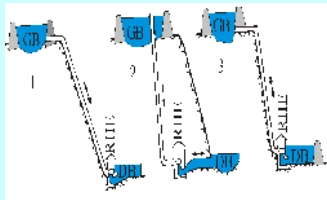
1-ulazna grajevina sa zatvara~ima (retenzija brane GORICA u Trebinje); 2 i 3-odvodni sistem ka HE (nadzemni i podzemni dio hidrotehni~kog tunela pod pritiskom; 4- vodostan; 5- zatvara~nica vodostana; 6- cjevovod pod pritiskom; 7- ma{inska zgrada; 8- odvod vode sa turbina

Shema podzemnog postrojenja sa dovodnim i odvodnim sistemom pod pritiskom za HE-Dubrovnik, Hrvatska u sklopu HE sistema Trebišnjica ,R. Srpska.

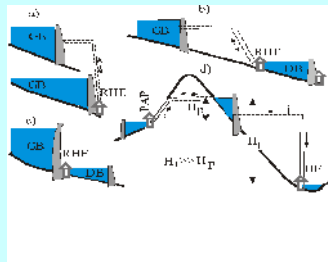
Pumpno-akumulacione (reverzibilne) hidroelektrane

Pumpno-akumulacione HE (PAHE) ili reverzibilne HE (RHE: odomacena skracenica) su ona postrojenja u kojima se za proizvodnju elektricne energije koristi potencijal ostvaren prethodnim pumpanjem vode iz donjeg u gornji akumulacioni basen. Imaju}i u vidu hidrauli~ke gubitke pada na derivaciji, kao i koeficijent korisnog dejstva (k.k.d.) pri pumpanju i turbinskom rezimu rada hidroelektrane, na 1kWh proizvedene energije utrosi se oko 1.3 ÷ 1.35kWh energije za pumpanje.

Dakle, RHE su u bilansnom smislu potrosac elektricne energije, ciji je smisao u tome da omogu e prebacivanje energije iz perioda kada je ima suvise (ili bar dovoljno, ali po nizoj cijeni) u periode kada je otezana i/ili skuplja njena proizvodnja u mjesovitom EES.

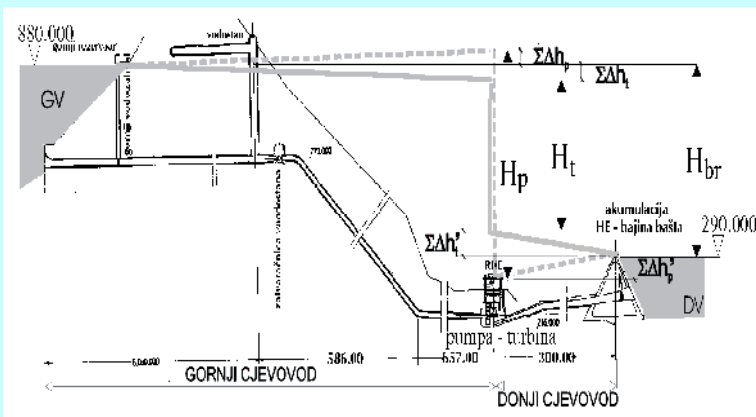


Recirkulacione RHE koje nemaju ni najmanji prirodni dotok u gornji basen. To znaci da one rade na cistom prepumpavanju vode u gornji basen (GB), Iz tih razloga, te se HE cesto nazivaju "iste reverzibilne hidroelektrane"



RHE sa spoljnim dotokom u gornji rezervoar

Kod ovih elektrana dio voda koji se turbinira dotice prirodnim putem u gornji basen. Na taj nacin, u ukupnom bilansu turbi-nirana voda je veja od kolicine koja se prepumpava u gornji basen, {to bitno povecava energetske i ekonomske karakteristike takvog postrojenja.



Shema padova i pritisaka hidrauli kog sistema turbina - pumpa na primjeru RHE Bajina Bašta

Gubici kod transformiranja energije

- U procesu transformiranja energije vodnog toka u mehaničku energiju rotacije turbine dolazi do gubitaka koji se mogu podijeliti u 3 grupe:
 - hidraulički gubici
 - zapreminski gubici
 - mehanički gubici

- ukupni koeficijent korisnog djelovanja turbine

$$\eta_t = \eta_h \cdot \eta_Q \cdot \eta_m$$

- efektivna snaga turbine

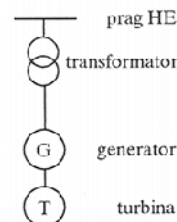
$$P_t = 9,81 \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta_t \text{ [kW]}$$

- koeficijent korisnog djelovanja turbine
- koeficijent korisnog djelovanja generatora
- koeficijent korisnog djelovanja transformatora
- koeficijent korisnog djelovanja na pragu elektrane

$$\eta = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{tr}$$

- Efektivna snaga na pragu elektrane

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta \text{ [kW]}$$



Osnovni pojmovi turbina za HE

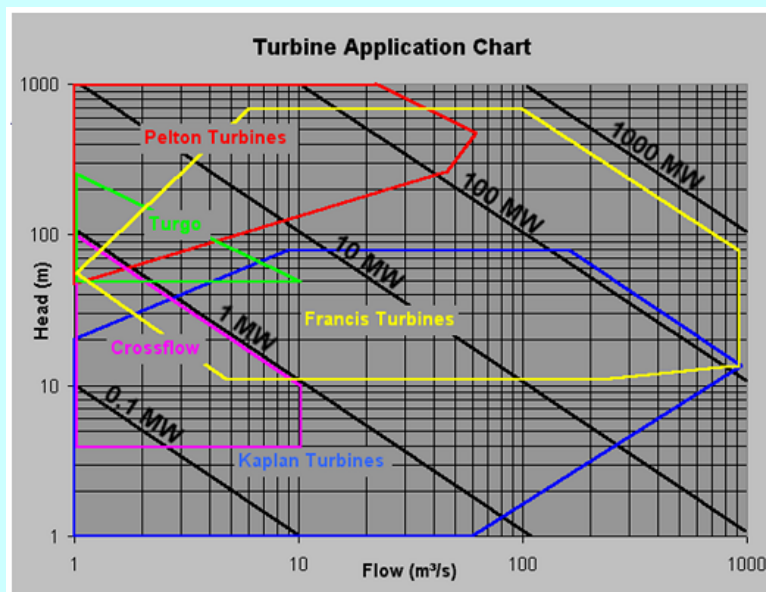
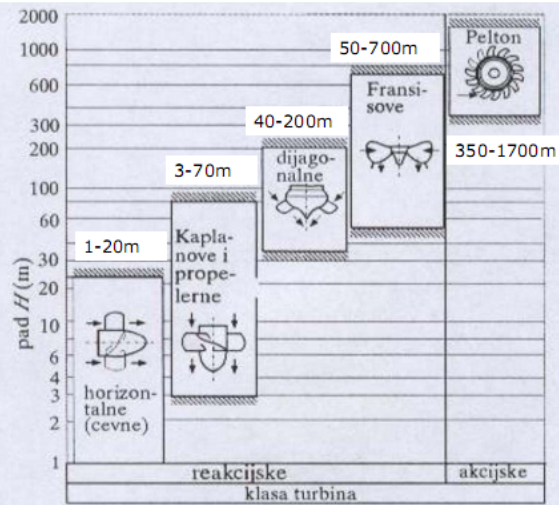
- hidraulički uređaji u kojima se mehanička energija vode pretvara u mehaničku energiju obrtanjem
 - što veći raspon padova
 - što veći kapacitet
 - što veći korisni učinak
 - što veći broj okretaja
manje dimenzije
 - prilagodiva promjenjivom radu
regulacija

Osnovni tipovi

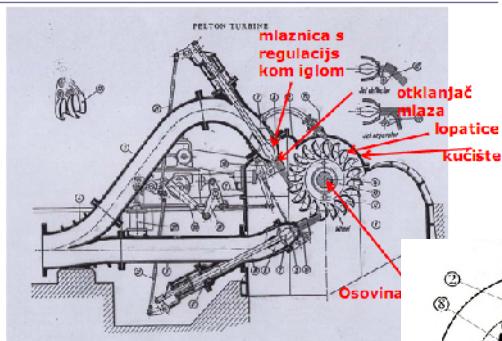
Osnovna podjela turbina obzirom na način djelovanja, odnosno način transformacije energije u okretnom kolu je podjela na

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">□ Reakcijske turbine<ul style="list-style-type: none">■ Voda potpuno obuhvata rotor■ Pr edpritisne turbine
– tj. s viškom pritiska■ Koristi se kinetička, potencijalna, pritisna energija■ Imaju izlazni difuzor – aspirator<ul style="list-style-type: none">□ Francis□ Kaplan□ cijevne | <ul style="list-style-type: none">□ Akcijske turbine<ul style="list-style-type: none">■ Djelimično pod vodom<ul style="list-style-type: none">■ Turbine slobodnog mlaza■ Koristi se kinetička energija<ul style="list-style-type: none">□ PELTON |
|--|--|

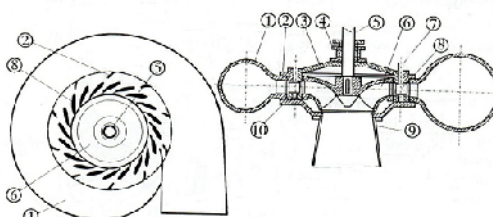
Područje primjene



Pelton turbine

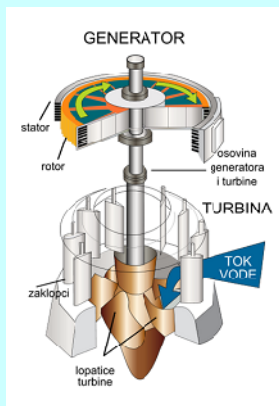


Francis turbine

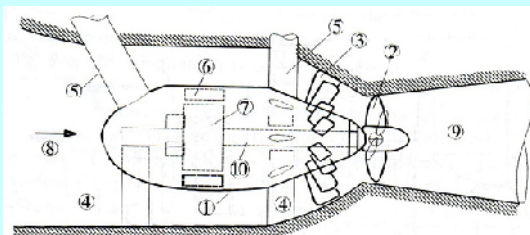


- 1 – SPIRALA
- 2 – STATORSKE LOPATICE
- 3 – POKLOPAČ TURBINE
- 4 – VODIČI LEŽAJ
- 5 – OSOVINA
- 6 – FRANCIS TURBINA
- 7 – OSOVINA ZA OKRETANJE LOPATIČA SPROVODNOG KOLA
- 8 – LOPATICE SPROVODNOG KOLA
- 9 – DIFUZOR
- 10 – DONJI POKLOPAČ

Kaplan turbine



Cijevna turbina



- 1 – KAPSULA
- 2 – TURBINA SA POKRETNIM LOPATICAMA
- 3 – LOPATICE
- 4 – HIDRAULIČKI OBLIKOVANI OSLONCI
- 5 – PRISTUPNI ŠAHT
- 6 – STATOR GENERATORA
- 7 – ROTOR GENERATORA
- 8 – DOVOD
- 9 – DIFUZOR
- 10 – OSOVINA TURBINE



Owen Falls hydroelectric dam, floodgates open, white water rushing; HEP. Nalubaale Power Station, Jinja, Uganda.





Grand Coulee Dam, Columbia River



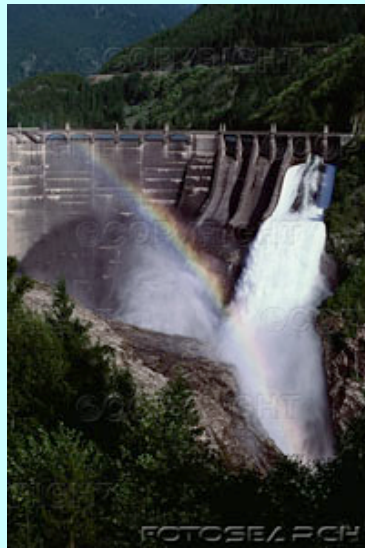
Spillway with rushing water and mist, electricity pylon; hydro power, alternative energy. Itaipu HEP Dam, Brazil.



Electricity generating station at base of dam wall; huge pipes carry water past it from Lake Volta. Akasombo Dam, Ghana



**Kuroyon Dam, Kurobe,
Japan**

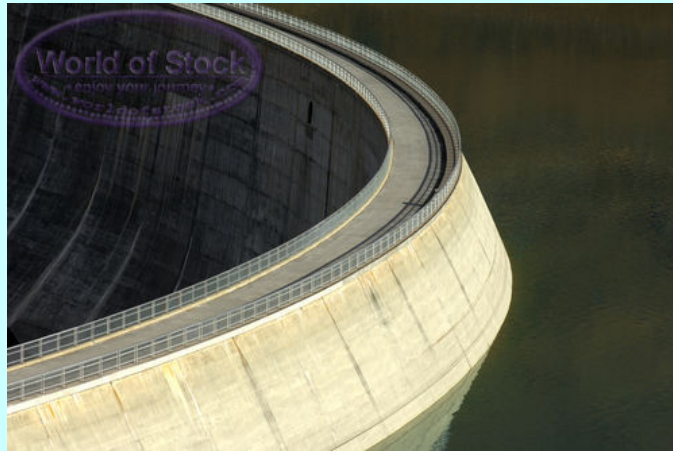


Diablo Dam

Hidro Elektrana "Djerdap" nalazi se na 943 km od ušća Dunava u Crno more.
Glavni objekat je simetričan, sa branom u sredini korita i po jednom elektranom i prevodnicom sa svake strane.



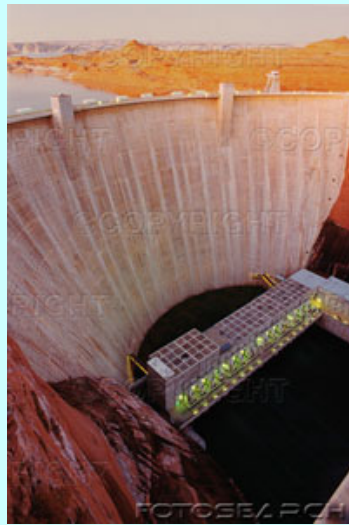




**Arch dam Moiry, Valais,
Switzerland**



**Stock Image of
Hydroelectric Power Station
Austria**



Glen Canyon Dam

