

Hidroelektrane

- Uvod

- ☐ Vodenice
- ☐ Prve hidroelektrane
- ☐ Opšte o hidroelektrane
- ☐ Proces pretvaranja energije u hidroelektranama
- ☐ Princip rada hidroelektrane

- Podela hidroelektrana

- ☐ Podela prema instaliranoj snazi
- ☐ Podela prema količini vode i visini vodenog pada
- ☐ Podela na osnovu položaja mašinske zgrade i brane
- ☐ Podela prema regulacije protoka

- Male hidroelektrane
- Podela malih hidroelektrana
 - ❑ prema mogućnostima akumulacije
 - ❑ MHE sa dnevnim ravnanjem akumulacije
 - ❑ MHE sa sedmičnim ravnanjem akumulacije
 - ❑ Prema neto padu
 - ❑ Prema režimu rada
 - ❑ Prema položaju zgrade
 - ❑ Prednosti i mane MHE
- Snaga postrojenja i proizvedena energija

- Komponente hidroelektrane

- ☐ Ulazni presek
- ☐ Brane
- ☐ Dovod
- ☐ Vodena komora
- ☐ Električne centrale
- ☐ Turbine
- ☐ Generator
- ☐ Transformator
- ☐ Dalekovod
- ☐ Izlazni presak (odvod)



UVOD

vodenice



vodenice

- U starim vodenicama za mlevenje brašna, energija vode koja se kreće je prenošena na vodeničko kolo, koje se okretalo i preko osovine prenosilo kretanje na mlinski kamen koji je drobio zrnevlje u brašno.
- Prednost direktnih metoda je bila jednostavnost, pouzdanost i praktično besplatna energija uz vrlo malo приметnog uticaja na okolinu.
- Koncept hidroelektrana je isti kao kod istorijskih mlinova, ali puno složeniji.

prve hidroelektrane

- Posle otkrića električnog generatora u 19.veku, počele su da se grade hidroelektrane.
- 1895 u Kanadi, na reci Nijagari, zahvaljujući patentima Nikole Tesle, počela je sa radom prva hidroelektrana.



prve hidroelektrane

- Prva hidroelektrana u ex YU je bila puštena 2. avgusta 1900. godine i to sa Teslinim sistemom trofaznih struja.
- To je bila elektrocentrala "Pod gradom" u Užicu na reci Đetinja.
- Zaustavljena je 1970. godine, zatim ponovo pokrenuta 2000. godine, radi i danas.



Opšte o hidroelektrane

- Hidroenergija je energija koja potiče od snage vode.
- Predstavlja obnovljiv izvor energije, koji se vjekovima koristi za dobijanje mehaničke, a već duže od sto godina i električne energije.
- Hidroelektrana ili hidrocentrala je električno postrojenje za proizvodnju električne energije sa pogonom na vodu.
- U hidroelektranama je tok rijeke preprečen pomoću armirano betonskih brana i tako stvoreno vještačko jezero.

Opšte o hidroelektrane

- Zaustavljena voda, koja je na znatno višem nivou od rijeke, tj. Potencijalne energije, kanalima, tunelima ili cijevima dovodi se do turbine.
- Delujući velikom silom, voda obrće rotor turbine, usled čega se obrće i rotor generatora, jer se nalaze na zajedničkom vratilu.

Proces pretvaranja energije u hidroelektranama

- Potencijalna energija vode pretvara se u kinetičku energiju vode koja se kroz kanale, tunele ili cijevi dovodi se do turbina.
- Kinetička energija vode u pokretu se rotacijom turbina pretvara u mehaničku energiju.
- Mehanička energija rotirajuće turbine se pretvara u električnu energiju u generatoru s kojim je mehanički povezana sa osovinom.

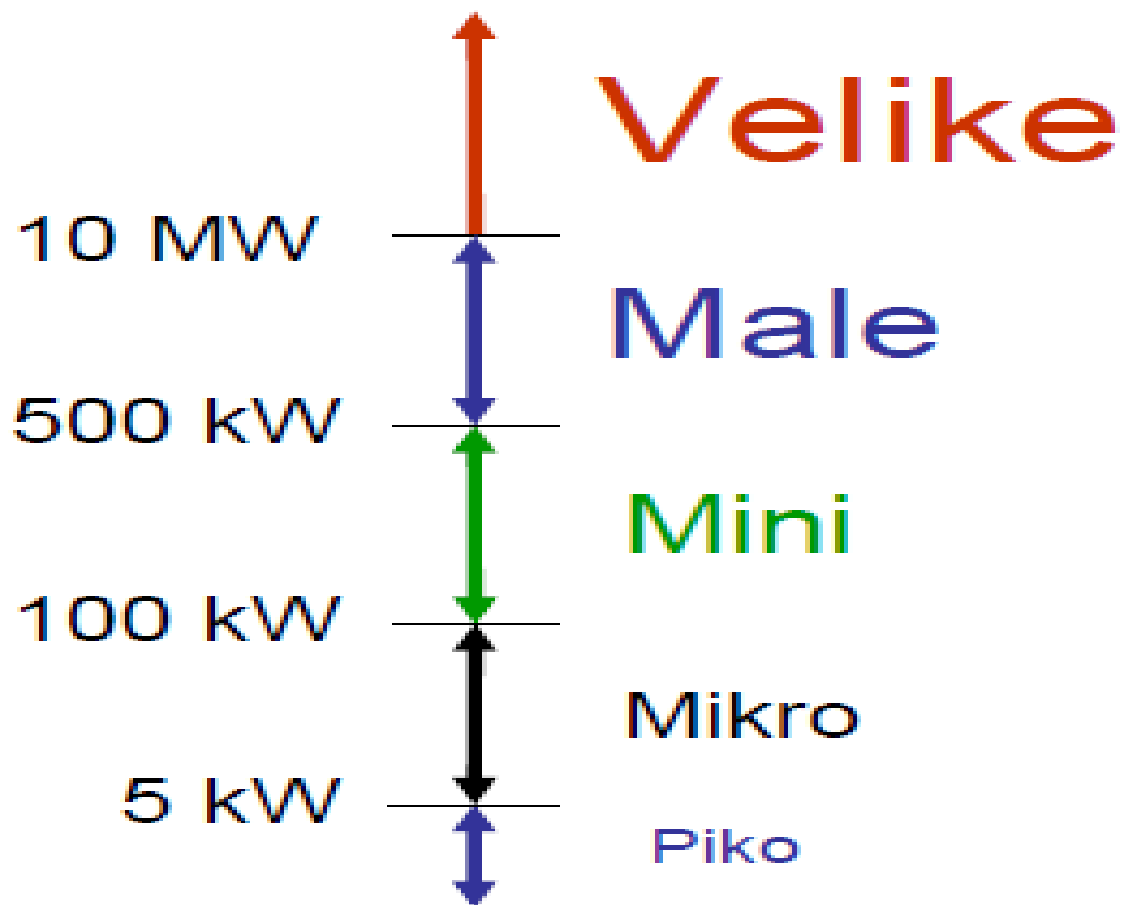
Princip rada hidroelektrane





Podjela hidroelektrana

Podjela prema instaliranoj snazi:



Velike hidroelektrane:

Veće od 100 MW isporučuju energiju u velike elektroenergetske mreže.

Srednje hidroelektrane:

10 - 100 MW obično isporučuju energiju u mrežu.

Male hidroelektrane:

0,5 - 10 MW obično isporučuju energiju u mrežu.

Mini hidroelektrane:

100 - 500 kW. Protočni rad ili, što je češći slučaj, isporučuju energiju u mrežu.

Mikro hidroelektrane:

5 - 100 KW.

Obično daju energiju za malo naselje ili ruralnu industriju na udaljenijim područjima udaljenim od mreže.

Piko hidroelektrane:

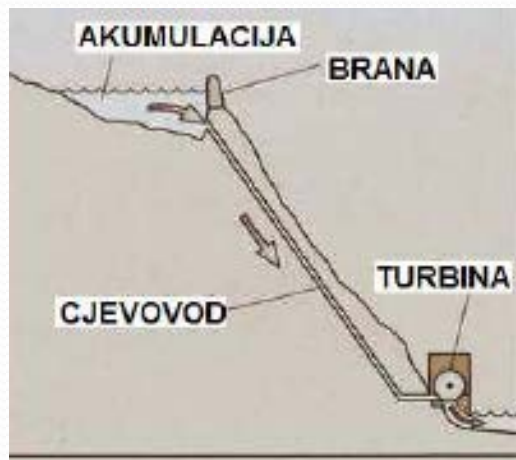
Od nekoliko stotina W do 5 kW.

Područja udaljena od mreže.

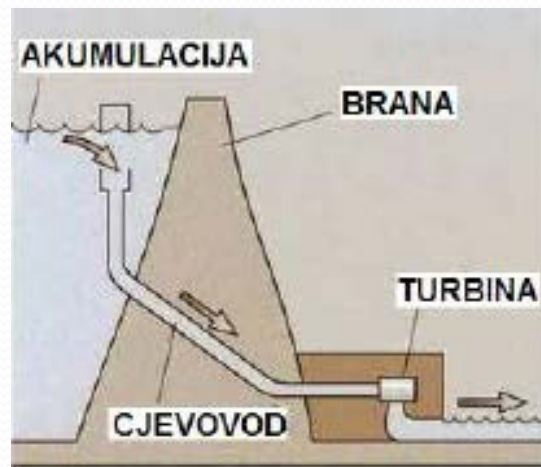
Cilj hidroelektrane je pretvaranje potencijalne energije zapremine vode (koja teče zbog postojanja visinske razlike) u električnu energiju, snaga elektrane je proporcionalna s protokom i padom.

Prema količini vode i visini vodenog pada koji koriste, razlikuju se:

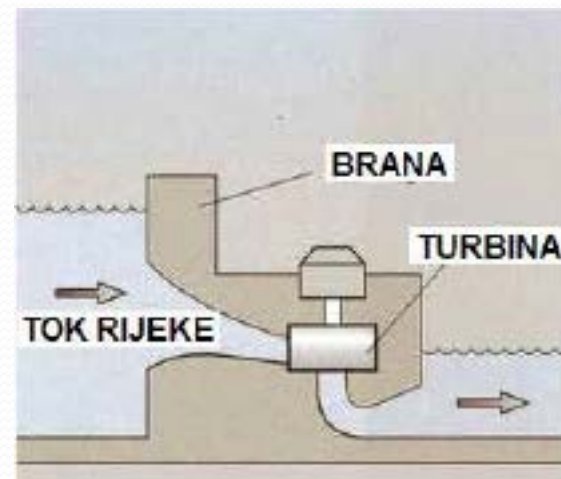
- hidroelektrane sa visokim padovima(veći od 100 m) i relativno malom količinom vode,
- hidroelektrane sa srednjim i niskim padovima(30 –100 m) i
- hidroelektrane s niskim padovima(2 – 30 m) i relativno velikom količinom vode.



Veliki pad



Srednji pad



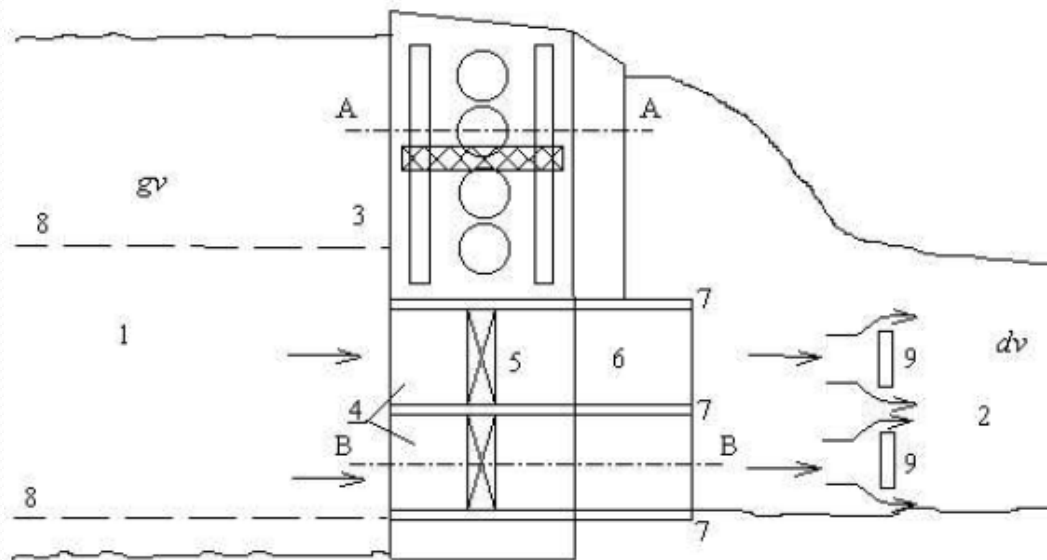
Mali pad

Na osnovu položaja mašinske zgrade i brane hidroelektrane se dele na:

- ❖ Branske hidroelektrane.
- ❖ Pribranske hidroelektrane.
- ❖ Derivacione hidroelektrane, koje mogu biti:
 - ❑ sa otvorenom derivacijom i
 - ❑ sa derivacijom pod pritiskom.

Branske hidroelektrane

❖ Branske hidroelektrane se grade na vodenim tokovima gde nije moguće postići velike padove. Grade se za bruto padove $H_B = (3, 60) \text{ m}$ i protoke $Q \leq 12000 \text{ m}^3/\text{s}$.



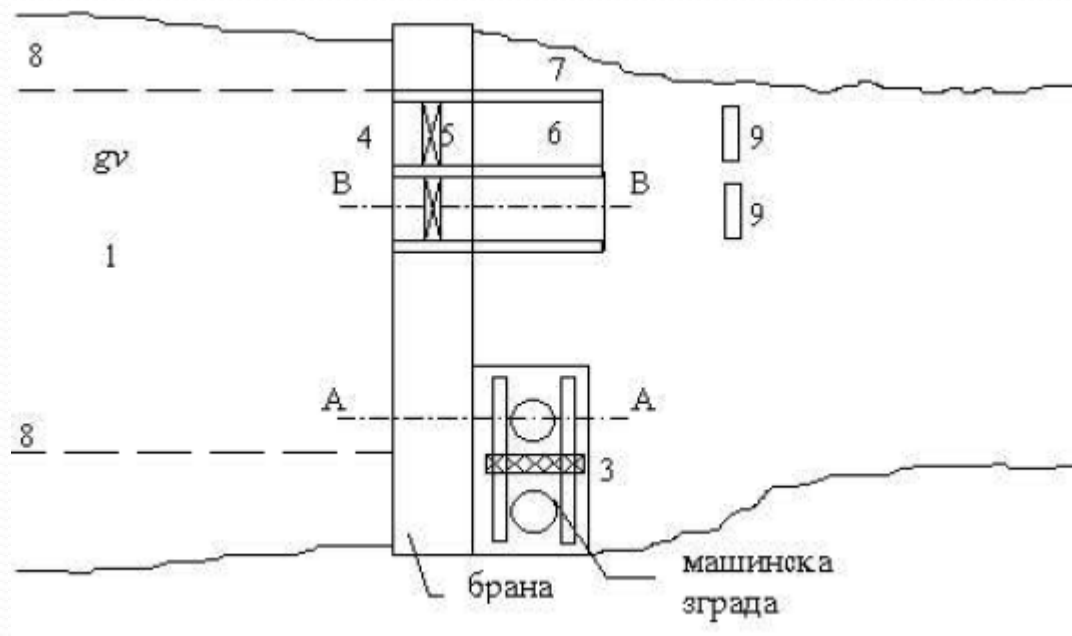
Horizontalna projekcija branske hidroelektrane

1-gornja voda,
2-donja voda,
3-deo brane-mašinska zgrada,
4-prelivna polja,
5-sektorski zatvarač.

6-sklapište,
7-pregradne lamele sklapšta,
8-linija obale pre izgradnje brane,
9-razbijač vodenog talasa.

Pribranske hidroelektrane

- ❖ Grade se na tokovima na kojima je moguće postići veće padove, $H_B = (60, 200) \text{ m}$. Protoci kod pribranskih hidroelektrana su manji nego kod branskih hidroelektrana i obično se kreću granicama $Q \leq 6000 \text{ m}^3/\text{s}$.



Horizontalna projekcija pribranske hidroelektrane

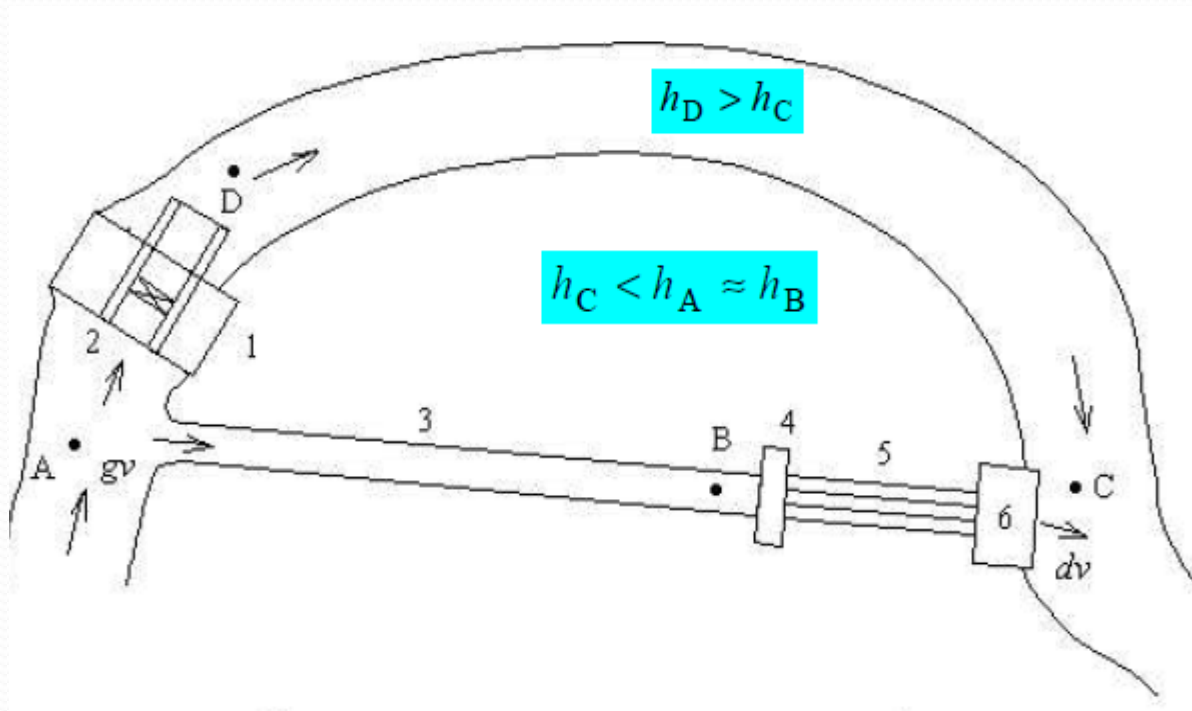
1-gornja voda,
2-donjavoda,
3-deo brane-mašinska zgrada,
4-prelivna polja,
5-sektorski zatvarač.

6-sklapište,
7-pregradne lamele sklapšta,
8-linija obale pre izgradnje brane,
9-razbijač vodenog talasa.

Derivacione hidroelektrane

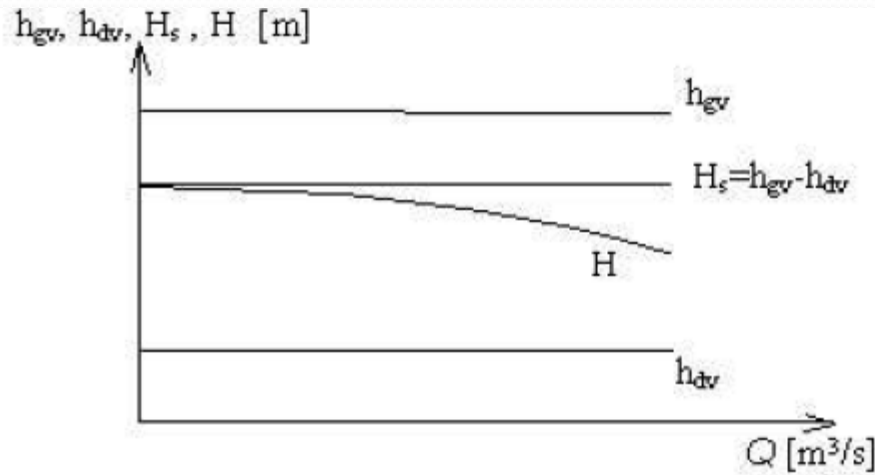
❖ Hidroelektrana sa otvorenom derivacijom

Ovakve hidroelektrane izgrađene su za padove $H_B = (200, 1000) \text{ m}$ i protoke $Q \leq 2400 \text{ m}^3/\text{s}$.



- 1-brana,
- 2-prelivno polje na brani,
- 3-otvoreni derivacioni kanal(dovodni),
- 4-prijemna građevina,
- 5-cevovodi,
- 6-mašinska zgrada.

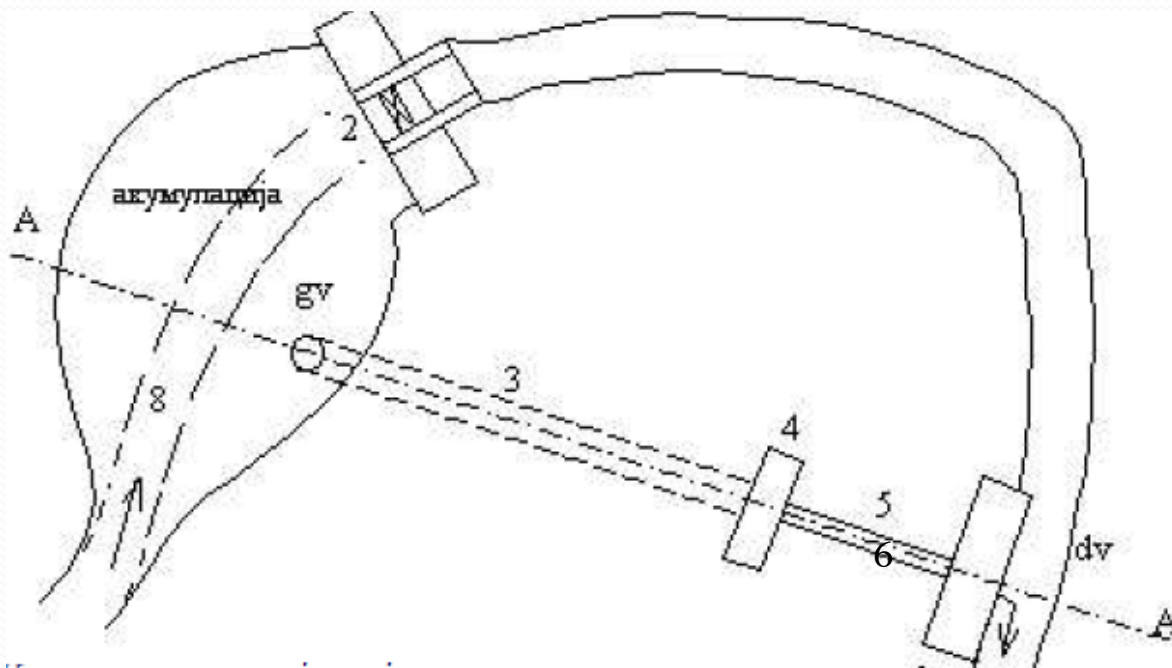
Zavisnost statičkog i neto pada i nivoa gornje i donje vode od protoka



❖ Nivoi gornje i donje vode kod hidroelektrana sa otvorenom derivacijom su približno stalni. Neto pad se smanjuje sa povećanjem protoka, jer gubici u kanalu i cevovodu rastu sa kvadratom protoka (Q^2).

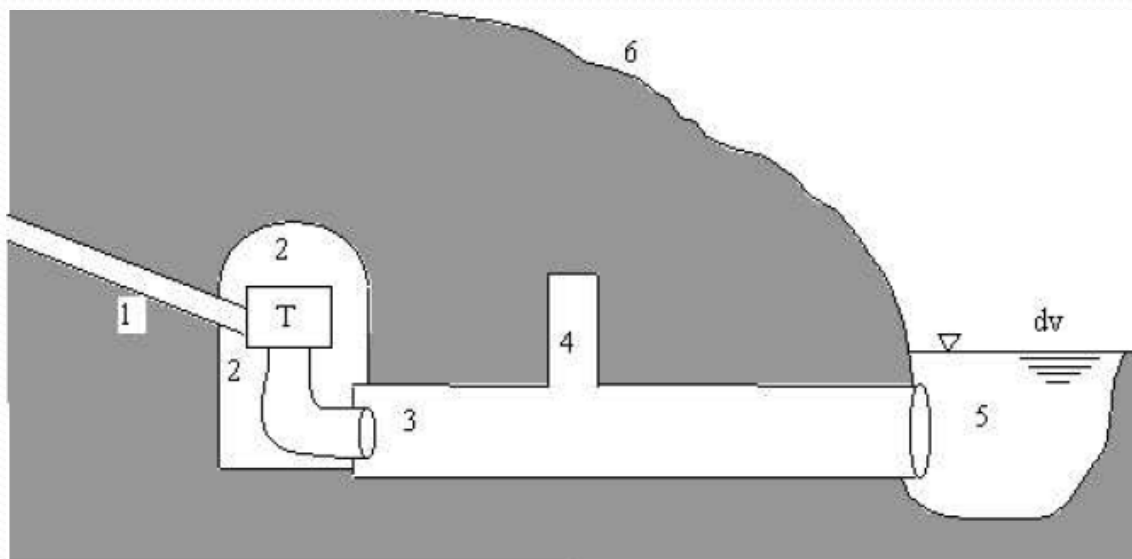
❖ Hidroelektrane sa derivacijom pod pritiskom

Ovakve hidroelektrane grade se za padove $H_B = (30, 1800)$ m i protoke $Q \leq 1000 \text{ m}^3/\text{s}$.



2-prelivno polje na brani,
3-derivacioni kanal,
4-prijemna građevina,
5-cevovodi,
6-mašinska zgrada,
8-potopljeno korito
rijeke.

U nekim slučajevima mašinska zgrada se smješta u iskopanu pećinu u brdu, i sa donjom vodom se povezuje sa odvodnom derivacijom pod pritiskom, kao što je to prikazano na slici:



- 1-dovodni tunel,
- 2-turbina sa sifonom,
- 3-odvodna derivacija,
- 4-vodostan(vodena komora),
- 5-donja voda,
- 6-brdo



Prema načinu korišćenja vode, odnosno regulacije protoka, hidroelektrane se dele na:

❖ Akumulacione hidroelektrane.

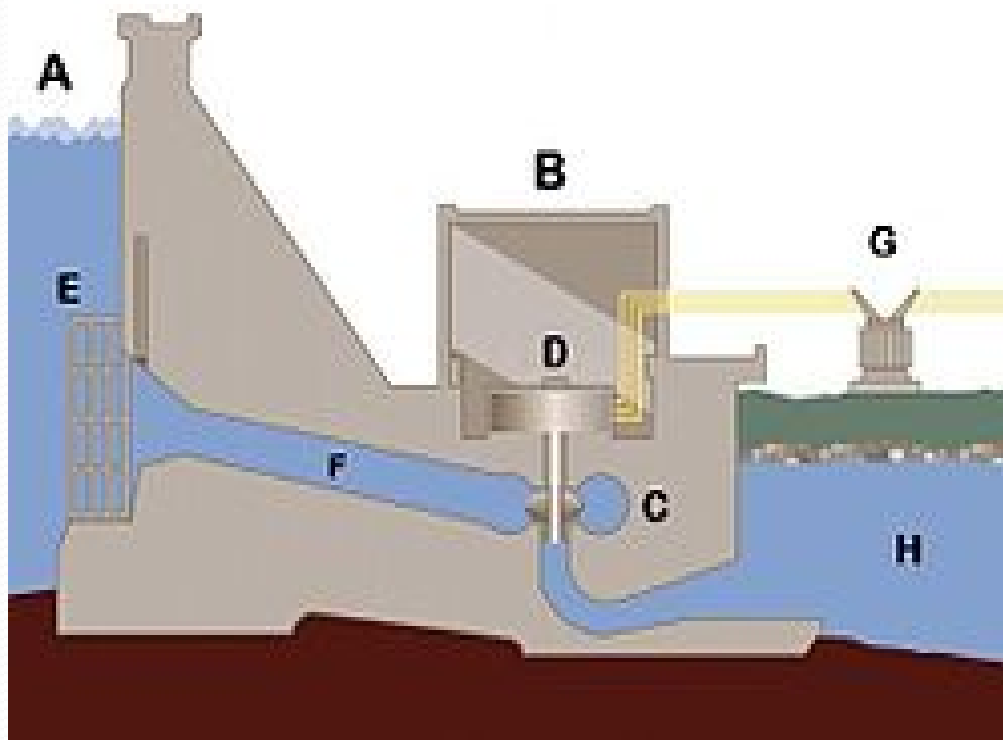
❖ Protočne hidroelektrane.

❖ Reverzibilne hidroelektrane.

Akumulacione hidroelektrane

- ❖ Akumulaciona hidroelektrana se pravi pregrađivanjem rijeke i zaustavljanjem toka, što dovodi stvaranju velikog akumulacionog jezera uzvodno od brane koje sadrži velike količine vode što predstavlja rezervoar energije, ali se može koristiti i u druge svrhe (navodnjavanje, ribolov, itd.).
- ❖ Kod ovakve vrste elektrane obično postoje velike godišnje varijacije u količini dotoka vode. Akumulaciono jezero poseduje potencijalnu energiju koja je rezultat visinske razlike gornje kote jezera i tačke montaže generatora, a koja se pretvara u kinetičku energiju vode koja pokreće lopatice turbine.

- 
- ❖ Voda se od brane vodi tunelima koji mogu biti kilometrima dugi do mesta gde je sagrađeno postrojenje elektrane sa turbinama i generatorima.
 - ❖ Za elektrane na rijekama sa velikim padovima i malim pritiskom koriste se Peltonove turbine, a u slučaju kada je količina vode dovoljna koriste se akumulacijske hidrocentrale su tzv. klasične hidrocentrale sa uobičajenim komponentama.



Hidroelektrana u presjeku A-rezervoar, B-zgrada, C-turbina, D-generator, E-ulaz vode, F-cev za vodu, G-visokonaponska mreža, H-rijeka.

Akumulacione hidroelektrane se dijele na dva tipa:

- ❖ pribranske hidroelektrane i
- ❖ derivacione hidroelektrane.

❖ **Pribranska hidroelektrana** je vrsta akumulacijske

hidroelektrane kod koje se zgrada za proizvodnju nalazi u

samoj pregradnoj brani.

❖ **Derivaciona hidroelektrana** je vrsta akumulacijske hidroelektrane kod koje se zgrada za proizvodnju energije

nalazi na nekoj udaljenosti (nizvodno od brane), a voda se iz akumulacijskog jezera dovodi posebnim cevima sa ulaznog presjeka do zgrade.



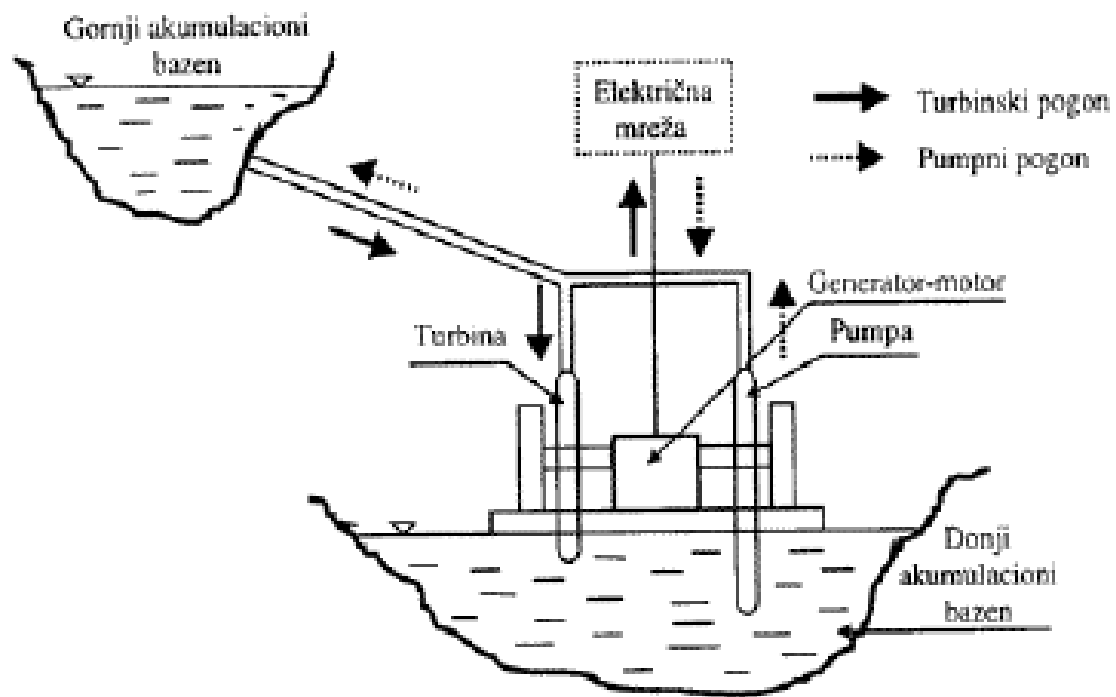
❖ Postoje i pumpno-akumulacione hidroelektrane kod kojih su posebno izvedene turbina i pumpa (za razliku od reverzibilnih). Ovakve hidroelektrane rade obično kao derivacione, sa derivacijom pod pritiskom, jer su im akumulacije u planinskim područjima na velikim visinama.

Reverzibilne hidroelektrane

- ❖ Reverzibilne hidroelektrane su hidroenergetski objekti koji imaju mogućnost promjene funkcije agregata pa isti uređaj može da radi kao električni motor i pumpa, a potom kao generator i turbina. U oba načina rada pretežno se koristi ista voda, jer su vlastiti prirodni dotoci minimalni.
- ❖ Kada sistem radi kao pumpa, akumulira vodu i pokreće ga motor koji se napaja iz mreže. Tako akumulisanu vodu (energiju) isti sistem, ali u drugom načinu rada, koristi za proizvodnju struje u doba najveće potrošnje.

Reverzibilna hidroelektrana ima dva skladišta vodene mase:

- ❖ **Gornja akumulacija:** ima istu ulogu kao akumulaciono jezero kod klasičnih hidroelektrana. Gradnjom brane osigurava se akumulacija vode, koja kada protiče kroz postrojenje ima za posledicu proizvodnju električne energije.
- ❖ **Donja akumulacija:** voda koja izlazi iz hidroelektrane prelazi u drugo, donje, akumulaciono jezero i ne vraća se u osnovni tok rijeke.



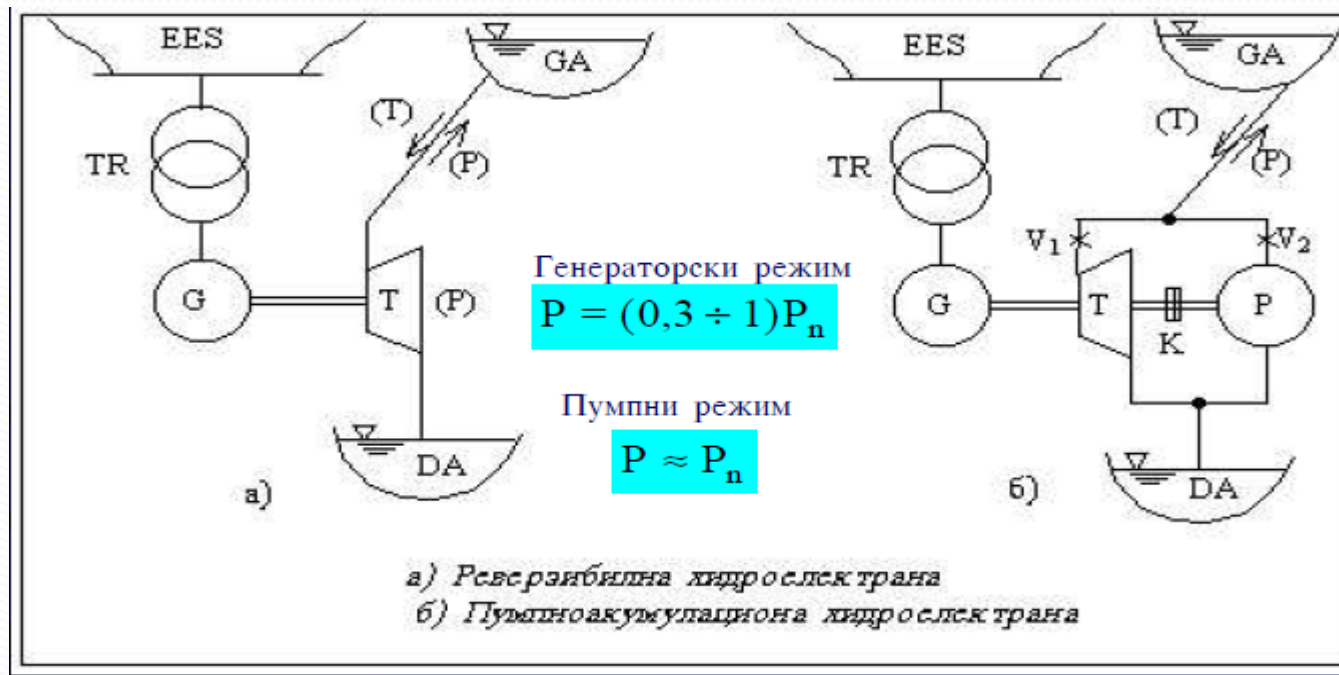
Šema reverzibilne hidroelektrane

❖ Pošto je teško upravljati proizvodnjom električne energije koja se dobija iz termoelektrana i u poslednje vreme sve više vjetroelektrana onda se u doba manje potrošnje (obično noću) javljaju viškovi električne energije pa to ima za posledicu manju cenu struje u tom periodu. Reverzibilne hidroelektrane plaćaju tu nižu cenu struje i koriste je da akumuliraju vodu u gornje jezero, a nakon toga u vreme kada su potrebe potrošača za električnom energijom veće tu istu vodu koriste za proizvodnju električne energije i prodaju je po skupljoj ceni.

❖ Postoje postrojenja koja koriste napuštene rudnike kao donji akumulacioni bazen, ali u većini slučajeva to su prirodni bazeni ili iskopani bazeni. Čiste reverzibilne hidroelektrane razmenjuju vodu između dva bazena, ali kombinovane reverzibilne hidroelektrane ujedno generišu električnu energiju kao konvekcione hidroelektrane kroz energiju toka vode.

- ❖ Uzimajući u obzir gubitke usled isparavanja akumulisane vode i gubitke usled pretvaranja, približno 70% do 85% električne energije koja se koristi za napumpavanje vode u viši bazen može biti vraćeno. Ova tehnologija je trenutno najisplativija u smislu čuvanja velike količine električne energije, ali troškovi izgradnje i prisutnost problema pogodnog geografskog položaja (razlika u visini između bazena) su kritični faktori u odluci o izgradnji.
- ❖ Jedini način da stvorimo značajniju količinu električne energije je taj da imamo veliku količinu vode na što većem brdu iznad donjeg bazena. Na primer, 1000 kilograma vode (1kubni metar) na vrhu 100 metara visokog tornja ima potencijalnu energiju od oko 0,272 KWh. Na nekim područjima visinska razlika između donjeg i gornjeg bazena se pojavljuje prirodno, a na nekim se pravi veštački.

Ilustracija razlike između RHE i PAHE

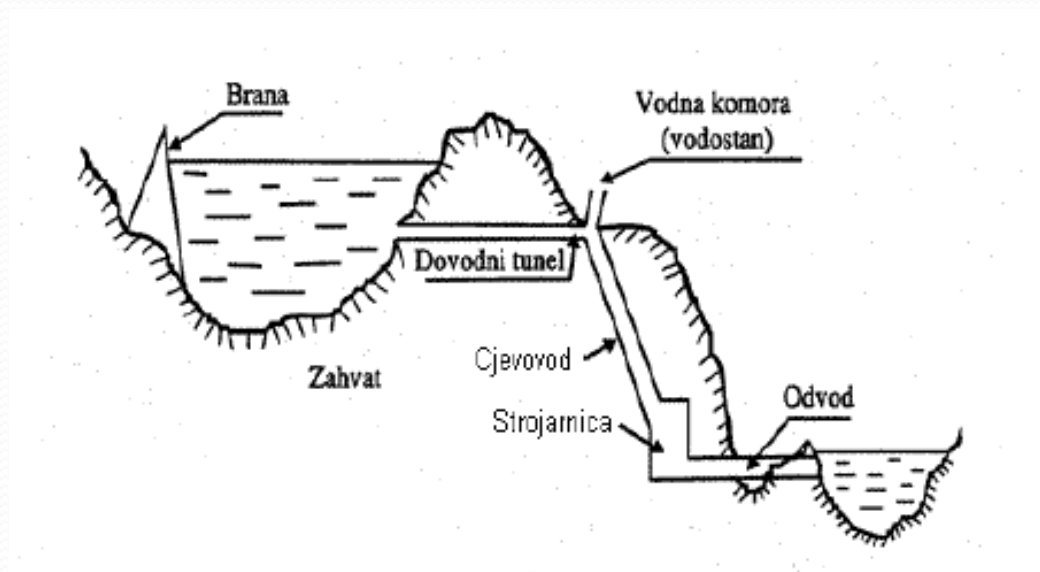


TR-transformator,
 G-generator(radi kao motor u
 pumpnom režimu (P)),
 T-turbina(kod RHE i pumpa),
 P-pumpa,
 (P)-pumpni režim.

K-kvačilo,
 V1,V2-ventili,
 GA-gornja akumulacija,
 DA-donja akumulacija,
 EES-elektroenergetski sistem.

Protočne hidroelektrane

Protočne hidroelektrane su elektrane koje nemaju svoju akumulaciju ili imaju akumulaciju koja se, pri radu hidroelektrane pri nominalnoj snazi, može isprazniti za manje od dva sata. Protočna hidroelektrana direktno koristi kinetičku energiju vode za pokretanje turbina. Ovakva vrsta hidrocentrala je najjednostavnija za izradu, ali uveliko zavise od trenutnog protoka vode.





Male hidroelektrane

Male hidroelektrane

- ❖ Razlika između velikih hidroelektrana i malih hidroelektrana je u instaliranoj snazi.
- ❖ Mala hidroelektrana je određena kao postrojenje za iskorištavanje energije vodotokova sa izlaznom električnom snagom od 10 kW do 10 MW.
- ❖ Male hidroelektrane ponekad su prikladne za decentralizovana područja sa malom potrošnjom, ali i za niskonaponske mreže i lokalne mikro mreže.
- ❖ Osim u vlasništvu velikih elektroprivrednih poduzeća, mogu biti i u vlasništvu manjih privatnih poduzetnika.

Podela malih hidroelektrana

❖ prema mogućnostima akumulacije:

■ Protočne

- Imaju veoma male mogućnosti akumulacije. Proizvode električne energije koliko im dopušta protok u vodenom toku.
- Instalirani protok, u odnosu na srednji višegodišnji *protok* rečnog toka, je tipično u granicama: $Q_{sr} < Q_{inst} < 1,5 Q_{sr}$

■ Akumulacione

- Kod vodotokova sa velikim protokom postavljaju se dva agregata od koji jedan radi stalno, a drugi samo u kišnom periodu godine. Pravilan izbor instalisanog protoka MHE je najvažniji zadatak.

- Akumulacione MHE, sadrže akumulacioni bazen za poravnanje dotoka rečnog toka.

❖ Postoje:

- MHE sa dnevnim ravnanjem akumulacije,
- MHE sa sedmičnim ravnanjem akumulacije.

MHE sa dnevnim ravnanjem akumulacije

❖ Umesto regulisanja na osnovu stvarnog dnevnog dijagrama opterećenja, u lokalnoj mreži može se uvesti aproksimacija da noću uopšte nema potrošnje, dok je u toku dana moguća snaga koja odgovara protoku od $(1,5 \div 3) Q_{sr}$. Gde je Q_{sr} srednji dnevni dotok vode u akumulaciju.

❖ Da bi se obezbedio dnevno ravnanje akumulacije potrebno je da zapremina akumulacionog bazena za izravnanje iznosi:

$$V [m^3] = Q_{sr} \times 12h = 43\,200 \times Q_{sr} [m^3/s].$$

❖ Instalirani protok (Q_{ins}) kod MHE mora biti u granicama:

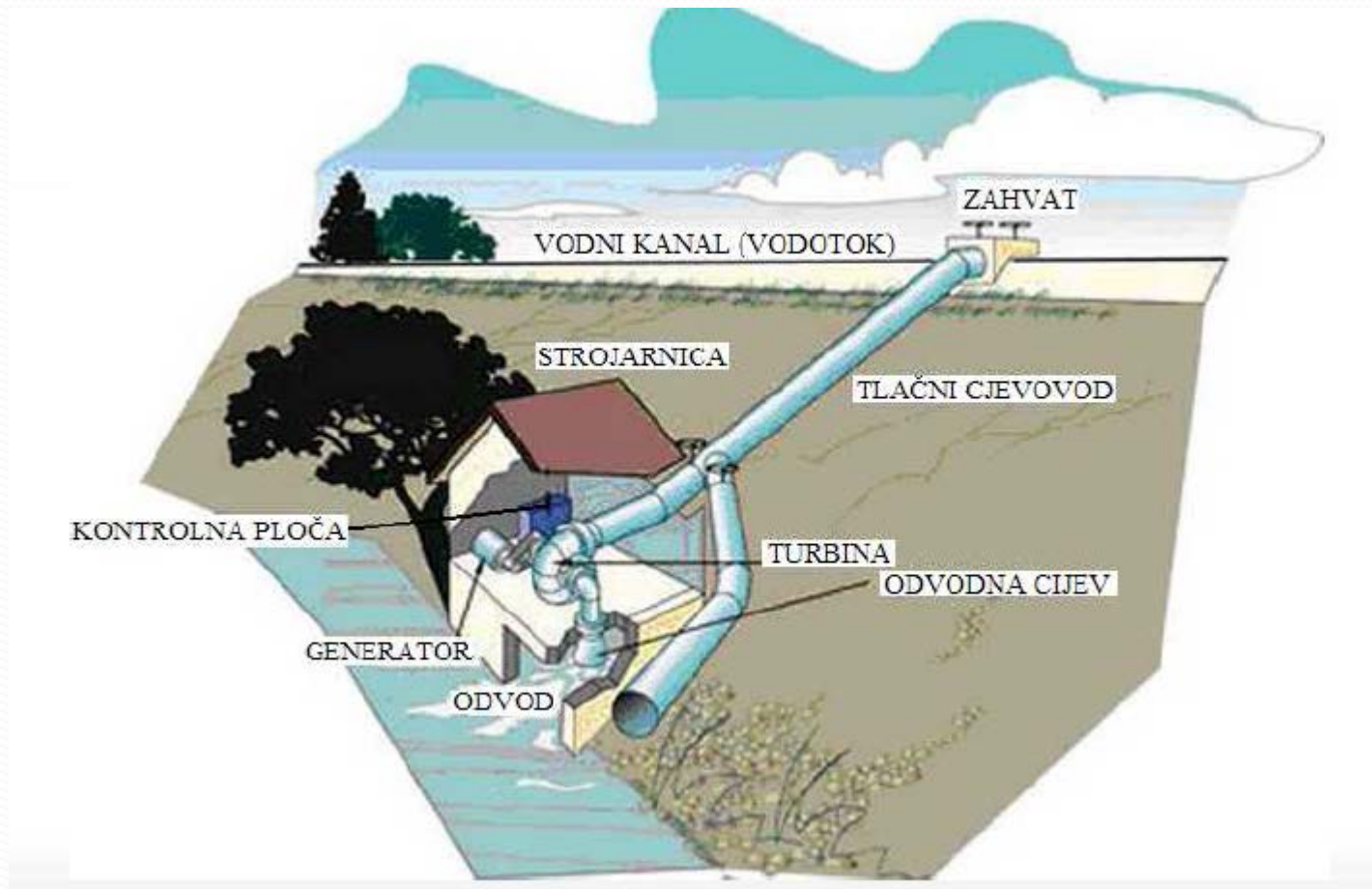
$$1,5Q_{sr} \leq Q_{ins} \leq 3Q_{sr}.$$

Ovakvim dnevnim ravnanjem akumulacije, MHE dnevno radi 12 h, a 12 h stoji.

MHE sa sedmičnim ravnanjem akumulacije

- ❖ Instalisani protok: $2 Q_{sr} < Q_{inst} < 4 Q_{sr}$
- ❖ Potrebna zapremina akumulacije: $V [m^3] = 216\ 000 \times Q_{sr}[m^3/s]$.

Protočna mikrohidroelektrana



❖ Prema neto padu:

- sa niskim padom ($H < 30\text{ m}$).
- sa srednjim padom ($30\text{ m} > H < 100\text{ m}$).
- sa visokim padom ($H > 100\text{ m}$).

❖ Prema režimu rada:

- MHE na izolovanoj mreži (ostrvski rad).
 - Koriste se za napajanje seoskih područja, farmi i objekata koji su udaljeni od EES-a.
- MHE povezana na EES (paralelni rad).
- MHE u kombinovanom radu.

• Prema položaju zgrade:

- Branske MHE.

- Proizvodnja električne energije na račun količine vode koja otiče iz akumulacije.

- Pribranske MHE.

- Derivacione MHE.



❖ Branske i pribranske MHE nalaze veliku primenu kod malih akumulacija koje se projektuju za potrebe navodnjavanja, vodosnabdevanja, turizma, zaštite od poplava i slično.

❖ Derivacione MHE imaju veliku primenu u brdsko-planinskim terenima, kod vodotoka sa velikim padovima.

Prednosti i mane MHE

- ❑ U odnosu na velike HE nemamo plavljenja širokih područja (kako bi se obezbedio prostor za akumulaciju vode) i narušavanja lokalnog ekološkog sistema.
- ❑ Mogu obezbediti navodnjavanje zemljišta, kao i snadbevanje vodom okolnih naselja, izgradnju ribnjaka i zaštitu od poplava.
- ❑ Smanjuju investiciona ulaganja za elektrifikaciju udaljenih naselja od opšte električne mreže, a elektrifikacijom takvih ruralnih naselja doprinosi se unapređenju njihovog razvoja.
- ❑ Eksploatišu se uz veoma male materijalne troškove
- ❑ Radni vijek je vrlo dug, praktično neograničen. Prosečan vek je 30 godina, mada ima MHE koje već rade 80 godina.

Naravno, MHE kao izvori energije, u odnosu na druge slične izvore imaju nedostatke, a to su:

- ❑ Visoki investicioni troškovi po instalisanom kW.
- ❑ Veliki troškovi istraživanja u odnosu na ukupne investicije.
- ❑ Eksploatacija zavisi od postojećih resursa.
- ❑ Zahtjeva integralno vodoprivredno rešenje, s tim što se prednost mora dati sistemima za snabdevanje vodom i za navodnjavanje, zato MHE moraju raditi sa instalisanim protokom koji je određen prema drugim potrošačima.
- ❑ Ako radi autonomno, proizvodnja el.energije zavisi od potrošnje, pa višak ostaje neiskorišćen.



Snaga dobijena u hidroelektranama

Snaga postrojenja i proizvedena energija

- Zavisi od raspoloživog vodenog pada (razlici geodetske visine).
- Visina pada zavisi od visine brane, što je pad veći, postoji veći energetska potencijal.
- Energetska potencijal je direktno proporcionalan visini pada, tako da ista količina vode, ukoliko pada sa dva puta veće visine proizvodi duplo više električne energije.
- Električna snaga i energija su direktno proporcionalni količini vode koja prolazi kroz turbinu.
- Dva puta veća količina vode proizvešće će dva puta više električne energije kod iste visine vodenog pada.

snaga postrojenja i proizvedena energija

- Zavisnost snage od navedenih veličina izražena je sledećim izrazom:

$$P = \eta * Q * h * \rho * g$$

- gde je:

P - Snaga [W]

η - stepen iskorišćenja postrojenja

Q – raspoloživi protok vode [m³/s]

h - raspoloživi vodeni pad [m]

ρ - gustina vode [kg/m³]

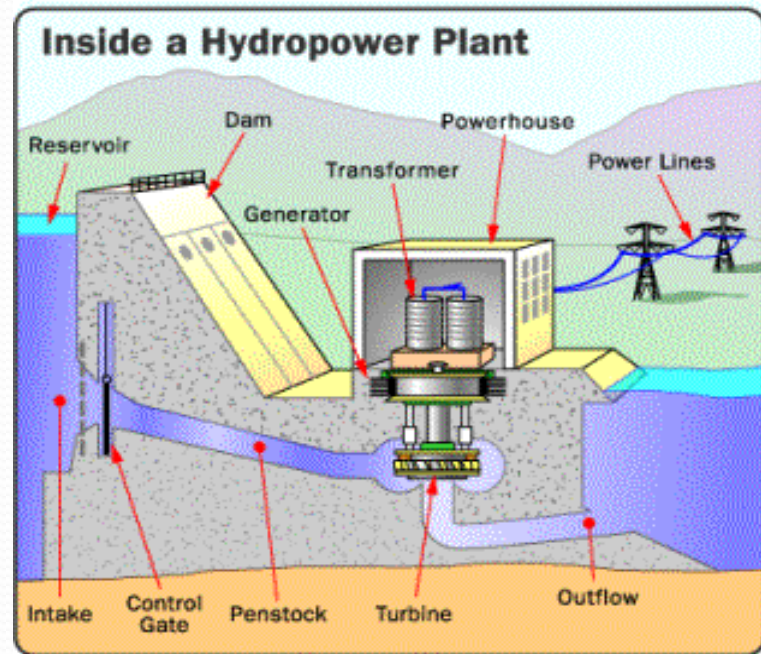
g - ubrzanje sile teže [m/s²]



Komponente hidroelektrane

Komponente hidroelektrane

- Ulazni presek
- Brane
- Dovod
- Vodena komora
- Električne centrale
- Turbine
- Generator
- Transformator
- Dalekovod
- Izlazni presak (odvod)



Ulazni presek

- Otvor na brani se otvori i kroz kontrolna vrata voda cevovodom dolazi do turbine određenim masenim protokom.
- Ulaz vode može biti na površini vode ili ispod površine.
- Kada je pregrada niska i nivo vode gotovo konstantan izvodi se na površini, dok se ispod površine i to na najnižoj mogući visini izvodi u slučaju kada se nivo vode tokom godine značajno menja.

brane

- Većina hidroelektrana se snadbjeva vodom iz akumulacijskih jezera.
- Brana predstavlja građevinu čiji je zadatak da osigurava akumulaciju vode.
- Konstrukcija može biti od betona, drveta i njihove kombinacije
- Imaju ulogu:
 1. skretanje vode s njenog prirodnog toka prema zahvatu hidroelektrane
 2. povišenje nivoa vode kako bi se povećao pad
 3. ostvarivanje akumulacije

Dovod

- Deo koji spaja ulazni presek sa vodenom komorom.
- Može biti otvoren (kanal) i zatvoren (tunel), koji može biti gravitacioni ili pod pritiskom.
- Gravitacioni nije potpuno ispunjen vodom i potrebno je regulisati ulazni presek, za razliku od tunela pod pritiskom koji je potpun ispunjen vodom i kod kojeg nema potrebe za regulacijom ulaznog preseka.

Vodena komora

- Predstavlja zadnji deo dovoda, a služi za odgovaranje na promene opterećenja.
- Dimenzije vodene komore ima veliki uticaj na pravilno funkcionisanje hidroelektrane.
- Kada je dovod izveden kao gravitacioni tunel, mora imati odgovarajuću zapreminu kako bi se u njemu mogle smestiti veće količine vode
- Kada je tunel pod pritiskom, njegove dimenzije moraju biti takve da pritisak u dovodu ne poraste preko dopuštene granice ili da nivo vode ne padne ispod visine ulaza u cevovod pod pritiskom.

Električna centrala

- Kod malih hidroelektrana uloga električne centrale je da zaštiti elektromehaničku opremu od vremenskih nepogoda.
- Broj, tip i snaga turbina i generatora, njihova konfiguracija, izvođenje pada i konstitucija lokacije (terena) utiču na oblik i veličinu zgrade.
- Povezivanje turbine i generatora u jednu podvodnu celinu koja se može ugraditi direktno u tok rijeke znači da uobičajena električna centrala nije potrebna.

turbina

- Funkcija turbine je transformacija kinetičke energije vode u mehaničku energiju pomoću rotirajućih delova turbine.
- Mlaz vode udara i okreće lopatice turbine koja je vratilom vezana na generator.
- Najčešći tip turbina za hidroelektrane su Francisove. Takve turbine teže do 172 tone i postižu brzinu obrtanja do 90 obrtaja u minuti.

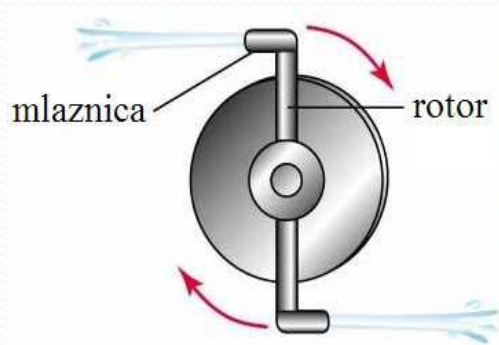
turbina

- Izbor tipa, oblika i dimenzija turbine prvenstveno zavisi o:
 1. Neto padu
 2. Instaliranom (projektovanom) protoku
 3. Brzini obrtaja, koja određuje tip i osnovni oblik rotora turbine i ostalih delova
 4. Kritična brzina: najveća brzina koja se može postići bez priključenog električnog opterećenja.

turbina

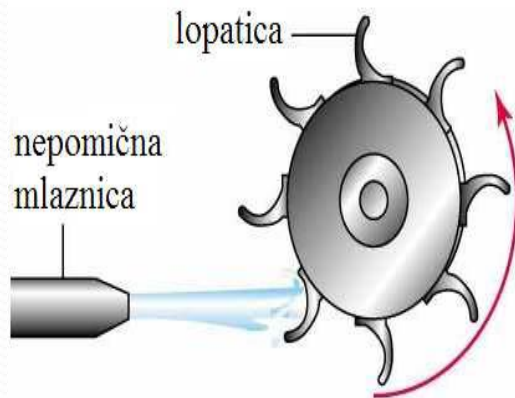
- Male vodene turbine mogu postići efikasnost oko 90%
- Budući da pojedini tipovi turbina efikasno rade samo unutar granica određenih protoka i padova, pri izboru pogodne turbine o tome se mora voditi računa.
- Kod većine lokacija malih protočnih hidroelektrana kod kojih protoci značajno variraju, obično se odabiraju one turbine koje efikasno rade u širokim granicama protoka (npr. Kaplan, Pelton, Turgo i *Crossflow*)

Klasifikacija turbina



- REAKCIJSKE TURBINE

- Snaga proizlazi iz pada pritiska na turbini
- Potpuno uronjena u vodu
- Periferna brzina se pretvara u snagu osovine
- Propelerna, Francisova i Kaplanova turbina



- AKCIJSKE TURBINE

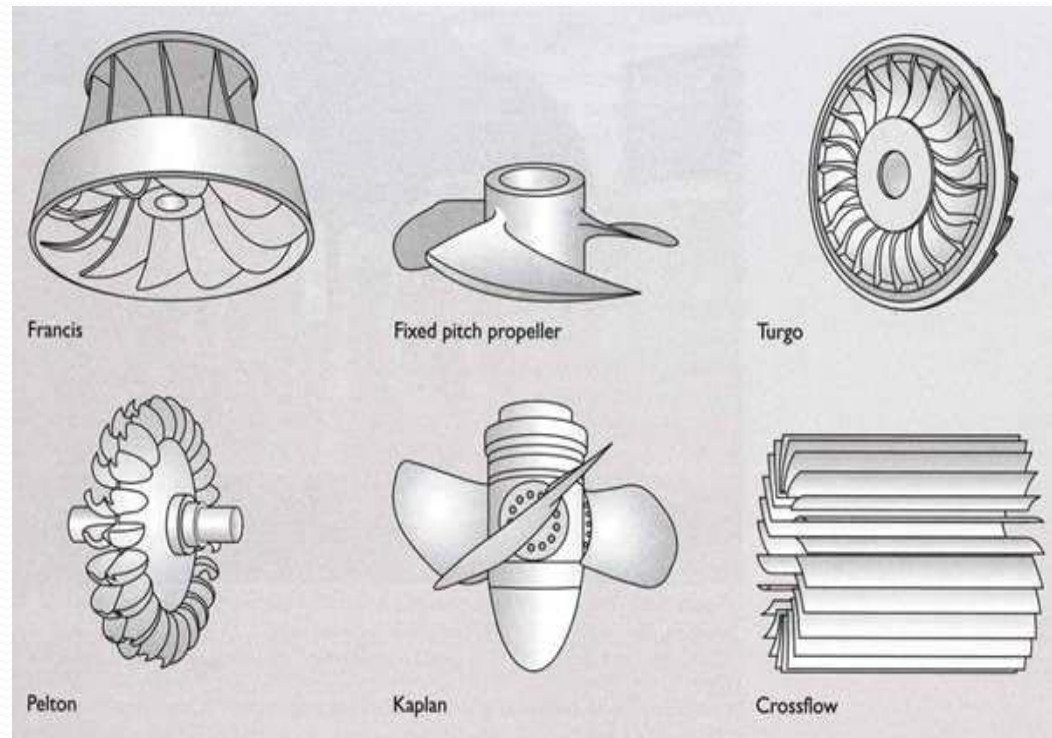
- Pretvaraju kinetičku energiju vode tako da mlaznice (cev iz koje ide voda) pogađaju lopatice
- Nema pada pritiska na turbini
- Peltonova, Turgo i *Crossflow turbina*

Vodene turbine

- 3 su osnovne kategorije konvencionalnih turbina:
 1. **Kaplan i Propelerna turbina** - to su reakcijske turbine sa podesivim protokom koje se koriste za male padove.
 2. **Francis turbina** - reakcijska turbina radijalnog protoka s fiksnim lopaticama rotora i podesivim ivicama lopatica koja se koristi za srednje padove.
 3. **Pelton** - ovo je podesiva turbina s jednom ili više mlaznica, a svaka mlaznica osigurava kontrolu protoka kroz prskalicu s iglom. Koristi se za srednje i velike padove.

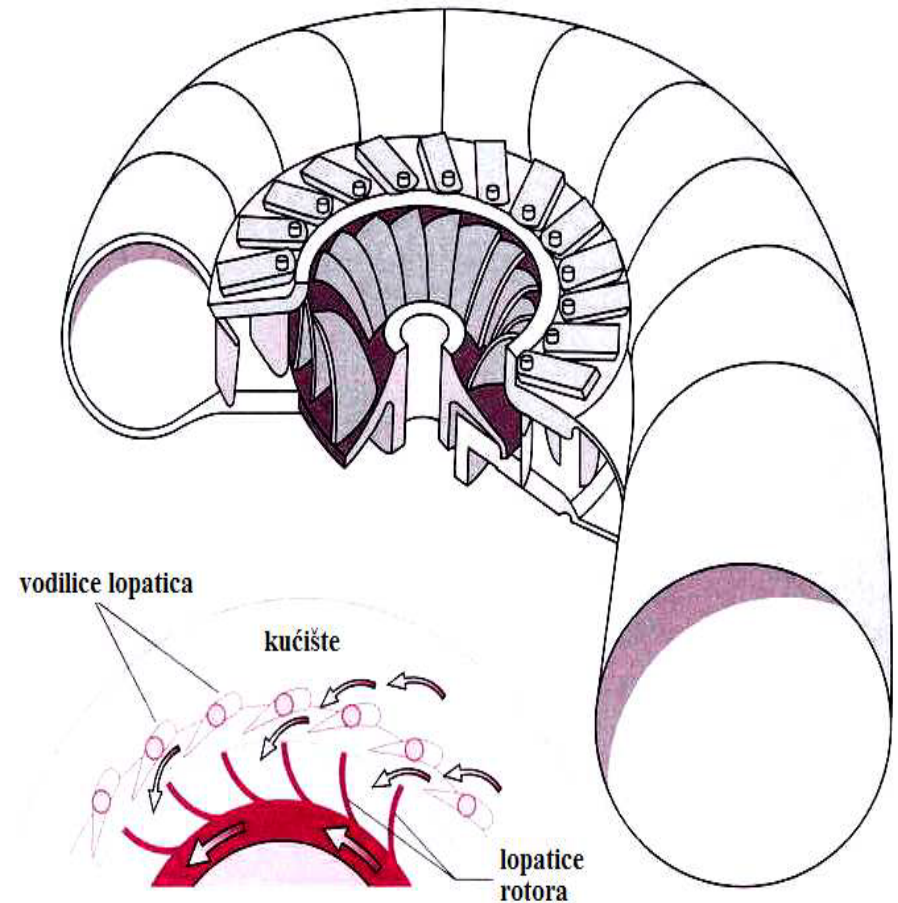
Tipovi turbina

- Francis turbina
- Kaplan turbina
- Pelton turbina
- Turgo turbina
- Ostali tipovi



Francisove turbine

- Padovi od 15 do 700 metara
- Srednje brzine protoka
visoka efikasnost ≈ 0.96
- Spiralna komora
ravnomerno dovodi vodu
obrotnom kolu i stvara
rotaciono strujanje
vode.



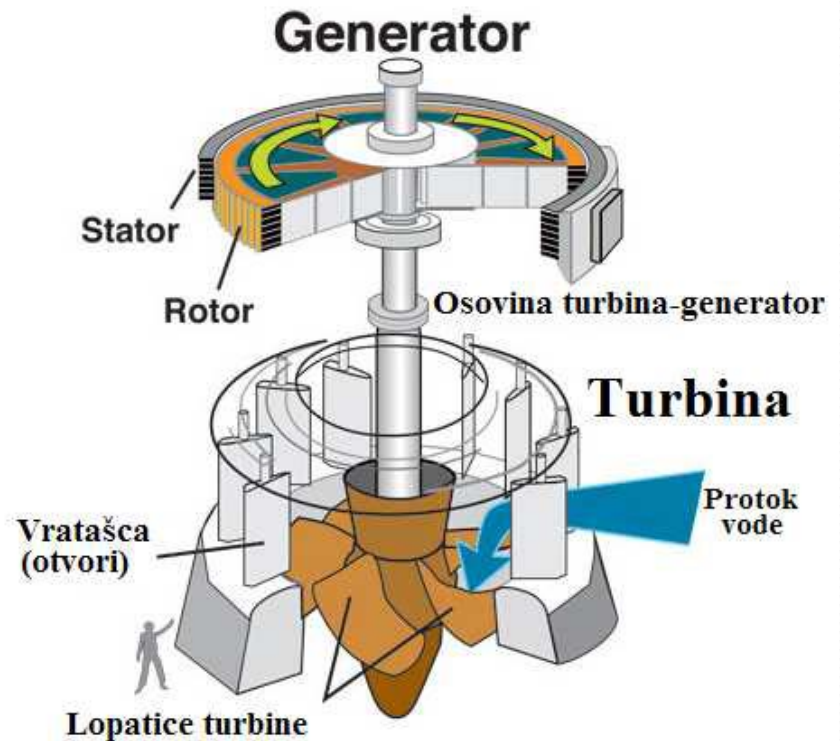
Francisove turbine

- Sprovodni aparat je jedini regulacioni element Francisove turbine. Lopatice sprovednog aparata su pokretne i služe za regulaciju protoka vode kroz turbinu. Lopatice pokreće hidraulički servo motor (pokreće ga ulje pod pritiskom)



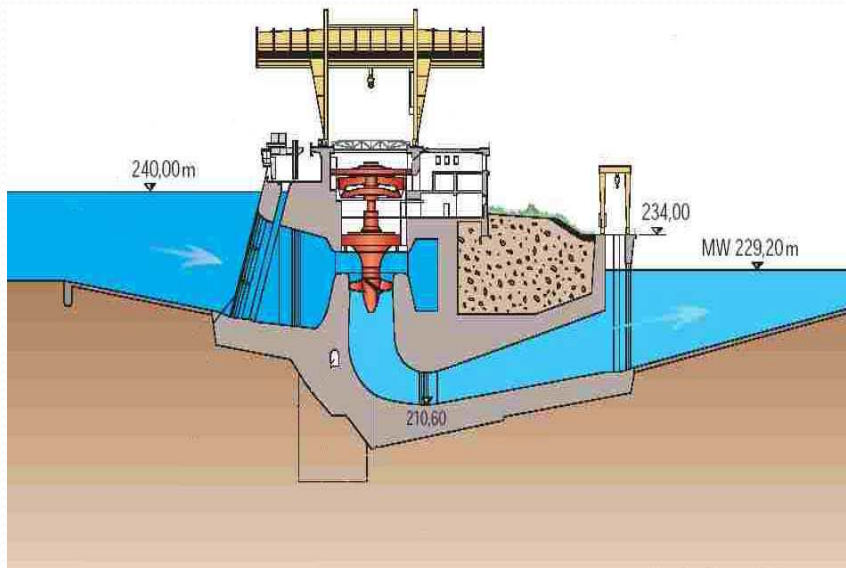
Kaplanova turbina

- Mali padovi (od 5 metara do 70 metara)
- Velike brzine protoka
- Moguće je upravljanje mlaznicama rotora, čime se postiže veća pogonska fleksibilnost u cilju postizanja većeg faktora efikasnosti za različite količine vode (protoke)
- Visoka efikasnost
- Podvarijante Kaplanove turbine sa fiksnim lopaticama obrtnog kola nazivaju se *propelerne turbine*.

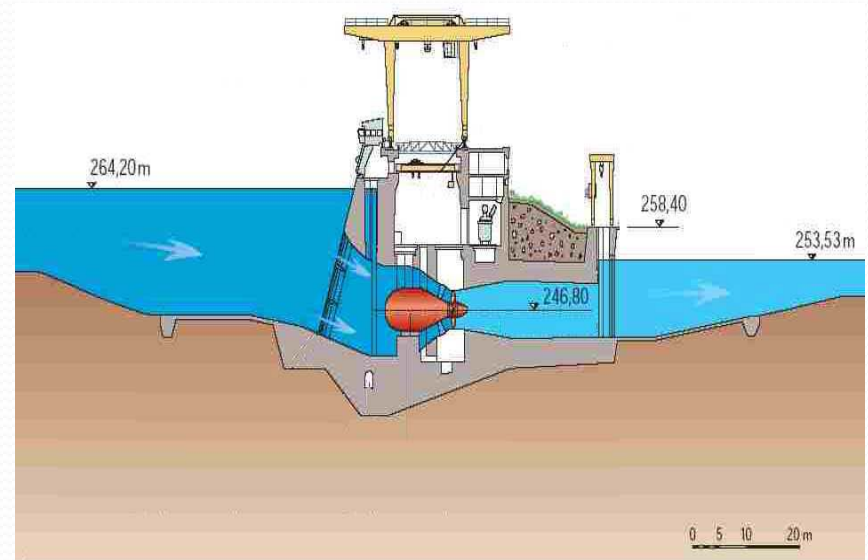


Kaplanova turbina

Vertikalno postavljena Kaplanova turbina

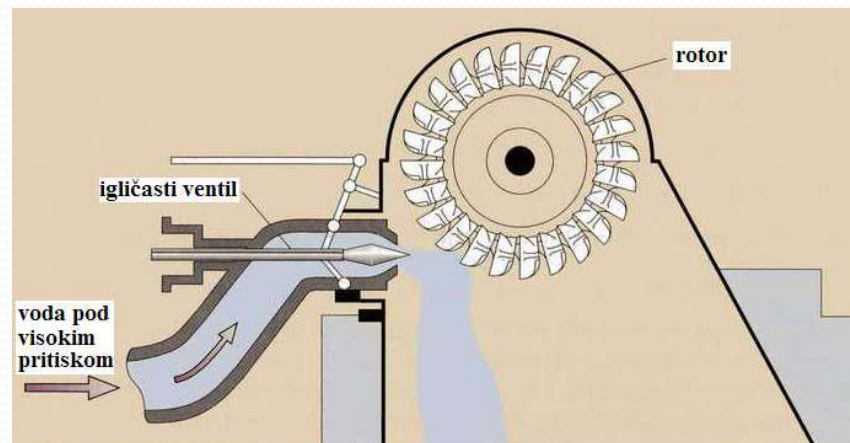


Horizontalna postavljena Kaplanova turbina



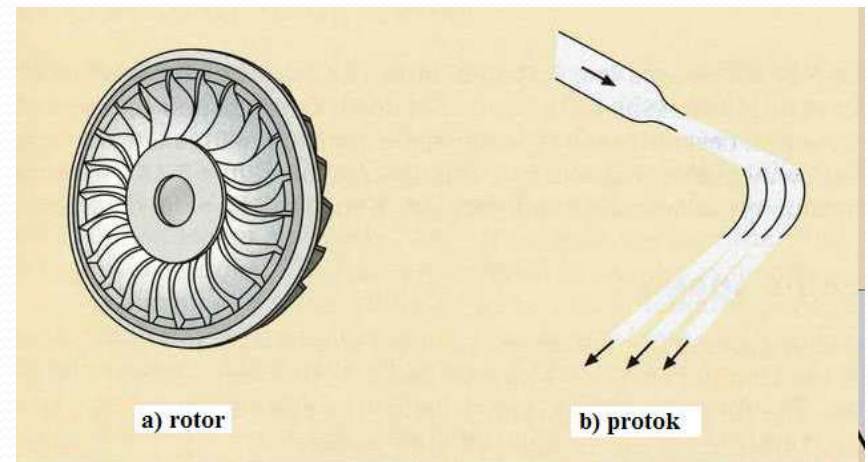
Peltonova turbina

- Veliki padovi (od 100 metara do 1800 metara).
- Relativno male brzine protoka.
- Maksimalno do 6 mlaznica.
- Visoka efikasnost.
- Od akumulacije do Peltonove turbine voda se dovodi dugačkim cevovodima. Da bi se, po potrebi, snaga turbine brzo mogla da smanji do nule koristi se skretač mlaza jer se protok vode kroz cevovod ne sme naglo prekinuti zbog dinamičkih pritisaka koji bi tada nastali.



Turgo turbina

- Turgo turbina:
 1. rotor turbine
 2. protok vode





Vratilo koje povezuje generator i turbinu.

generator

- Generiše električnu energiju.
- U osnovi proces se sastoji od rotacije serija magneta unutar namotaja žica.
- Ovime se ubrzavaju elektroni, koji proizvode električni naboj.
- Broj generatora zavisi od elektrane do elektrane.
- Kako se turbina okreće pobudni namotaj šalje električni napon rotoru.
- Rotor predstavlja seriju velikih elektromagneta koji se okreću unutar gustih namotaja bakrenih žica, koje predstavljaju stator.
- Magnetsko polje između magneta i žičanih namotaja stvara električni napon.

generator

- Osnovni delovi svakog generatora su:
 1. Vratilo
 2. Pobudni namotaj
 3. Rotor
 4. Stator
- Dve vrste generatora:
 1. Sinhroni generator opremljen sa vlastitim sistemom pobude
 2. Asihroni generator koji pobudu vuče iz mreže.

generator

- Sinhroni generator može funkcionisati izolovano (odvojen od elektroenergetske mreže), dok asinhroni generator za normalno funkcionisanje mora biti u vezi s ostalim generatorima (odnosno priključen na elektroenergetski sistem).
-Sinhroni generatori se koriste kao primarni izvori proizvodnje energije u elektroenergetskim sistemima, ali takođe i u manjim izolovanim mrežama kao i za samostalne primene malih hidroelektrana
- Asinhroni generatori često su najjednostavnije i najefikasnije rešenje za male hidroelektrane koje proizvode električnu energiju za isporuku u postojeću veliku elektroenergetsku mrežu.

transformator

- Na izlazu iz elektrane povećava napon naizmenične struje da bi se smanjili gubici prenosa energije.

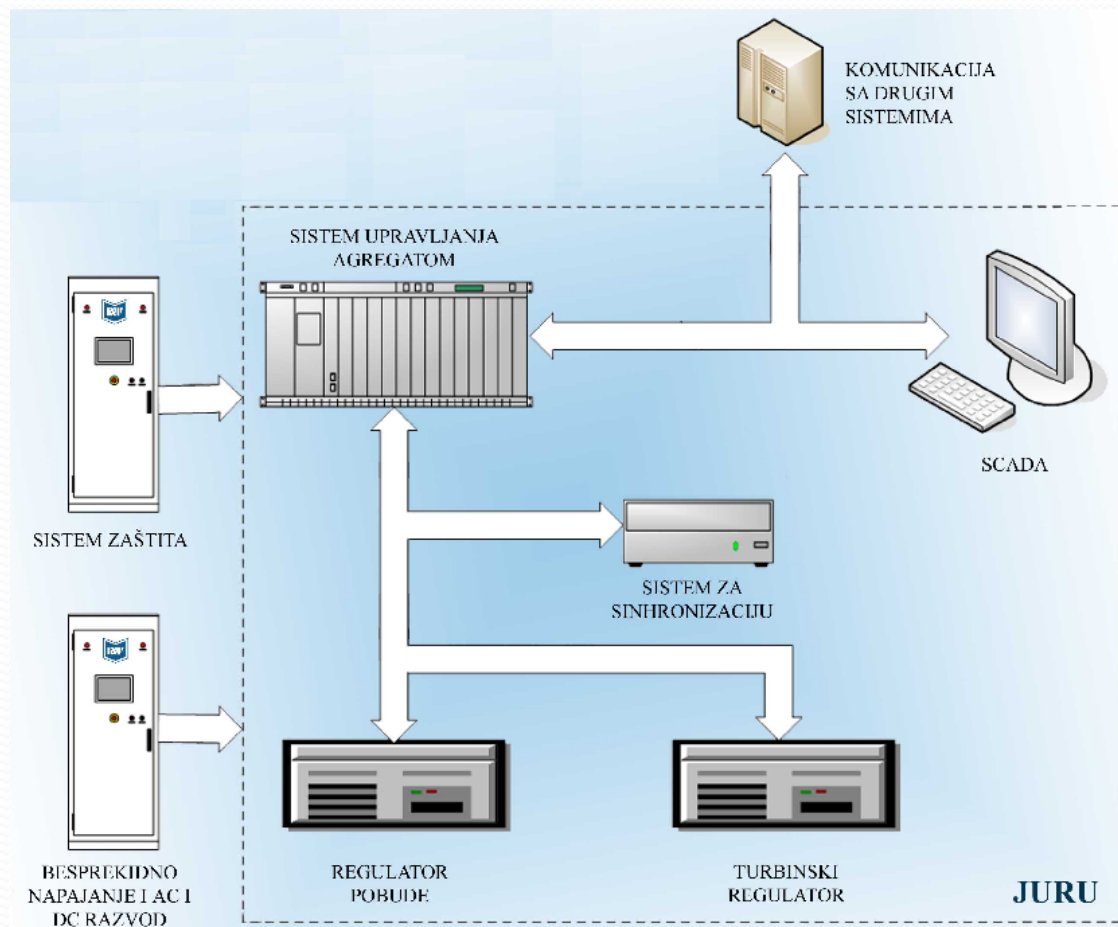
dalekovodi

- Iz svake elektrane vode dalekovodi, koji sadrže 4 žice. Tri nose struju napona koja izlazi iz transformatora, istog iznosa i međusobno pomaknutih za 120 stepeni, dok četvrta predstavlja nulu.

Izlazni presek

- Iskorišćena voda se cevovodima vraća u donji tok rijeke.

Centar za automatiku i regulaciju



Sistem upravljanja agregatom

- Vršiti upravljanje drugim podsistemima u jedinstvenom upravljačko-regulacionom uređaju (JURU) vodeći računa o njihovoj međusobnoj zavisnosti i uticaju.
- Njime je obezbeđeno automatsko pokretanje agregata, pobuđivanje generatora, sinhronizacija na mrežu, rad na mreži, zaustavljanje agregata u normalnim i havarijskim uslovima rada, regulacija brzine obrtaja i snage, regulacija pobude, praćenje stanja opreme agregata i prepoznavanje kvarova i opasnih struja.
- Sistem upravljanja povezan je sa SCADA sistemom za daljinski nadzor i kontrolu uređaja.

Sistem zaštite

- Mikroprocesorski upravljane električne zaštite obuhvataju podnaponsku I prenaponsku zaštitu :
 1. Podfrekventnu I nadfrekventnu zaštitu
 2. Prekostrujnu zaštitu
 3. Kratkospojnu zaštitu
 4. Zemljospojnu zaštitu
 5. Zaštitu od nesimetričnog opterećenja generator
 6. Zaštitu od povratne sprege

Sigurnosno i besprekidno napajanje i razvod jednosmerne i naizmenične struje

- Naponski nivo jednosmernog napona bira se prema potrebama pogona elektrane.
- Ispravljač je modularnog tipa i jednovremeno puni AKU bateriju, napaja potrošače u jednosmernom razvodu i obezbeđuje komandi napon elektrane.
- U slučaju nestanka naizmeničnog napajanja potrošači u razvodu besprekidnog napajanja napaju se iz AKU baterije, preko monofaznog invertora 220V, 50Hz.
- Sopstvena potrošnja elektrane je sastavni deo projekta

Sistem pobude

- Statički sistem pobude je sa mikroprocesorskim upravljanjem.
- Osnovne funkcije regulatora pobude su :
 1. Regulacija napona statora generatora
 2. Regulacija struje pobude generatora
 3. Limiter minimalne i maksimalne struje pobude
 4. Limiter maksimalne struje statora generatora
 5. Regulacija reaktivne snage generator Q
 6. Regulacija faktora snage generator $\cos \varphi$

Turbinski regulator

- Električni deo turbinskog regulatora realizovan je u digitalnoj tehnici.
- Osnovne funkcije turbinsko regulatora su :
 1. Pokretanja agregata do nominalne brzine obrtanja
 2. Učešće u toku sinhronizacije agregata na mrežu
 3. Regulacija brzine obrtanja pri radu agregata u praznom hodu i sa izolovanim opterećenjem
 4. Regulacija aktivne snage generatora
 5. Ograničavanje otvora i aktivne snage generatora
 6. Normalno I havarijsko zaustavljanje agregata
 7. Formiranje informacionih signala
 8. Upravljanjem pomoćnim sistemima turbine

Scada aplikacija za nadzor i upravljanje elektranom

- Instalirana na staničnom računar u ostvaruje sledeće funkcije:
 1. Vizuelni prikaz stanja elektrane i njenih podsistema
 2. Prikaz stanja mreže na koju je elektrana priključena ili je treba priključiti
 3. Prikaz stanja opreme u elektrani
 4. Uvid u sva relevantna merenja koja ulaze u jedinstveni upravljačko-regulacioni uređaj
 5. Uključenje i isključenje pojedinih podsistema u automatski/ručni režimu rada
 6. Ručno upravljanje pojedinim podsistemima kada su oni u ručnom režimu rada
 7. Aktiviranje alarma u neregularnim stanjima
 8. Arhiviranje merenja, zadatih komandi i drugih relevantnih podataka
 9. Daljinski prenos podataka nekim od standardnih komunikacionih protokola
 10. Vizuelni prikaz veličina od interesa

Sistem za sinhronizaciju

- Sistem za sinhronizaciju omogućava automatsku sinhronizaciju i uključivanje agregata u elektroenergetski sistem delovanjem na sistem pobude i turbinske regulacije.
- Sinhronizacioni instrumenti obuhvataju sinhroskop, voltmetar sa dvostrukom skalom i dvostruki frekvenometar.
- Automatsku sinhronizaciju vrši mikroprocesorska sinhronizaciona jedinica kada su ostvareni uslovi sinhronizacije.



Hidroelektrane u svetu

	Ime hidroelektrane	Država	Godina završetka izgradnje	Ukupan kapacitet (MW)	Maksimalna godišnja proizvodnja električne struje (TWh)
1	HE Tri klanca	Kina	2008/2011	18 300 (novembar 2008.) 22 500 (kod završetka)	80,8
2	HE Itaipu	Brazil/Paragvaj	1984./1991./2003.	14 000	94,7
3	HE Guri	Venecuela	1986.	10 200	53,41
4	HE Tucurui	Brazil	1984.	8 370	41,43

5	HE Grand Coulee	SAD	1942./1980.	6 809	20
6	HE Sajano Šušenskaja (popravak)	Rusija	1985./1989. 2009./2014.	6 400	26,8
7	HE Krasnojarsk	Rusija	1972.	6 000	20,4
8	HE Robert Bourassa	Kanada	1981.	5 616	
9	HE Churchill Falls	Kanada	1971.	5 429	35
10	HE Longtan	Kina	2009.	4 900 (6 300 kod završetka)	18,7



Hidroelektrane u Crnoj Gori

HE Perućica

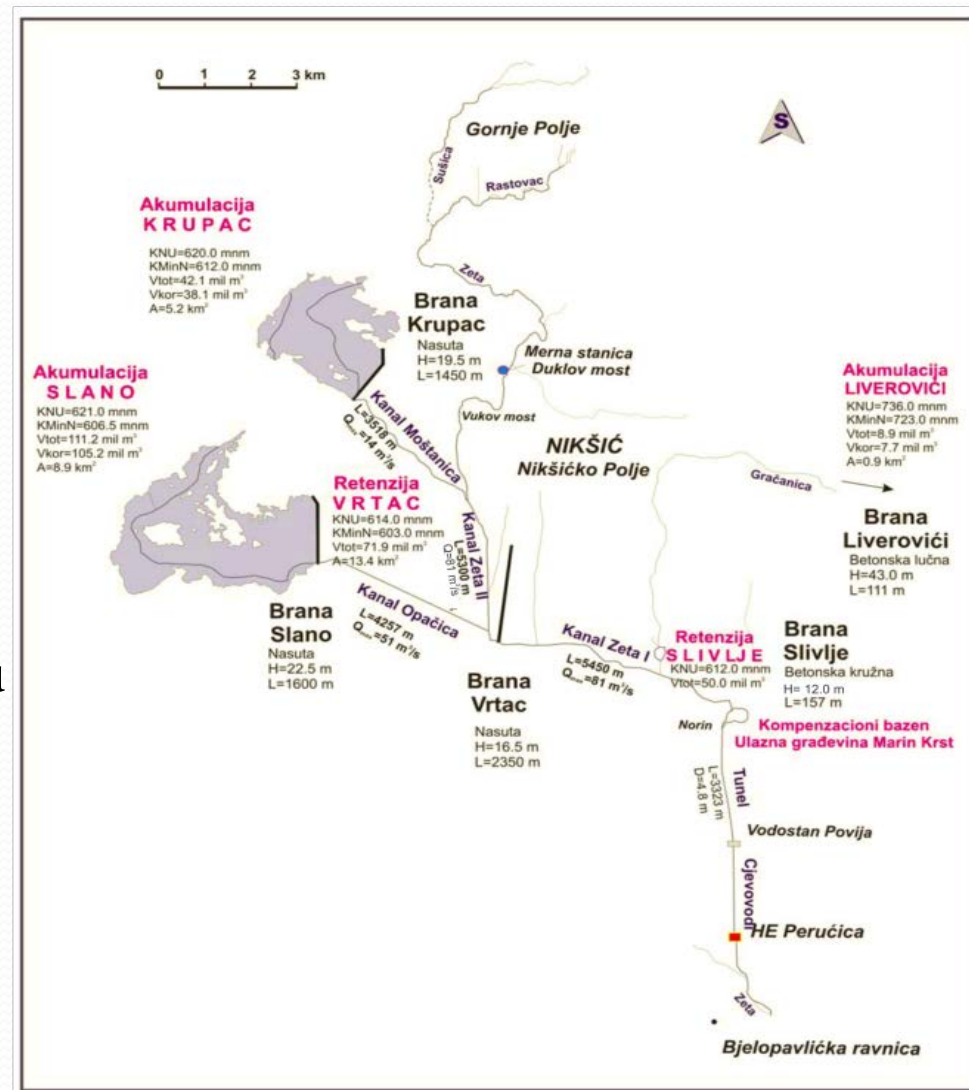
Elektroprivreda Crne Gore (EPCG)

Generatori: 5 X 38 MW, 2 X 58.5 MW

Početak rada: 1960

T/G : Litostrj, Koncar

HE "Perućica" je najstarija velika hidroelektrana u Crnoj Gori, puštena u pogon 1960. godine. Nazvana je po vrelu Perućica, koje izvire u blizini hidroelektrane. Njena instalisana snaga je 307 MW, a moguća godišnja proizvodnja oko 1.300 GWh.



Akumulacija Krupac

- Nastala izgradnjom nasute brane na Moštanici, visine 19,5 m, dužine 1480m
- Korisna zapremina 38 miliona m³

Brana Krupac

- Za izravnanje i akumulisanje voda Moštanice
- Nasuta brana obložena sleganim kamenom

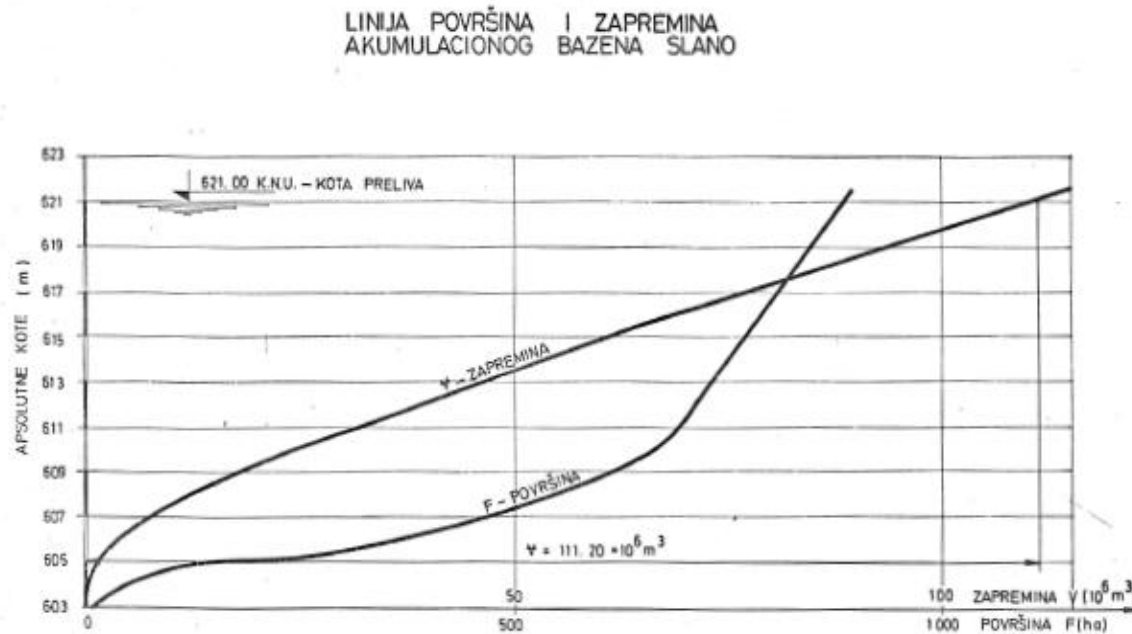
Karakteristike:

- | | |
|---------------------------|------------|
| • Dužina brane | 1480 m |
| • Kota krune brane | 622,00 mnm |
| • Kota normalnog uspora | 620,00 mnm |
| • Kota maksimalnog uspora | 621,20 mnm |
| • Kota okolnog terena | 605,00 mnm |
| • Visina od temelja | 19,50 m |
| • Širina krune brane | 4,50 m |
| • Širina krune jezgra | 2,50 m |



Akumulacija Slano

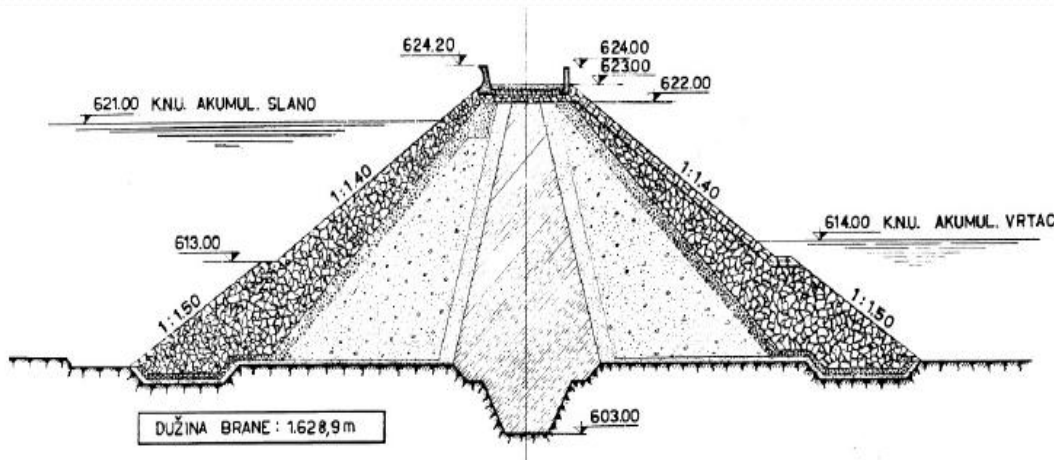
- Nastala izgradnjom nasute brane “Slano”, visine 21,2 m i dužine 1630 m
- Zapremina basena od oko 117 miliona m³



Brana Slano

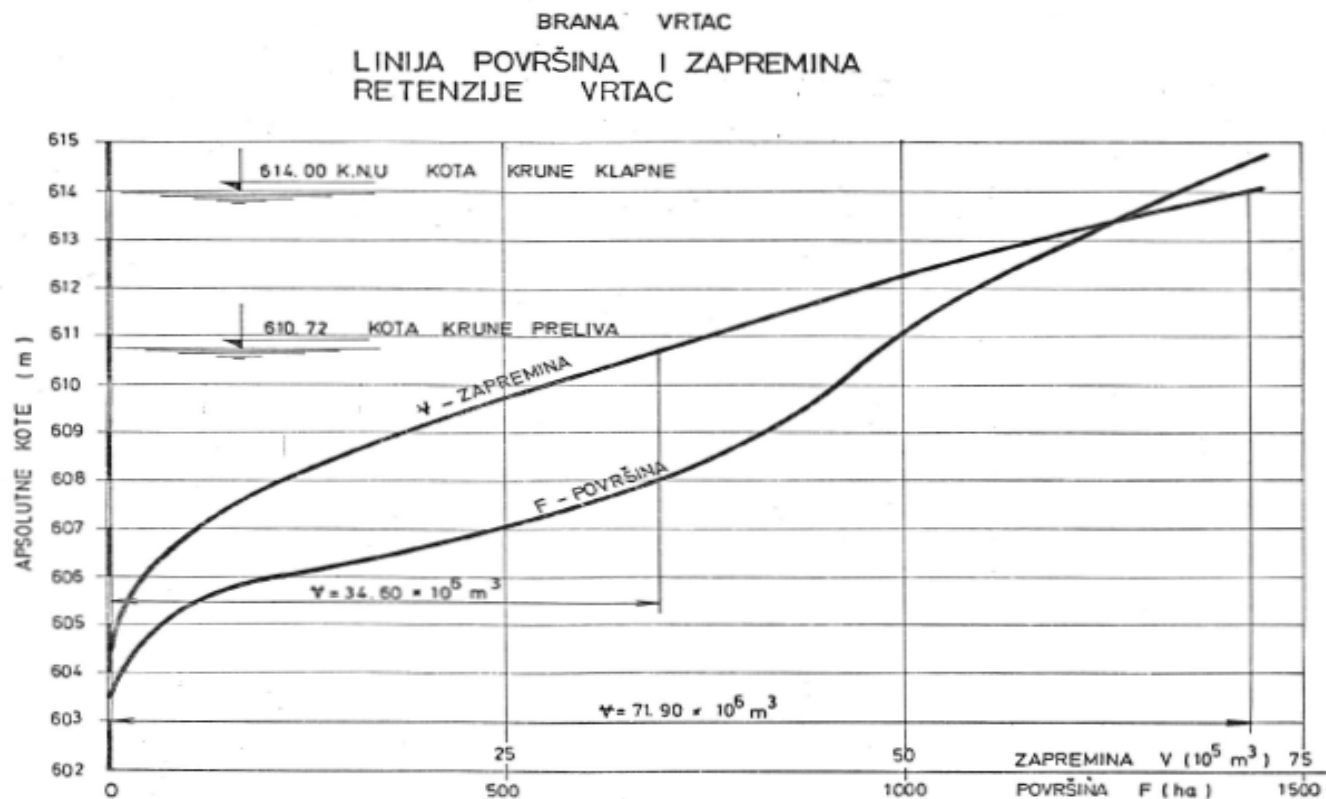
Karakteristike brane:

- Kota krune valobrana 624,20 mnm
- Kota krune brane 623,00 mnm
- Kota max. uspora 622,00 mnm
- Kota normalnog uspora 621,00 mnm
- Kota terena 603,50 mnm
- Širina krune brane 6,00 m
- Širina stope brane 65,03 m
- Zapremina brane 691,481 m³
- Dužina brane 1628,90 m
- Visina 21,20 m



Retenzija Vrtac

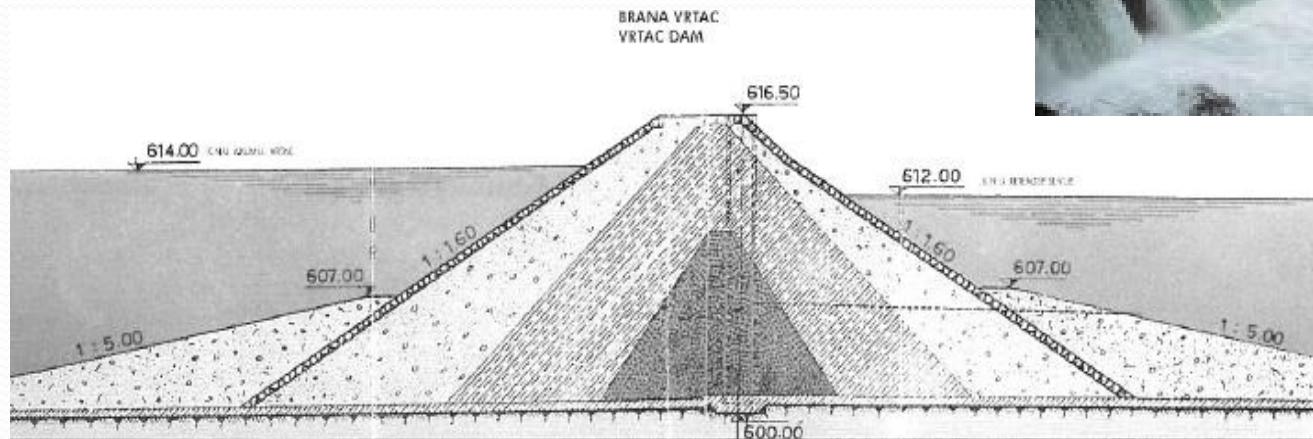
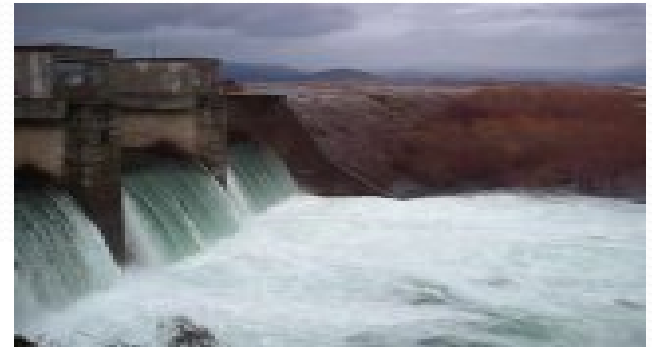
- Formirana izgradnjom brane Vrtac, dužine 2386 m i visine 16 m
- Ostvaruje se zapremina 72 miliona m^3



Brana Vrtac

Karakteristike brane:

- Dužina brane 2383 m
- Kota krune brane 616,50 mnm
- Kota normalnog uspora 614,00 mnm
- Kota max. uspora 614,00 mnm
- Visina od temelja 17,00 m
- Visina od površine terena 12,00 m
- Širina krune 5,5 i 11,5 m
- Širina stope brane 60 m
- Prosječna visina brane 9,00 m



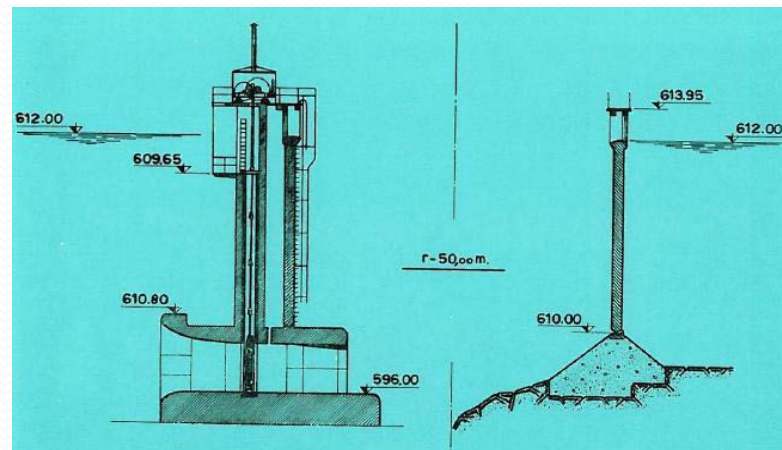
Retenzija Slivlje

- Nastala izgradnjom betonskog cilindra, prečnika 50 m i visine 12 m
- Ostvaruje se zapremina 50 miliona m³

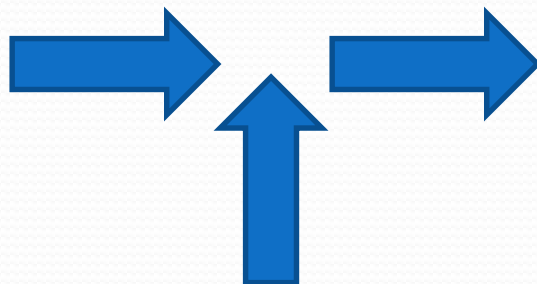


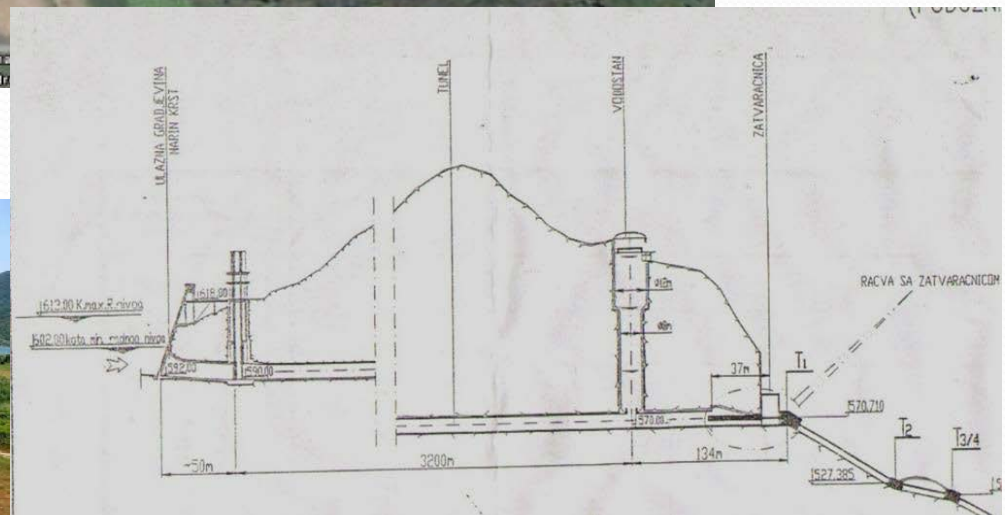
Betonski cilindar

- Visina 12,0 m, debljina zida 60 cm
- Armiran od kote 600 do 602,40 mm
- Ispust sa mehaničkim uređajem za zatvaranje

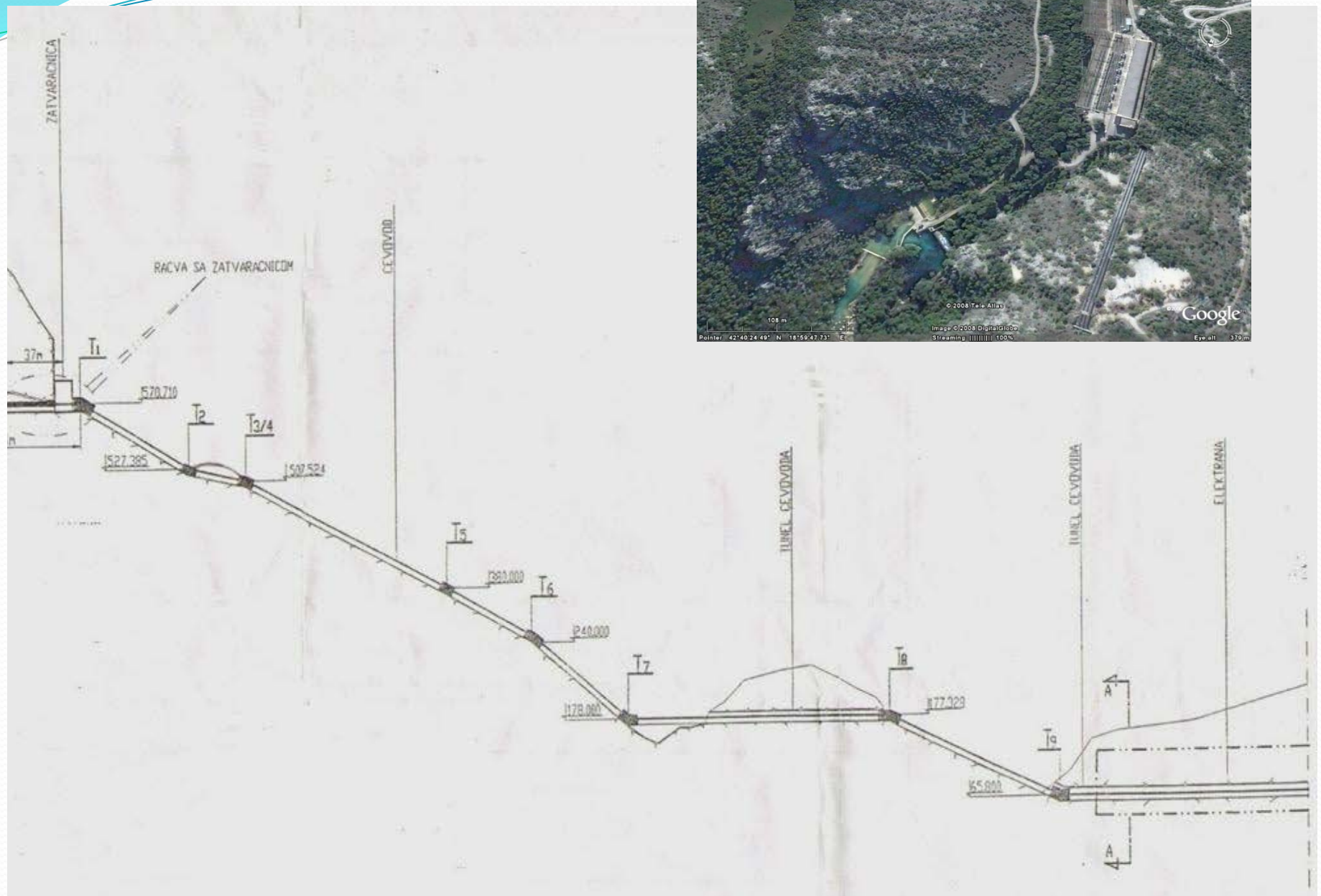


Kanali, taložnica, kompenzacioni bazen i dovodni tunel sa ulaznom građevinom

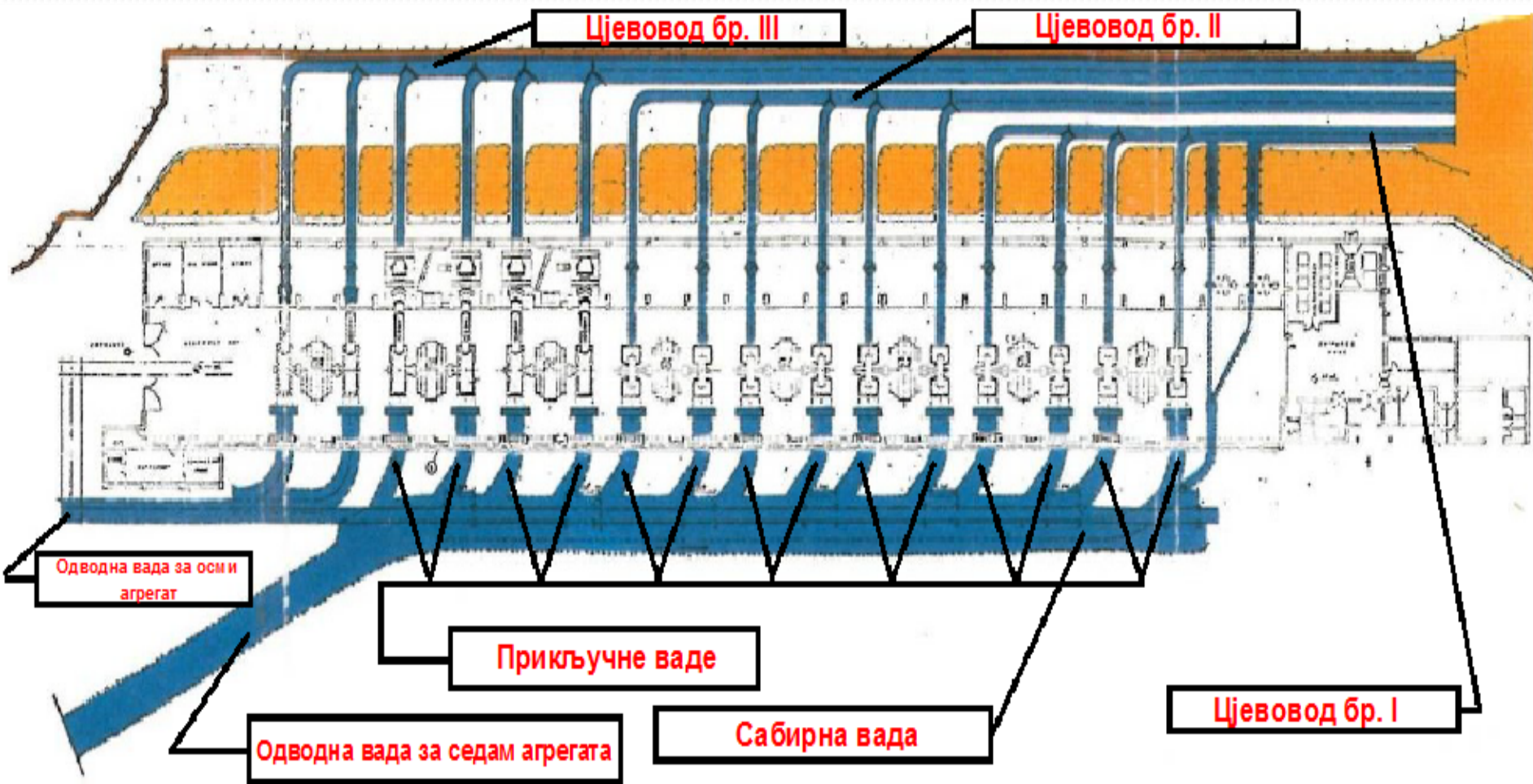




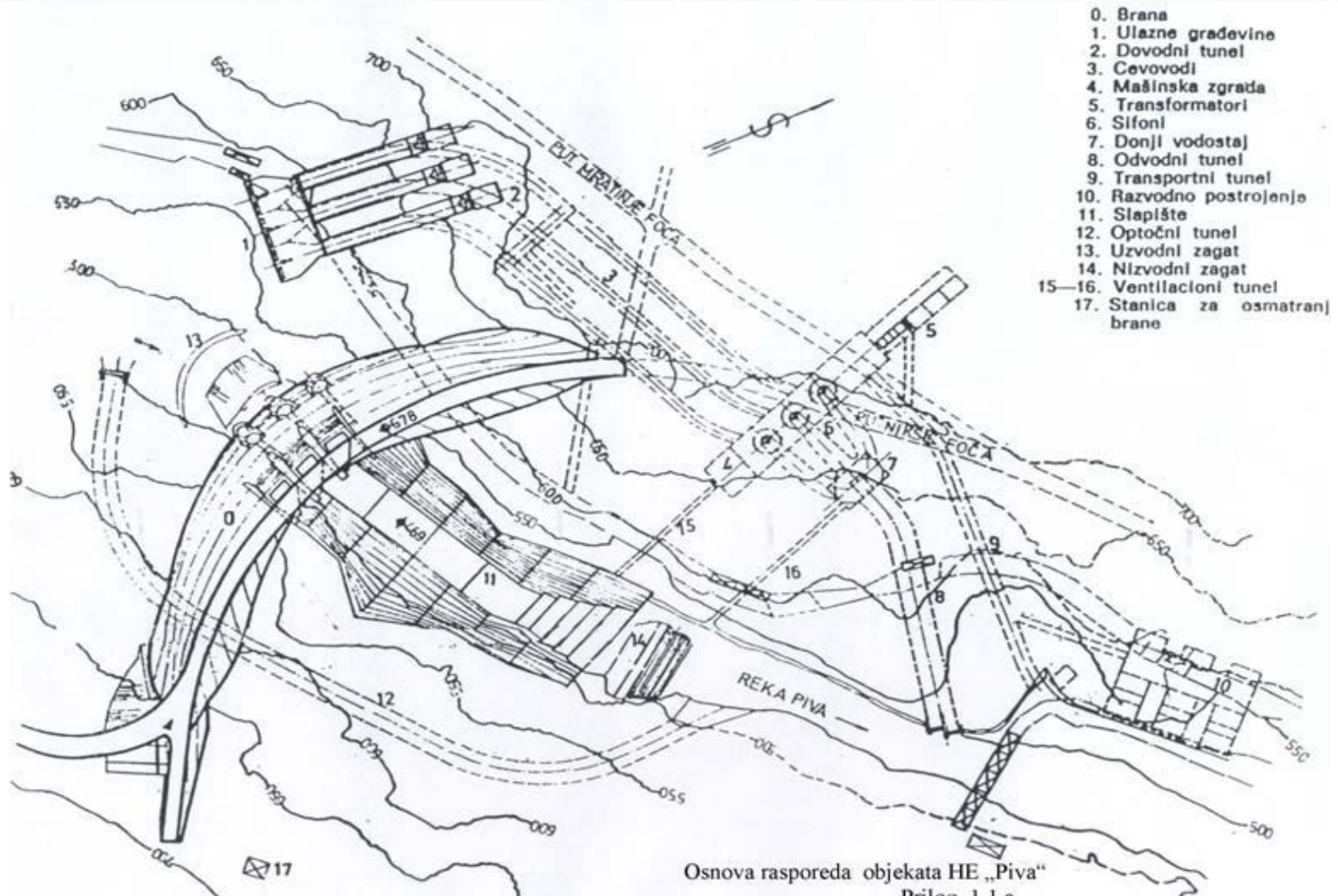
Cjevovod







HE "Mratinje"



HE Piva

Elektroprivreda Crne Gore (EPCG)

Generatori: 3 X 114 MW Francis

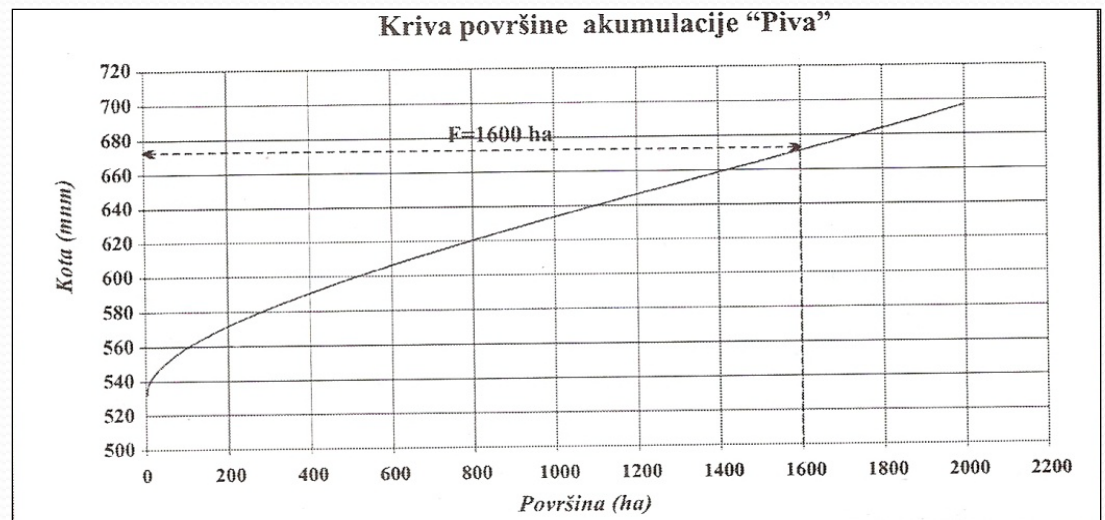
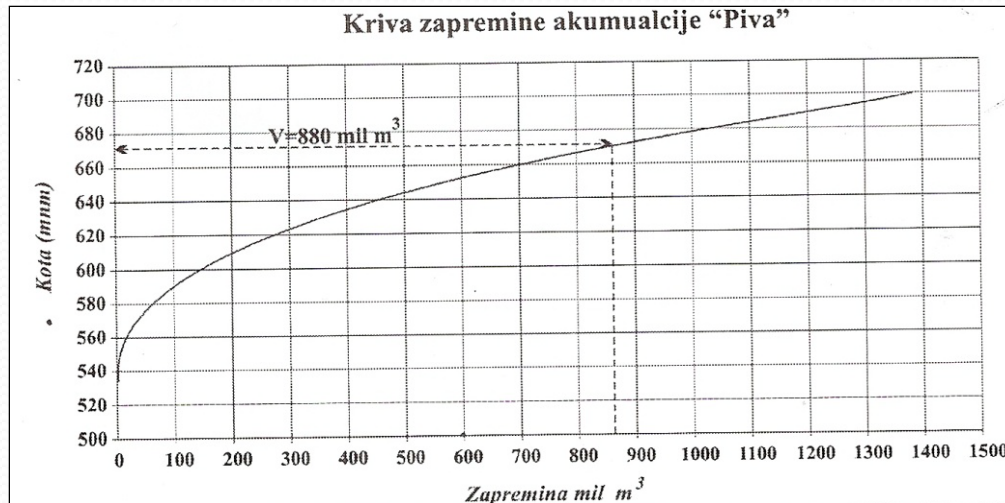
Početak rada: 1976

T/G : Litostrj, Koncar

HE "Piva", akumulaciono pribransko postrojenje sa jednom od najvećih betonskih lučnih brana u svijetu, u pogonu je od 1976. godine. Njena osnovna djelatnost je proizvodnja električne energije u vršnom režimu rada, jer ima mogućnost brzog startovanja i sinhronizacije na dalekovodnu mrežu 220 kV. Smještena je u planinskom masivu na sjeverozapadu Crne Gore. Zbog specifičnih topografskih karakteristika terena kompletno postrojenje urađeno je ispod površine zemlje.

Akumulacija Piva

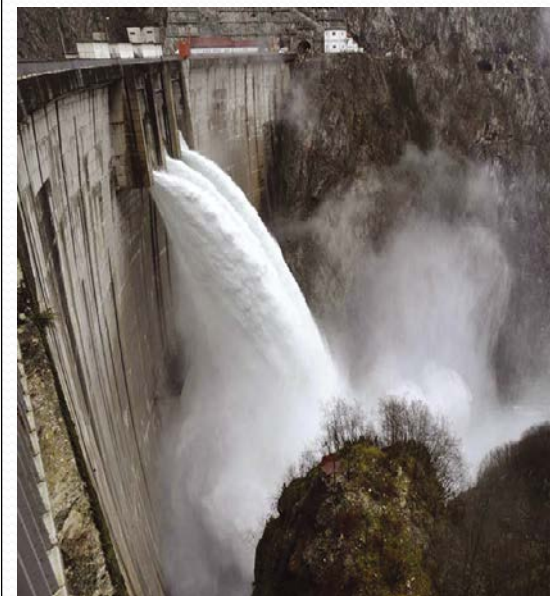
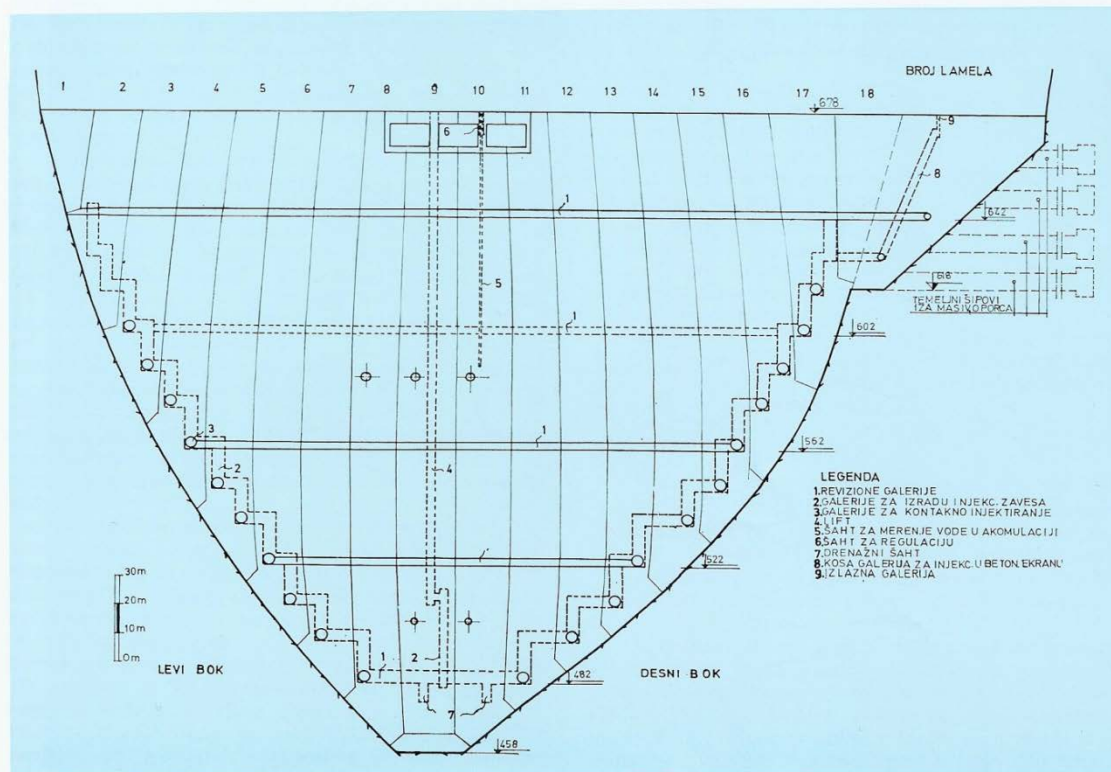
- Nastala izgradnjom lučne brane na rijeci Pivi, visine 220 m i dužine 268,5 m
- Korisna zapremina je 790 miliona m^3

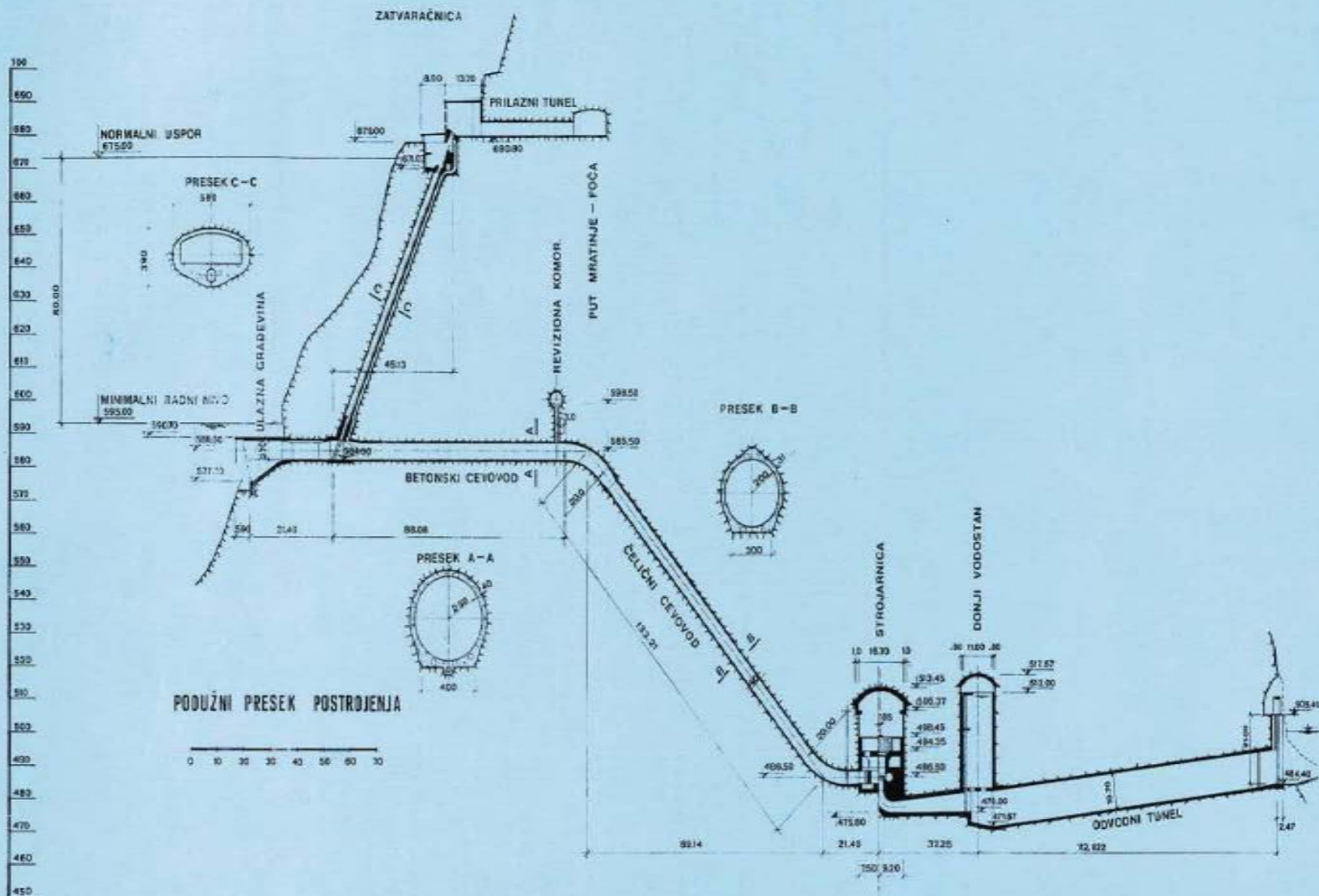


Brana "Mratinje"

Karakteristike brane:

- Konstruktivna visina 220,0 m
- Hidraulička visina 190,0m
- Dužina u kruni brane 268,56 m
- Kota krune brane 678,00 m
- Debljina u kruni brane 4,50 m
- Debljina u dnu brane 36,0 m







Prednosti hidroelektrana

Smanjena emisija gasova staklene bašte

- Ključna prednost obnovljivih izvora energije, je smanjena ili u potpunosti eliminisana emisija gasova staklene bašte.
- Emisija gasova staklene bašte je u potpunosti eliminisana, ako se isključivo posmatra samo proces proizvodnje električne energije.
- Ne može se reći za celu hidroelektranu, kao sistem sačinjen od brane, turbine, generatora i akumulacionog jezera.
- Studija koja je sprovedena u saradnji Paul Scherrer Institut-a i univerziteta u Stuttgartu pokazala je da su, među svim izvorima energije, hidroelektrane najmanji proizvođači gasova staklene bašte.
- Ta studija je rađena za klimatske prilike u Evropi te se može primeniti i na područja Severne Amerike i Severne Azije.

ekonomija

- Velika prednost je što ne koriste fosilna goriva kao pokretač turbine, odnosno električnog generatora.
- Time električna energija nastala u hidroelektranama postaje rentabilnija, nezavisna o ceni i ponudi fosilnih goriva na tržištu.
- Hidroelektrane imaju predviđen duži životni vek nego elektrane na fosilna goriva.
- Danas moderne hidroelektrane zahtevaju vrlo mali broj osoblja, zbog velikog nivoa automatizacije.
- Cena investicije u izgradnju hidroelektrane se povrati u razdoblju do desetak godina.

Druge funkcije jezera

- Akumulacijska jezera hidroelektrana mogu osim svoje primarne funkcije imati još nekoliko pozitivnih aspekata.
- Svojom veličinom mogu privlačiti turiste i na njihovoj površini mogu se odvijati razni vodeni sportovi.
- Velike brane mogu igrati značajnu ulogu u navodnjavanju i regulaciji toka rijeka.



Mane hidroelektrana

Uništavanje ekosistema i gubitak zemlje

- Urušavanje brane može dovesti do velikih katastrofa za ceo ekosistem nizvodno od brane.
- Sam kvalitet gradnje, konstrukcija i održavanje brane nije dovoljna garancija da je brana osigurana od oštećivanja.
- Brane su vrlo primamljiv cilj tokom vojnih operacija, terorističkih činova i tome sličnih situacija.
- Brane predstavljaju prepreke za migraciju riba.
- Uzroci migracija su višestruki (traženje hrane, traženje mesta za prezimljavanje, traženje prostora za razmnožavanje)
- To uzrokuje smanjenje populacija pa čak i nestanak migracionih vrsta.

Hidroelektrana 'tri klanca' u Kini

- Takođe jedan primer koji svedoči o opasnosti ljudskih životima je hidroelektrana Tri klanca u Kini.
- Hidroelektrana se nalazi na rijeci Jangce, to je najveća kineska rijeka i shodno tome je i rijeka najbogatija vodom, što opravdava izgradnju hidroelektrane na njoj.
- Međutim, vodeni bazen, tj. hidro akumulacijsko jezero te brane, je toliko veliko da svojom težinom opterećuje zemljinu koru.
- Ako se uzme u obzir da je to područje geološki nestabilno, tj. da se nalazi na spoju litosfernih ploča, jasno je da postoji opravdani rizik od potresa.
- Dok naučnici strahuju od potresa i urušavanja brane, političari tvrde da takav rizik ne postoji.

Nanosi mulja

- rijeka svojim tokom nosi vodeni materijal u obliku peska i mulja.
- To sa vremenom dovodi do taloženja toga materijala u vodenom bazenu, a posledica toga je smanjivanje dubine vodenog bazena.
- Zahvaljujući tome, vodeni bazen gubi svoju ulogu.
- Uloga bazena je akumulacija vodene mase tokom kišnih razdoblja, a korišćenja iste tokom suvih razdoblja godine.
- To se može izbeći gradnjom raznoraznih kanala koji imaju ulogu premošćavanja, da preusmere sedimentalne materije.
- Rezultat je da svaka hidroelektrana ima svoj životni vek, nakon kojeg postaje neekonomična.

Promena okoline

- Uočeni, negativni, aspekti prilikom gradnje brana je nužnost uništavanja ljudskih, kulturnih i prirodnih dobara.
- Prilikom punjenja hidro akumulacijskog jezera dolazi do nužnog potapanja svega onoga što se našlo ispod površine samoga jezera.
- Fauna toga područja je primorana na preseljenje, kao i ljudi.
- Što se flore tiče, situacija je malo drugačija, prvenstveno u tropskim područjima.

Preseljenje ljudi i nesreće sa branama

- Do 2008. se procenjuje da je kod gradnji hidroelektrana preseljeno sveukupno između 40 do 80 miliona ljudi širom sveta.
- Nesreće sa branama mogu biti jedne od najvećih katastrofa .
- Nesreća na brani Banqiao u Kini, odnela je 26 000 ljudskih života i oko 145 000 od epidemije.
- Nesreća na brani Vajont u Italiji, odnela je oko 2 000 ljudskih života 1963.