

ENERGETSKI SUSTAVI TRANSFORMACIJA ENERGIJE VODE HIDROELEKTRANE

PODJELA PRIMARNIH OBLIKA ENERGIJE PREMA OBNOVLJIVOSTI I KONVENCIONALNOSTI TRANSFORMACIJE

Oblik primarne energije	Neobnovljiv	Obnovljiv	Konvencionalan	Nekonvencionalan
Ugljen	×		×	
Sirova nafta	×		×	
Prirodni plin	×		×	
Nuklearno fisijsko gorivo	×		×	
Ogrjevno drvo		×	×	
Vodne snage (energije) (velike HE)		×	×	
Vodne snage (energije) (male HE)		×		×
Geotermalni izvori		×		×
Biomasa i otpad		×		×
Vjetar		×		×
Sunčeva energija		×		×
Toplina okoline		×		×
Plima i oseka		×		×
Morski valovi		×		×
Nuklearno fuzijsko gorivo		×		×

- ☐ vodna energija spada u obnovljive izvore energije ali zbog nove EU strategije 20,20,20 samo novoizgrađene hidroelektrane imaju status **obnovljiv energetske sustav**.
- ☐ velike vodne snage spadaju u **konvencionalne** sustave
- ☐ male vodne snage spadaju u **nekonvencionalne** sustave

VODNA ENERGIJA I HIDROELEKTRANE

Energija položaja vode obnovljiva je zahvaljujući Sunčevoj energiji koja omogućuje kruženja vode u atmosferi.

Hidroelektrane su energetske sustavi u kojima se potencijalna energija vode pomoću vodne turbine transformira u mehaničku (*kinetičku*) energiju, koja se u električnom generatoru koristi za transformaciju u električnu energiju.

Vodna energija ekonomski je najisplativiji i najznačajniji obnovljivi izvor energije.

VODNA ENERGIJA I HIDROELEKTRANE

Početna financijska ulaganja su najveća po jedinici snage (EUR/MW).

Radni vijek hidroelektrana često premašuje 100 godina, i to u pravilu bez značajnijih naknadnih ulaganja. Kod svih drugih energetske sustava prosječni radni vijek u pravilu ne premašuje 30 godina.

Korištenje vodne energije može u pojedinim slučajevima imati za posljedicu znatan negativan utjecaj na okoliš.

VODNA ENERGIJA I OKOLIŠ

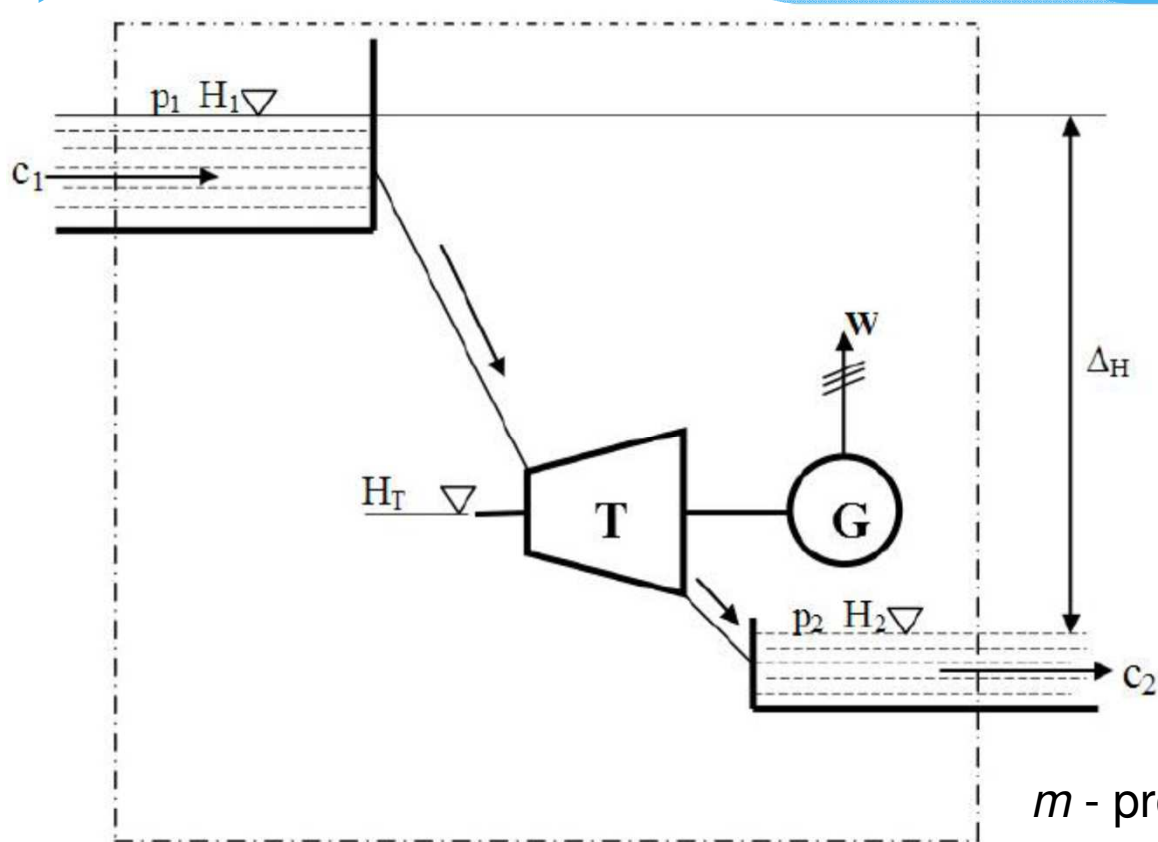
Konvencionalnost vodne energije kao i utjecaj na okoliš različiti su kod velikih i malih hidroelektrana.

Konačnu iskoristivost vodnih energija određuju ekološki, ekonomski i društveni faktori (*promjena mikroklima, flore i faune, iseljavanje ljudi i potapljanje velikih površina...*)

Hidroelektrane čine preko 50% ukupnih kapaciteta za dobivanje električne energije u Hrvatskoj.

Udio instaliranih kapaciteta ne predstavlja ujedno i udio transformacije električne energije zbog hidroloških prilika u pojedinim razdobljima.

PROTOK VODE KROZ ENERGETSKI SUSTAV - HIDROELEKTRANU



m - protok mase vode kg/s

ρ - gustoda vode kg/m³

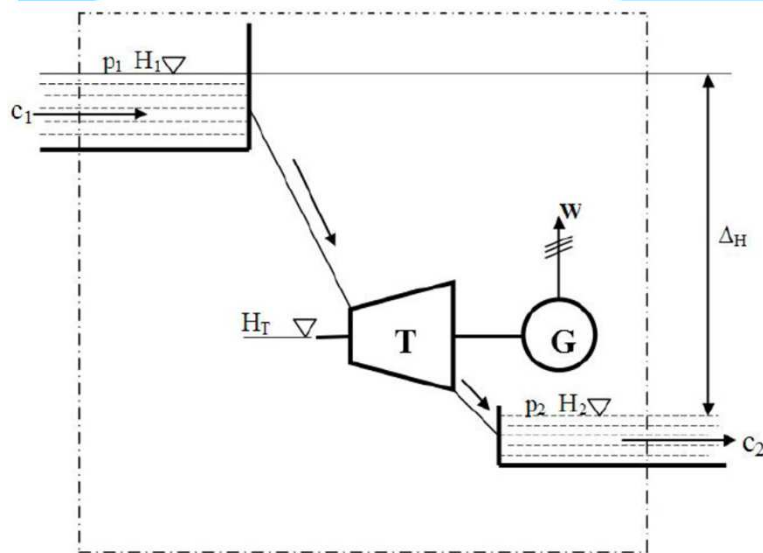
p - tlak zraka na površini vode N/m²

T - temperatura vode K

H - razina vode m

c - brzina vode m/s

PROTOK VODE KROZ ENERGETSKI SUSTAV - HIDROELEKTRANU



Za prikazani sustav može se pretpostaviti da je:

$$T_1 = T_2$$

$$p_1 = p_2$$

$$u_1 = u_2$$

Uz zanemarivanje gubitaka strujanja, primjenom zakona očuvanja energije za poznati maseni protok vode dobije se izraz za snagu koju masa tekućine ima na ulazu u turbinu:

$$P = \left(\dot{m} \frac{C_1^2}{2} + \dot{m} g H_1 \right) - \left(\dot{m} \frac{C_2^2}{2} + \dot{m} g H_2 \right) = \dot{m} \left[\frac{1}{2} (C_1^2 - C_2^2) + g (H_1 - H_2) \right]$$

Ako su srednje brzine strujanja na ulazu i izlazu jednake prethodni izraz prelazi u oblik:

$$P = \dot{m} \cdot g (H_1 - H_2) = \dot{m} \cdot g \cdot \Delta H \quad [\text{W}]$$

PROTOK VODE KROZ ENERGETSKI SUSTAV - HIDROELEKTRANU

Maseni protok može se izraziti kao produkt volumskog protoka Q u m^3/s i gustoće ρ u kg/m^3 , te se dobije izraz za snagu mase tekućine na ulazu u turbinu:

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta H \cdot \eta \quad [\text{W}]$$

Raspoloživa snaga na vratilu turbine manja je od snage vode na ulazu u turbinu za iznos gubitaka koji nastaju uslijed strujanja tekućine (vode) kroz turbinu. Omjer snage P_T dobivene na vratilu turbine i snage vode P na ulazu u turbinu predstavlja stupanj učinkovitosti energetske transformacije:

$$\eta = \frac{P_T}{P}$$

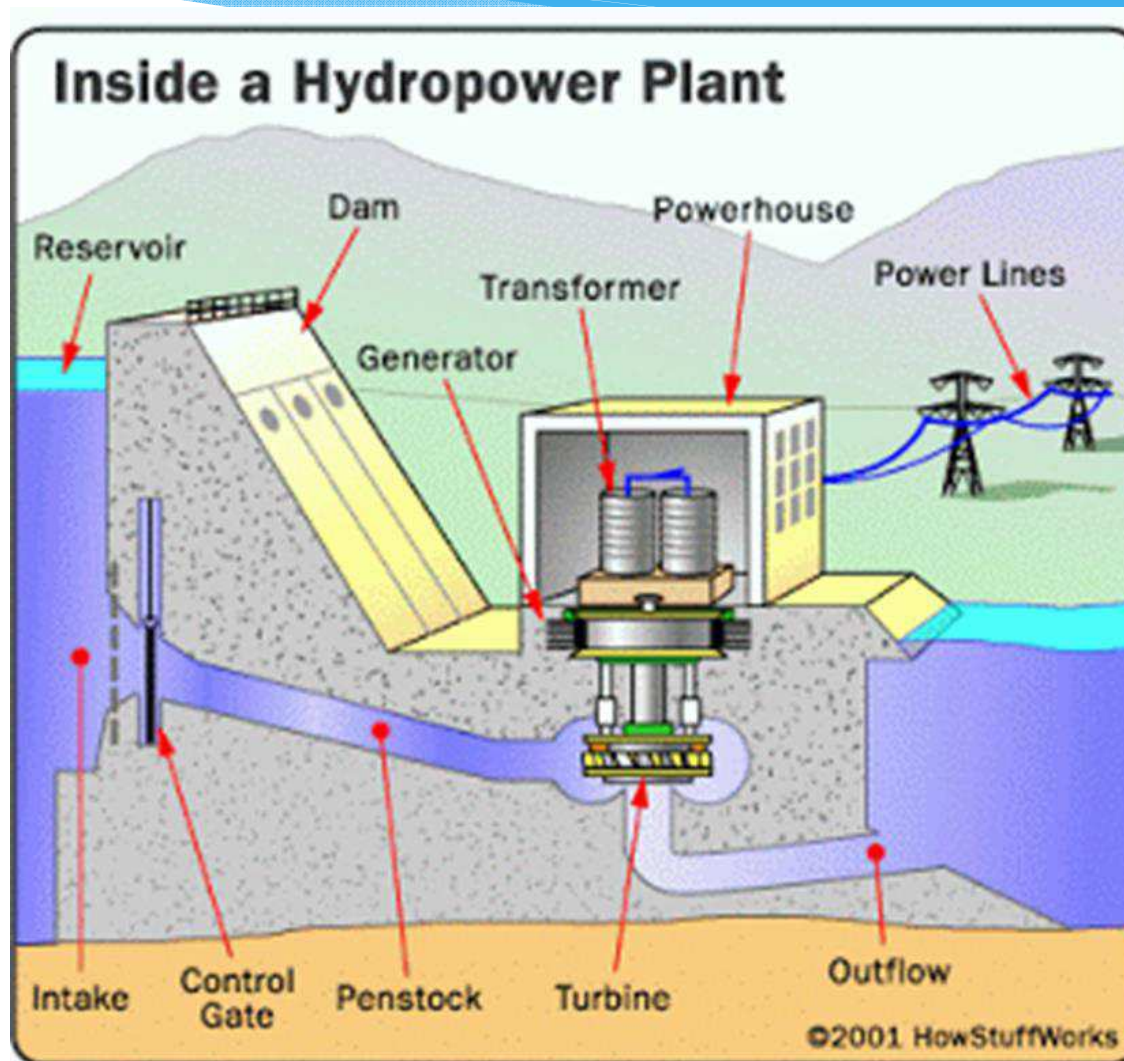
Stupanj učinkovitosti vodnih turbina nalazi se u granicama od 0,75 do 0,95.

Raspoloživa snaga na vratilu turbine je:

$$P_T = \dot{m} \cdot g \cdot \Delta H = Q \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta H \cdot \eta \quad [\text{W}]$$

Da bi snaga turbine bila izražena u kW potrebno je prethodni izraz podijeliti s 1000, a za snagu u MW s 1000000.

PROTOK VODE KROZ ENERGETSKI SUSTAV - HIDROELEKTRANU



Izvor: <http://www.threeohsevenphysics.blogspot.com/>

PREDNOSTI ENERGETSKG SUSTAVA - HIDROELEKTRANE

Hidroelektrane – energetski sustavi u kojima se potencijalna energija vode transformira u mehaničku (*kinetičku*) energiju pomoću vodne turbine, a zatim se preko električnog generatora transformira u električnu energiju.

Iskorištavanje potencijalne i kinetičke energije vode ekonomski je na duži rok prihvatljivije od proizvodnje električne energije iz fosilnih i nuklearnog goriva, zato je danas „novo korištena” hidroenergija najznačajniji obnovljivi izvor energije.

PREDNOSTI ENERGETSKG SUSTAVA - HIDROELEKTRANE

- ❑ Nema troškova goriva (*kao ni rizika promjene cijena goriva*)
- ❑ Nema emisija štetnih tvari u okoliš
- ❑ Puštanje u pogon vrlo je brzo, te se koristi za pokrivanje dnevnih vršnih opterećenja elektroenergetskog sustava
- ❑ Mogu brzo nadomjestiti prekid u radu ili smanjenje proizvodnje iz obnovljivih izvora (*kao što su vjetroelettrane i sunčane elektrane*)
- ❑ Imaju veliku učinkovitost u transformaciji energije (do 90% energije vode transformira se u električnu energiju)
- ❑ Pregradnjom rijeka i izgradnjom akumulacijskih hidroelektrana lokalno se doprinosi gospodarskom rastu (*navodnjavanja, vodoopskrba, turizam,...*)

NEDOSTACI ENERGETSKG SUSTAVA - HIDROELEKTRANE

Moguća promjena lokalne klime radi izgradnje akumulacija vode za akumulacijske hidroelektrane što nije slučaj kod gradnje protočnih hidroelektrana.

Gubitak obradivih površina uslijed namjernog naplavlivanja radi dobivanja umjetnih akumulacijskih jezera.

OGRANIČENJA ENERGETSKG SUSTAVA - HIDROELEKTRANE

Iskorištavanje vodne ili hidroenergije ima tehnička i prirodna ograničenja od kojih su najznačajnija:

- ❑ razlike geodetske visine i izdašnosti izvora ili protoka vode kroz godinu,
- ❑ radi utjecaja promjenjivog vodostaja potrebno je izgraditi brane i akumulacije,
- ❑ izgradnja brana i akumulacija znatno povećava investicijske troškove (*otpornost na potrese i sigurnosne ugroze*),
- ❑ potrebna su znatna dodatna ulaganja radi smanjenja štetnog utjecaja na okoliš, kao i u zaštitu od drugih djelovanja koja mogu ugroziti sigurnost elektrane.

OGRANIČENJA ENERGETSKG SUSTAVA - HIDROELEKTRANE

Utjecaji na okoliš dijele se na:

FIZIČKE FAKTORE: količina vode i kvaliteta površinskih voda, klimatski faktori, kvaliteta zraka, geologija i seizmologija, erozija, promjena pejzaža.

BIOLOŠKE FAKTORE: riblji fond, biljni i životinjski svijet, vodni i ekosustavi.

SOCIOEKONOMSKE FAKTORE: ljudske aktivnosti (*vodoopskrba, poljoprivreda, kontrola poplava, transportni putevi*), korištenje zemljišta, zdravstvo te arheološki i povijesni.

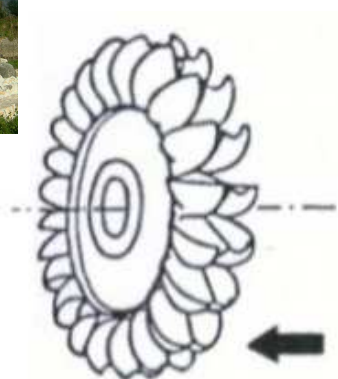
VRSTE IZVEDBI ENERGETSKG SUSTAVA - HIDROELEKTRANE

Prema protočnoj količini vode i vodnom padu kojeg mogu koristiti razlikuju se hidroelektrane s:

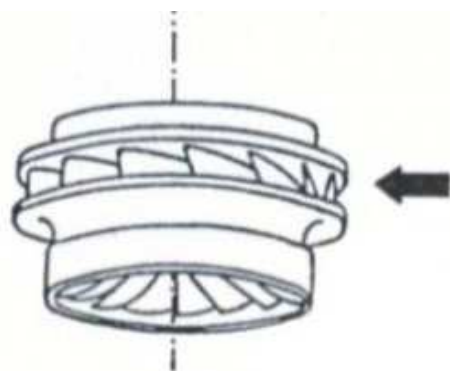
- ❑ visokim padom (od 50 do 1000 m) i relativno malom protočnom količinom vode,
- ❑ srednjim i niskim padom (od 10 do 700 m),
- ❑ niskim padom (od 1 do 80 m) i relativno velikom protočnom količinom vode.

VODNE TURBINE - HIDROELEKTRANA

Osnovne vrste vodnih turbina prema izvedbi

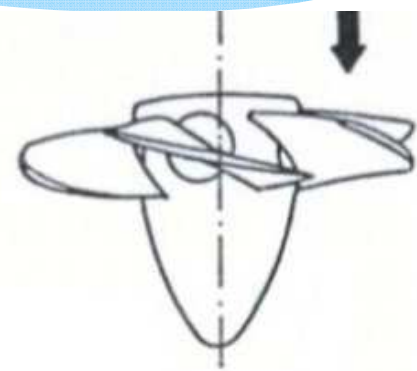


PELTONOVA
TURBINA



FRANCISOVA
TURBINA

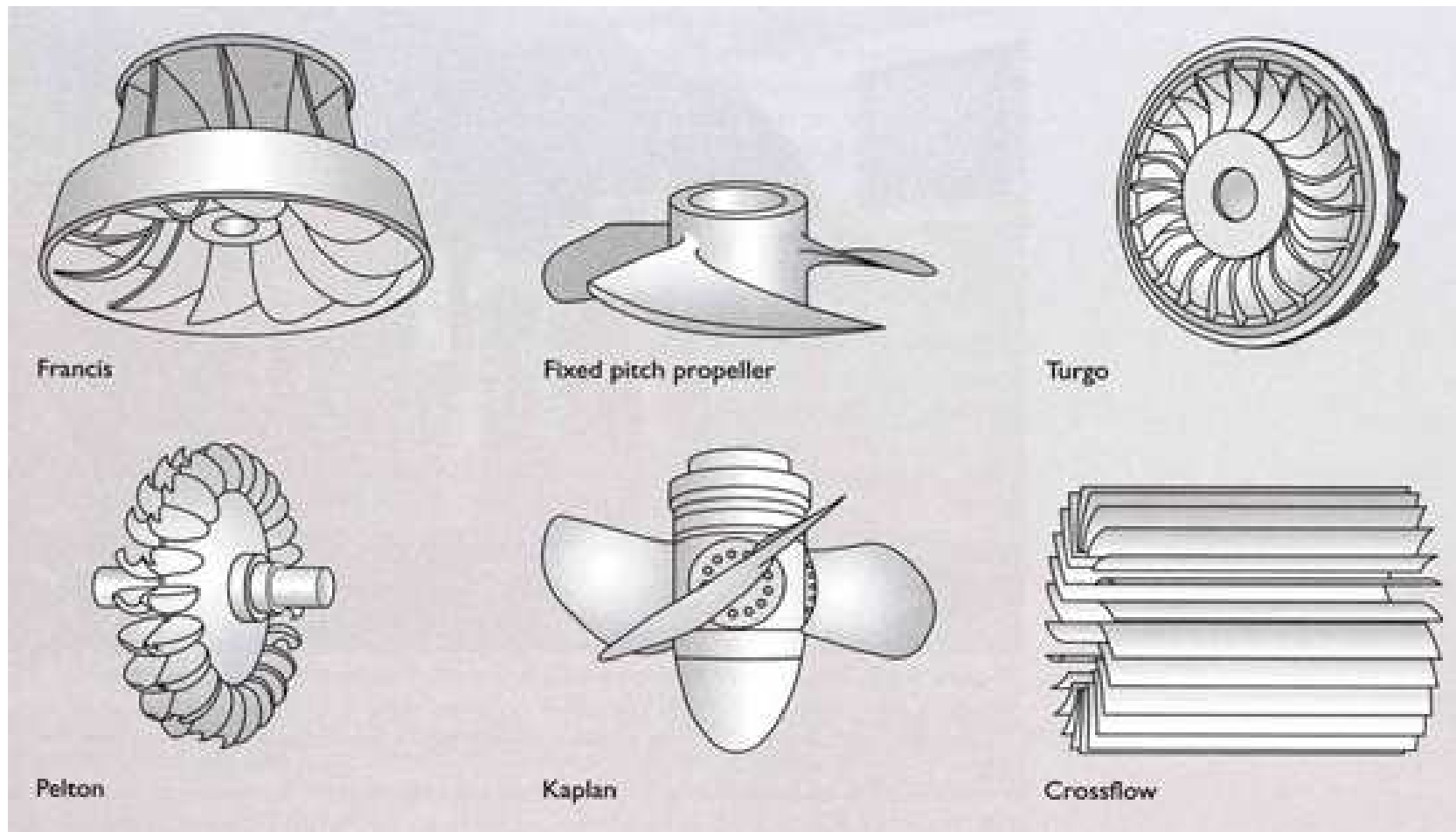
ENERGETSKI SUSTAVI



KAPLANOVA
TURBINA

VODNE TURBINE - HIDROELEKTRANA

Osnovne vrste vodnih turbina prema izvedbi

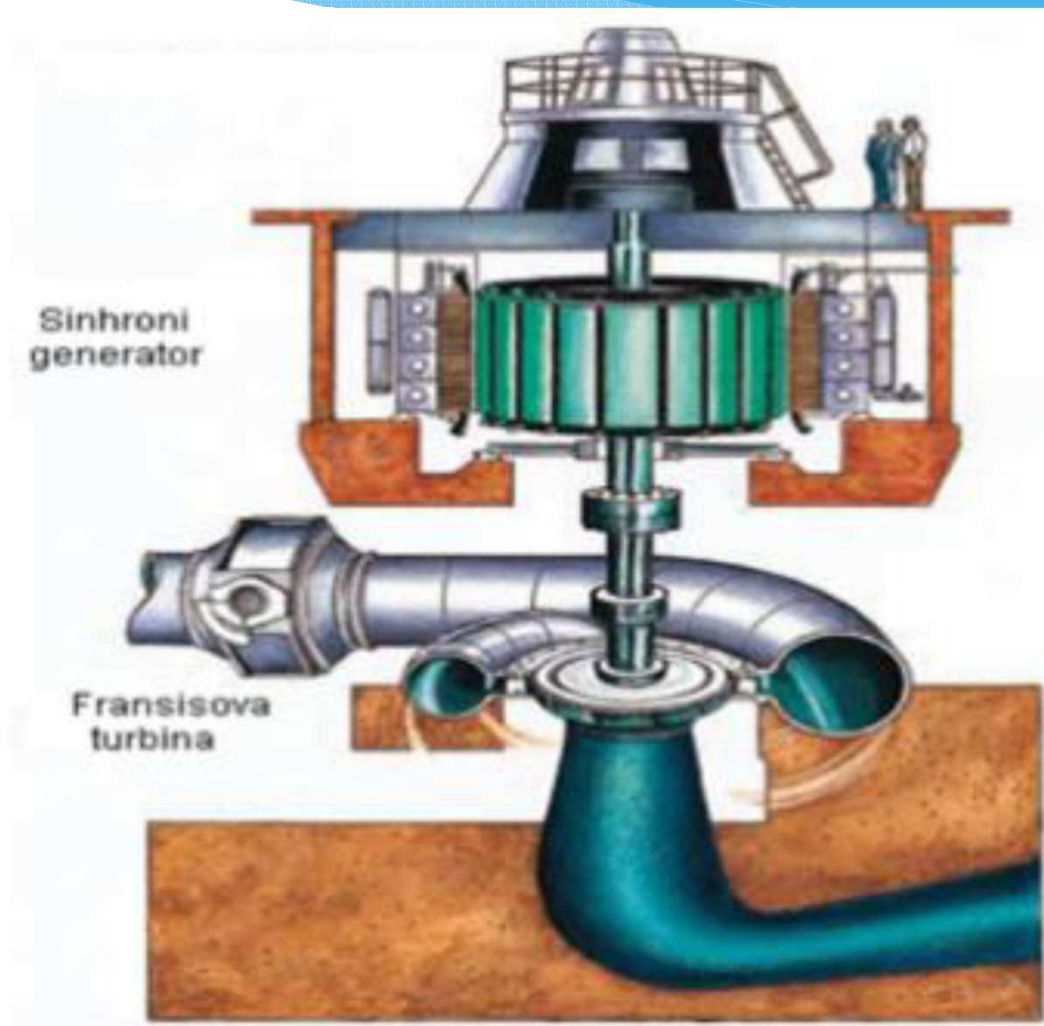


VRSTE IZVEDBI ENERGETSKG SUSTAVA - HIDROELEKTRANE



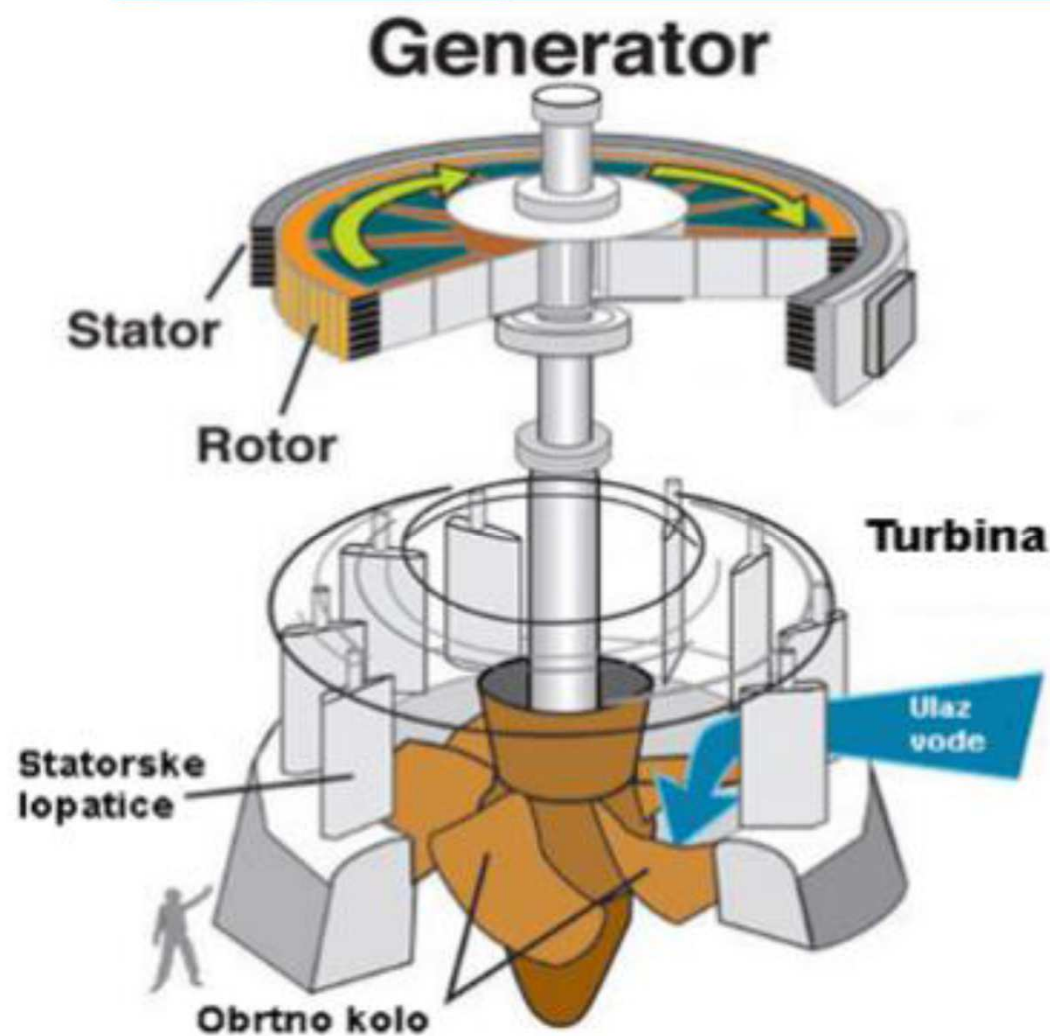
PELTON TURBINE, za padove vode (od 50 do 1000 m)
vodoravn ili uspravan položaj vratila

VRSTE IZVEDBI ENERGETSKG SUSTAVA - HIDROELEKTRANE



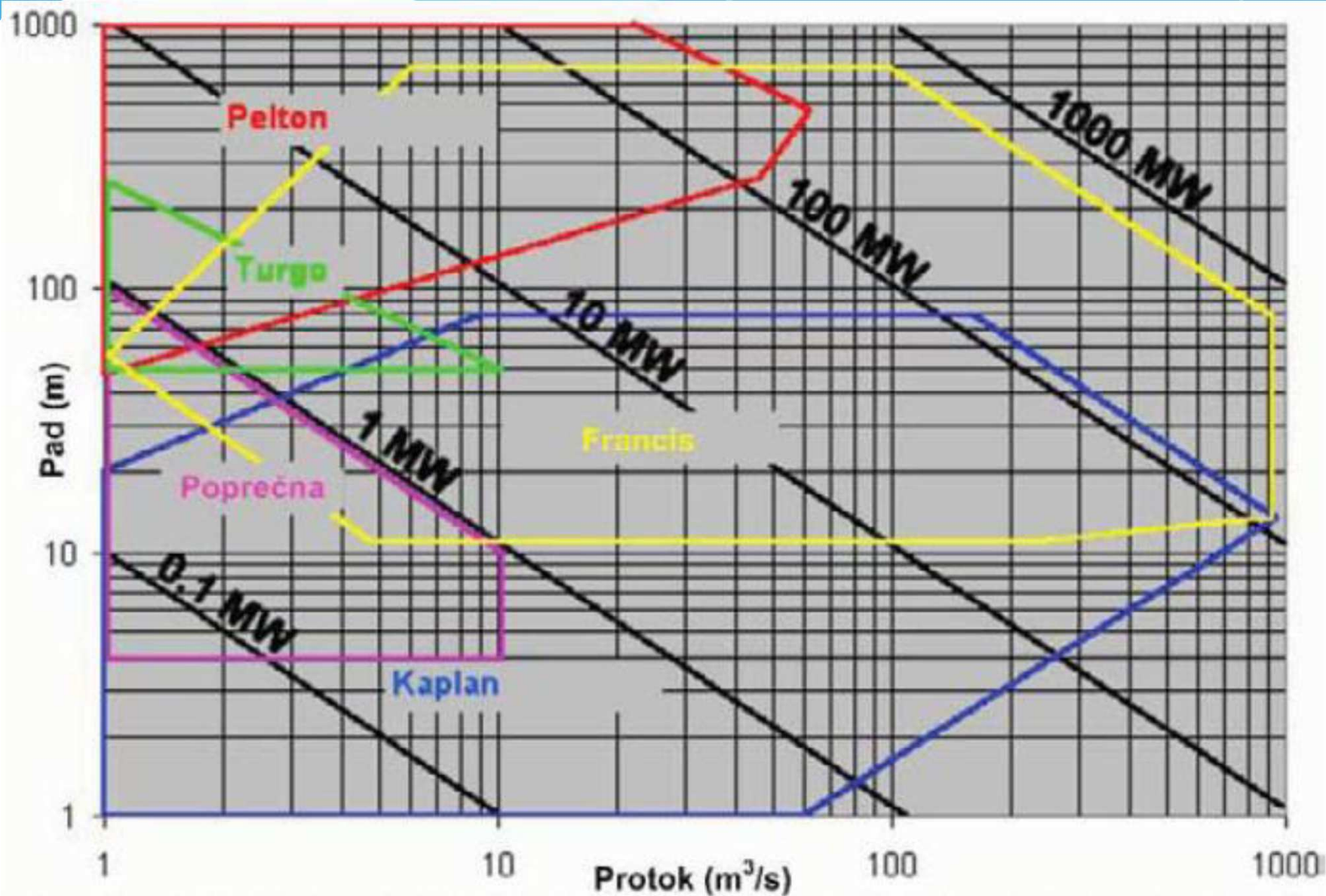
FRANCIS TURBINE, za padove vode (od 10 do 700 m)

VRSTE IZVEDBI ENERGETSKG SUSTAVA - HIDROELEKTRANE



KAPLAN TURBINE za padove vode (od 1 do 80 m)

VRSTE IZVEDBI ENERGETSKG SUSTAVA – HIDROELEKTRANE PREMA PROTOKU I PADU VODE



IZVEDBE ROTORA – PELTON TURBINE



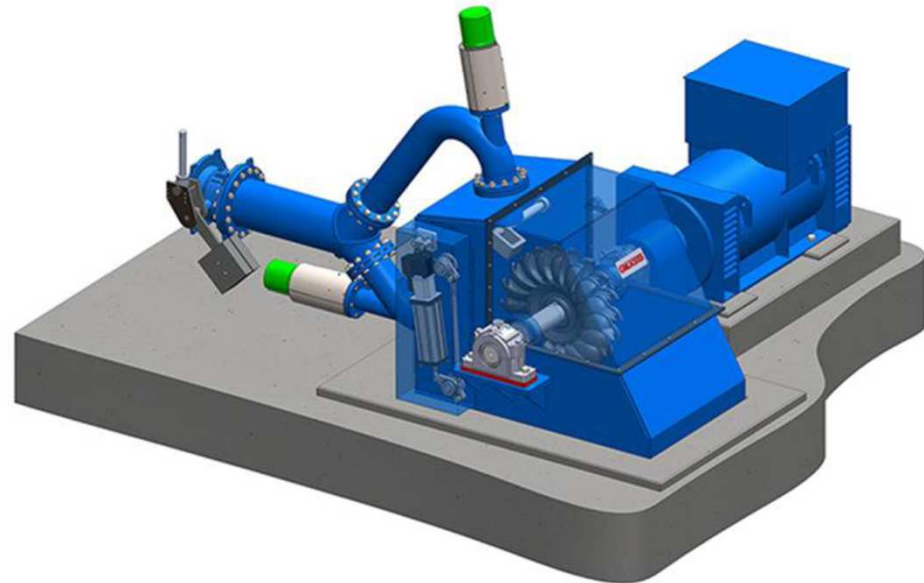
PELTON TURBINA



1. Turbine shaft manufacture



3. Runner installed



PELTON TURBINA za pad vode od 268 m pri protoku od 3396 m³/s, snaga turbine 7983 kW

CASE STUDY

YOUNGS CREEK - Washington, USA



KEY STATISTICS

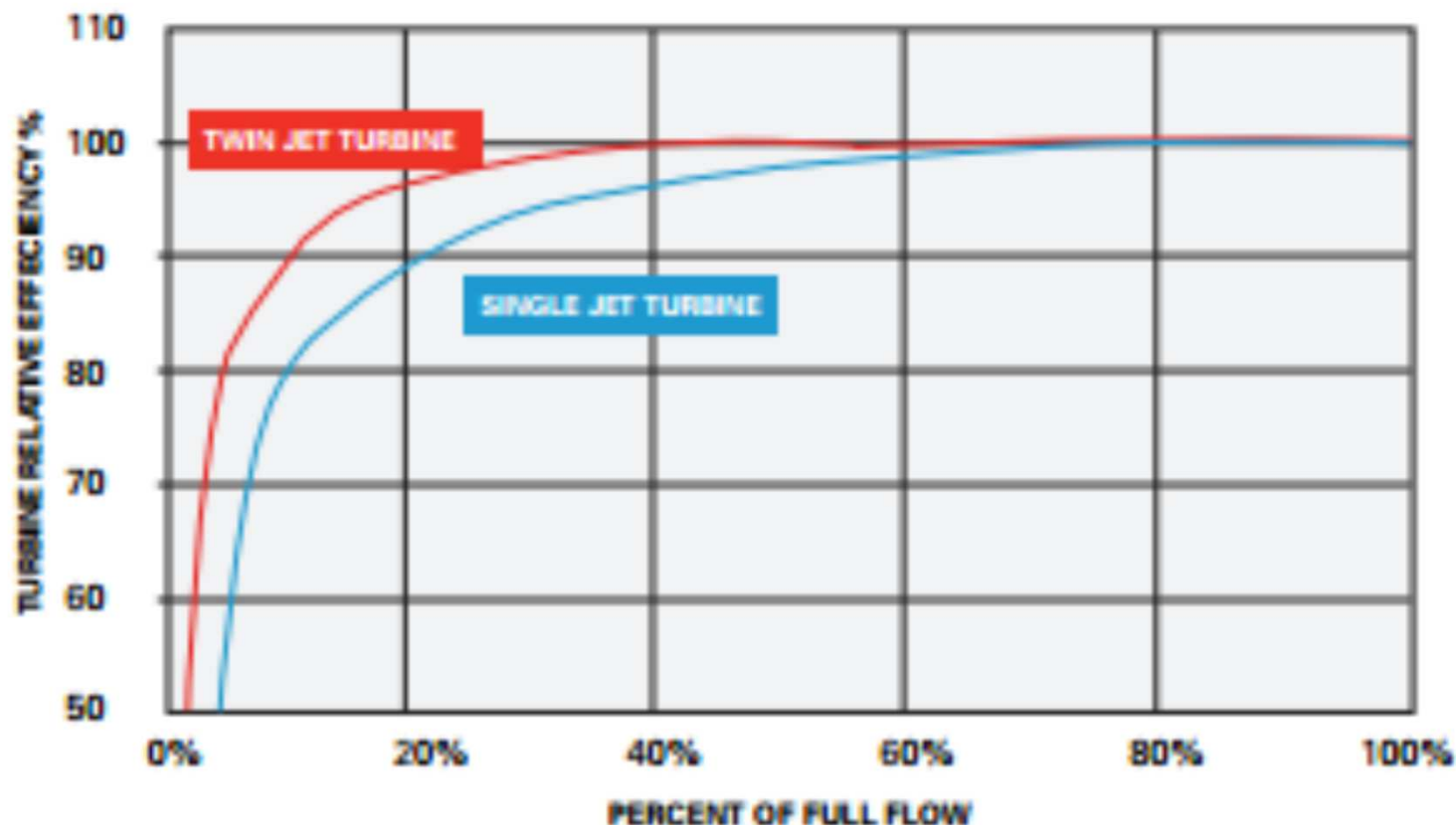
Customer: PUD NO. 1 Snohomish County, Washington
Location: Southeast of the City of Monroe, Washington USA
Head: 268m
Flow: 3.396 m³/s
Turbine type: 1850 Horizontal Twin Jet Pelton

Speed: 360rpm
Turbine power output: 7983kW
Generator output power: 7775kW

Izvor: http://gilkes.fmdev02.fatoffice.co.uk/user_uploads/youngs%20creek%20case%20study.pdf

PELTON TURBINA – stupanj korisnosti

Twin ili multi – jet Pelton turbine omogućuju povećanje raspona protoka pri kojima se ostvaruje visoka iskoristivost turbine.

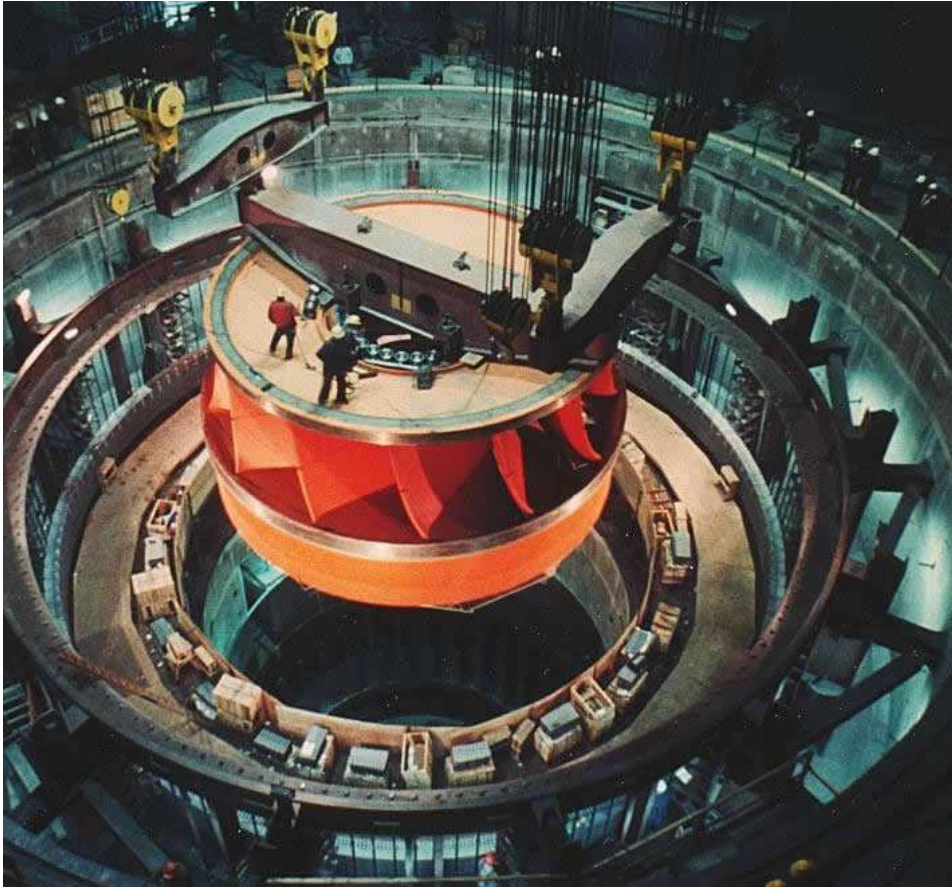


Izvor: http://gilkes.fmdev02.fatoffice.co.uk/user_uploads/youngs%20creek%20case%20study.pdf

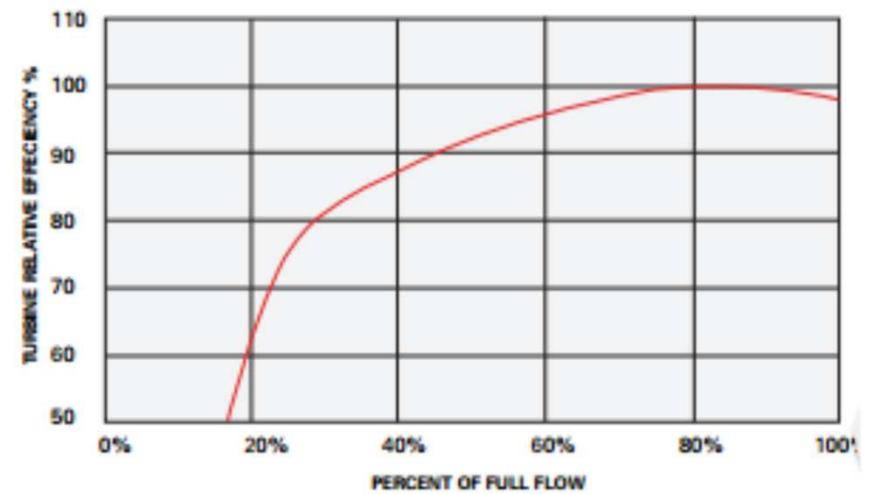
IZVEDBE ROTORA FRANCISOVE TURBINE



IZVEDBE ROTORA FRANCISOVE TURBINE

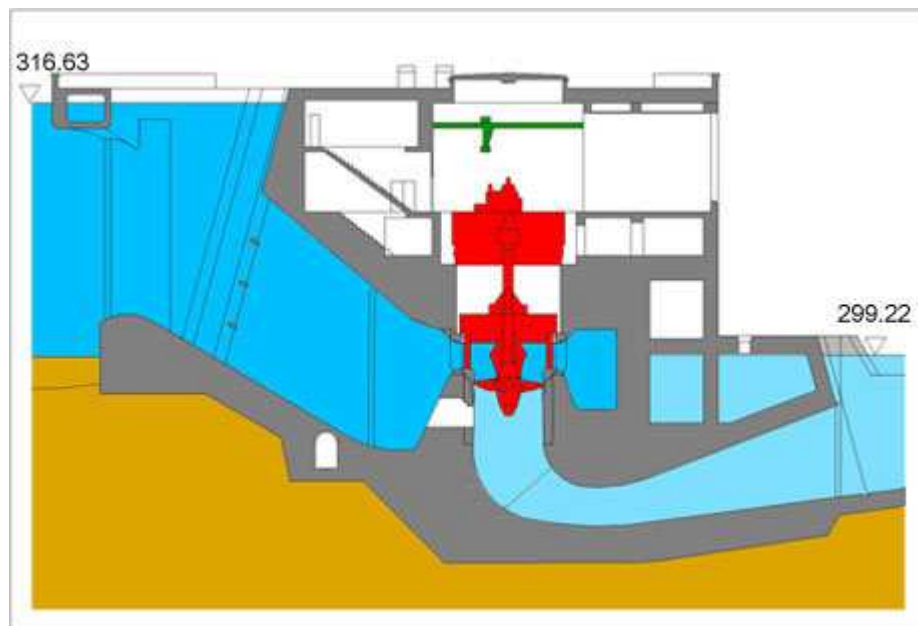
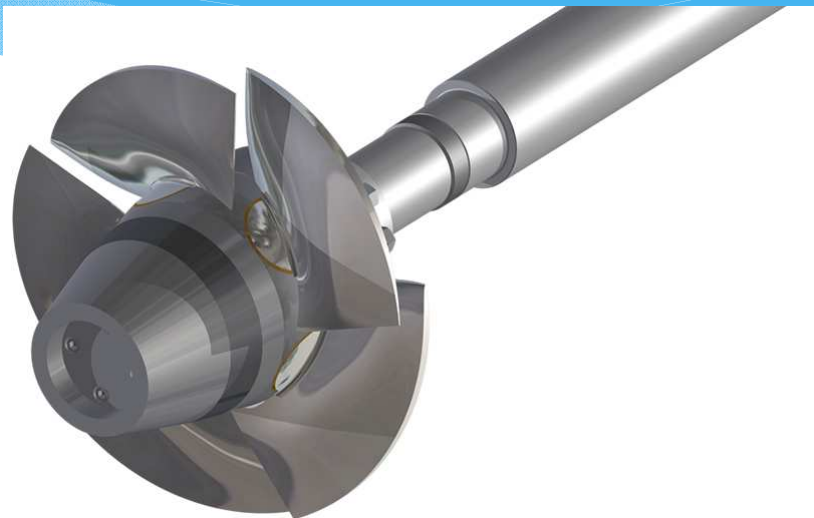
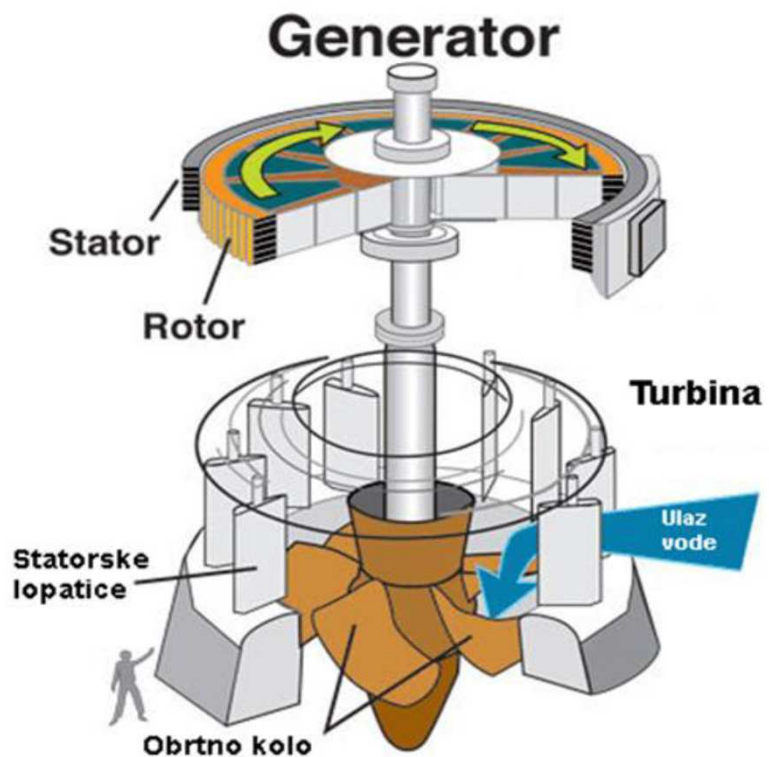


Francisova vodna turbina

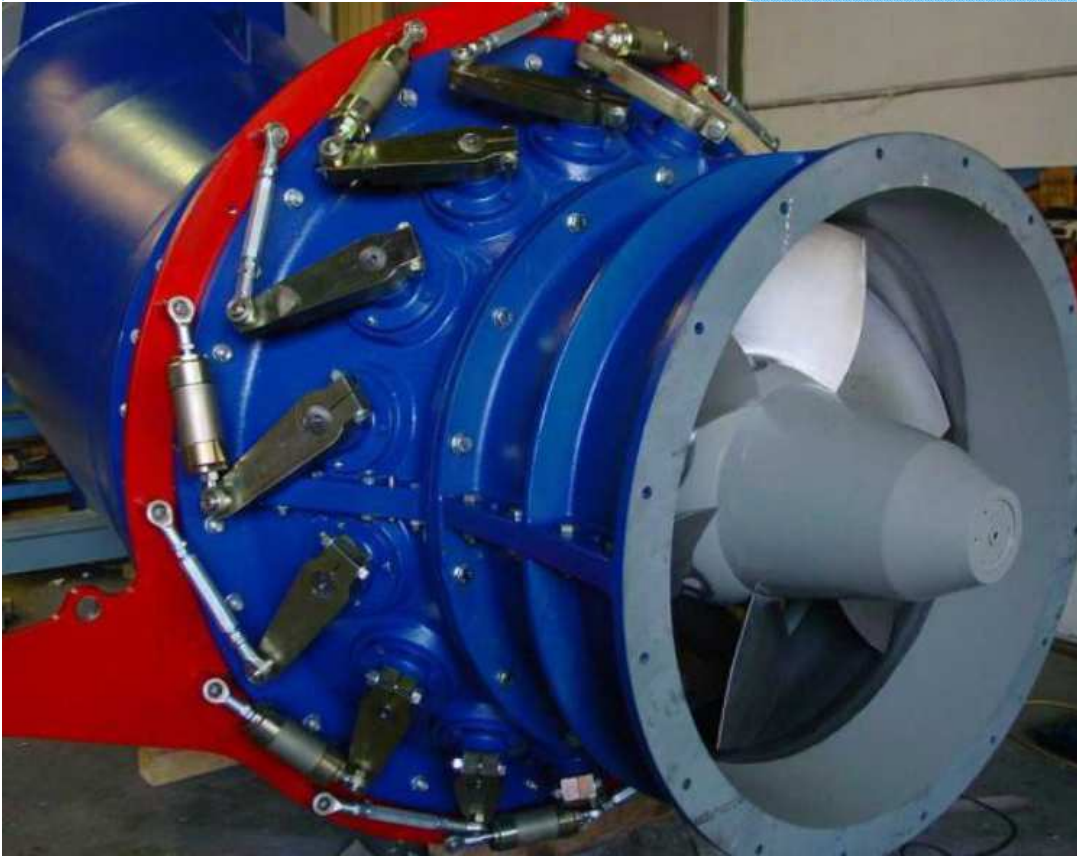


Stupanj djelovanja Francisove turbine

IZVEDBE ROTORA KAPLANOVE TURBINE



IZVEDBE KAPLANOVE TURBINE



Kaplanove turbine spadaju u skupinu reakcijskih turbina, jer se tlak mlaza vode mijenja prolaskom kroz turbinu.

Turbine s većim padom, imaju veću razliku tlakova između lopatica rotora i difuzora, tako da na lopicama rotora dolazi do pojave **kavitacije**.

KAPLANOVE TURBINE ZA PADOVE od 1 do 80 m

Kaplanove turbine se najčešće izrađuju kao propelerne turbine, no u uporabi je i nekoliko drugačijih izvedbi.

Propelerne turbine imaju nepomične lopatice rotora. Svrstavaju se u skupinu predtlačnih aksijalnih turbina. Primjenjuje se za velike protoke i male geodetske padove (*od 1-3 do 60-70 m*).

Rotor propelerne turbine sastoji se od lopatica radnog kola i glavčine rotora. Radno kolo ima 3 do 8 lopatica, pri čemu je broj lopatica veći ako je nazivni pad turbine veći.

Voda se na lopatice rotora dovodi aksijalno (*u smjeru vratila*) privodnim kolom – između pomičnih lopatica statora.

KAPLANOVE TURBINE ZA PADOVE od 1 do 80 m

Promjena protoka odnosno regulacija snage provodi se zakretanjem lopatica privodnog kola, zbog čega se mijenja i kut strujanja vode na lopatice radnog kola.

Propelerne turbine s fiksnim lopaticama nisu elastične u pogonu, pa se grade samo za manje jedinice odnosno primjenjuju se kod malih hidroelektrana.

Snage se kreću u rasponu od nekoliko stotina vata do 100 MW.

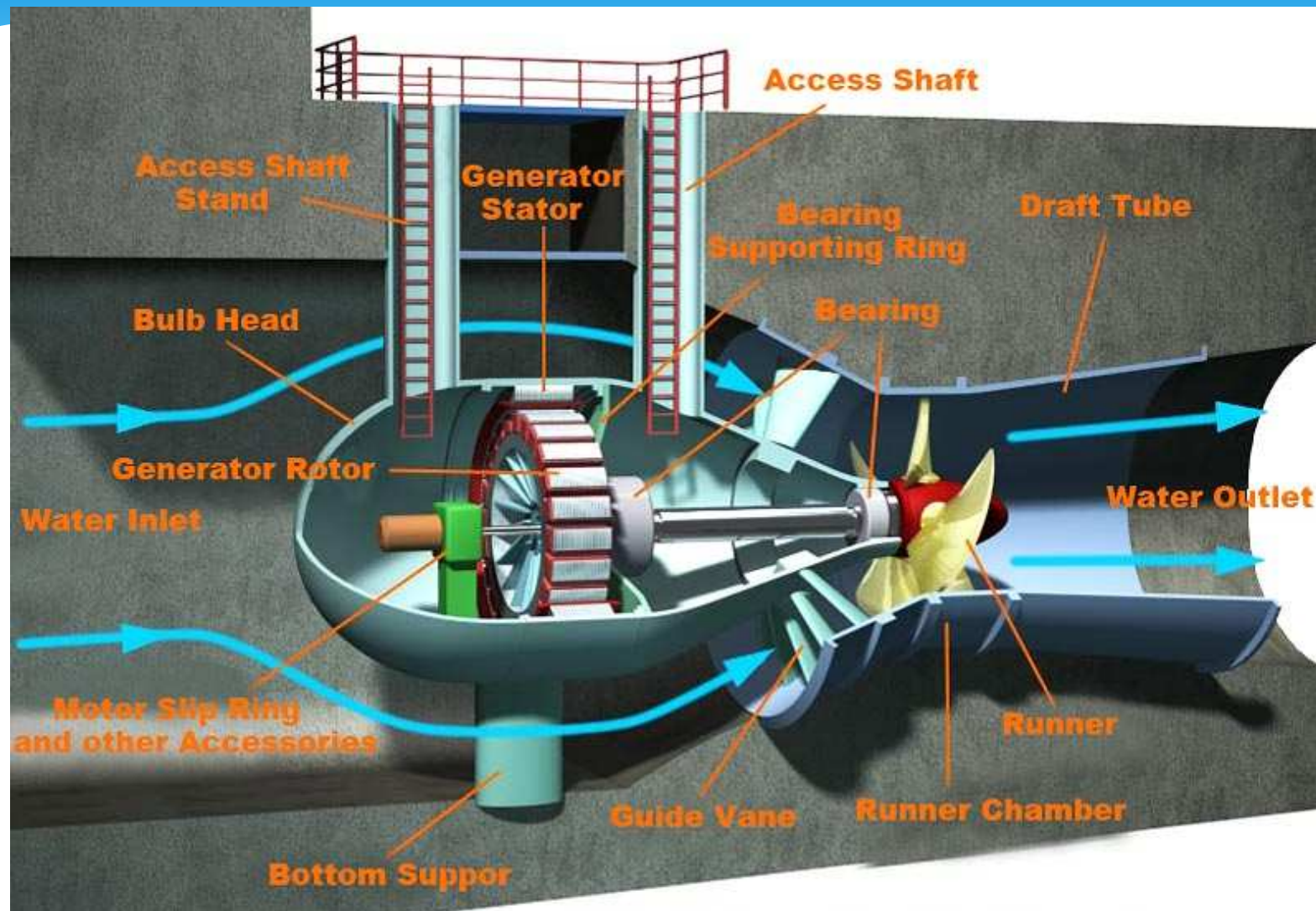
CIJEVNE TURBINE

Cijevna turbina i električni generator su u potpunosti uronjeni u protočnu cijev. Cijevne turbine se koriste pri najnižim padovima i velikim protocima, te su pogodne za primjenu na velikim protočnim rijekama. Prednost ove izvedbe turbina je što nema dobavnog aparata spiralnog tipa.

Imaju predprivodeće (*nepomične*) i privodeće (*pomične*) lopatice. Dozvoljavaju dvostruku regulaciju; zakretanjem privodećih i rotorskih lopatica, a posljedica toga je visoka korisnost u cijelom radnom području. Kod ovakvih turbina niskog pada, udio kinetičke energije s obzirom na raspoloživi pad na izlazu iz difuzora može iznositi i do 50-60%. Radi toga konstrukcija turbine treba osigurati minimalne gubitke pri strujanju, te minimalnu energiju na izlazu iz rotora. Minimalnu energiju na izlazu iz rotora osigurat će pravilna izvedba difuzora, te bezvrtložno strujanje na izlazu iz rotora (*strujanjem u smjeru osi difuzora*).

Aksijalne turbine s horizontalnom osi se koriste i za iskorištavanje energije plime i oseke. Strojevi rade s padovima od nekoliko metara, a konstrukcija strojeva omogućuje rad u oba smjera, te rad u pumpnom (*crpnom*) režimu (*reverzibilne hidroelektrane*).

Manje se jedinice izvode s električnim generatorom izvan cijevi (tzv. S izvedba ili Straflo turbine), a u većim se jedinicama generator smješta u cijev, u tzv. turbinsku krušku (eng. *Bulb turbine*).

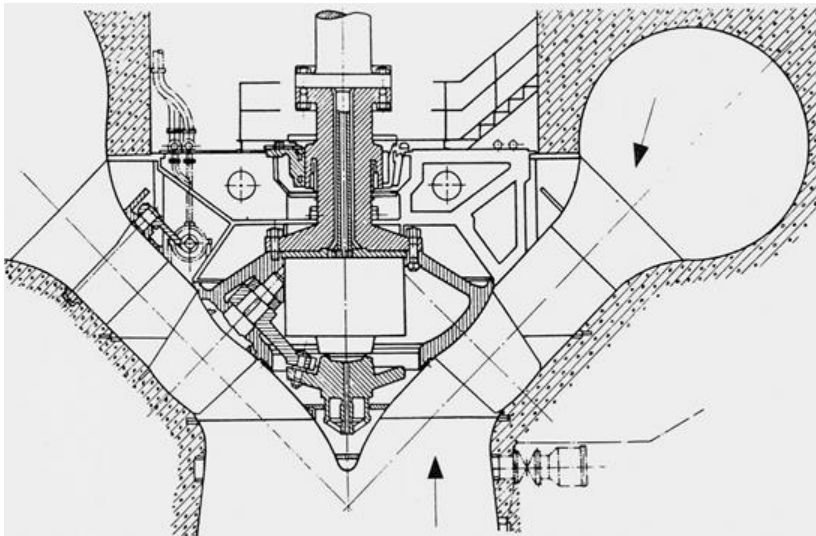


Cijevna turbina (eng. Bulb turbine)

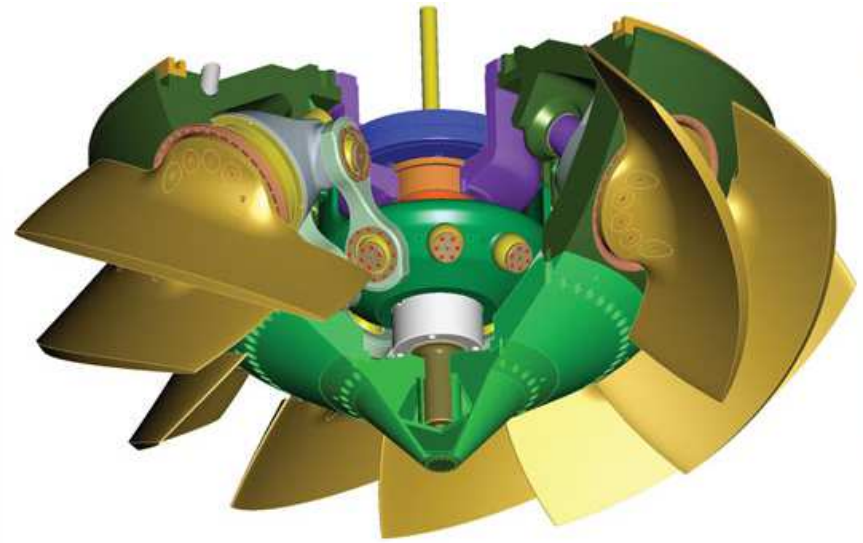
DERIAZ-ove TURBINE

Ova vrsta turbina može se koristiti i kao pumpa – primjena reverzibilne hidroelektrane.

Osim lopatica privodnog kola, kod ovih turbina regulacija se ostvaruje i zakretanjem lopatica radnog kola - moguća dvostruka regulacija.



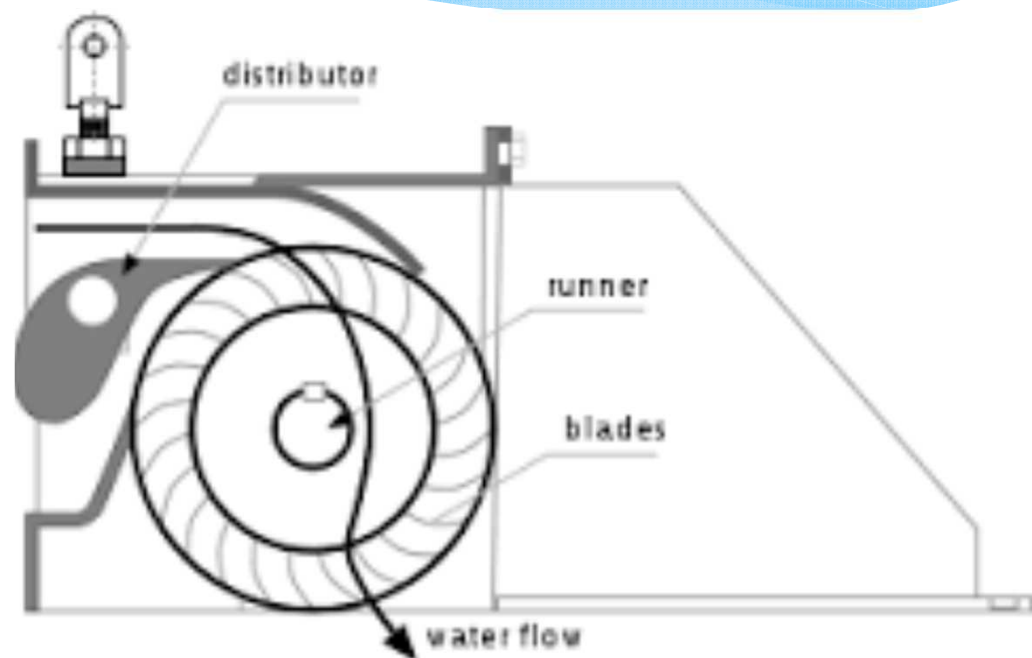
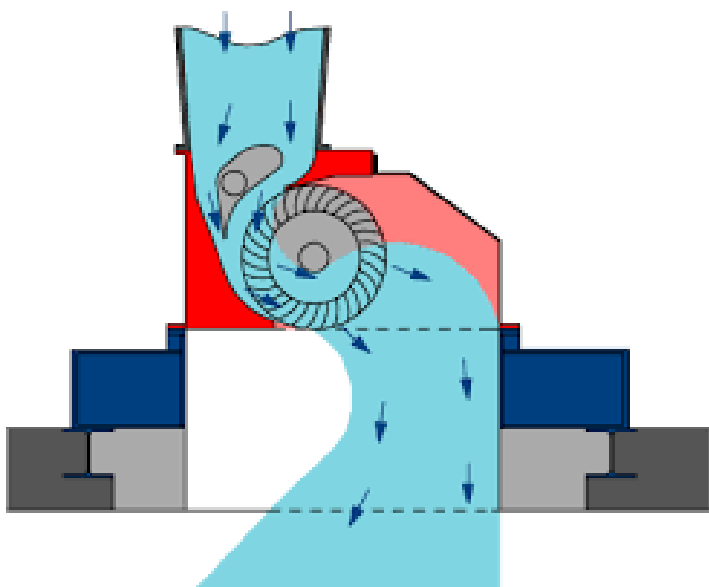
Deriaz-ova turbina



Rotor Deriaz-ove turbine

POPREČNE VODNE TURBINE ZA PADOVE od 4 do 100 m

Poprečne (Crossflow) turbine – turbine tipa *Banki*



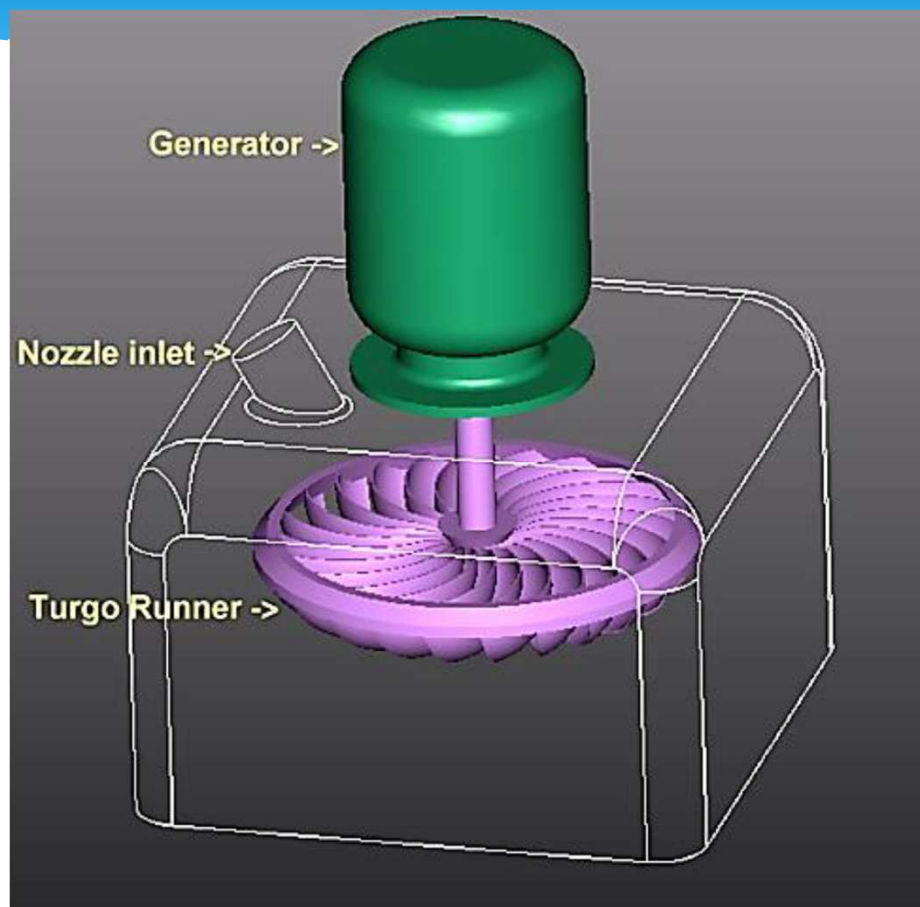
TURGO VODNE TURBINE

Turgo turbina je slična Peltonovoj turbini, ali vodeni mlaz prilazi bočno rotoru. One spadaju u skupinu impulsnih vodnih turbina i koriste se za srednje padove vode od 50 m do 250 m.

Stupanj iskoristivost može biti do 87 %

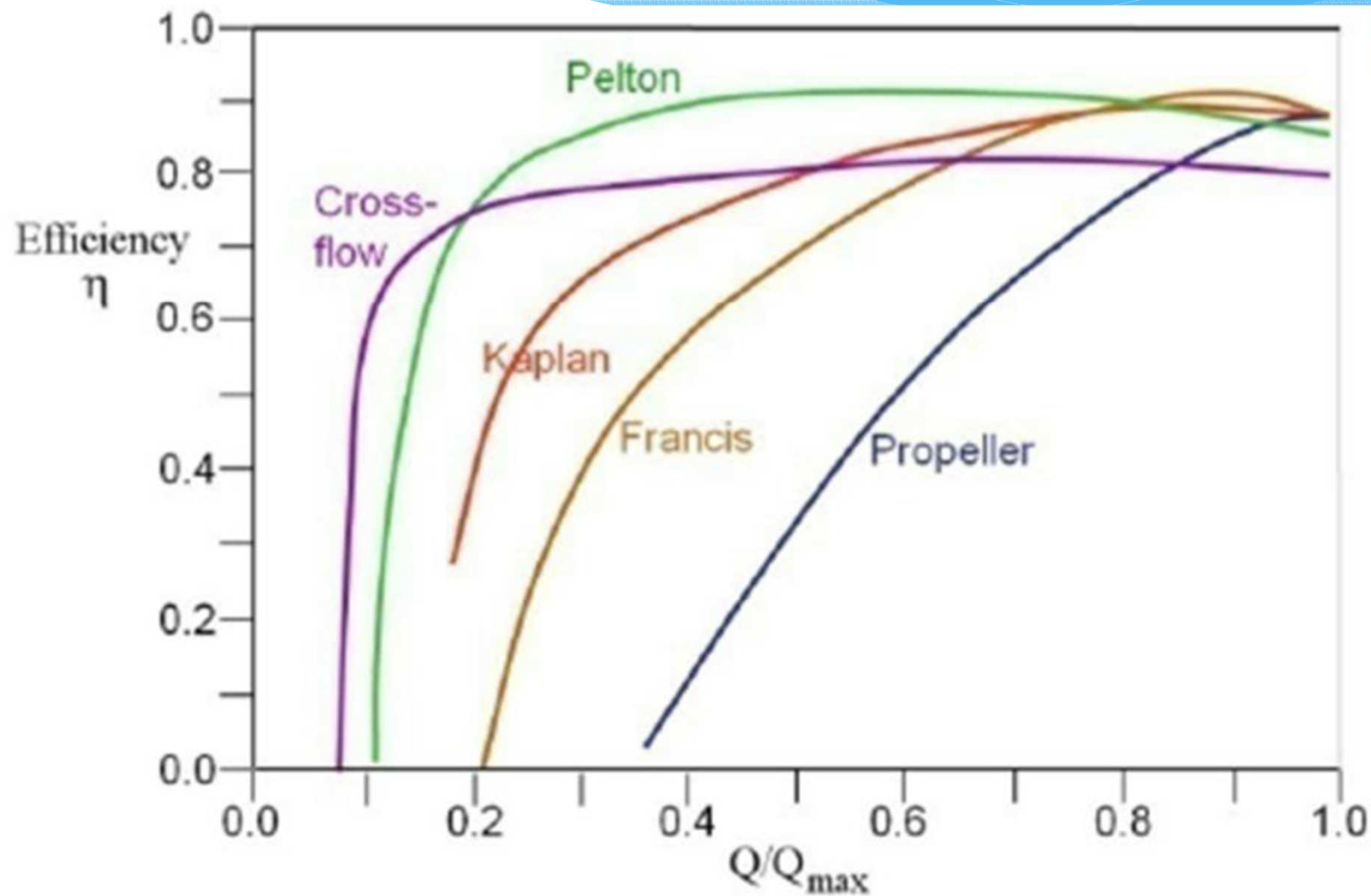
Izvedba rotora u pravilu je jednostavnija-jeftinija nego kod **Peltonove** turbine, a ne zahtijeva se ni vodonepropusno kućište kao kod **Francisove** turbine. Koristi veće brzine protoka vode i može podnijeti veće protoke vode, u odnosu na **Peltonovu** turbinu istog promjera.

TURGO VODNE TURBINE ZA PADOVE od 50 do 250 m



Turgo turbine posebno su pogodne za male hidroelektrane, jer omogućuju smanjenje troškova gradnje. Kao i kod svih ostalih turbina s mlaznicama, potrebno je poduzeti posebne mjere kako bi se onemogućio dolazak nečistoća u turbinu.

STUPNJEVI DJELOVANJA (KORISNOSTI) TURBINA



PODJELA HIDROELEKTRANA PREMA NAČINU PRIVODA I ODVODA VODE

Prema načinu privoda i odvoda vode, hidroelektrane se dijele na: ***protočne, akumulacijske i reverzibilne***

PROTOČNE

Nemaju uzvodnu akumulaciju ili se njihova akumulacija može isprazniti za manje od dva sata rada kod nazivne snage

(primjer: HE Dubrava)

AKUMULACIJSKE

Najčešće su u primjeni. Problemi nastaju u ljetnim mjesecima kad prirodni dotok postane premali za funkcioniranje elektrane

(primjer: HE Zakučac i HE Orlovac)

PODJELA HIDROELEKTRANA PREMA NAČINU PRIVODA I ODVODA VODE

REVERZIBILNE

Osnovna namjena je dopunu dnevnih vrhova (*maksimuma*) potrošnje električne energije.

Kad je potrošnja električne energije u elektroenergetskom sustavu mala (*u pravilu noću*) i kad je prodajna cijena električne energije manja (niža tarifa) voda se pumpa iz donje akumulacije (*jezera*) u gornju akumulaciju (*jezero*).

Danju se elektrana prebacuje na proizvodnju električne energije i tada se prazni gornja akumulacija.

Ekonomska isplativost ovakve izvedbe je u razlici cijene struje više i niže tarife.

(*Primjer RHE Velebit*)

PROTOČNE HIDROELEKTRANE



HE DUBRAVA (*rijeka Drava*) Energetski podaci:

- ❑ instalirani protok: $Q_i = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
- ❑ bruto pad za: Q_i , $H = 17,5 \text{ m}$
- ❑ maksimalna snaga: $P_{\text{max}} = 76 \text{ (2x38) MW}$
- ❑ koristan volumen akumulacije: $16,6 \text{ km}^3$

AKUMULACIJSKE HIDROELEKTRANE



HE ZAKUČAC (*rijeka Cetina*) – najveća u RH

- ☐ instalirani protok: $Q_i = 220$ (2x50 & 2x60) m^3/s
- ☐ konstruktivni pad: $H_T = 250,4$ m
- ☐ snaga turbina (*instalirana*): $P = 486$ (2x108 & 2x135) MW
- ☐ najveća godišnja proizvodnja: 2430 GWh (*postignuto 2010.*)
- ☐ srednji energetske ekvivalent: 0,6 m^3/kWh

AKUMULACIJSKE HIDROELEKTRANE



HE ORLOVAC

- ❑ instalirani protok: $Q_i = 70 \text{ (3x23,33) m}^3/\text{s}$
- ❑ konstruktivni pad: $H_T = 380 \text{ m}$
- ❑ snaga turbina (*instalirana*): $P = 237 \text{ (3x79) MW}$
- ❑ najveća godišnja proizvodnja: $814 \text{ GWh (postignuto 1980.)}$
- ❑ srednji energetske ekvivalent: $1,1 \text{ m}^3/\text{kWh}$

REVERZIBILNE HIDROELEKTRANE



HE VELEBIT (*rijeka Zrmanja, kod Obrovca*)

- ☐ instalirani protok: $Q_i = 60$ (2x30) m^3/s (*turbinski rad*) , $Q_i = 40$ (2x20) m^3/s (*crpni rad*):
- ☐ konstruktivni pad: $H_T = 517$ m (*turbinski*), $H_C = 559$ m (*crpni*)
- ☐ snaga turbina (*instalirana*): $P = 276$ (2x138) MW
- ☐ snaga crpki (*instalirana*): $P = 240$ (2x120) MW
- ☐ srednji energetska ekvivalent: 1,25 m^3/kWh

REVERZIBILNE HIDROELEKTRANE

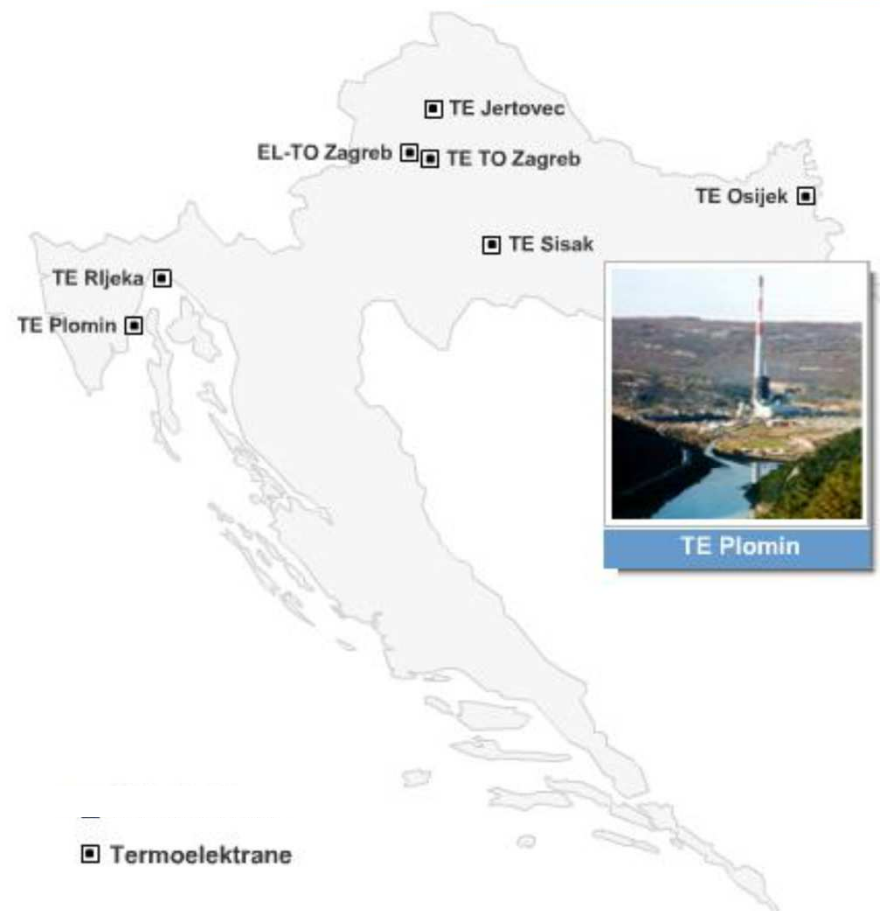


HE VELEBIT (*rijeka Zrmanja, kod Obrovca*)

HIDROELEKTRANE U HRVATSKOJ



TERMOELEKTRANE U HRVATSKOJ



KAPACITETI ZA DOBIVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Ukupni kapacitet za proizvodnju (prema metodologiji podjele HEP Trgovine)	
Protočne hidroelektrane	403 MW
Akumulacijske hidroelektrane	1 707 MW
Od toga reverzibilne hidroelektrane	281 MW
Male hidroelektrane	16,74 MW
Kondenzacijske termoelektrane (bez Plomin d.o.o.)	881 MW
Termoelektrane toplane	604 MW el 300 t/h pare/1242 MWt
Ukupno instalirani kapacitet za proizvodnju električne energije	3654 MWe
Ukupno instalirani kapacitet za proizvodnju toplinske energije	300 t/h pare /1242 MWt

Ukupna proizvodnja za 2014.	električne en.	ogrjevne topline	tehnološke pare
Objekti HEP Proizvodnje	9.805 GWh	1.450 GWh	729.217 t
u TE Plomin d.o.o.	1.441 GWh		