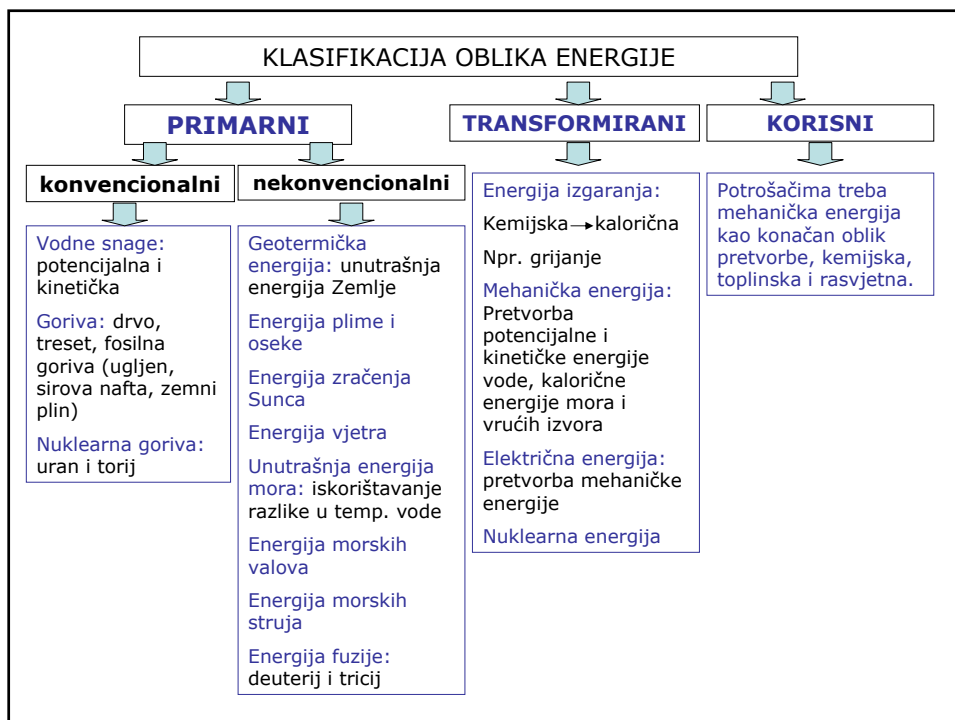


KORIŠTENJE VODNIH SNAGA

- **ENERGIJA** [Nm]=[J]=[Ws]
- **Oblici energije:**
 - Energija položaja - **potencijalna energija** : $E_p = mgH$
 - Energija gibanja - **kinetička energija** : $E_k = mv^2/2$
 - Energija dovođenja ili odvođenja topline – **kalorična energija**
 - Energija izgaranja – **kemijska energija**
 - Energija razbijanja jezgara teških atoma – **energija fisije**
 - Energija spajanja lakih jezgara atoma – **energija fuzije**



- PRIMARNI OBLICI ENERGIJE:
 - Mehanička energija: čovjek, životinje
 - Kemijska energija: drvo, ugljen, sirova nafta, zemni plin
 - Nuklearna energija: uran, torij, deuterij
 - Potencijalna energija: vodotoci, plima/oseka
 - Kinetička energija: vodotoci, valovi, vjetar, morske struje
 - Toplinska energija: geotermalni izvori, toplina mora
 - Energija zračenja: Sunčeva energija
- OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE:
 - Drvo (posječeno drvo zamijeniti novoposađenim)
 - Vodne snage
 - Plima i oseka
 - Valovi mora
 - Toplina mora
 - Vjetar
 - Sunce
 - Toplina Zemlje
- Oblici energije koje je **tehnički moguće koristiti i danas se dominantno koriste**: vodne snage, fosilna i nuklearna goriva.
- Oblici energije koje je **tehnički moguće koristiti, ali su danas ekonomski slabije isplativi**: Sunčevo zračenje, energija vjetra, plime i oseke, morskih valova i topline mora.
- Oblici energije za koje još **nije riješen način iskorištavanja**: unutrašnja toplina zemlje, fuzija.

Termoelektrane



Nuklearna energija



Solarna energija



Energija vjetra

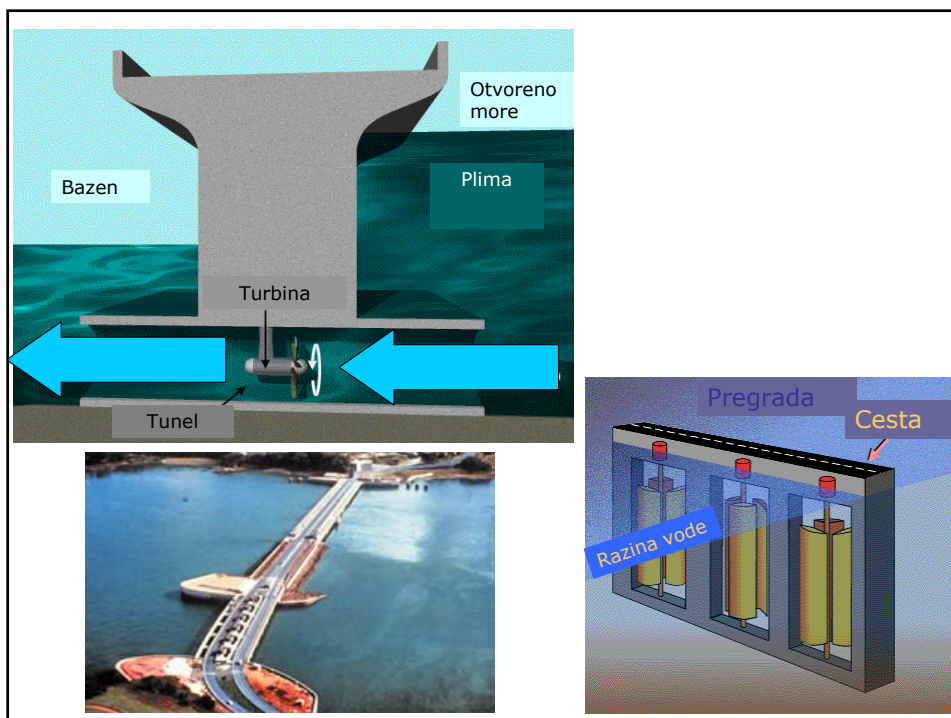
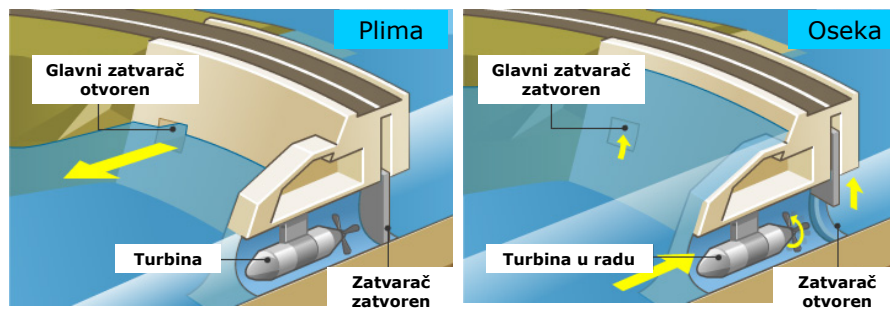


Geotermička energija: unutrašnja energija Zemlje



npr. gejziri.

Energija plime i oseke



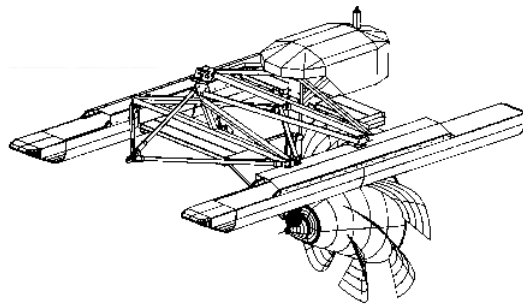
- **La Rance** je brana/HE koja koristi energiju plime i oseke.
- Izgrađena je 1960. blizu St. Malo u Francuskoj. 330 metara je duga i čini bazen od 22 km². Razlika u razini vode za vrijeme plime i oseke iznosi 8 metara.



Energija valova



Energija morskih struja



Korištenje vodnih snaga

- Danas se vodne snage i energija dominantno koriste za proizvodnju električne energije, što se i obrađuje u ovom kolegiju.
- Hidroenergetski potencijal je rad kojeg može izvršiti vodeno tijelo mase $V(\text{m}^3) \cdot \rho(\text{kg/m}^3)$ na putu H (m) pod djelovanjem sile teže.
- Energija je sposobnost da se izvrši rad i mjeri se radom koji se može izvesti.
- Energija **E**:

$$E = \rho \cdot g \cdot V \cdot H \text{ (Nm, J, Ws)}$$

- Snaga **P** je brzina rada (promjena rada/energije u jedinici vremena):

$$P = E/t \text{ (J/s, W)}$$

- Vodna snaga:

$$P = \rho_v \cdot g \cdot Q \cdot H \text{ (J/s, W)}$$

HE u Hrvatskoj:

<http://www.hep.hr/proizvodnja/osnovni/hidroelektrane/default.aspx>

- Pri korištenju vodnih snaga za $\rho_v=1000 \text{ kg/m}^3$ i $g=9,81 \text{ m/s}^2$ snaga se može izračunati iz izraza:

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H_{\text{neto}} \text{ u (kW)}$$

- Energija:

$$E = \int P \cdot dt = 9,81 \cdot \int Q \cdot H_{\text{neto}} \cdot dt \text{ u (kWh)}$$

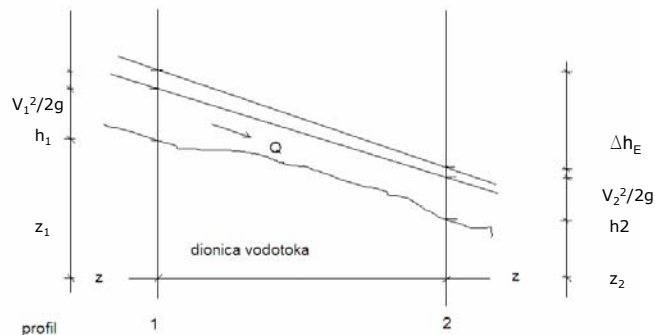
Koeficijent korisnog djelovanja:

Korisni učinak u turbini, generatoru i transformatoru = η_t

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H_{\text{neto}} \cdot \eta_t \text{ u (kW)}$$

Energija koncentriranih tokova

- Za korištenje vodne snage i energije dostupna je snaga i energija koncentrirana u vodotocima
- Posebno su s energetskeg stajališta značajne dionice s koncentriranim (usredotočenim) padom – slapovi, kaskade i slično.
- Na slijedećoj skici prikazan je uzdužni profil dionice vodotoka:



L

- $dE_1 = P_1 dt = \rho g Q dt (z_1 + h_1 + v_1^2/2g)$ [Ws]
 $E_1 = \int P_1 dt$ [Ws]
- $dE_2 = P_2 dt = \rho g Q dt (z_2 + h_2 + v_2^2/2g)$ [Ws]
 $E_2 = \int P_2 dt$ [Ws]

- $dE_1 = P_1 dt = \rho g Q dt (z_1 + h_1 + v_1^2/2g)$ [Ws]
 $E_1 = \int P_1 dt$ [Ws]
- $dE_2 = P_2 dt = \rho g Q dt (z_2 + h_2 + v_2^2/2g)$ [Ws]
 $E_2 = \int P_2 dt$ [Ws]

Očigledno je

$$E_1 > E_2$$

Razlika između energije na ulazu i izlazu iz promatrane dionice iznosi:

- $dE_{1-2} = dE_1 - dE_2 = \rho g Q dt \Delta h_E$ [Ws] (za $dt = 1(s)$)
- $P_{1-2} = \rho g Q \Delta h_E$ [W]
- $P_{1-2} = 9,81 Q \Delta h_E$ [kW]
- $E_{1-2} = \int P_{1-2} dt$ [kWh] (uz dt [h])

Energija E_{1-2} odgovara radu koji voda obavi u određenom vremenu krećući se od profila 1 do profila 2. Rad je obavljen u savladavanju svih otpora na dionici L te na pronos nanosa.

Iz ove spoznaje proizlazi 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.

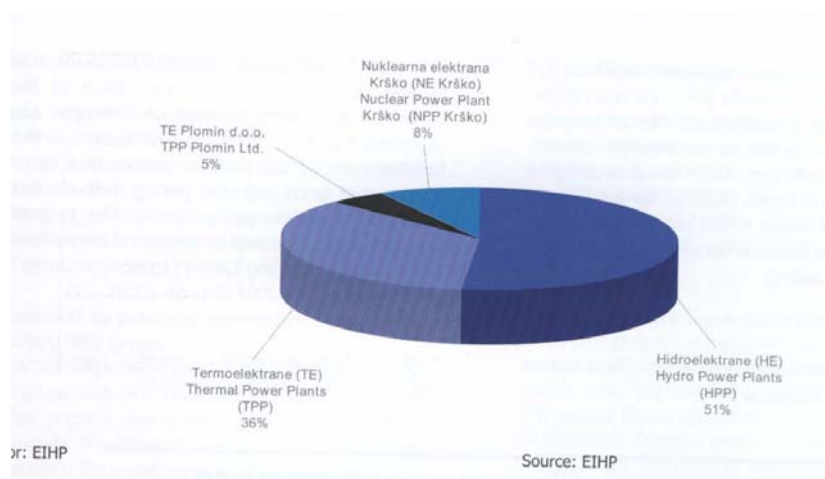
- Smanjenje rada vode na nekoj dionici u prirodi ostvaruje se:
- A) usporavanjem (građevine u vodotoku)
 - Usporavanje se ostvaruje izgradnjom brane, te se na taj način smanjuju brzine vode, vučna sila i u konačnici se smanjuje rad vode na kretanju od profila 1 do profila 2 (duž dionice).
- B) Derivacijom - odvajanjem dijela vode iz vodotoka i njenim provođenjem izgrađenim provodnicima. Zahvat se vode ostvaruje na početku dionice (oko profila 1) a povrat vode u vodotok se realizira na nizvodnom kraju dionice (profil 2). Provodnici su u pravilu kraći od vodotoka i manjih su otpora kretanju vode, te se na taj način smanjuje rad vode.
- C) Kombinacijom usporavanja i derivacije.

Hidroelektrana, kod koje se koristi samo usporavanje nazivaju se PRIBRANSKE HIDROELEKTRANE, a ostale koje se ostavruju derivacijom ili kombinacijom usporavanja i derivacije nazivaju se DERIVACIJSKE HIDROELEKTRANE.

Svaka hidroelektrana (HE) sastoji se od 4 glavne grupe građevina:

zahvata (brana, ulazni uređaj), dovoda, strojarnice i odvoda. (U okviru ovog kolegija obrađene su brane i provodnici dok se ulazni uređaji strojarnice obrađuju u okviru hidrotehničkog usmjerenja).

Uloga hidroelektrana (HE) u Hrvatskoj



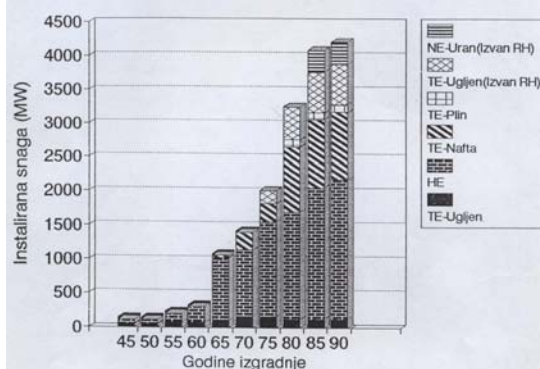
Raspoloživa snaga proizvodnih kapaciteta za električnu energiju
Available Electricity Generation Capacity

	MW	%
Hidroelektrane (HE) Hydro Power Plants (HPP)	2078,6	51
Termoelektrane (TE) Thermal Power Plants (TPP)	1440,5	36
TE Plomin d.o.o. TPP Plomin Ltd.	192	5
Ukupno u RH Total in the Republic of Croatia	3711,1	92
Nuklearna elektrana Krško (NE Krško) – 50% Nuclear Power Plant Krško (NPP Krško) – 50%	338	8
Ukupno Total	4049,1	100

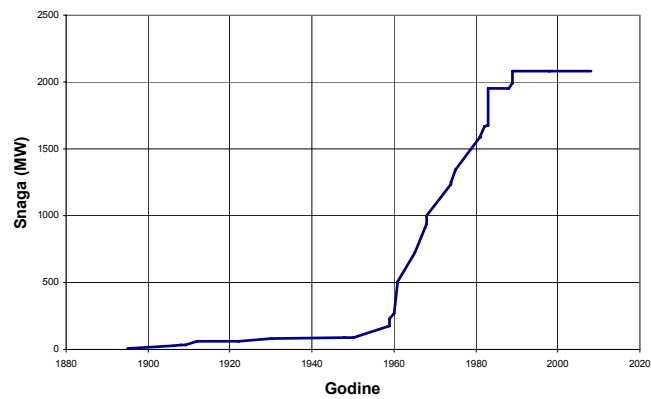
EIHP

Source: EIHP

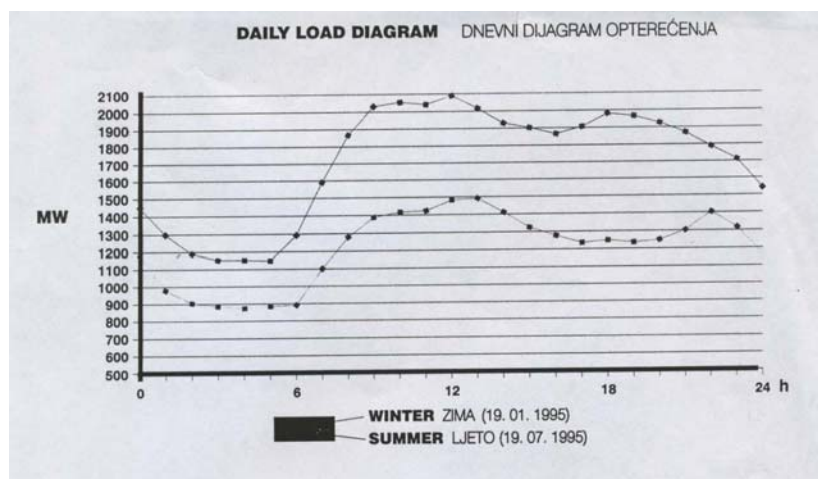
RAZVOJ INSTALIRANE SNAGE U EES-u
 /prema pogonskim sredstvima/



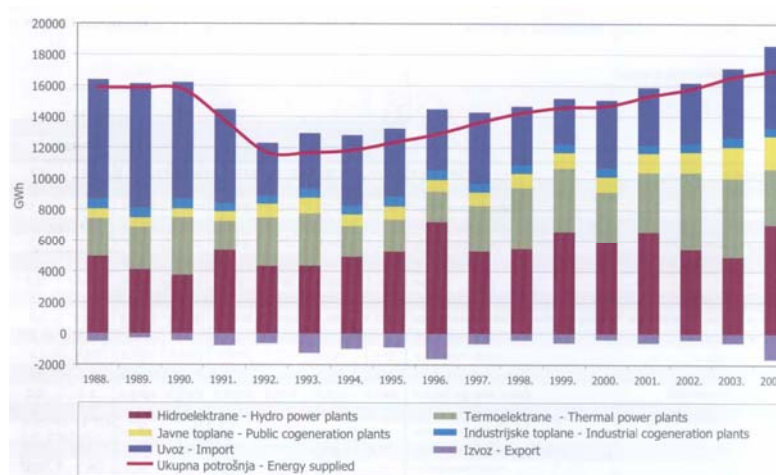
Izgradnja hidroelektrana u Hrvatskoj



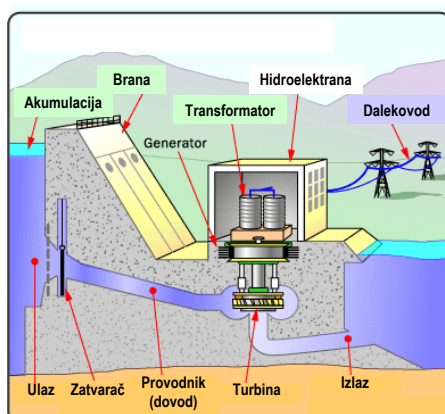
Uloga HE u Hrvatskoj

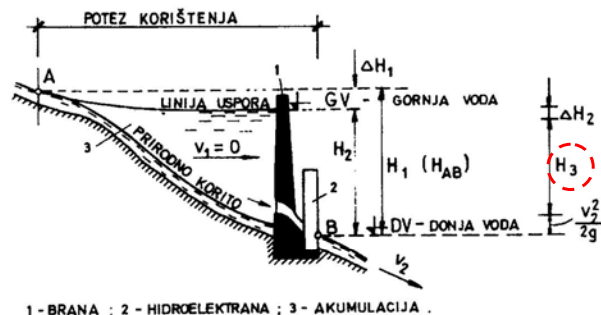


Potrošnja i proizvodnja električne energije u Hrvatskoj



Pribranske hidroelektrane





- horizontalna udaljenost između točaka A i B, **potez korištenja**,
- H_1 , pad poteza korištenja,
- H_2 , **statički pad** (GV-DV), u ovom slučaju i koncentrirani pad,

- H_3 , **neto pad**, $H_n = H_2 - (\Delta H_2 + v^2/2g)$,
- ΔH_1 , gubitak na padu u području uspora,
- ΔH_2 , gubitak na padu u dovodu do ulaza u turbinu.

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H_{\text{neto}} \cdot \eta_t \text{ u (kW)}$$

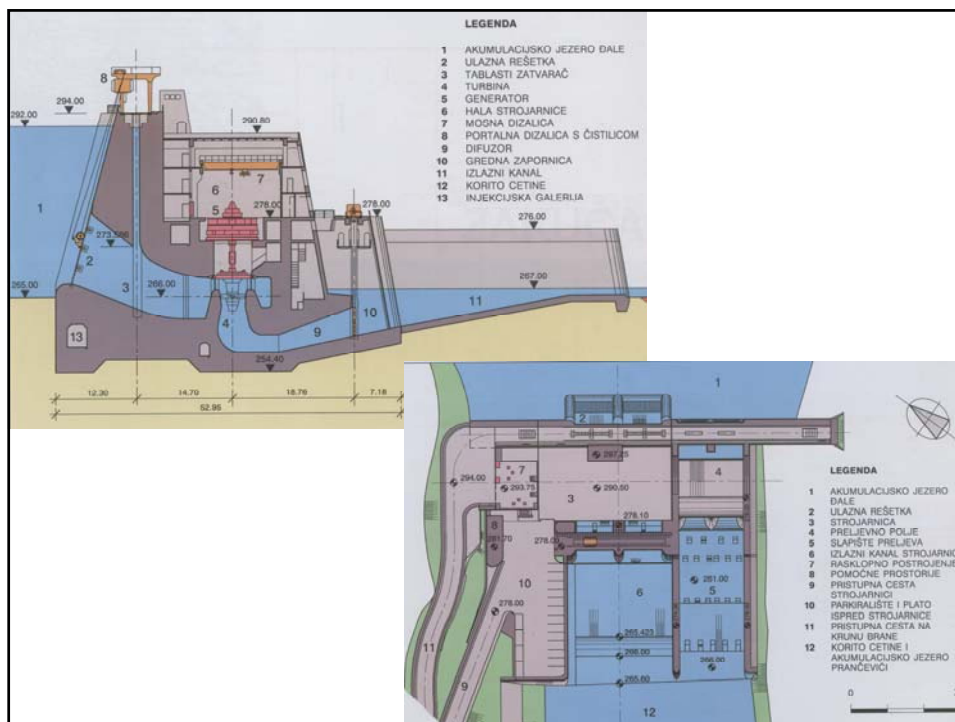
Primjer pribranske HE – HE ĐALE (rijeka Cetina)



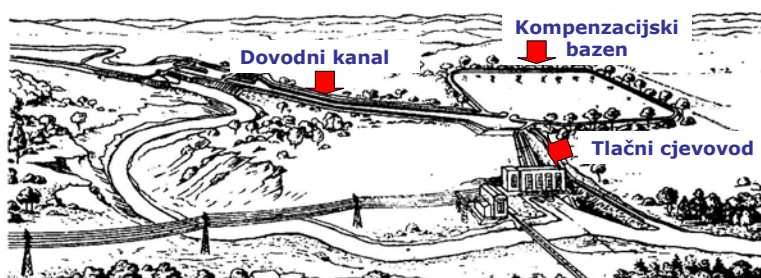
HE Đale je pribranska elektrana smještena na rijeci Cetini 5.8 km nizvodno od Trilja.

Akumulacija HE Đale služi za dnevno izravnanje protoka. Puštena je u pogon 1989. god.

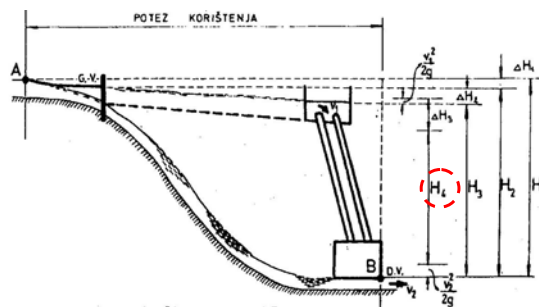
Betonska gravitacijska brana visine 40.50 m, zapremnine 3.7 hm³, ukupne dužine 110.0 m, širine u kruni 8.8 m, a u temelju 52.95 m. Preljev je širine 20.0 m opremljen zatvaračem, dva temeljna ispusta su opremljena regulacijskim pločastim zatvaračima, a turbine revizijskim preturbinskim zatvaračima. Strojarnica je smještena u tijelu brane, opremljena s dvije proizvodne grupe, turbine Kaplan, **instalirani protok** 220.0 m³/s, **pad** 21.0 m, **instalirana snaga** 40.8 MW. **Srednja godišnja proizvodnja** HE Đale je 107.5 GWh.



Derivacijske hidroelektrane



Derivacijska HE s dovodnim kanalom i tlačnim cjevovodom

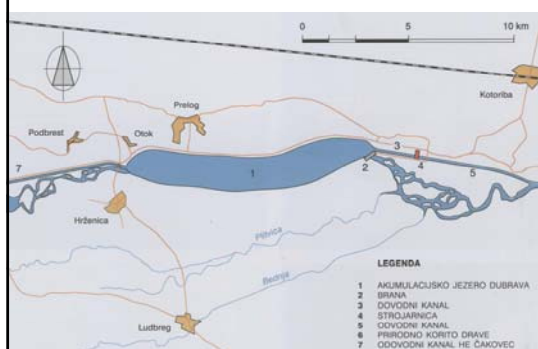


Derivacijska hidroelektrana s gravitacijskim dovodom-padovi

- horizontalna udaljenost između točaka A i B, **potez korištenja**,
- H_1 , pad poteza korištenja,
- H_2 , **statički pad** hidroektrane (GV-DV),
- H_3 , **koncentrirani pad**, $H_2 - \Delta H_2$,
- H_4 , **neto pad**, $H_3 + v_1^2/2g - v_2^2/2g - \Delta H_1 - \Delta H_3$,
- ΔH_1 , gubitak na padu u području uspora,
- ΔH_2 , gubitak na padu u derivaciji,
- ΔH_3 , gubitak na padu u dovodu.

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H_{\text{neto}} \cdot \eta_t \text{ u (kW)}$$

Primjer derivacijske HE s dovodnim kanalom HE DUBRAVA (rijeka Drava)



Tip HE: derivacijska s akumulacijom za dnevno djelomično tjedno uređenje dotoka

Ukupna snaga: 76 MW

Energetski podaci:

instalirani protok: $Q_i = 500 \text{ m}^3/\text{s}$

brutto pad za: Q_i , $H = 17,5 \text{ m}$

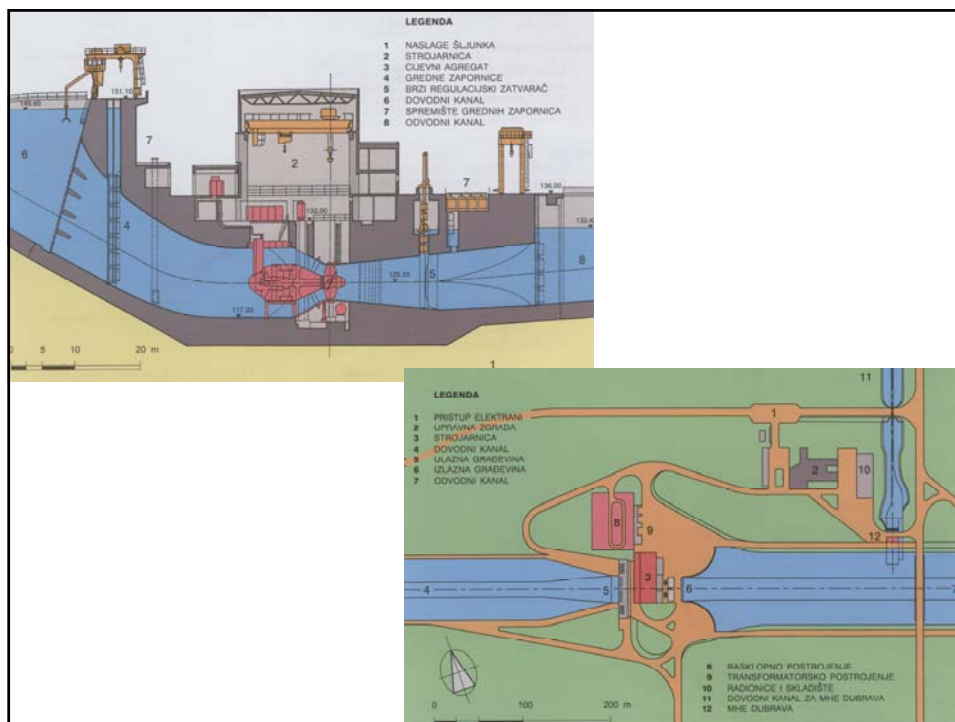
maksimalna snaga: $P_{\text{max}} = 76 \text{ (2x38) MW}$

kor. volumen akumul.: 16,6 hm³

prosječna god. proizvodnja: 350 GWh

HE Dubrava je višenamjenska protočno derivacijska hidroelektrana dravskog sliva koja predstavlja posljednju stepenicu na dionici Drave od granice Slovenije do utoka Mure. Hidroelektrana energetski koristi potencijal rijeke Drave za proizvodnju električne energije, povećava zaštitu od poplava, poboljšava odvodnju, omogućuje gravitacijsko natapanje poljoprivrednih površina te ostvaruje uvjete za razvoj športa i rekreacije.





Primjer derivacijske HE s tunnelskim dovodom sa slobodnim vodnim licem– HE MILJACKA (rijeka Krka)



Opći podaci:

položaj: područje županije Šibensko kninske na rijeci Krki, 15 km nizvodno od Knina

tip hidroelektrane: derivacijska

godina početka pogona: 1906.

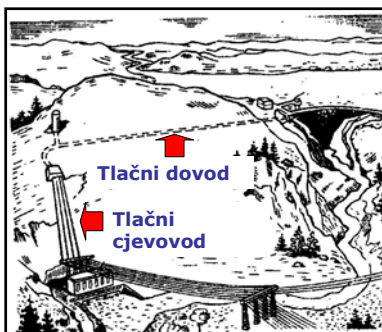
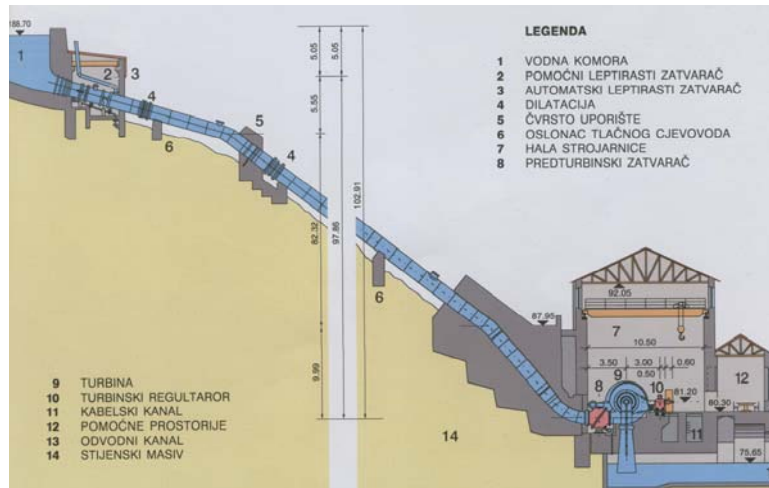
Energetski podaci:

instalirani protok: $Q_i = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ (3x8 + 1x6)

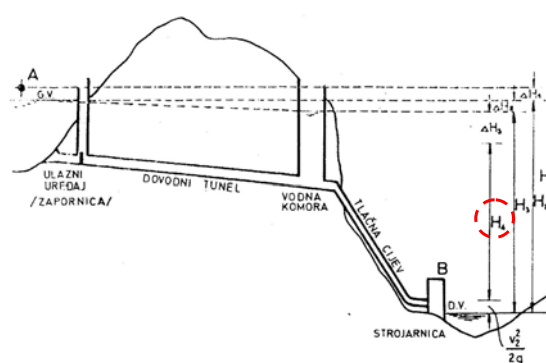
konstruktivni pad: $H_t = 102 \text{ m}$

instalirana snaga turbina: 24 MW (3x6,4 + 1x4,8)

maksimalna godišnja proizvodnja: ('81-'97) $E_{\text{max}} = 147 \text{ GWh}$ ('74)



Derivacijska HE s dovodom/derivacijom pod tlakom



- H_1 , pad poteza korištenja,
- H_2 , **statički pad** hidroelektrane (GV-DV),
- H_3 , **konzentrirani pad**,
- H_4 , **neto pad**,
- ΔH_1 , gubitak na padu u području uspora,
- ΔH_2 , gubitak na padu u derivaciji,
- ΔH_3 , gubitak na padu u dovodu.

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H_{\text{neto}} \cdot \eta_t \text{ u (kW)}$$

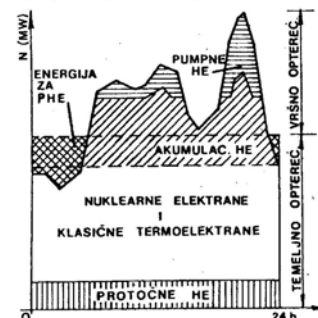
Primjer derivacijske HE s tunelskim dovodom pod tlakom– HE VINODOL

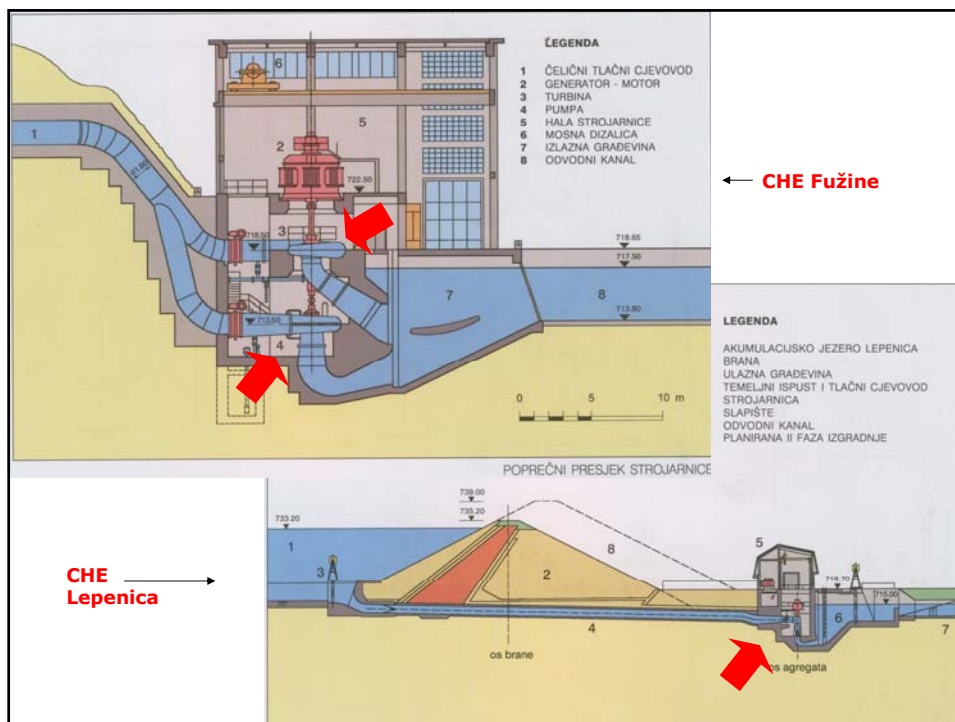


Reverzibilne (pumpnoakumulacijske) HE

- U periodu skuplje energije (vršna potreba) na HE se proizvodi el. energija, dovodi se voda na turbine.
- Voda se sprema u bazen uz HE.
- U periodu jeftinije energije voda se crpi/pumpa u akumulaciju korištenjem energije iz npr. termoelektrana.
- Zarada je na razlici cijene SKUPE-JEFTINE el. energije.

- Dijagram energije – dnevno opterećenje





HE prema veličini

- Male HE $P < 10$ MW (5 MW)
- Mini HE $P < 2$ MW
- Mikro HE < 500 KW



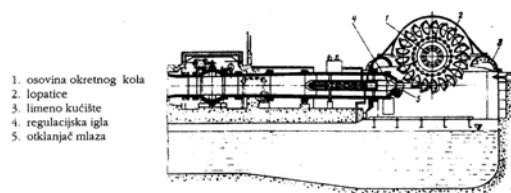
TURBINE

- Turbine su hidraulički strojevi u kojima se mehanička energija vode: potencijalna i kinetička pretvara u mehaničku energiju vrtnje stroja.
- Podjela turbina s obzirom na opći tok strujanja vode kroz rotor turbine:
 - Radijalne: **Francis**
 - Aksijalne: **Propeler i Kaplan**
 - Tangencijalne: **Pelton**
 - Radijalno-aksijalne: **Dijagonalne**
- S obzirom na način djelovanja:
 - Turbine slobodnog mlaza - AKCIJSKE: **Pelton**
 - Predtlačne turbine (s viškom tlaka) - REAKCIJSKE: **Francis, Kaplan, Propeler, Dijagonalna**

PELTON turbine (H=400-1600m)

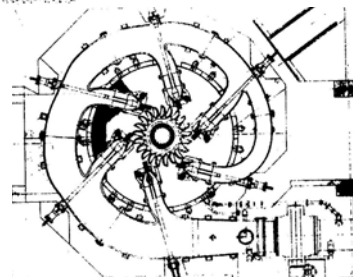


- Primjenjuje se kod vrlo velikih padova (pritisaka).



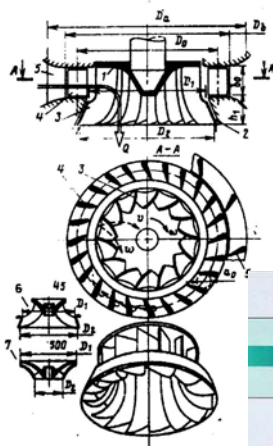
Pelton turbina s jednom mlaznicom

Pelton turbina s 6 mlaznica

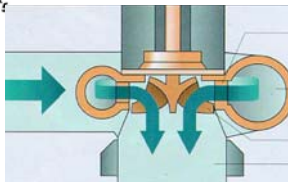


FRANCIS turbine (H=300-600m)

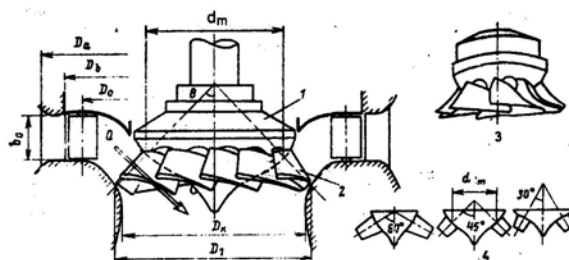
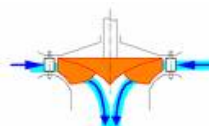
- Primjenjuje se kod većih padova (pritisaka).



1. poklopac turbine
2. okretno kolo
3. lopatice okretnog kola
4. pokretne lopatice sprovednog kola
5. nepokretne lopatice statora
6. oblik rotora za pad 45 m
7. oblik rotora za pad 500 m



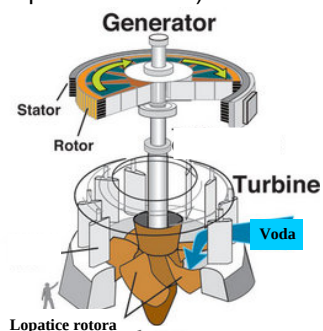
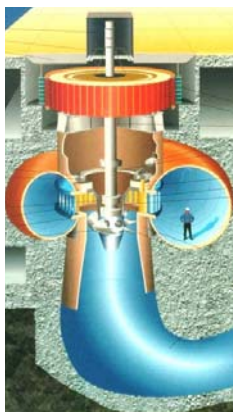
DIJAGONALNE turbine (H=40-220m)



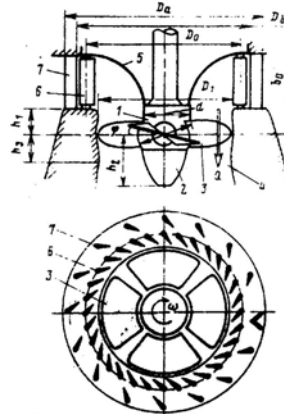
KAPLAN turbine ($H=10-80\text{m}$ (propelerna



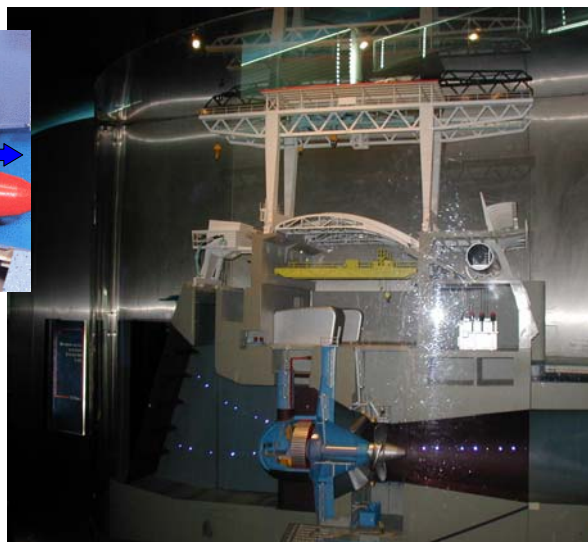
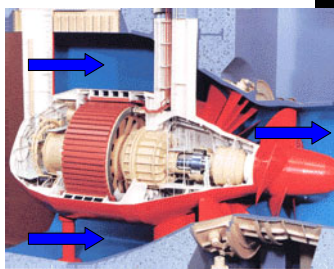
- Ima rotor u obliku propelera, a lopatice mogu biti pokretne ili nepokretne, ako su nepokretne tada su to PROPELER turbine. (propeler turbine se koriste se kod riječnih protočnih pribranskih HE).



1. rotor
2. "kapa" okretnog kola
3. pokretne lopatice
4. difuzor
5. gornji poklopac turbine
6. pokretne lopatice sprovednog kola
7. nepokretne lopatice



CIJEVNE turbine ("bulb") ($H=1-16\text{ m}$)



Karakteristike turbina

- Snaga turbine:

$$P=f(Q, H, D, n, g, \rho, \mu, \epsilon)$$

Q-protok (m^3/s)

H – pad (m)

D – promjer rotora turbine (m)

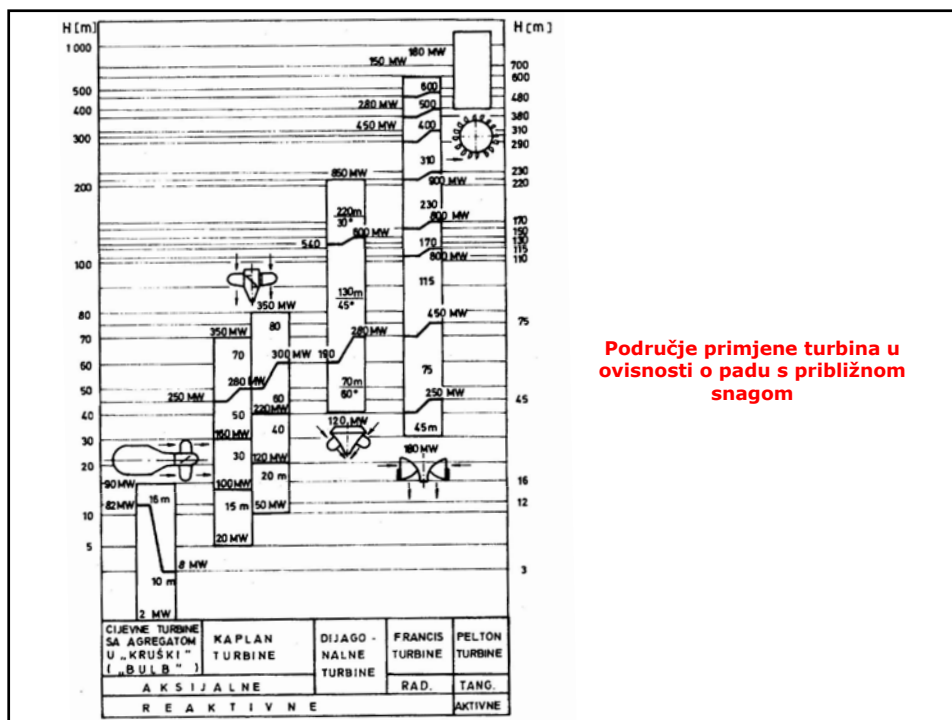
n - broj okretaja (okr/min)

g – ubrzanje sile teže (m/s^2)

ρ – gustoća vode (kg/m^3)

μ – dinamička viskoznost (Pa s)

ϵ – apsolutna hrapavost površina (m)



Specifičan broj okretaja turbine n_s

- Specifičan broj okretaja turbine n_s (u minuti) naziva se SPECIFIČNA BRZINA ILI KOEF. BRZOHODNOSTI TURBINE.
- Na temelju spec. broja okretaja može se ustvrditi pripadnost turbine.
- Određuje se na temelju modela turbine snage 1 KS (0,73549 kW) i pada 1 m:

$$n_s = n \frac{\sqrt{P}}{H_{\text{netto}}^{\frac{4}{3}}}$$

- Pelton $n_s = 2-70$
- Francis $n_s = 60-450$
- Propeler, Kaplan i cijevne $n_s = 400-1200$

