

Energetske pretvorbe i procesi u hidroelektranama

Pretvorba energije položaja vode u mehanički rad – II

Energijske tehnologije

FER 2008.



**Gdje
smo:**

1. Organizacija i sadržaj predmeta
2. Uvodna razmatranja
3. O energiji
4. Energetske pretvorbe i procesi u termoelektranama
- 5. Energetske pretvorbe i procesi u hidroelektranama**
6. Energetske pretvorbe i procesi u nuklearnim el.
7. Energija Sunca
8. Energija vjetra
9. Geotermalna energija
10. Biomasa
11. Gorivne ćelije i ostale neposredne pretvorbe
12. Potrošnja električne en.
13. Prijenos i distribucija el. en.
14. Skladištenje energije
15. Energija, okoliš i održivi razvoj

2. Dio

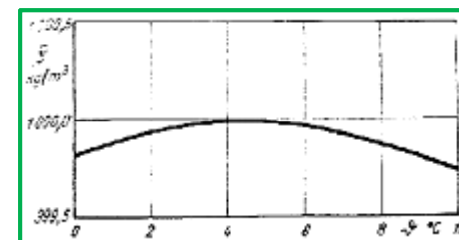
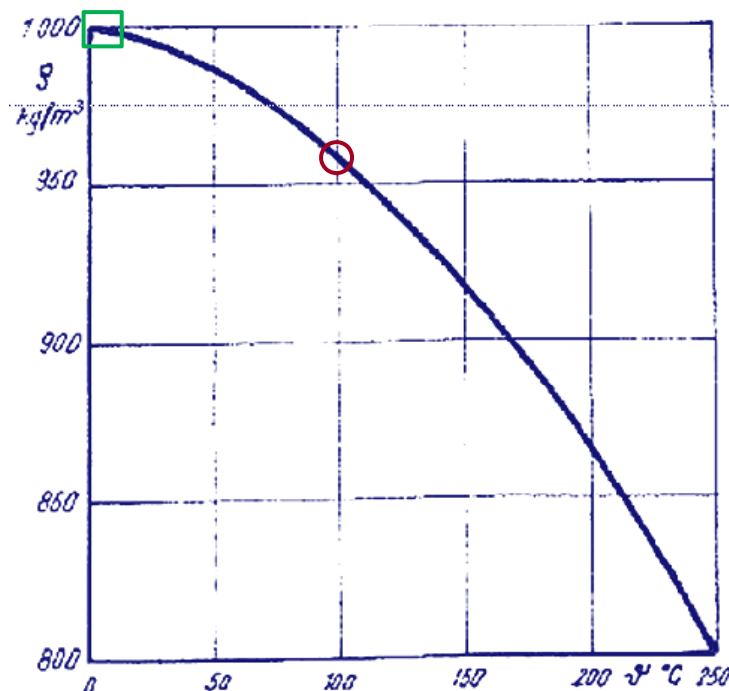
- Svojstva vode
- Opća jednađba strujanja
 - zatvoreni i otvoreni kanal
 - zatvorena cijev
- Istjecanje
 - kroz mali i veliki otvor
 - preko preljeva
- Koristan pad
 - derivacijska HE
 - pribranska HE
- Turbine
 - reakcijske (pretlačne)
 - akcijske (slobodnog mlaza)
- Aspirator
- Difuzor

Strujanje tekućina - svojstva

- gustoća ρ [kg/m³]
- stlačivost $1/E$ [ms²/kg]
- tlak isparivanja p_s [bar=10⁵ N/m² , kg/ms² , Pa]
- kinematička viskoznost ν [m²/s]

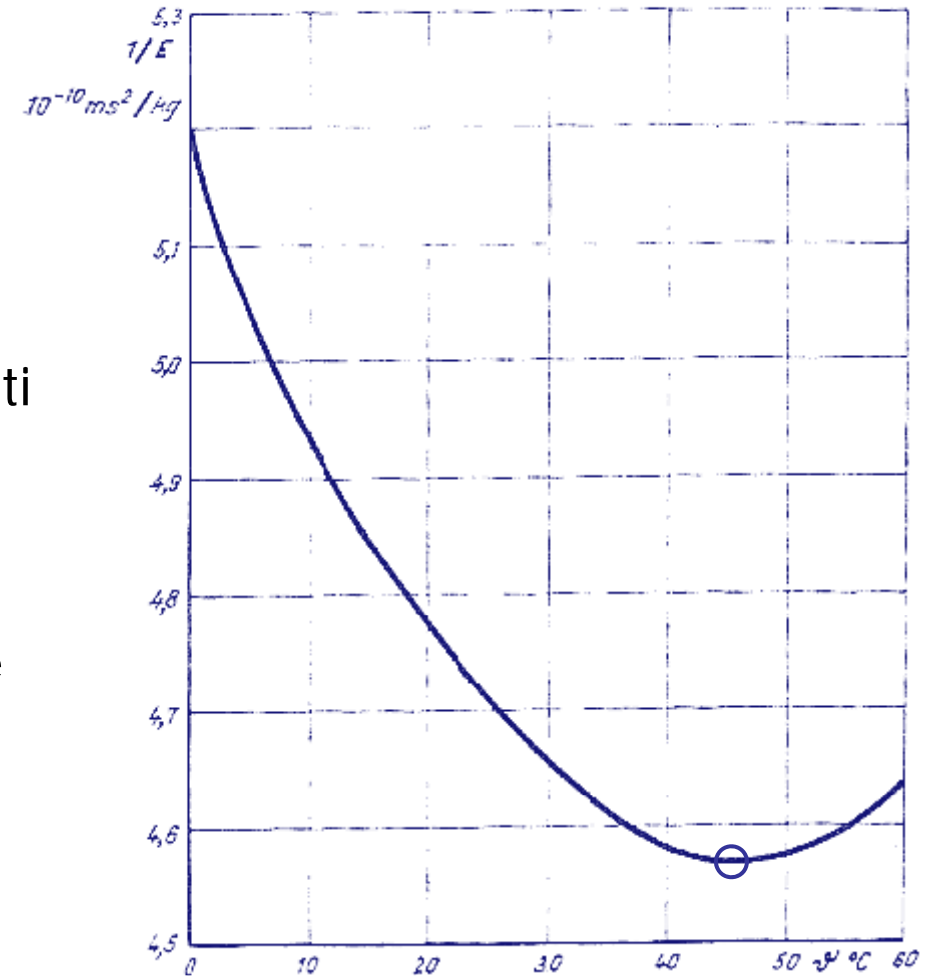
Strujanje tekućina - gustoća, ρ

- gustoća je masa tvari u volumenu od 1 m³
- masa tvari se ne mijenja s promjenom ubrzanja sile teže, ne ovisi o zemljopisnoj širini ni o nadmorskoj visini
- ***gustoća je funkcija temp. i tlaka neovisna o položaju tekućine:***
 $\rho = f(p, T)$ ($f(T)$ za stac. strujanja)



Strujanje tekućina - stlačivost

- svojstvo tekućine da joj se s porastom tlaka smanjuje volumen
- vrijednost stlačivosti ($1/E$) odgovara recipročnoj vrijednosti modula elastičnosti E
- funkcija tlaka i temperature
 $1/E=0$ za stacionarno strujanje
 $1/E=f(p,T) \approx f(T)$ i za $H_2O \approx 0$

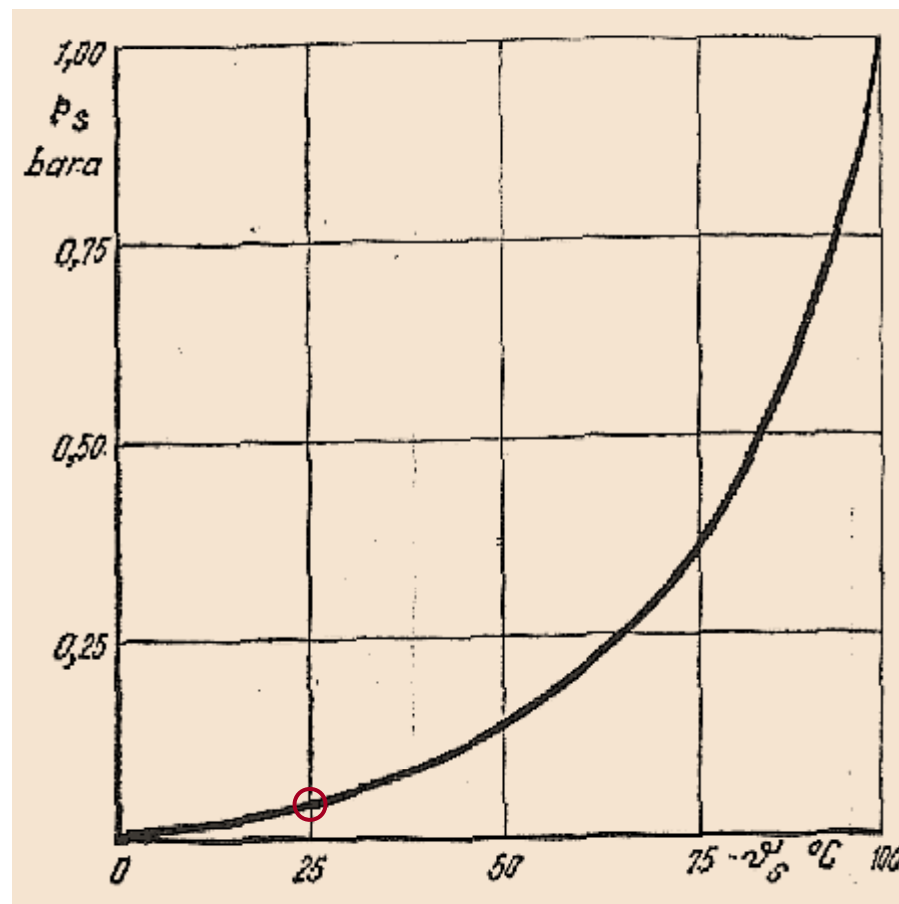


Strujanje tekućina - tlak isparivanja

Padne li tlak za vrijeme strujanja do **tlaka isparivanja**, tekućina će na tom mjestu ispariti stvarajući mjehuriće i tako spriječiti daljnje opadanje tlaka.

Ako tako stvoreni mjehurići dođu strujanjem do područja s višim tlakom nastaje nagla kondenzacija praćena lokalnim naglim porastom tlaka.

Taj porast tlaka, i do 1000 bara, praćen više ili manje jakim šumom, naziva se **kavitacija**.

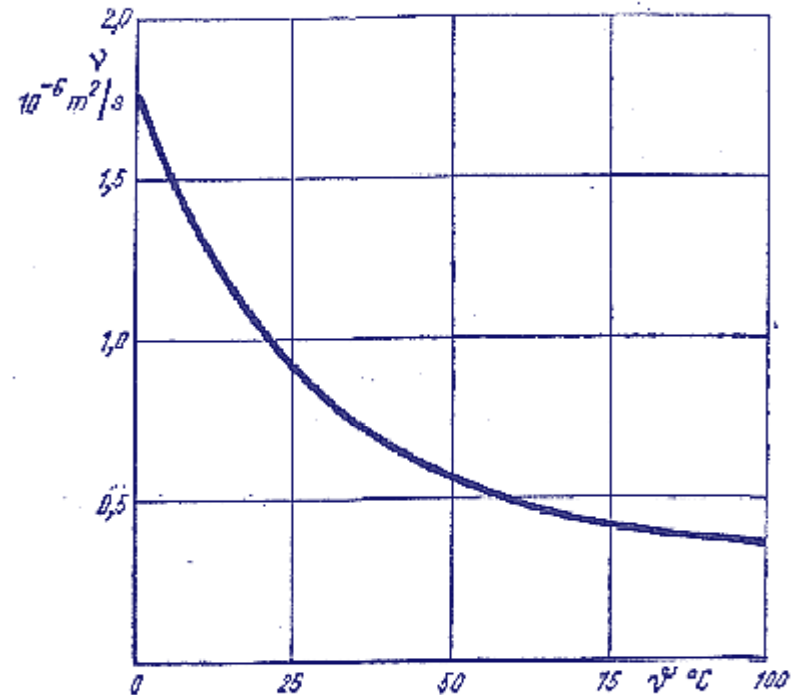


Strujanje tekućina - viskoznost

- na dodirnoj plohi između dva sloja tekućine koji se pomiču relativno jedan prema drugome nastaju naprezanja zbog sile smicanja (trenja), te se dio mehaničke energije (meh. rad) pretvara u UKE (toplinu)
- naprezanje je proporcionalno produktu promjene brzine i vrijednosti dinamičke viskoznosti
- dinamička viskoznost jednaka je produktu kinematičke viskoznosti i gustoće tekućine

$$\mu = \nu \times \rho$$

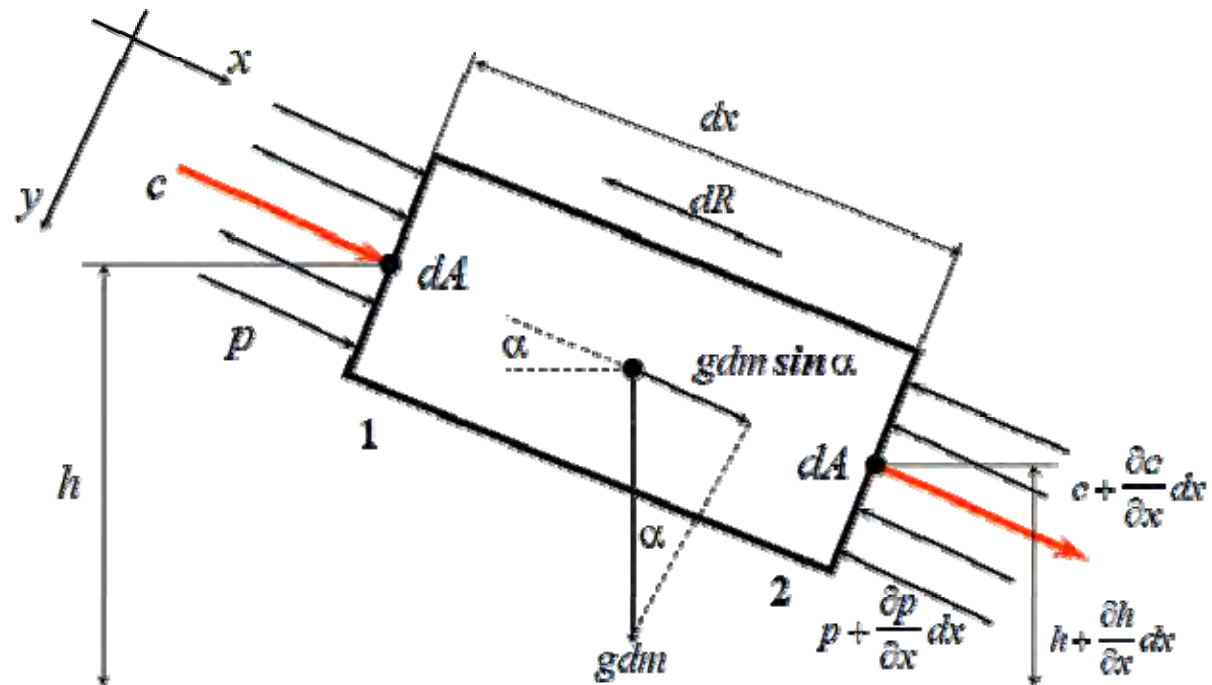
$$\nu = f(p, T) \approx f(T)$$



Strujanje realne kapljevine

Na element tekućine duljine dx [m],
ograničen čeonim plohama 1 i 2 površine dA [m²],
djeluju, u pravcu strujanja x , ove sile:

- tlakovi susjednih elemenata tekućine
- komponenta
sile teže
- sila inercije
- sila trenja
- centrifugalna sila
(ne djeluje u pravcu strujanja)
- Coriolisova sila
(ne djeluje u pravcu strujanja)



Modificirana Bernoullieva jednađba strujanja

Bernoullieva jednađba je specijalni oblike jednađbe strujanja razvijena za jednu strujnicu u uvjetima stacionarnog strujanja bez trenja i vrtloženja.

Količina gibanja elementa fluida se duž strujnice mijenja zbog razlike tlačnih sila na ulazu i izlazu i djelovanja sile teže.

Jednađba se javlja s članovima u obliku specifične energije, tlaka ili visine (članovi s indeksom r su dodani da se u obzir uzme utjecaj trenja).

$$\frac{p}{\rho} + g h + \frac{1}{2} c^2 + w_r = w_0 = \text{konst.} \quad / \cdot \rho$$

$$p + \rho g h + \frac{1}{2} \rho c^2 + p_r = p_0 = \text{konst.} \quad /(\rho \cdot g)$$

$$\frac{p}{\rho g} + h + \frac{1}{2} \frac{c^2}{g} + h_r = h_0 = \text{konst.}$$

Modificirana Bernoullieva jednađžba

$$\frac{p}{\rho} + gh + \frac{1}{2}c^2 + w_r = w_0 = konst. \quad (w_r - \text{trenje strujanja})$$

$\frac{p}{\rho}$ spec. energija tlaka (rad strujanja)

gh spec. energija položaja

$\frac{1}{2}c^2$ spec. kinet. energija

w_r spec. gubici energije

Uobičajeni način pisanja jednađžbe strujanja u hidromehanici:

$$\frac{p}{\rho g} + h + \frac{1}{2g}c^2 + h_r = konst. \quad [\text{m}]$$

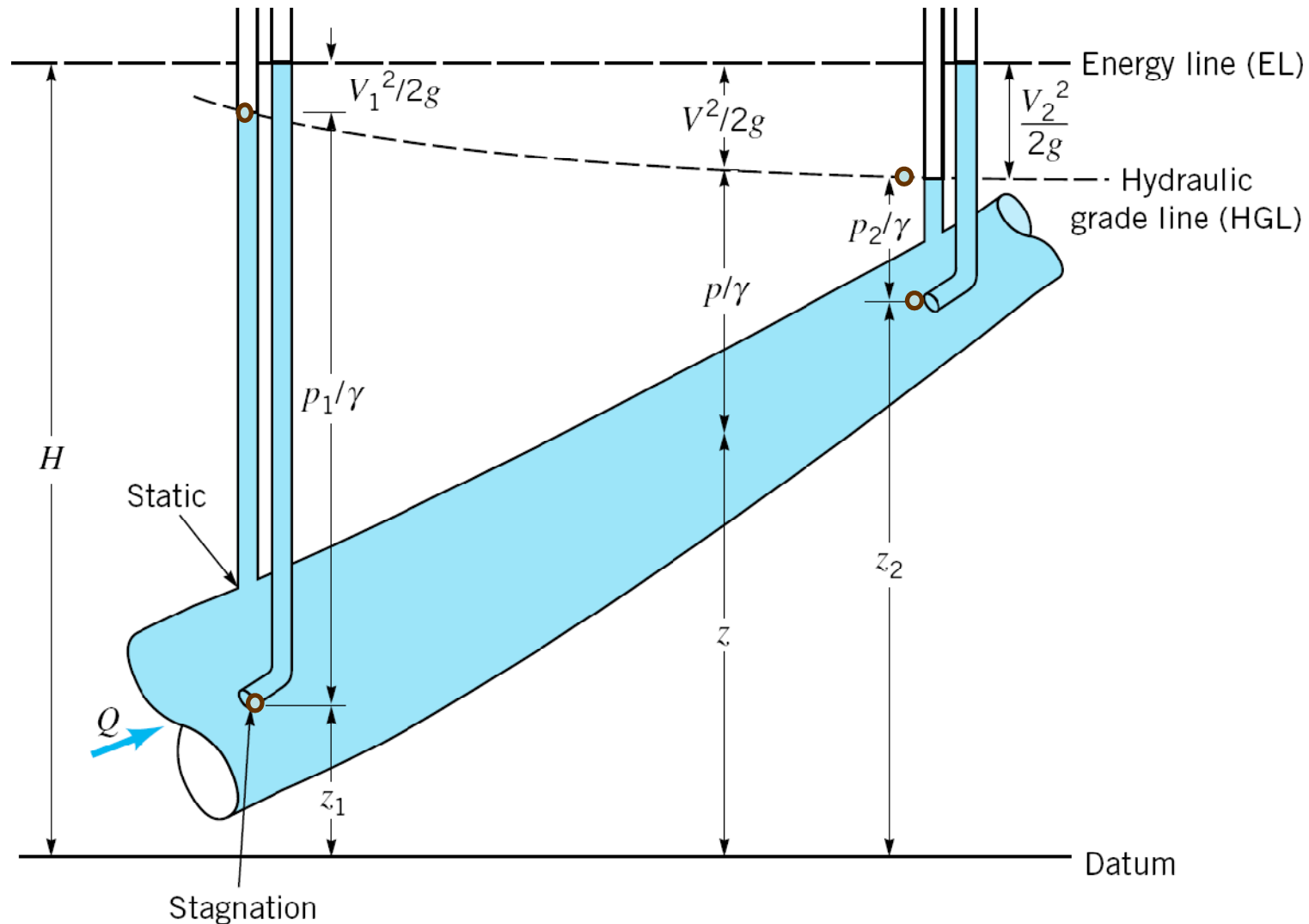
visina tlaka

geodetska visina

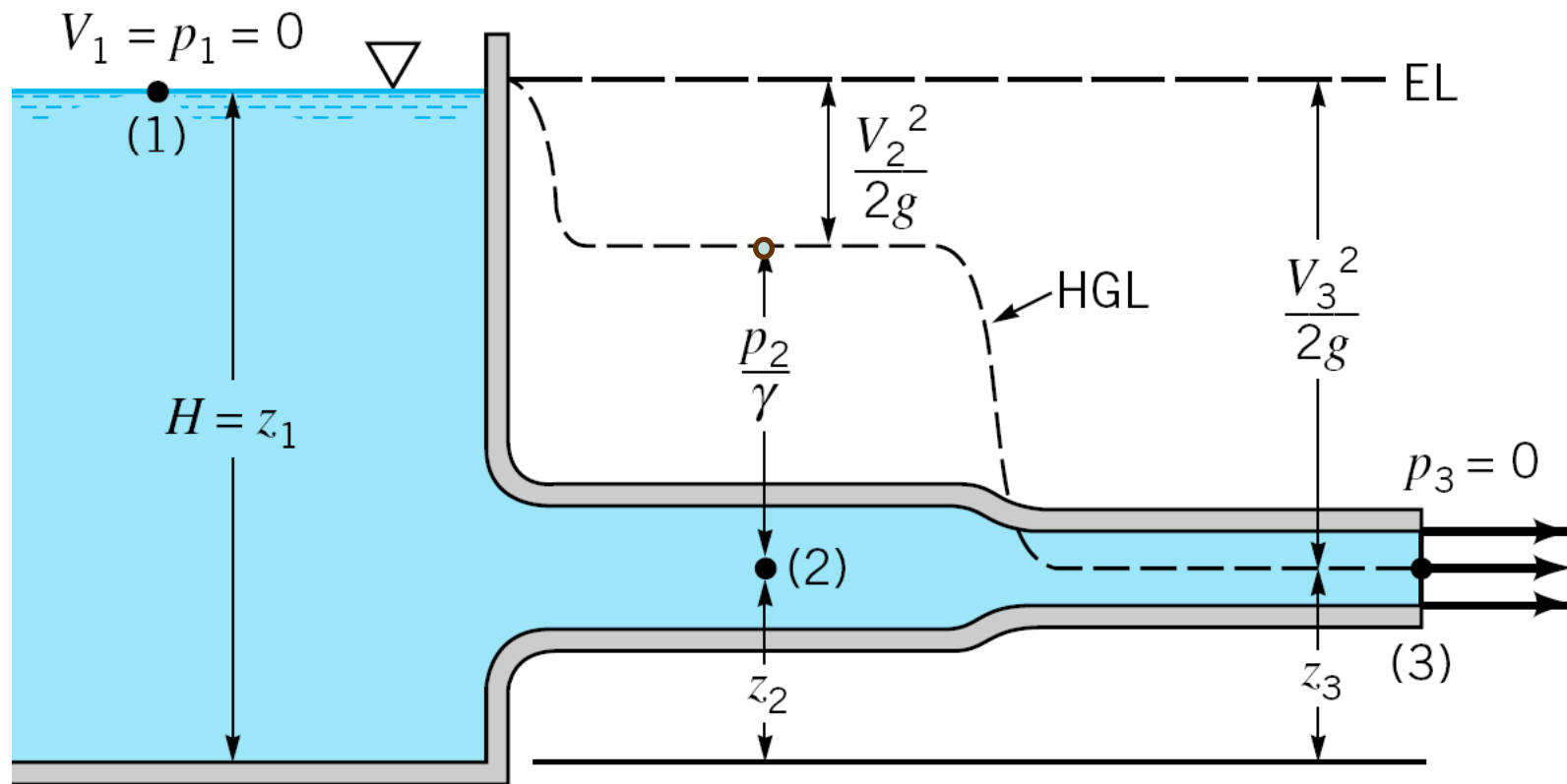
visina brzine

visina gubitaka

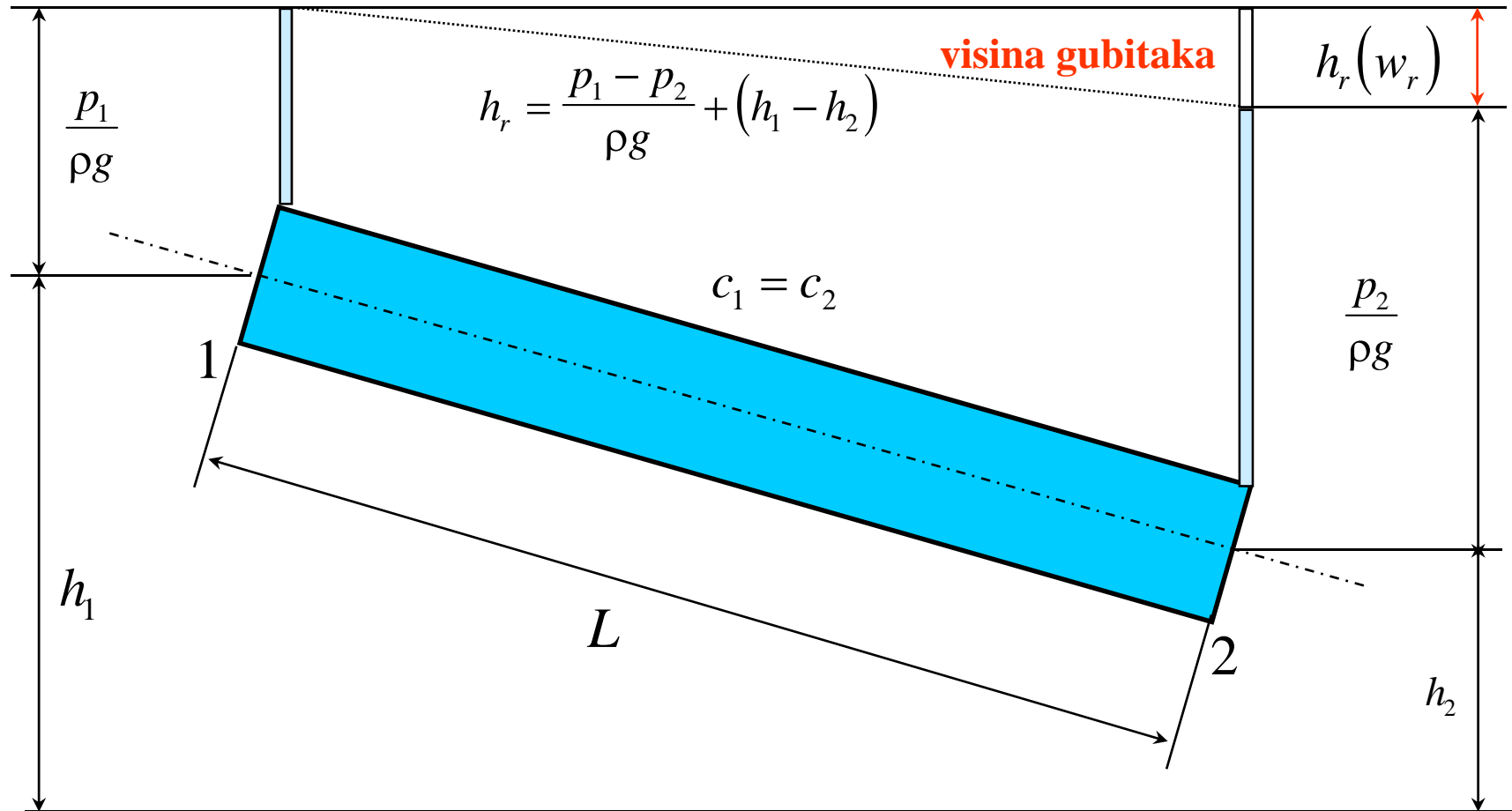
Bernoullieva jednadžba - primjena



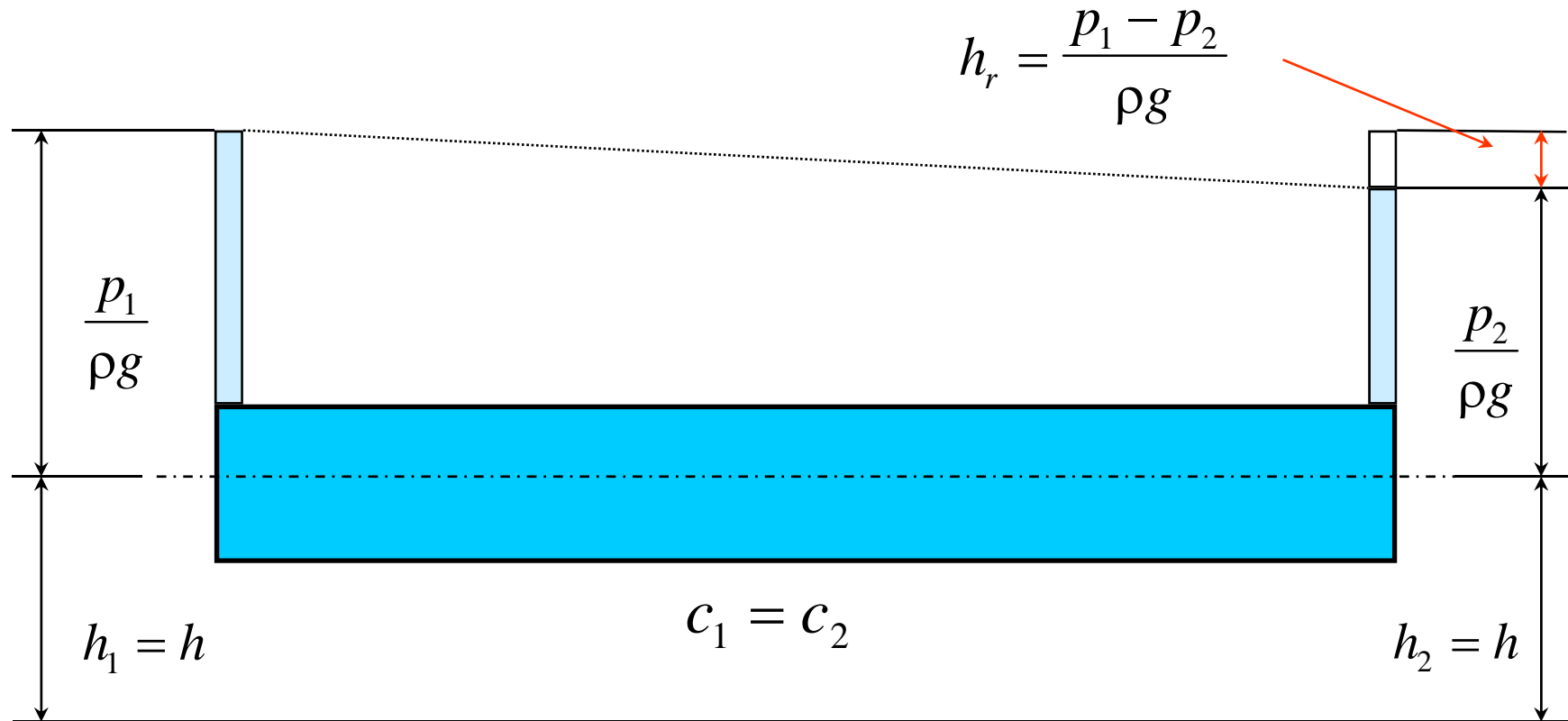
Bernoullieva jednadžba - primjena



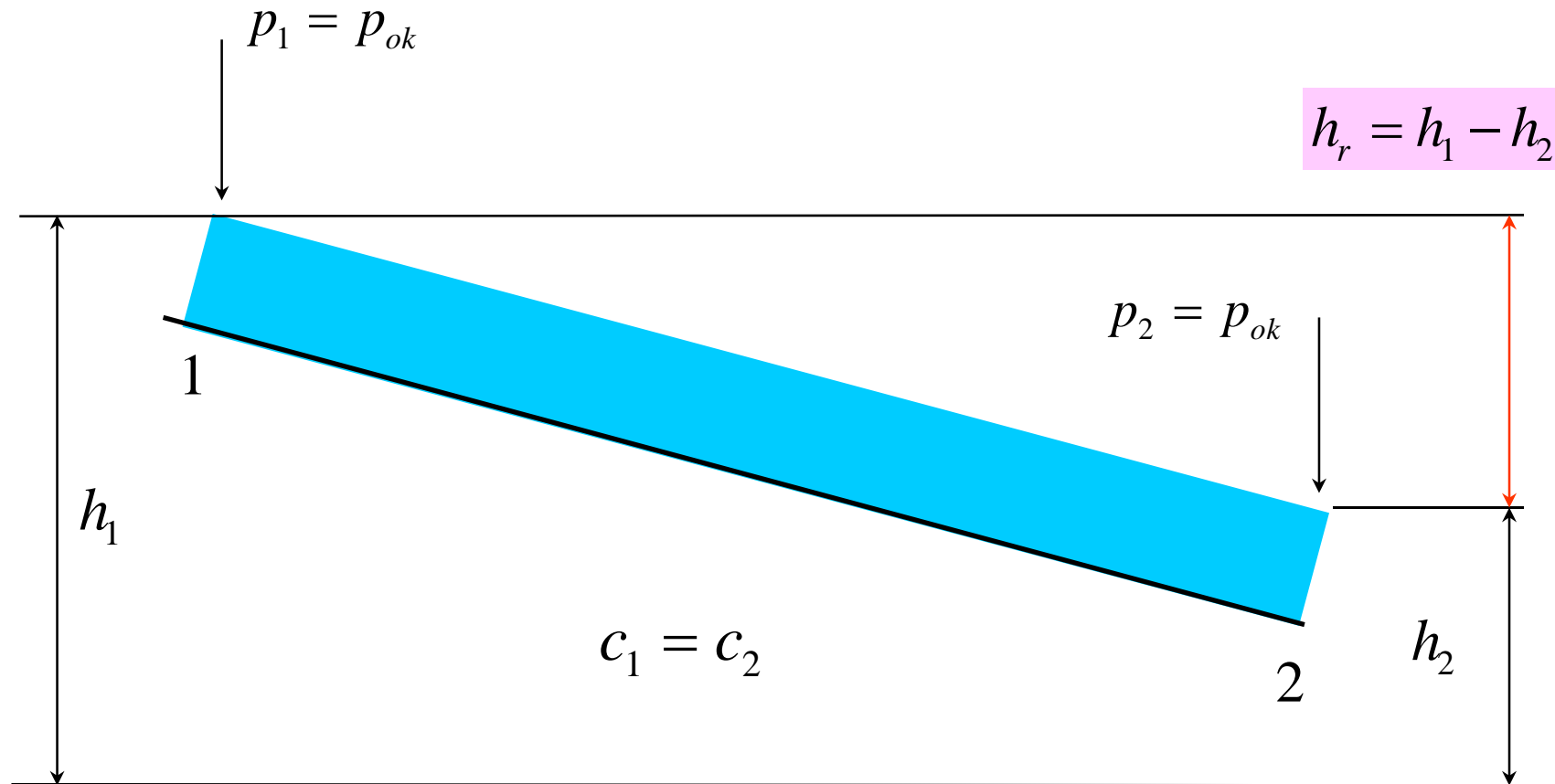
Strujanje u zatvorenoj cijevi



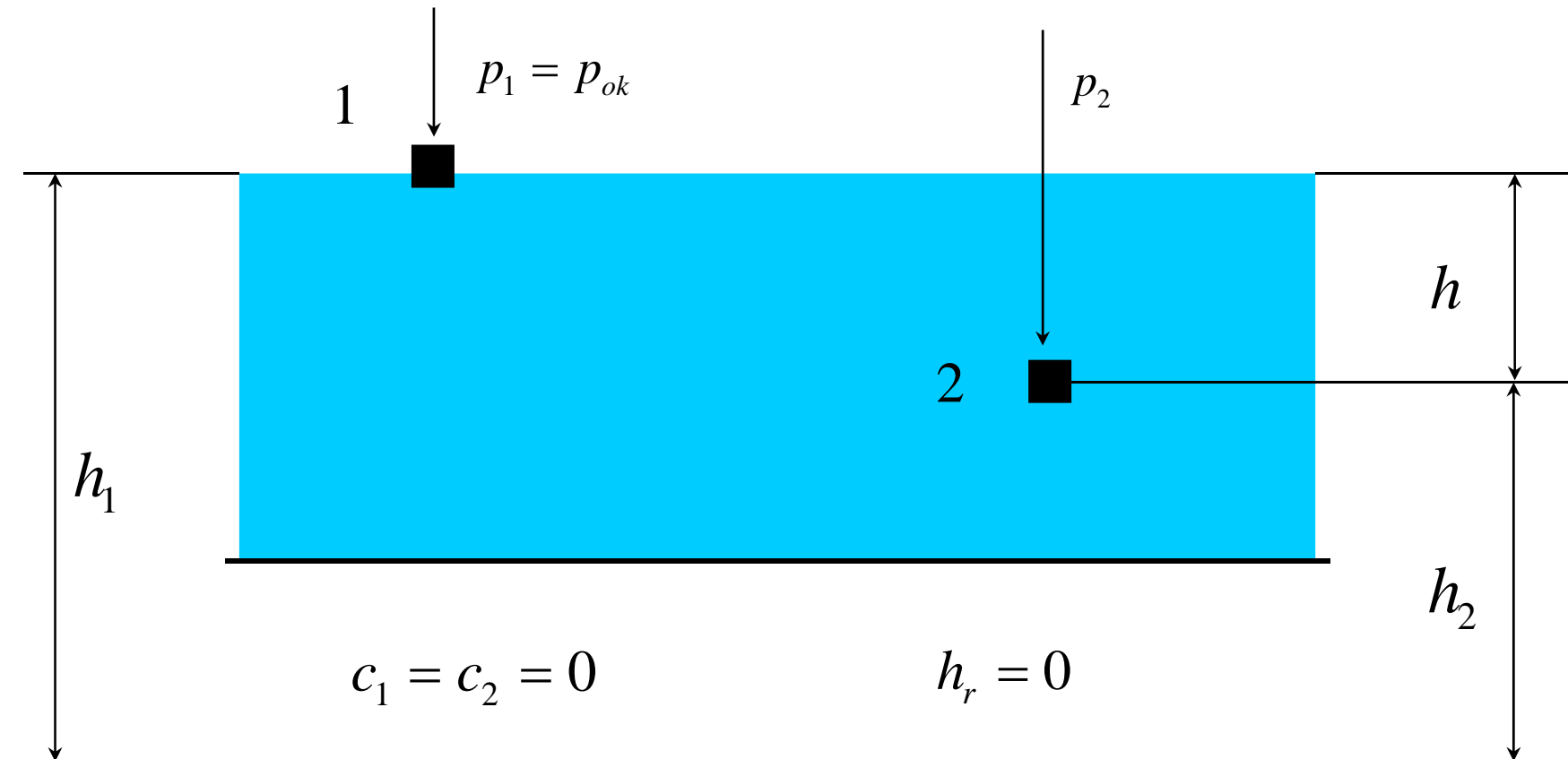
Strujanje kroz zatvoreni kanal ispunjen vodom



Strujanje kroz otvoreni kanal

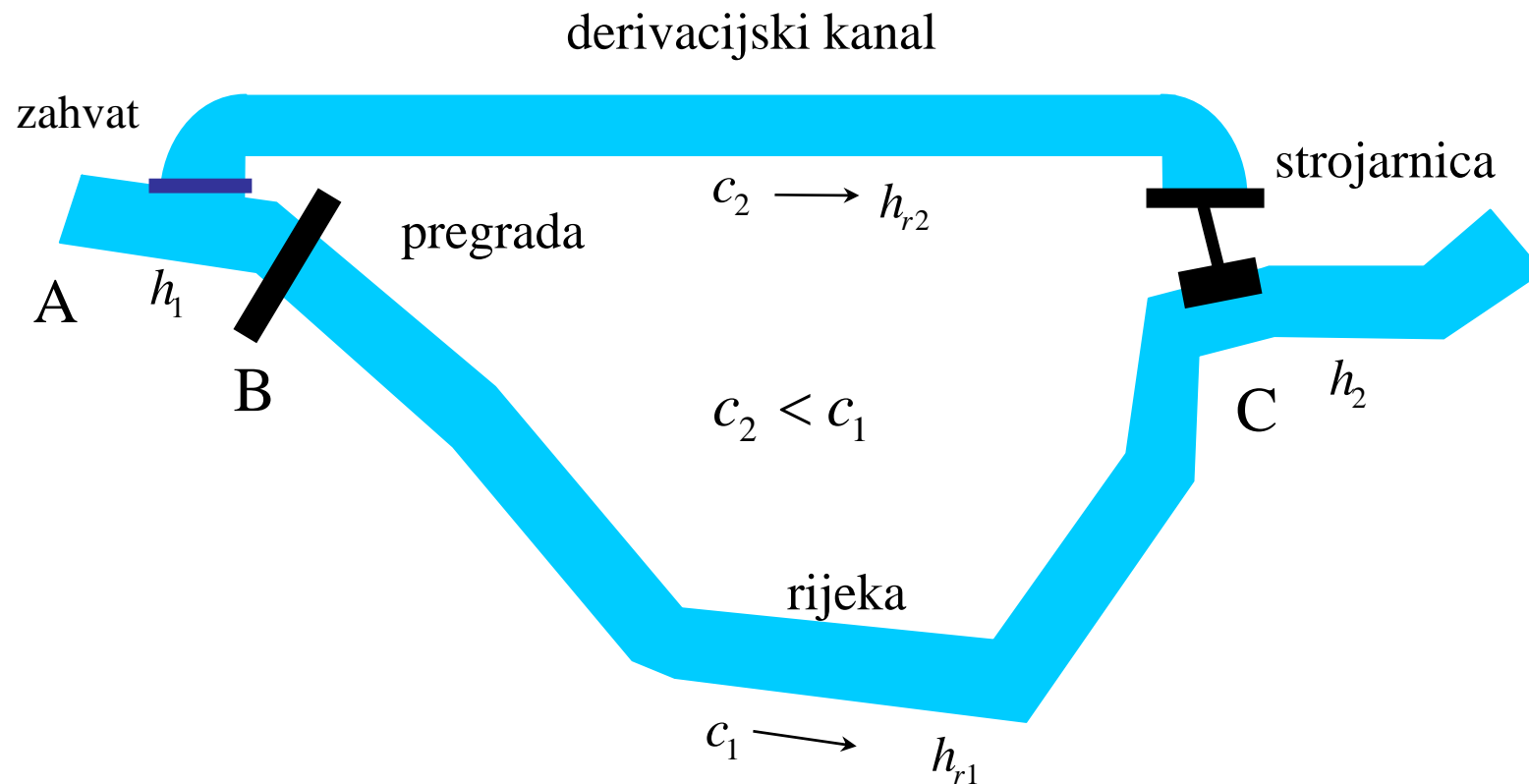


Tekućina u mirovanju – hidrostatski tlak



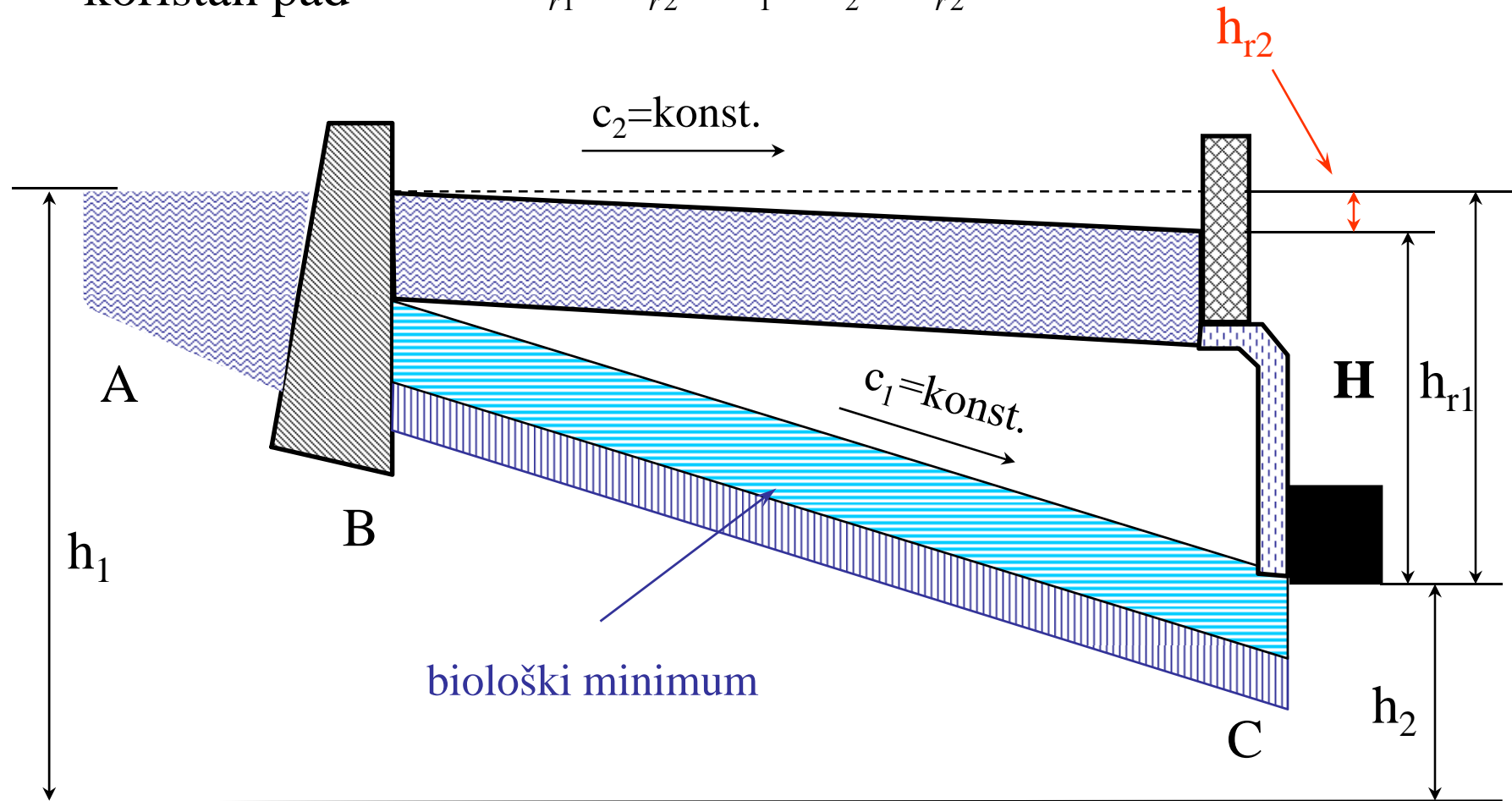
$$\frac{p_1}{\rho g} + h_1 = \frac{p_2}{\rho g} + h_2 \quad p_2 = p_1 + \rho g(h_1 - h_2) = p_1 + \rho gh = p_{ok} + \rho gh$$

Prirodni vodotoci i njihovo korištenje



Derivacijski kanal

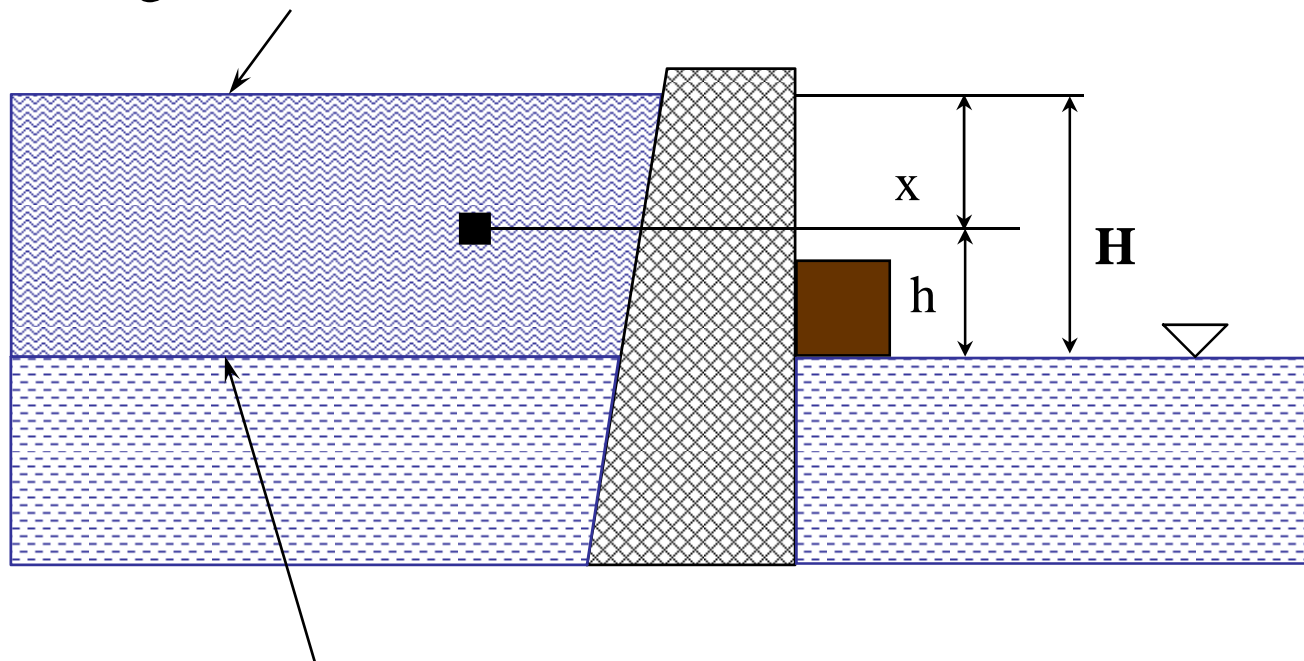
koristan pad $H = h_{r1} - h_{r2} = h_1 - h_2 - h_{r2}$



Podizanje razine vode pregradom

Maksimalna energija je jednaka H [m]

Podignuta razina vode



Razina vode prije podizanja

Stalno kod $Q=\text{konst.}$

Zadatak 1: konsumpciona krivulja

Instalirani protok derivacijske HE iznosi $500 \text{ m}^3/\text{s}$.
Na mjestu zahvata postavljena je pregrada visine 50 m.
Početak tlačnog tunela nalazi se na 200 m n.v. smješten na dnu pregrade, dok se dno odvodnog kanala nalazi na 100 m n.v.

Konsumpciona krivulja na mjestu zahvata dana je izrazom $H_{GV} = Q/10$, a na mjestu odvoda iz postrojenja $H_{DV} = Q/50$.

S kolikom će snagom raditi hidroelektrana kada je razina vode na $3/5$ visine pregrade, a s kolikom kada se voda podigne do vrha pregrade.

Odrediti aktivnu visinu u oba slučaja.

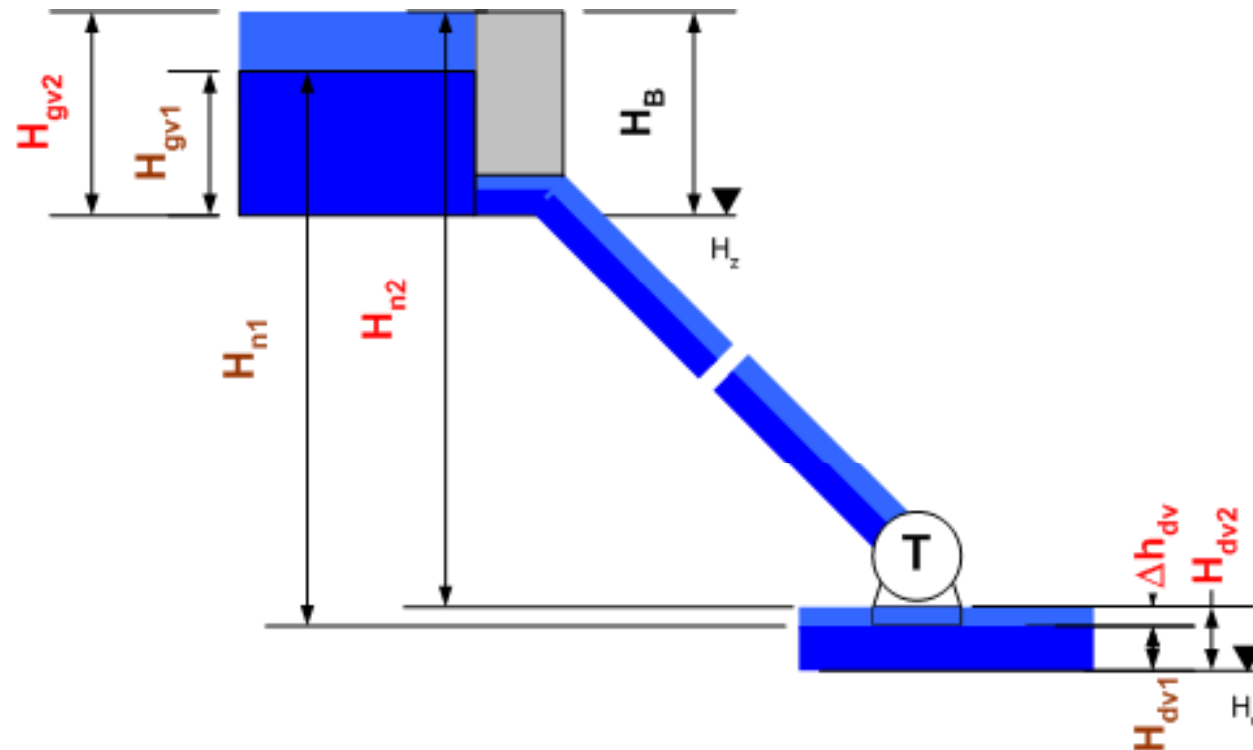
Računati bez gubitaka i uz stupanj iskorištenja 0,95.

Zadatak 1: rješenje

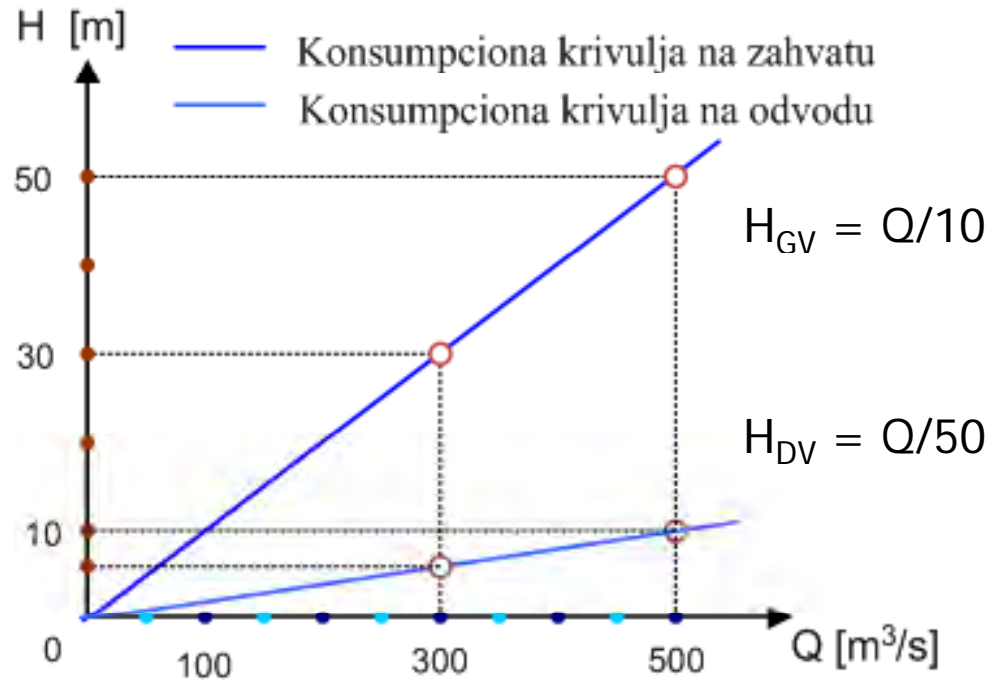
$Q_i = 500 \text{ m}^3/\text{s}$, $H_B = 50 \text{ m}$, $H_z = 200 \text{ m n.v.}$, $H_o = 100 \text{ m n.v.}$

$\eta_{HE} = 0,95$, $H_{GV1} = H_B \cdot 3/5$, $H_{GV2} = H_B$

$H_{n1} = ?$, $H_{n2} = ?$, $P_1 = ?$, $P_2 = ?$



Zadatak 1: rješenje (nastavak 1)



Konsumpcione krivulje na zahvatu i odvodu: prikazuju razinu gornje vode i razinu donje vode u ovisnosti o protoku.

$$(Q = 500 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$P = 9,81 \cdot \rho \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta$$

$$H_{n1} = H_{gv1} + (H_z - H_o) - H_{dv1}$$

$$H_{n2} = H_{gv2} + (H_z - H_o) - H_{dv2}$$

Zadatak 1: rješenje (nastavak 2)

Postupak:

1. Za poznati nivo gornje vode odrediti protok iz konsumpcione krivulje
2. Za određeni protok odrediti nivo donje vode
3. Izračunati aktivnu visinu i snagu

$$H_{GV1} = 3/5 \cdot 50 = 30 \text{ m} \rightarrow Q = 30 \cdot 10 = 300 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{DV1} = 300/50 = 6 \text{ m}$$

$$H_{n1} = 30 + 200 - 100 - 6 = 124 \text{ m}$$

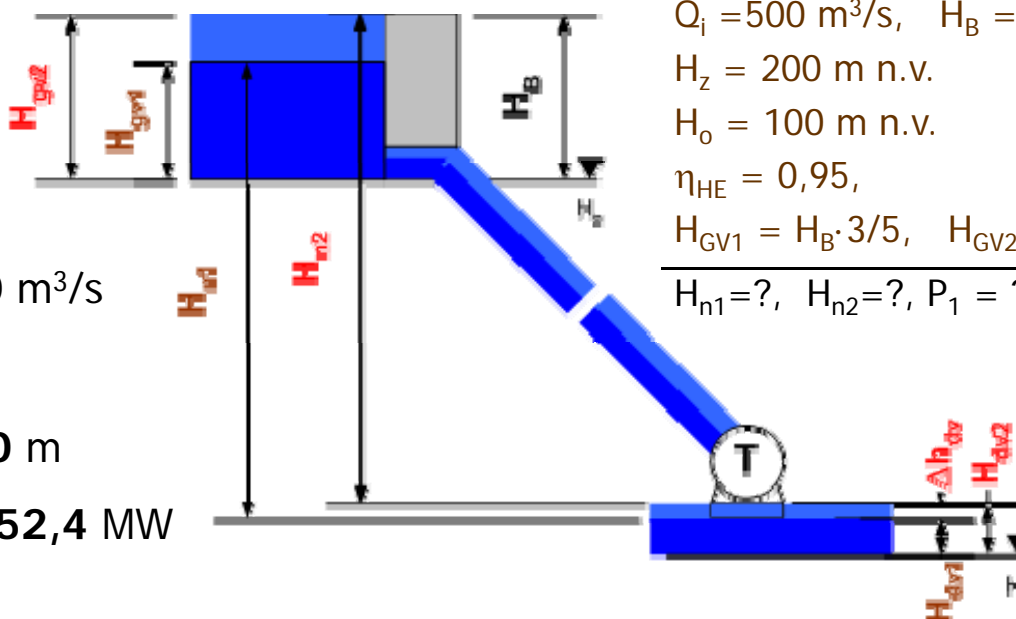
$$P_1 = 9,81 \cdot 1000 \cdot 300 \cdot 124 \cdot 0,95 = 346,6 \text{ MW}$$

$$H_{GV2} = 50 \text{ m} \rightarrow Q = 50 \cdot 10 = 500 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{DV2} = 500/50 = 10 \text{ m}$$

$$H_{n2} = 50 + 200 - 100 - 10 = 140 \text{ m}$$

$$P_2 = 9,81 \cdot 1000 \cdot 500 \cdot 140 \cdot 0,95 = 652,4 \text{ MW}$$



$$Q_i = 500 \text{ m}^3/\text{s}, \quad H_B = 50 \text{ m}$$

$$H_z = 200 \text{ m n.v.}$$

$$H_o = 100 \text{ m n.v.}$$

$$\eta_{HE} = 0,95,$$

$$H_{GV1} = H_B \cdot 3/5, \quad H_{GV2} = H_B$$

$$H_{n1} = ?, \quad H_{n2} = ?, \quad P_1 = ?, \quad P_2 = ?$$

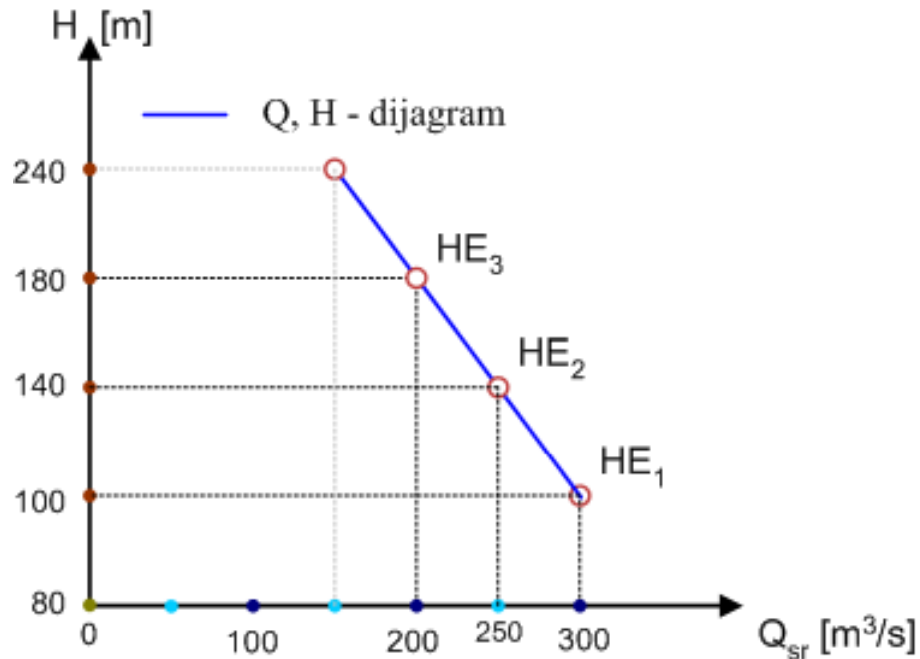
Zadatak 2: vjerojatnosna krivulja protoka

Na slivu čiji je Q-H dijagram dan izrazom

$H \text{ [m]} = 340 - Q_{sr} \text{ [m}^3\text{/s]} \cdot 4/5$ grade se tri pribranske hidroelektrane s visinom brane **40 m**: prva na **100 m**, druga na **140 m** i treća na **180 m** n.v. Odrediti moguću godišnju proizvodnju hidroelektrana pojedinačno i skupno ako je vjerojatnosna krivulja protoka dana izrazom

$Q_T \text{ [m}^3\text{/s]} = Q_{sr} \cdot (2 - t \text{ [mjesec]} / 6)$, a instalirani protoci u hidroelektranama su jednaki srednjim protocima na mjestu postavljanja.

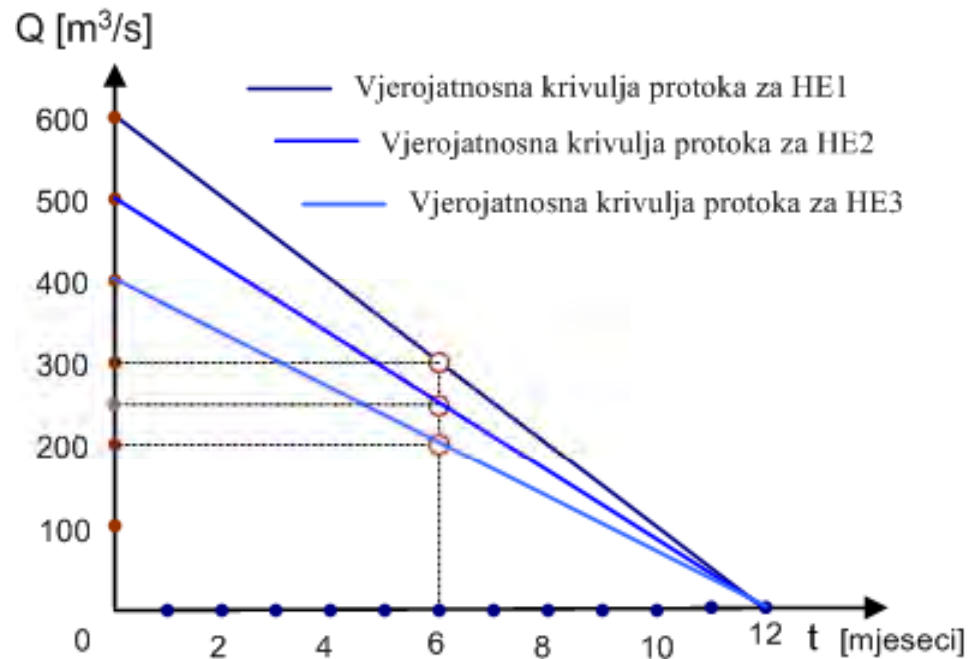
Zadatak 2: rješenje (instalirani protoci)



Q-H dijagram prikazuje iznos srednjeg protoka za odabranu nadmorsku visinu sliva

Srednji volumni protoci (ujedno i instalirani protoci HE) za odabrane nadmorske visine zahvata (100 m, 140 m, 180) su određene iz zadanog Q-H dijagrama $H = 340 - \frac{4}{5} \cdot Q$ [$Q = \frac{5}{4}(340 - H)$] i iznose, 300, 250 i 200 m³/s.

Zadatak 2: rješenje (vjerojatnosna krivulja)



Vjerojatnosna krivulja (ili krivulja trajanja) protoka prikazuje očekivano vrijeme (vjerojatnost) pojavljivanja određenog iznosa protoka za odabranu lokaciju. Trajanje protoka jednakog ili većeg od instaliranog određuje se iz vjerojatnosne krivulje protoka.

Za krivulju trajanja protoka zadanu pravcem srednji protok je $Q(t=6)$

Krivulje su određene za svaku HE na osnovi odgovarajućih srednjih protoka iz Q-H dijagrama vodotoka

$$Q_{sr1} = 300 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{sr2} = 250 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{sr3} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_T = Q_{sr} \cdot (2 - t/6)$$

Zadatak 2: rješenje (godišnja proizvodnja energije)

Općenito vrijedi za očekivanu godišnju proizvodnju:

$$W = 9,81\rho \cdot \left\{ Q_i \cdot \eta_i \cdot \int_0^{t_i} H_n(t) \cdot dt + \int_{t_i}^{12} Q(t) \cdot H_n(t) \cdot \eta(t) \cdot dt \right\}$$

$H_n(t)$ i $\eta(t)$ općenito ovise o protoku;

t_i je vrijeme očekivanog protoka $\geq Q_i$. HE ne može koristiti protoke veće od instaliranog i višak vode odlazi u preljev. Za vremena trajanja protoka od 0 do t_i protok je konstantan i jednak instaliranom protoku.

Ako se zanemari vremenska ovisnost $H_n(t)$ i $\eta(t)$ očekivanu snagu možemo računati s godišnjim prosječnim protokom kojeg možemo odrediti iz površine ispod krivulje trajanja protoka (prema x ili y osi).

Zadatak 2: rješenje (godišnja proizvodnja energije)

$$Q_{sri} = \frac{t_i \cdot Q_i + \frac{[Q_i + Q(12)]}{2} \cdot (12 - t_i)}{12}$$

Instalirani protok Q_i može biti jednak, manji ili veći od srednjeg očekivanog protoka Q_{sr}

Godišnji srednji protok Q_{sri} se odnosi na postrojenje i ovisi o instaliranome protoku te vjerojatnosnoj krivulji.

Očekivana godišnja proizvodnja jedne elektrane s pojednostavljenjem iznosi:

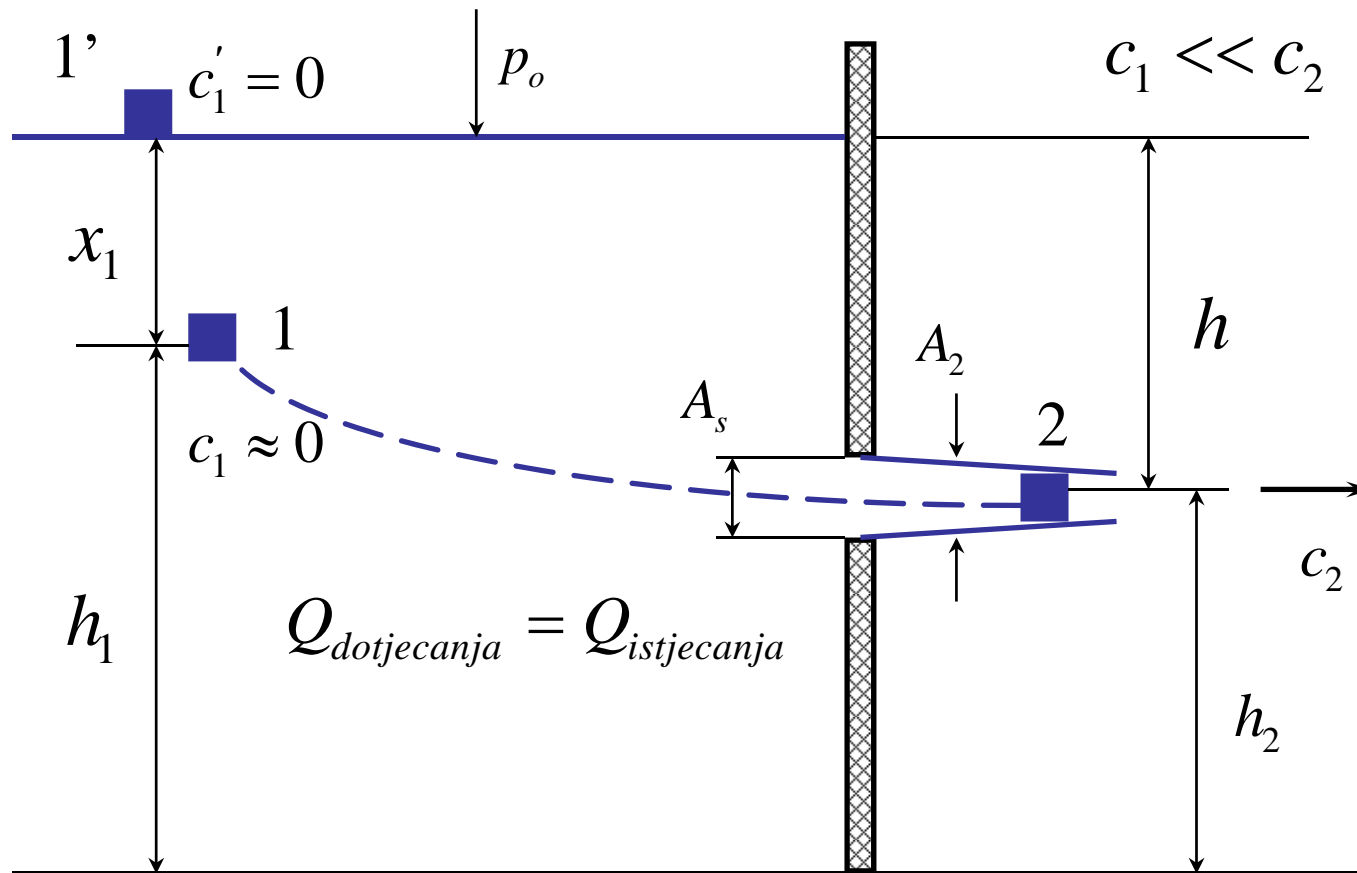
$$W = 8760 \cdot 9,81 \cdot 1000 \cdot Q_{sri} \cdot H_n, \quad (H_n \text{ je } 40 \text{ m})$$

	$Q_{sri} \text{ [m}^3/\text{s]}$	$P \text{ [kW]}$	$W \text{ [GWh]}$
HE 1	225	88290	773,4
HE 2	187,5	73575	644,5
HE 3	150	58860	515,6

$$W_{123} = 1933,5 \text{ GWh}$$

Istjecanje kroz mali otvor (1)

$$x_1 + h_1 = konst.$$



$$\frac{c_2^2}{2g} = h$$

$$c_2 = \sqrt{2gh}$$

$$Q = A_2 c_2 = A_2 \sqrt{2gh} = A_s \mu \sqrt{2gh}$$

Istjecanje kroz mali otvor (2)

za presjeke 1 i 2 vrijedi

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2}c_1^2 + gh_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2}c_2^2 + gh_2$$

za presjeke 1' i 1 vrijedi

$$\frac{p_o}{\rho} + \frac{1}{2}c_{1'}^2 + g(x_1 + h_1) = \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2}c_1^2 + gh_1$$

odnosno zbog $c_{1'} = 0, c_1 \approx 0$

$$\frac{p_1}{\rho} = \frac{p_o}{\rho} + gx_1$$

$$\frac{p_o}{\rho} + gh_1 + gx_1 = \frac{p_o}{\rho} + \frac{1}{2}c_2^2 + gh_2$$

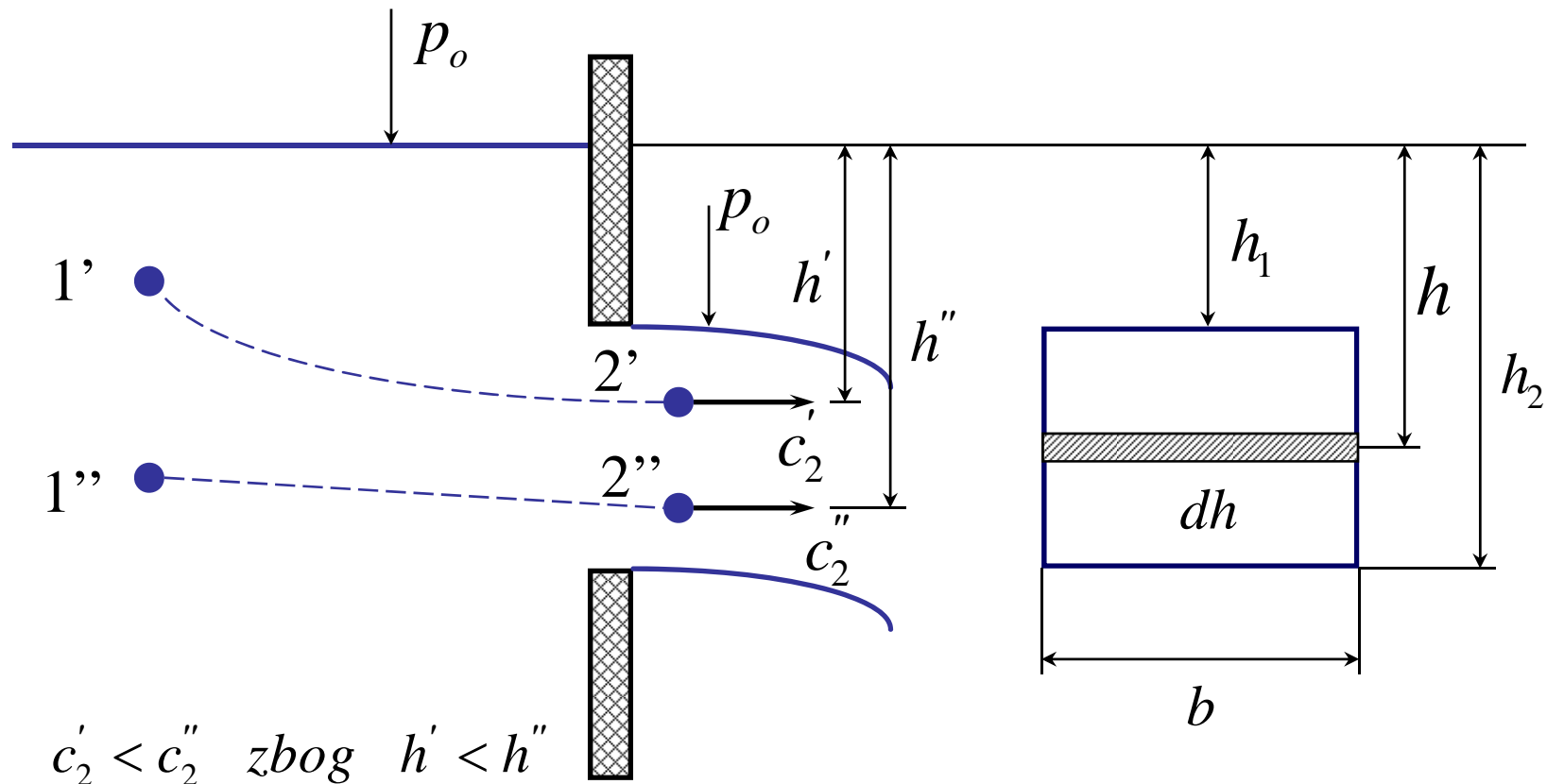
$$h_1 + x_1 = h_2 + h \Rightarrow$$

$$c_2 = \sqrt{2gh}$$

$$Q = A_2 c_2 = A_2 \sqrt{2gh} = A_s \mu \sqrt{2gh}$$

μ - koeficijent istjecanja (određuje se eksperimentalno)

Istjecanje kroz veliki otvor (1)



različite brzine strujanja u pojedinim visinama presjeka mlaza

Istjecanje kroz veliki otvor (2)

$$c_2' = \sqrt{2gh'} \quad c_2'' = \sqrt{2gh''}$$

$$c_2 = \sqrt{2gh}$$

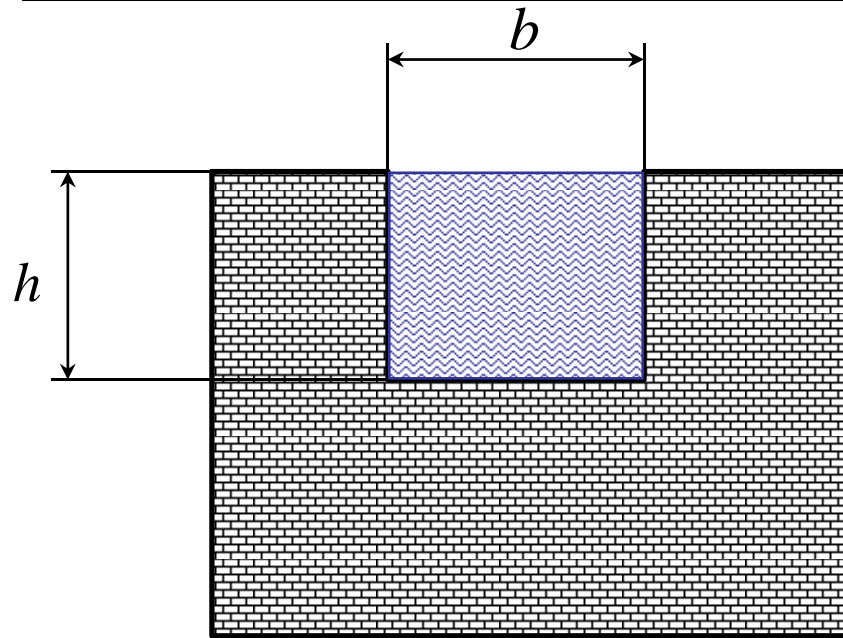
$$dQ = \mu \cdot dA \cdot c_2$$

$$dQ = \mu dA \sqrt{2gh} = \mu b dh \sqrt{2gh}$$

$$Q = \mu b \sqrt{2g} \int_{h_1}^{h_2} \sqrt{h} dh$$

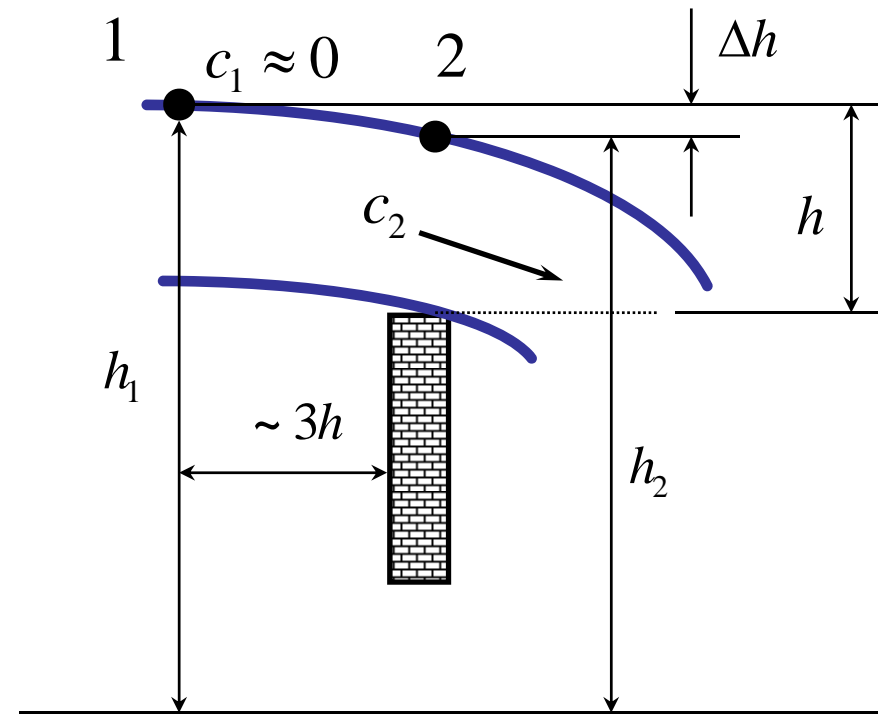
$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} \left(\sqrt{h_2^3} - \sqrt{h_1^3} \right)$$

Istjecanje preko preljeva - $h_1 = 0$; $h_2 = h$



$$Q = \mu b \sqrt{2g} \int_0^h \sqrt{h} dh$$

$$Q = \frac{2}{3} \mu b h \sqrt{2gh}$$



$$c_2 = \sqrt{2g\Delta h}$$

$$\Delta h = \frac{c_2^2}{2g}$$

Zadatak 3: preljev

Pribranska hidroelektrana s instaliranim protokom od $500 \text{ m}^3/\text{s}$ i pregradom visine 30 m , radi sa snagom $112,8 \text{ MW}$ pri instaliranom protoku, sa zapornicama podignutim 5 m . Širina brane je 30 m , širina preljevnog polja 10 m i visina preljevnog polja 10 m .

Konsumpciona krivulja na zahvatu zadana je izrazom $H_{gv} = Q / 20$.

Izračunati kolika će biti snaga elektrane ako protok naraste za $100 \text{ m}^3/\text{s}$, a zapornice se podignu za 2 m . Koliko iznosi koeficijent istjecanja kroz preljev μ u navedenom slučaju? Brzina istjecanja vode kroz preljevno polje i brzina otjecanja vode su jednake. (Uzeti $\eta=1$.)

Zadatak 3: rješenje

$$B_{pp} = 10 \text{ m}, H_{pp} = 10 \text{ m}, h_z = 5 \text{ m}, \Delta h_z = 2 \text{ m}$$

$$H_z = Q/20$$

$$Q_i = Q_1 = 500 \text{ m}^3/\text{s}, \Delta Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}, H_B = 30 \text{ m}, B = 30 \text{ m}$$

$$P_2 = ?, \mu = ?$$

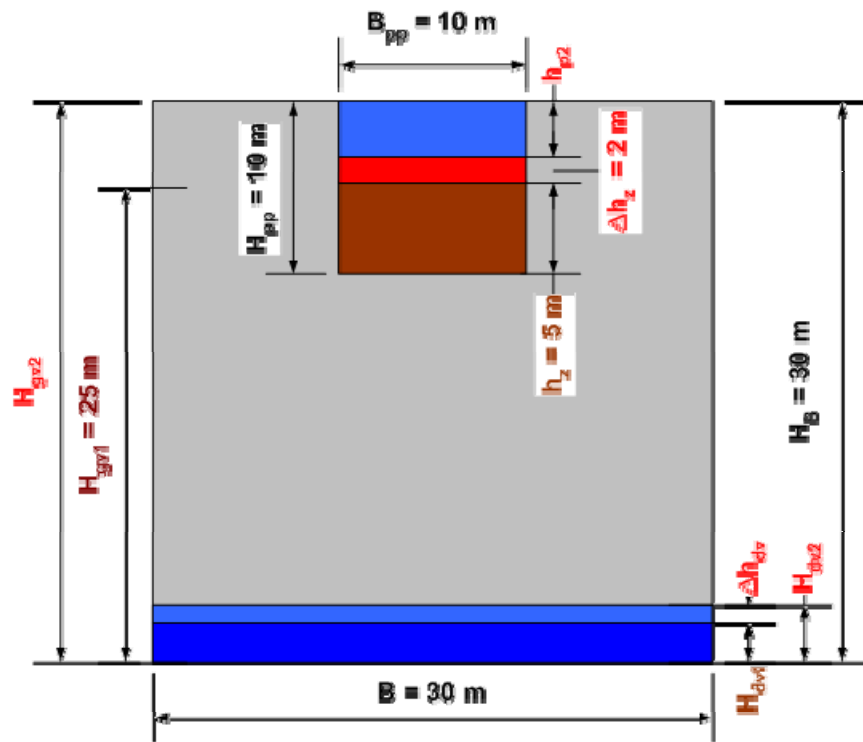
$$P_2 = 9,81 \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta$$

Snaga ovisi o protoku kroz turbinu, aktivnoj visini i stupnju djelovanja:

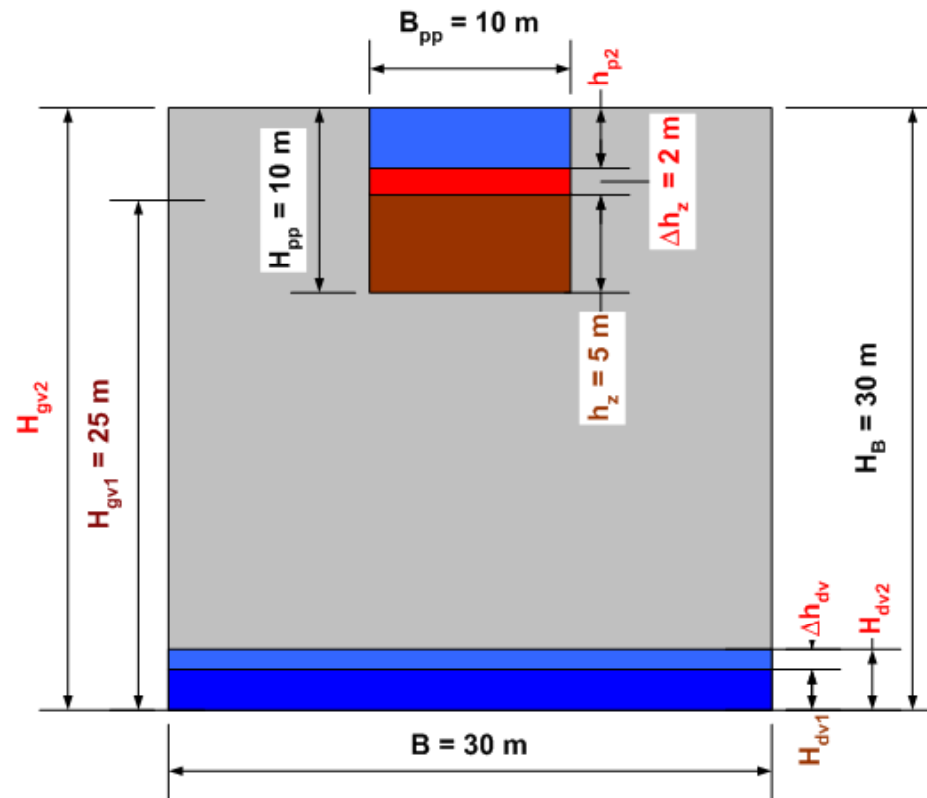
$\eta = 1$ Pretpostavljen stupanj djelovanja.

$Q = Q_i$ Protok kroz turbinu jednak je protoku ispred pregrade i ograničen na instalirani iznos.

$$H_n = H_{av} - H_{dv}$$



Zadatak 3: rješenje



$$Q = \frac{2}{3} \mu B_{pp} h_z \sqrt{2gh} = \frac{2}{3} \mu \cdot 10 \cdot 3 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 100$$

$$\mu = 0,65$$

Zadatak 3: rješenje

$$H_{n2} = H_{gv2} - H_{dv2}$$

$$H_{gv2} = H_z(Q_2) = (Q_1 + \Delta Q)/20 = 30 \text{ m}$$

(gornji rub brane)

$$H_{dv2} = H_{dv1} + \Delta h_{dv}$$

(treba odrediti početnu razinu donje vode)

$$H_{dv1} = H_{gv1} - H_{n1}$$

$$H_{gv1} = H_z(Q_1) = 500/20 = 25 \text{ m}$$

$$H_{n1} = P_1 / (9,81 \cdot Q_1) = 23 \text{ m}$$

$$H_{dv1} = 25 - 23 = 2 \text{ m}$$

Δh_{dv} – pomoću jednadžbe kontinuiteta (iz jednakosti brzina vode koja teče kroz prelivno polje i vode na odvodu izlazi jednakost površina otjecanja):

$$\rho c A_1 = \rho c A_2; A_1 = A_2$$

$$h_{p2} = H_{pp} - (h_z + \Delta h_{dz})$$

$$h_{p2} = 10 - (5 + 2) = 3 \text{ m}$$

$$\Delta h_{dv} = B_{pp} \cdot h_{p2} / B = 10 \cdot 3 / 30 = 1 \text{ m}$$

$$H_{dv2} = 2 + 1 = 3 \text{ m}$$

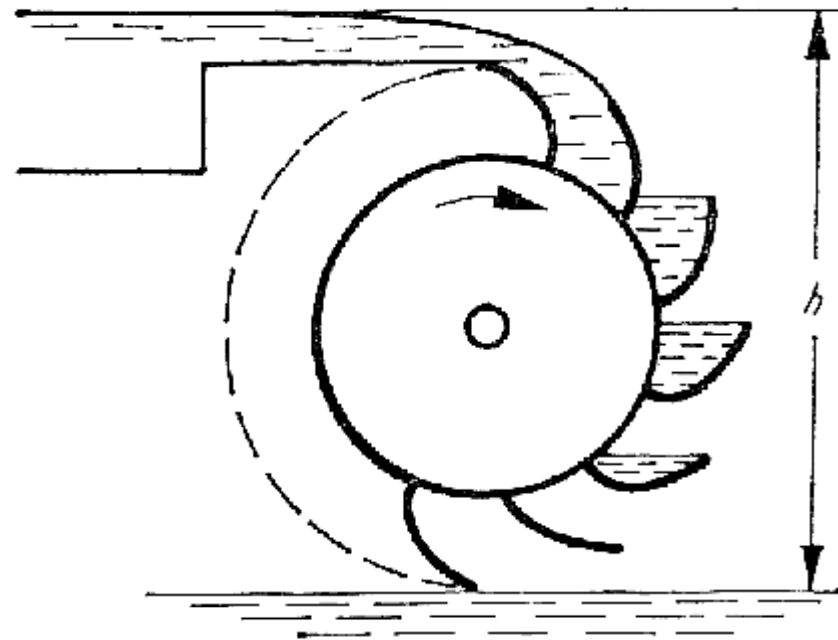
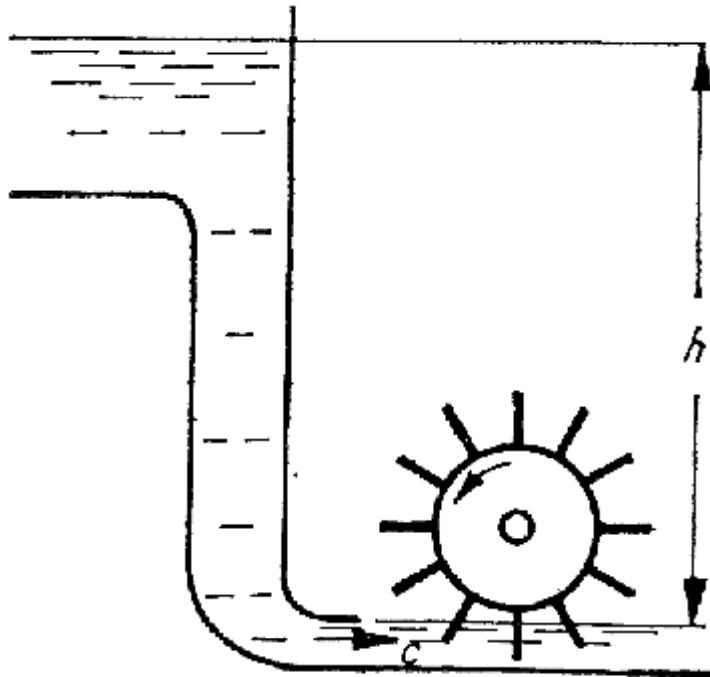
$$H_{n2} = 30 - 3 = 27 \text{ m}$$

$$P_2 = 9,81 \cdot 500 \cdot 27 \cdot 1 = 132,4 \text{ MW}$$

$$\mathbf{P_2 = 132,4 MW}$$

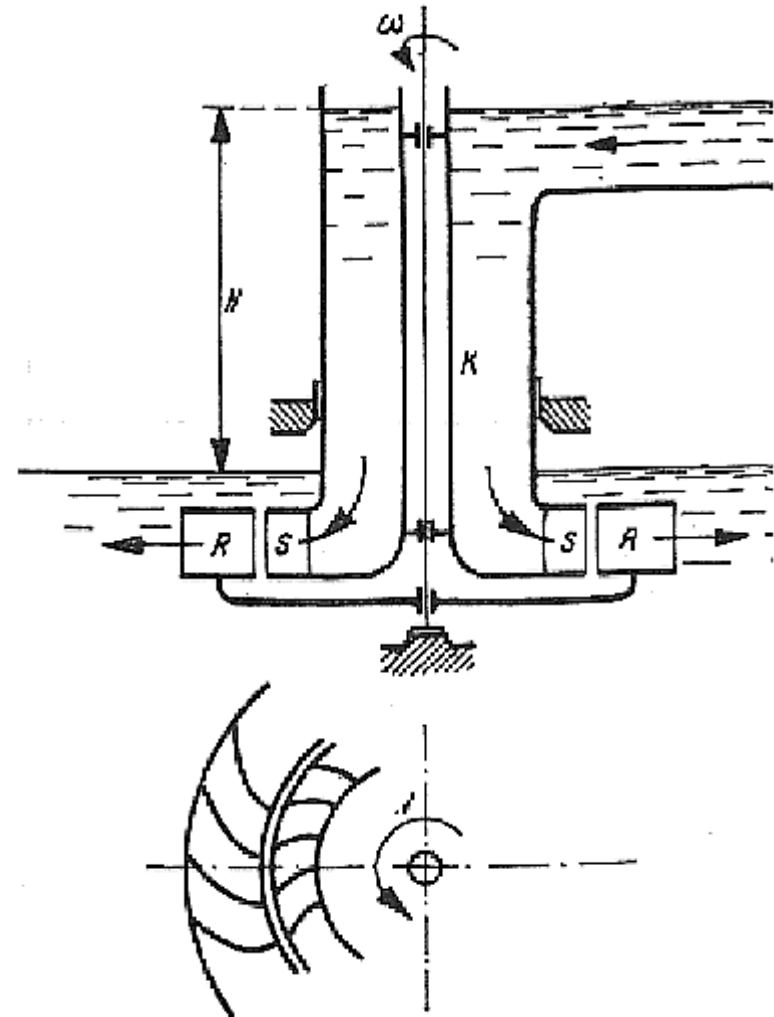
Način pretvorbe EP vode u MR

- iskorišćenje kinetičke energije
- iskorišćenje potencijalne energije
- iskorišćenje energija tlaka



Povijest vodnih turbina

- najjednostavniji pret. sustav je vodenica
- prva vodna turbina u današnjem smislu postavljena je 1837. godine u Francuskoj (Fourneyronova turbina)

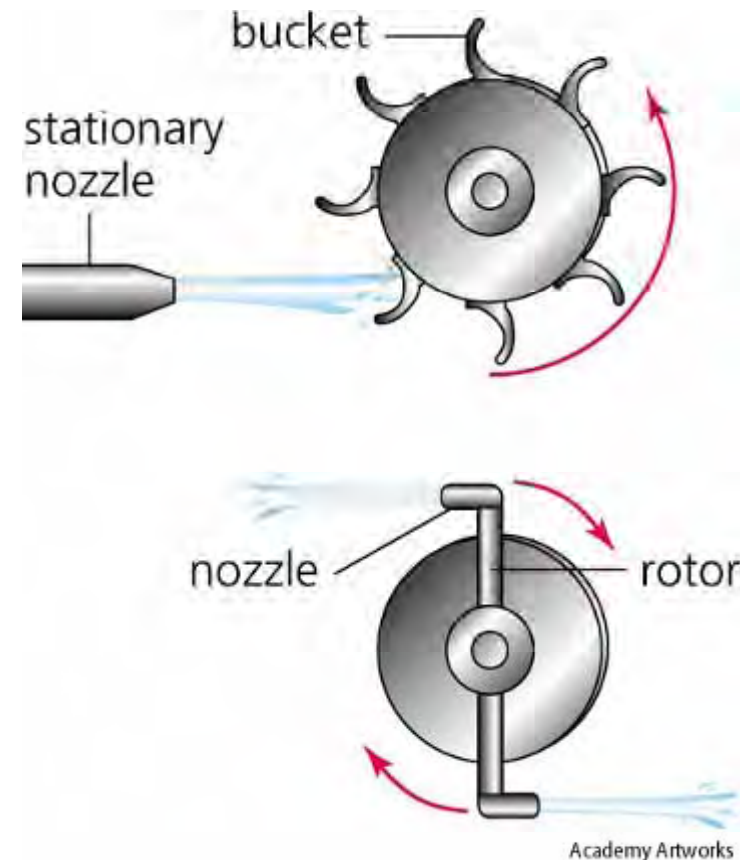


Podjela vodnih turbina

- Pretlačne vodne turbine (reakcijske)
 - Francis (konstruirao Amerikanac Francis 1848. god.)
 - s okomitom osovinom
 - s horizontalnom osovinom
 - Kaplan (konstruirao Čeh Kaplan 1912. god.)
 - propeler (Kaplan turbina s nepomičnim rotorskim lop.)
- Turbine slobodnog mlaza (akcijske)
 - Pelton (konstruirao Amerikanac Pelton 1878. god.)

Turbine: impulsne (slobodnog mlaza) i reakcione (pretlačne)

- Impulsne - snaga ovisi o padu i protoku
- Impuls – slično vodenom kolu (kotaču)
 - slobodni mlaz
 - udubljene lopatice - okreću se u zraku
 - za velike padove
- Reakcione (pretlačne)- za velika postrojenja:
 - lopatice – potopljene u vodi
 - veliki protok

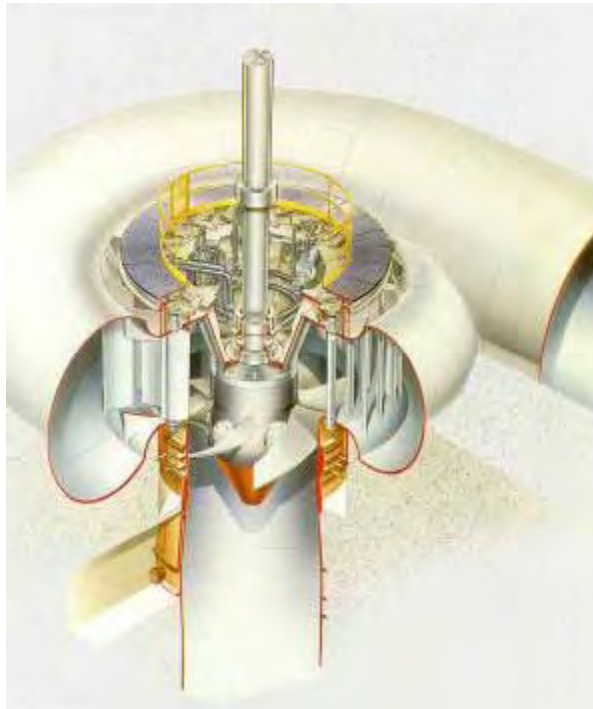


Reakcijske turbine

Francis



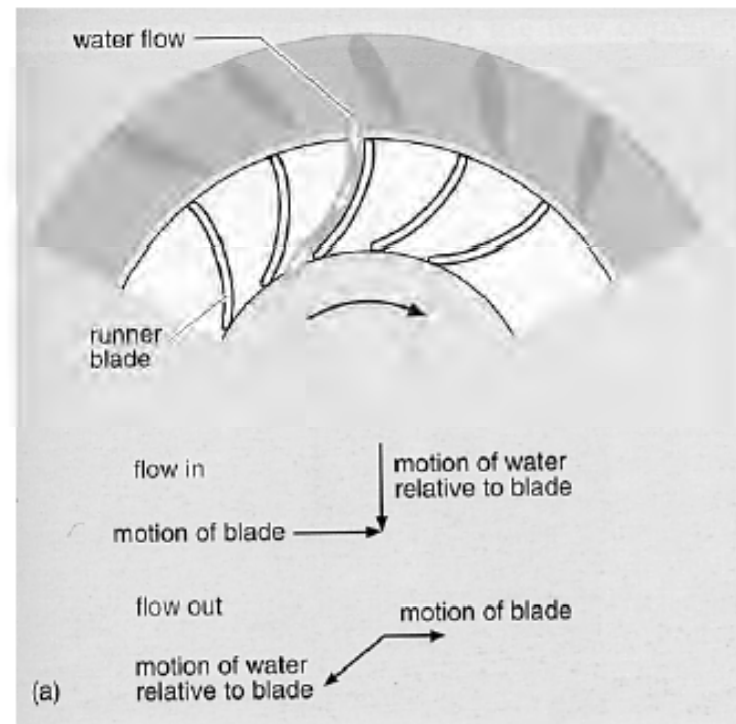
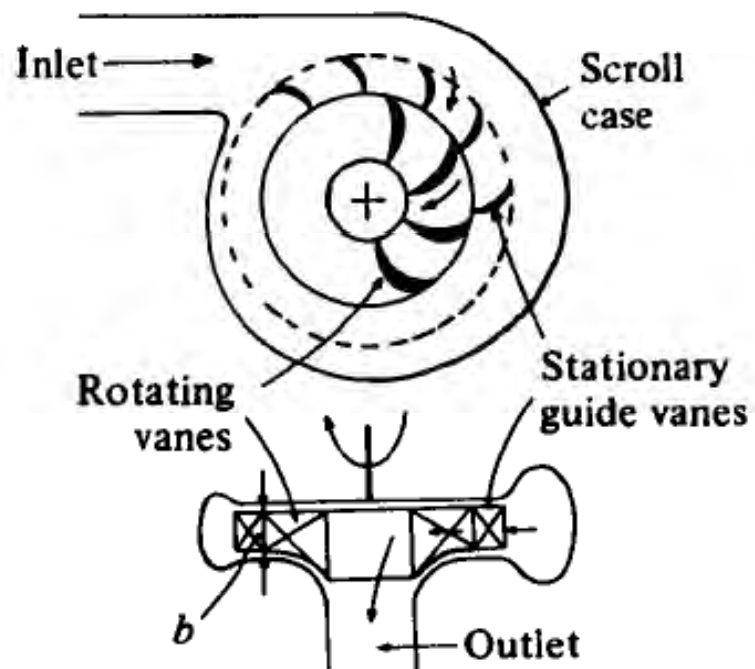
Kaplan



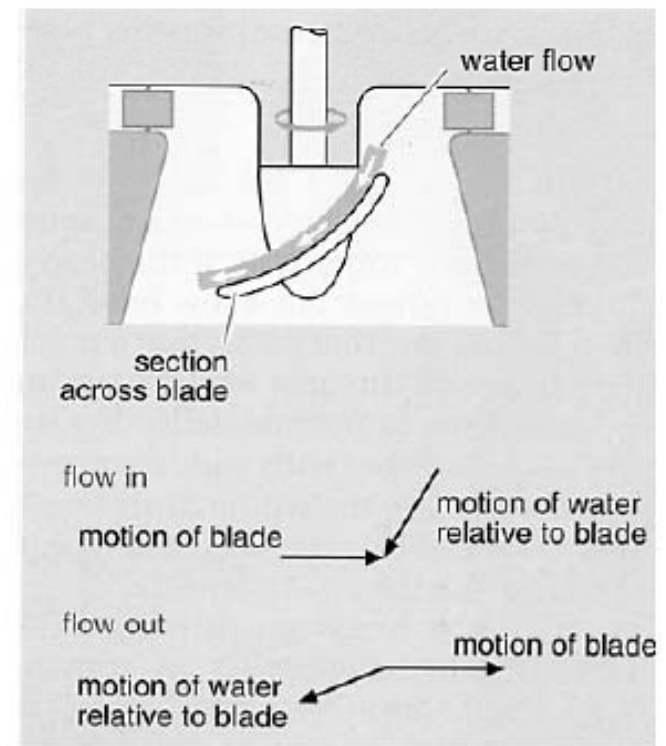
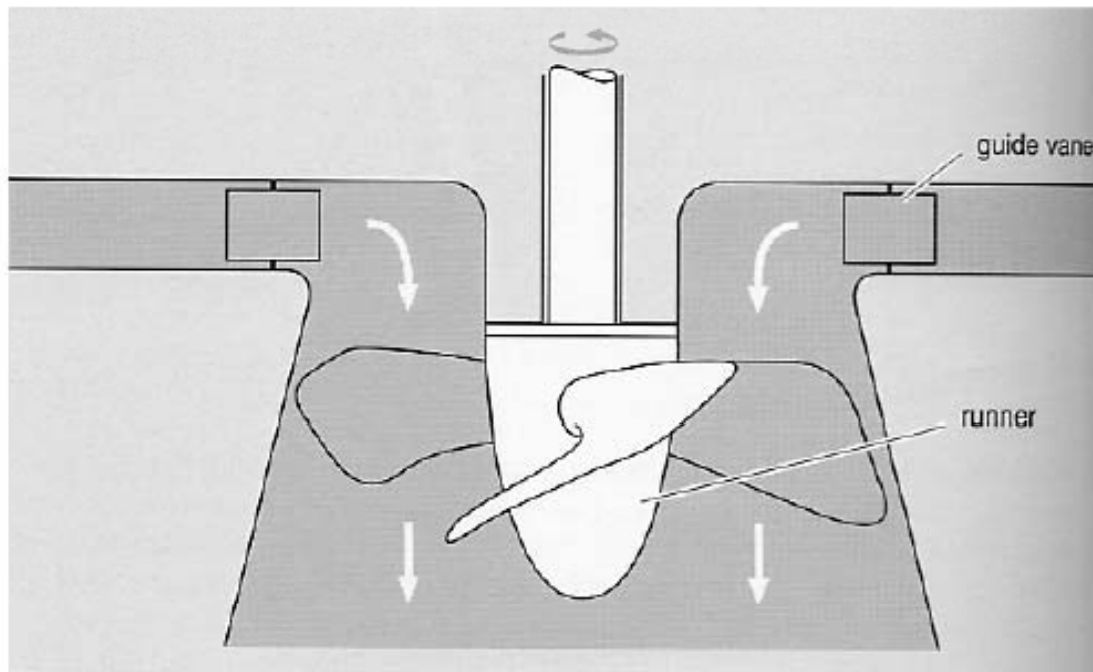
Propeler



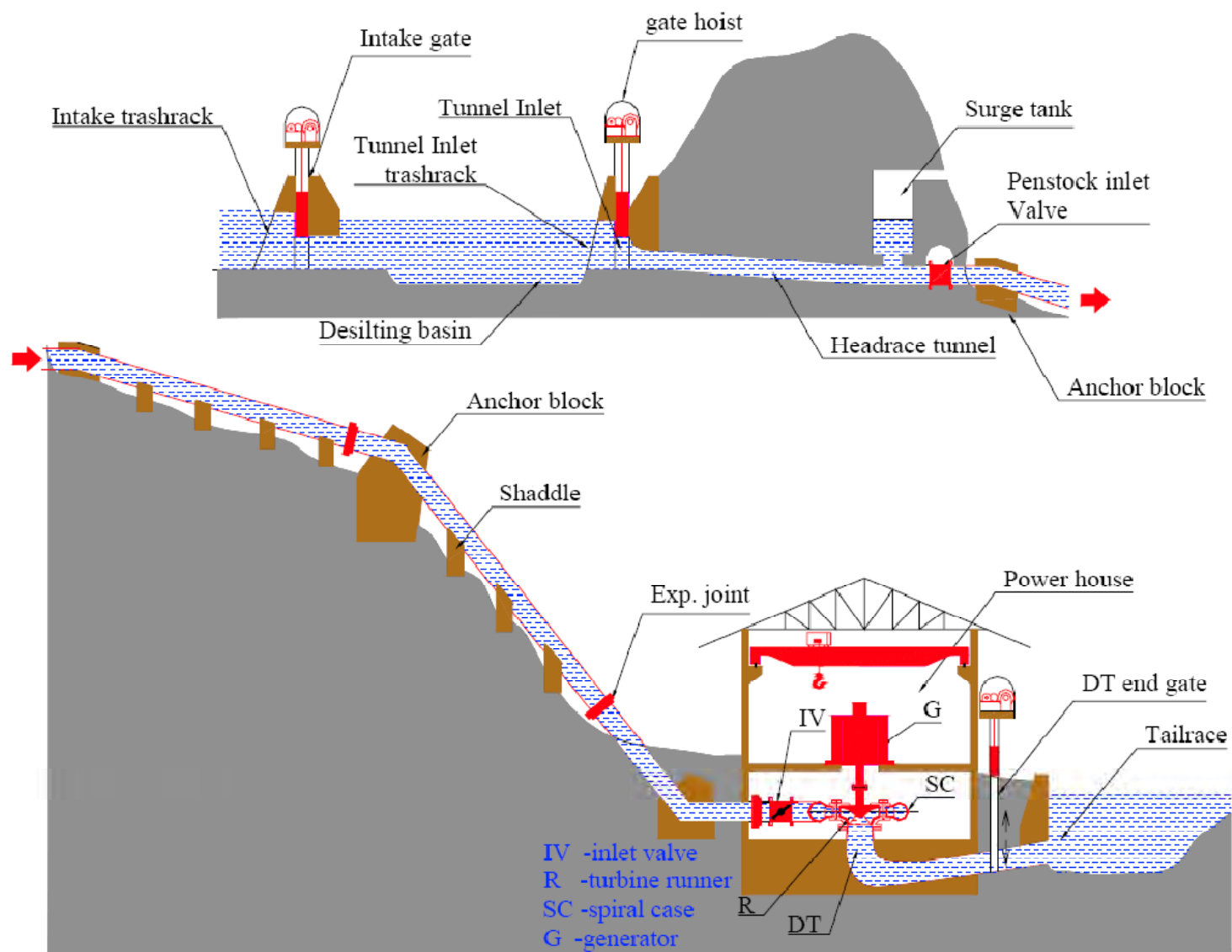
Princip rada Francis turbine



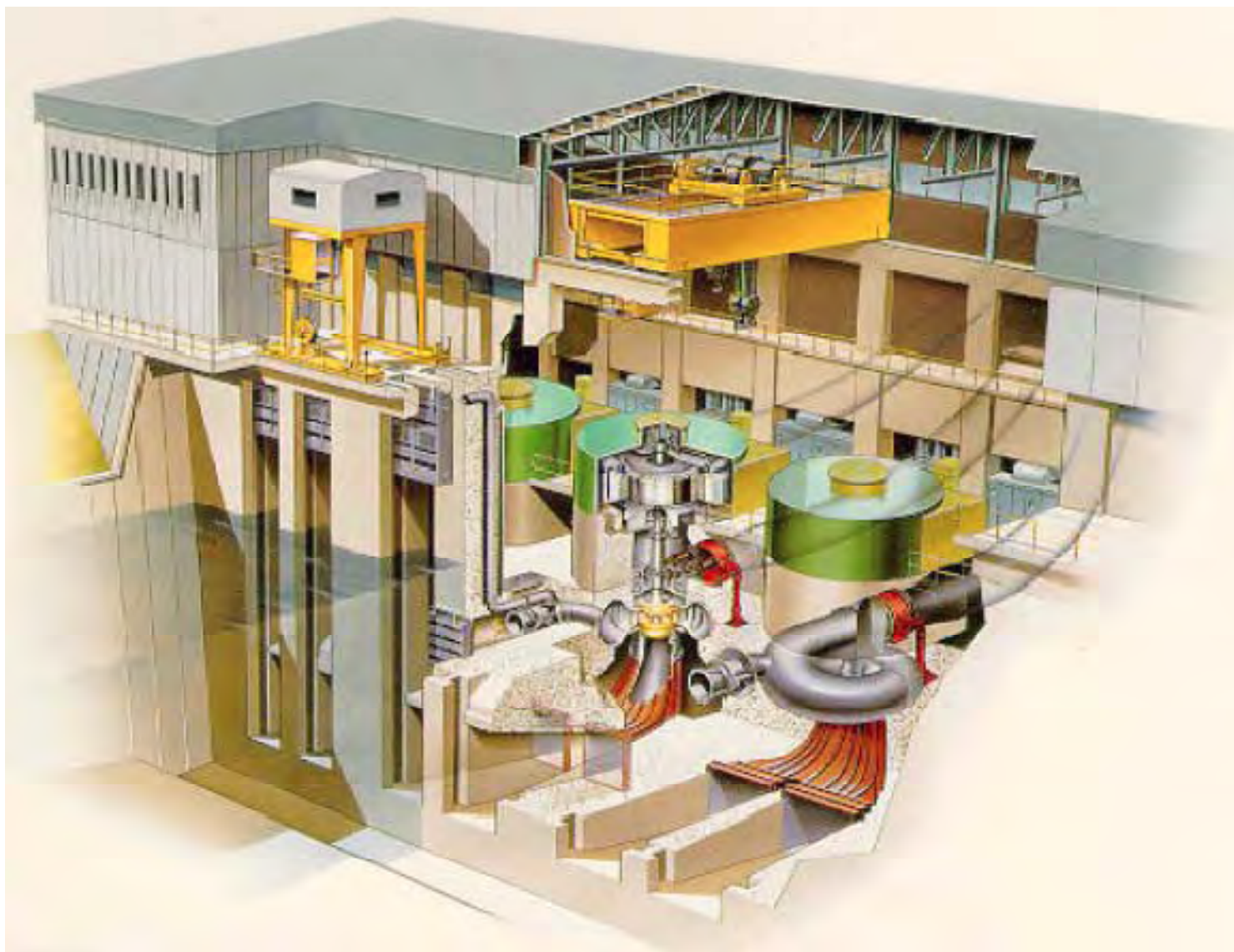
Princip rada Kaplan turbine



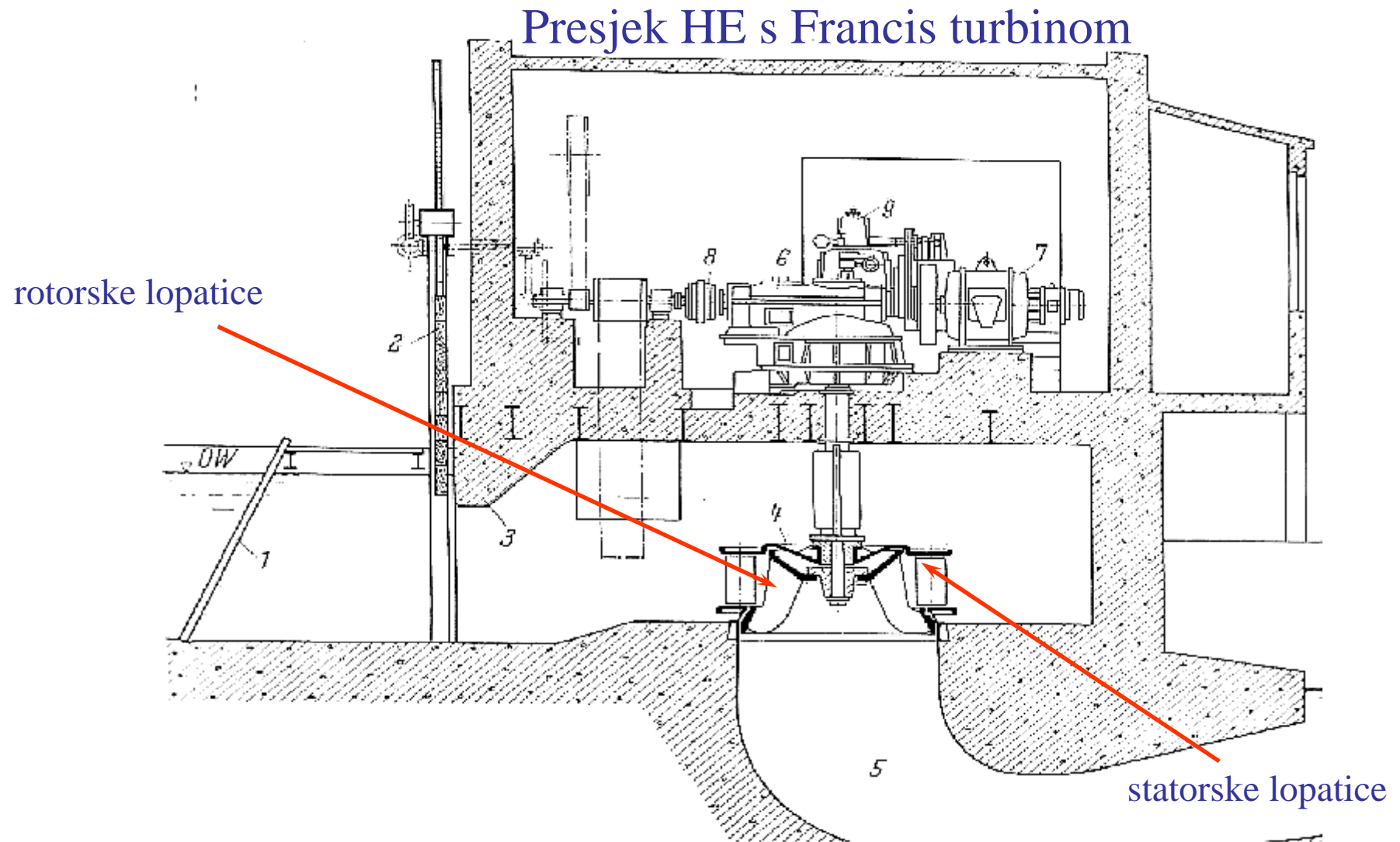
Tipični izgled HE s Francis turbinom



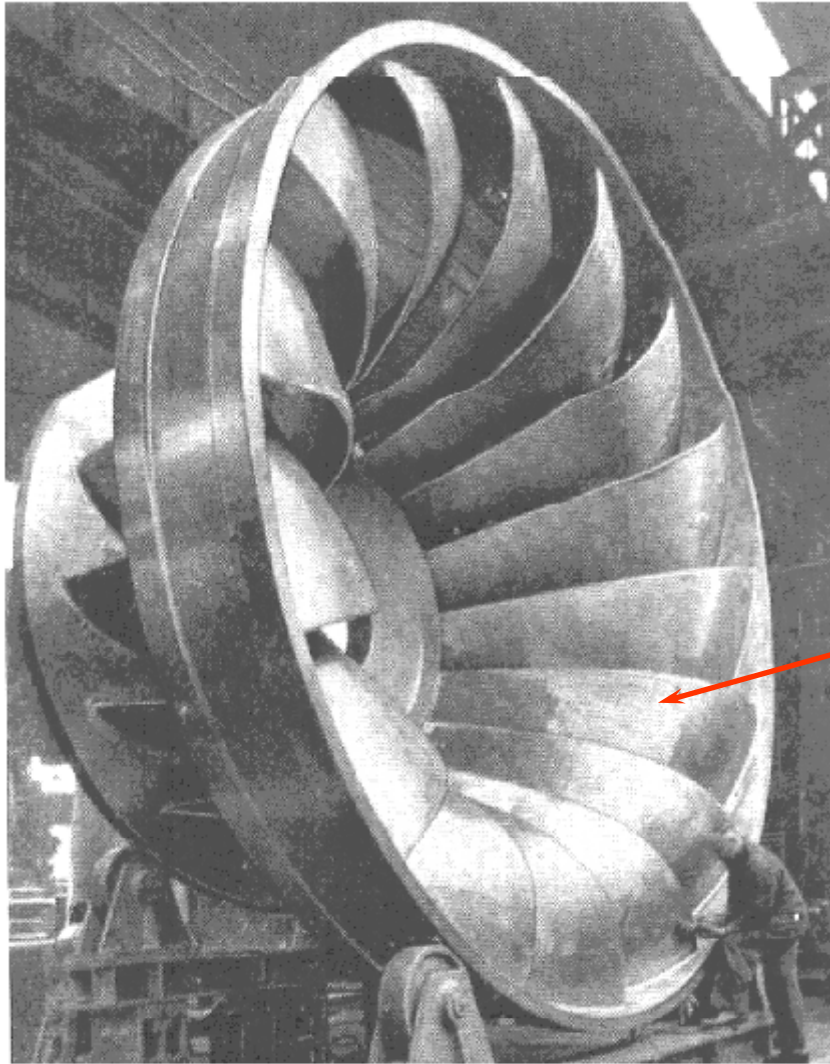
Tipični izgled strojarnice s Francis turbinom



Francis vodna turbina (1)



Francis vodna turbina (2)



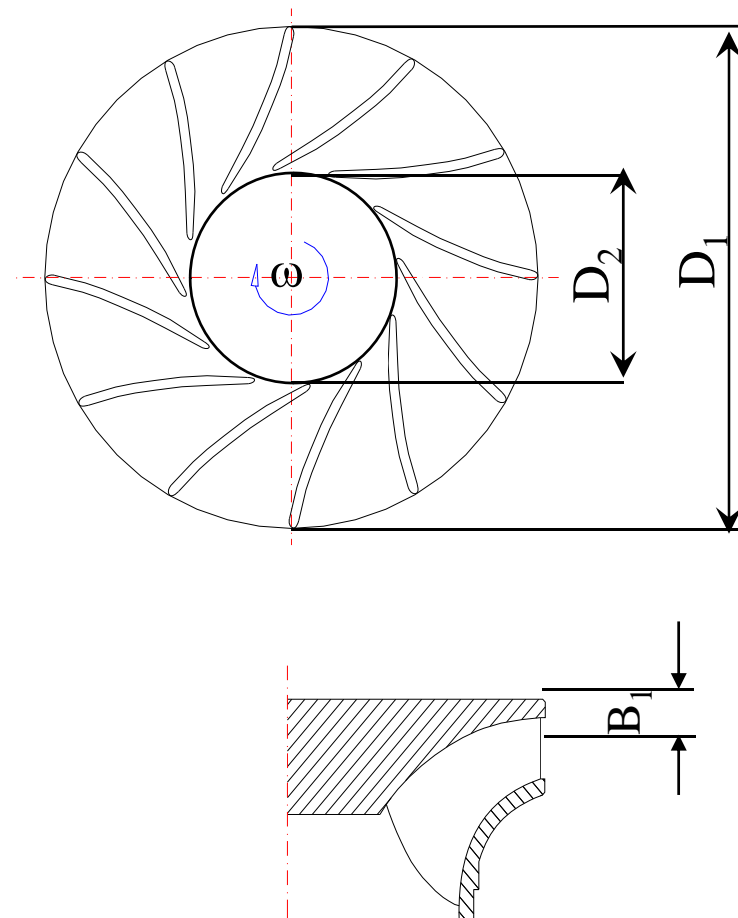
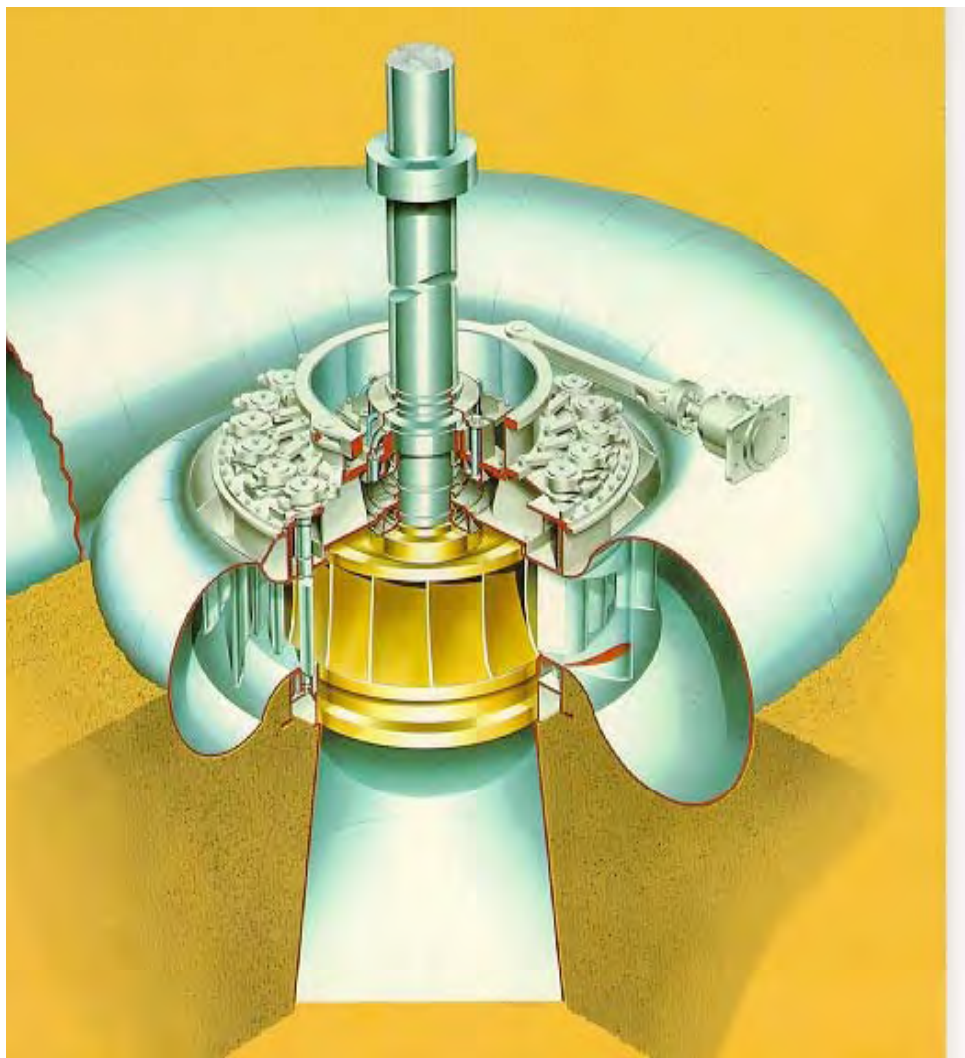
$H=15 - 700 \text{ m}$

$\omega=40 - 500 \text{ }^\circ/\text{min}$

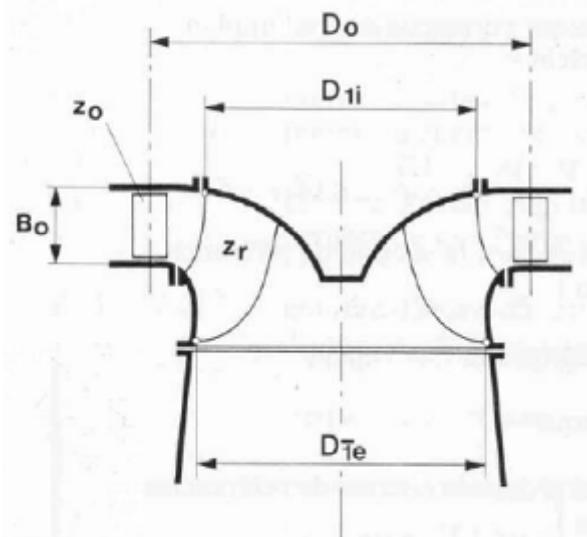
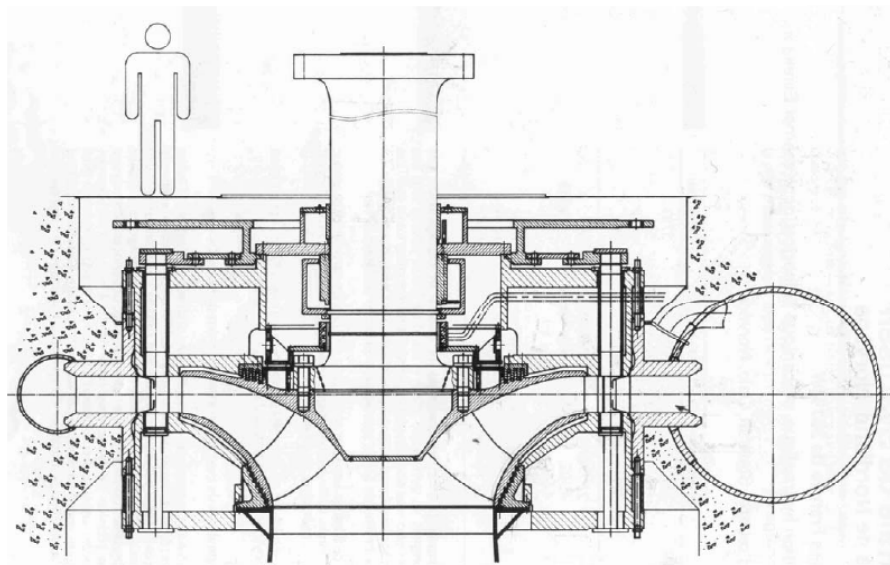
Srednje područje protoka
 η do 0,96

rotor Francis vodne turbine
u usporedbi s veličinom čovjeka

Francis vodna turbina (3)



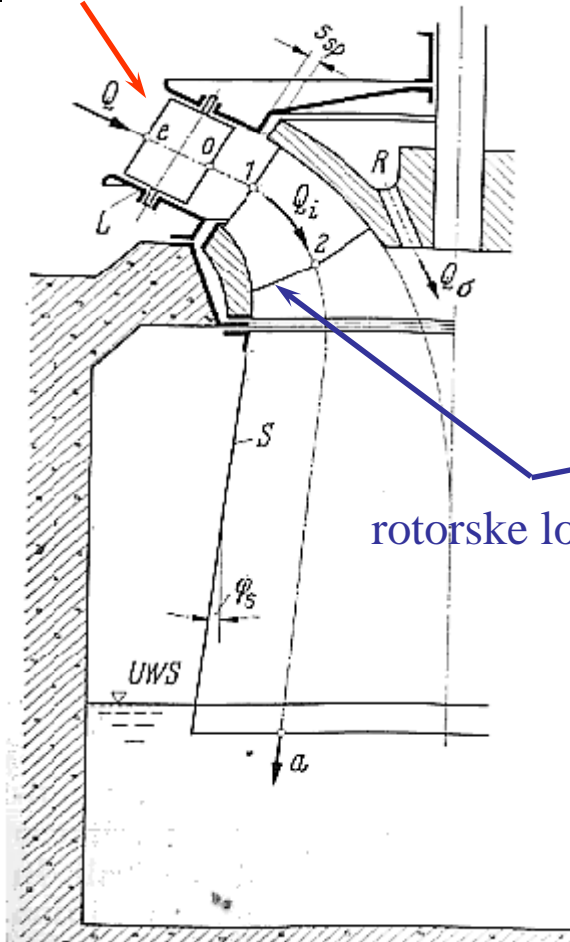
Francis vodna turbina - izvedba



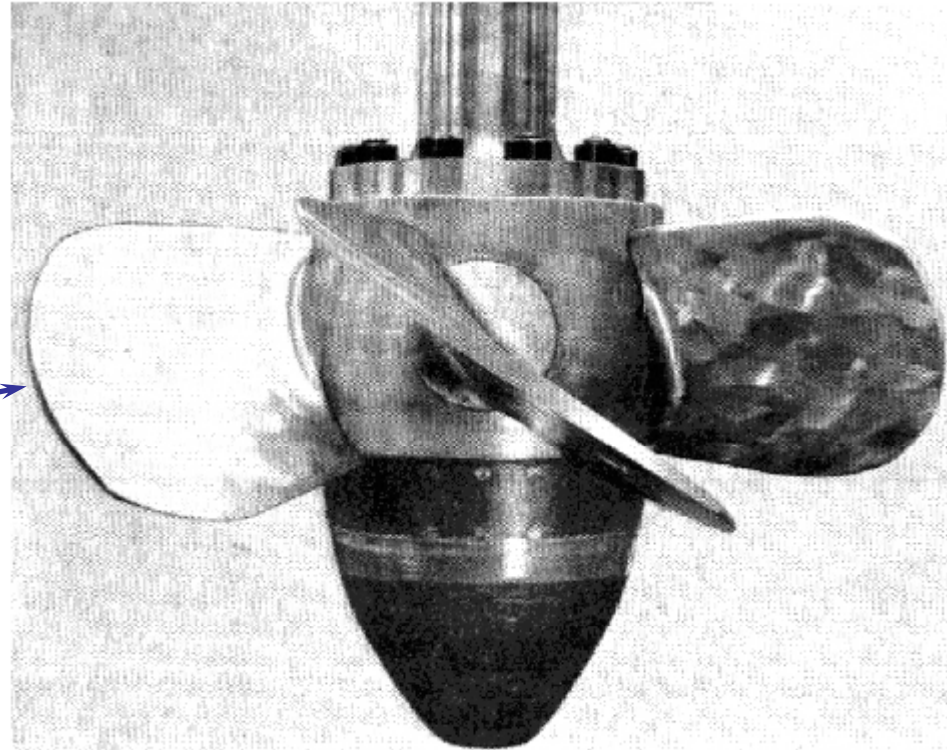
$P = 350 \text{ MW}$
 $H = 543 \text{ m}$
 $Q^* = 71,5 \text{ m}^3/\text{s}$
 $D_0 = 4,86 \text{ m}$
 $D_1 = 4,31 \text{ m}$
 $D_2 = 2,35 \text{ m}$
 $B_0 = 0,28 \text{ m}$
 $n = 333 \text{ rpm}$

Kaplan vodna turbina (1)

statorske lopatice



rotorske lopatice



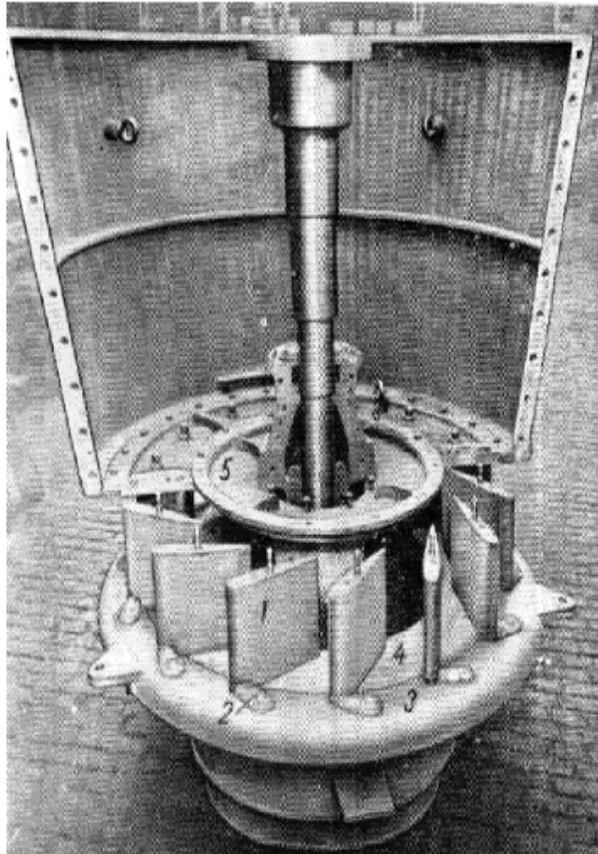
Lopatice Kaplan turbine

Veliki protok
mogućnost reguliranja nagiba lopatica

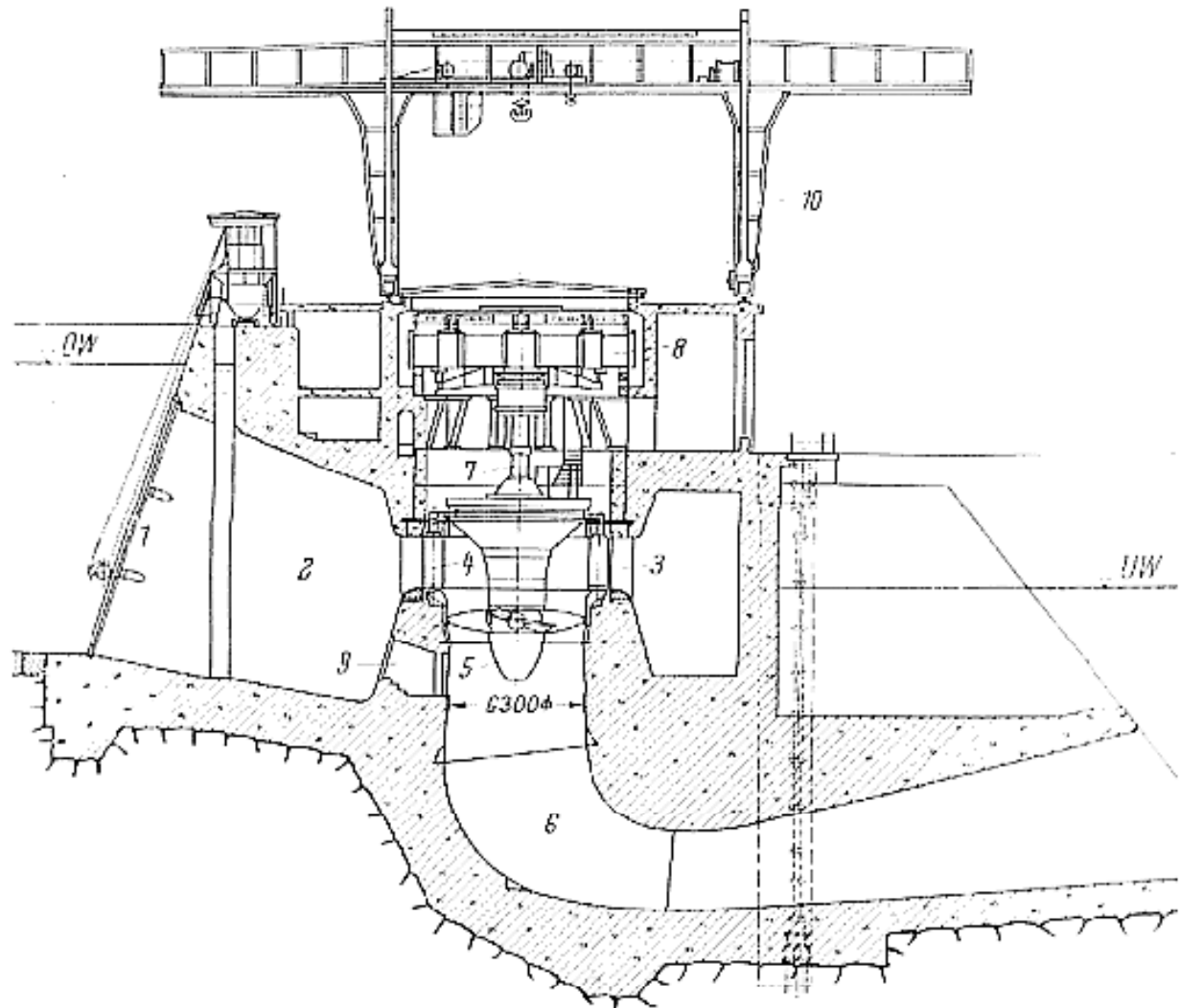
$$5 < H < 70m$$

$$\omega = 400 - 900 \text{ } ^\circ/\text{min}$$

Kaplan vodna turbina (2)

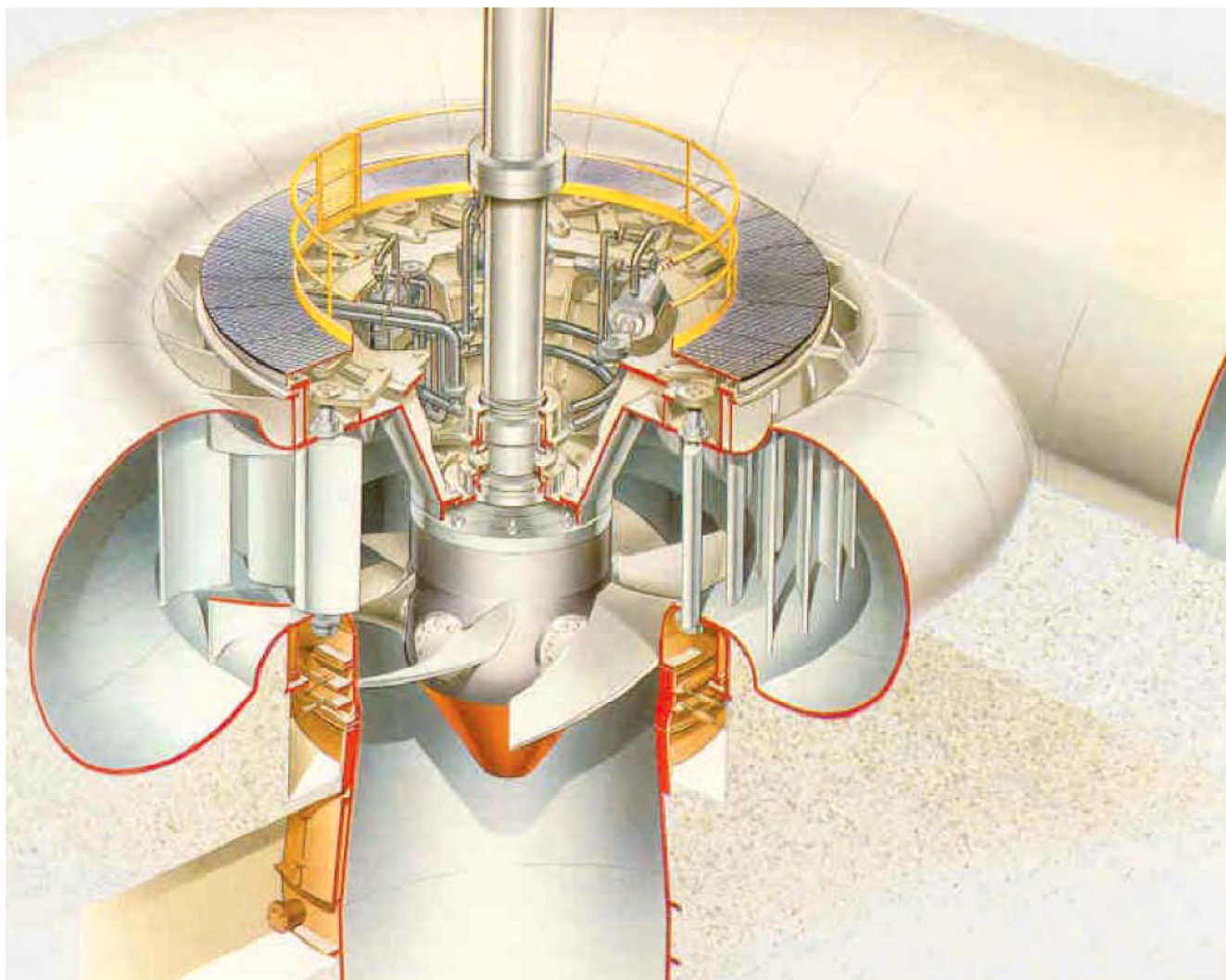


Lopaticice statora
Kaplan turbine



Presjek HE s Kaplan turbinom

Kaplan vodna turbina (3)



Kaplan vodna turbina - izvedba

$$D_0 = 8,5 \text{ m}$$

$$D_e = 7,1 \text{ m}$$

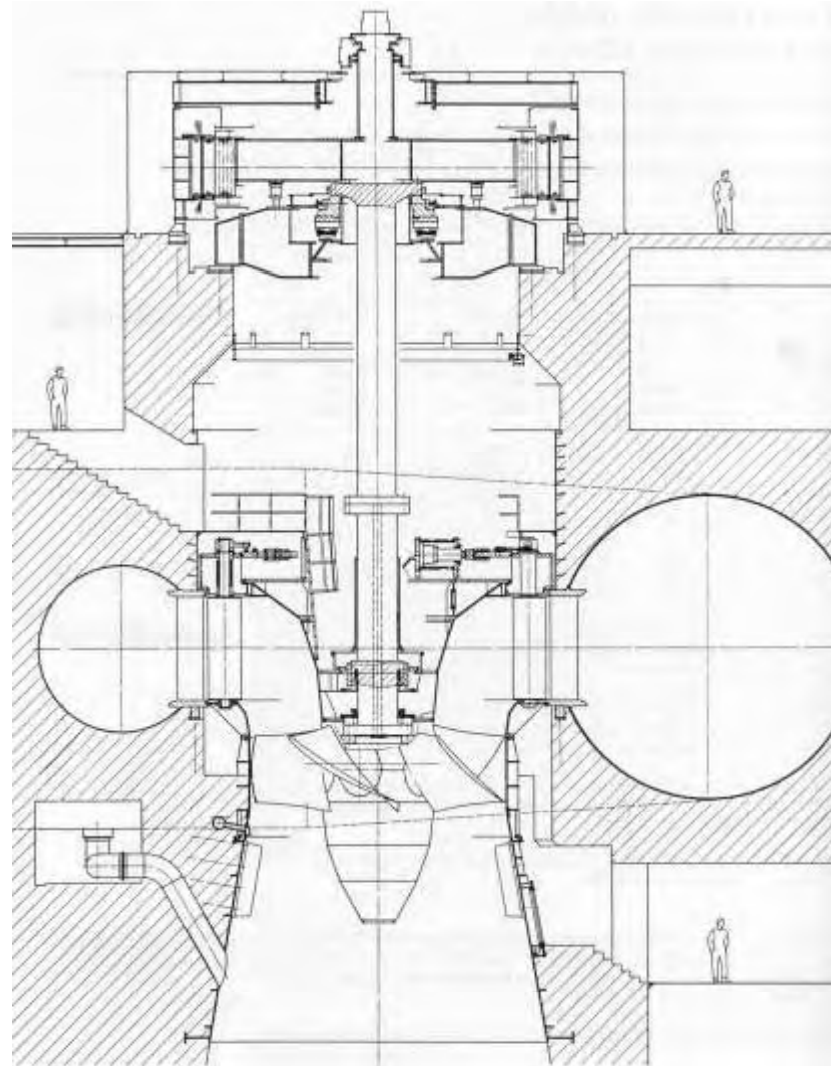
$$D_i = 3,1 \text{ m}$$

$$B_0 = 2,8 \text{ m}$$

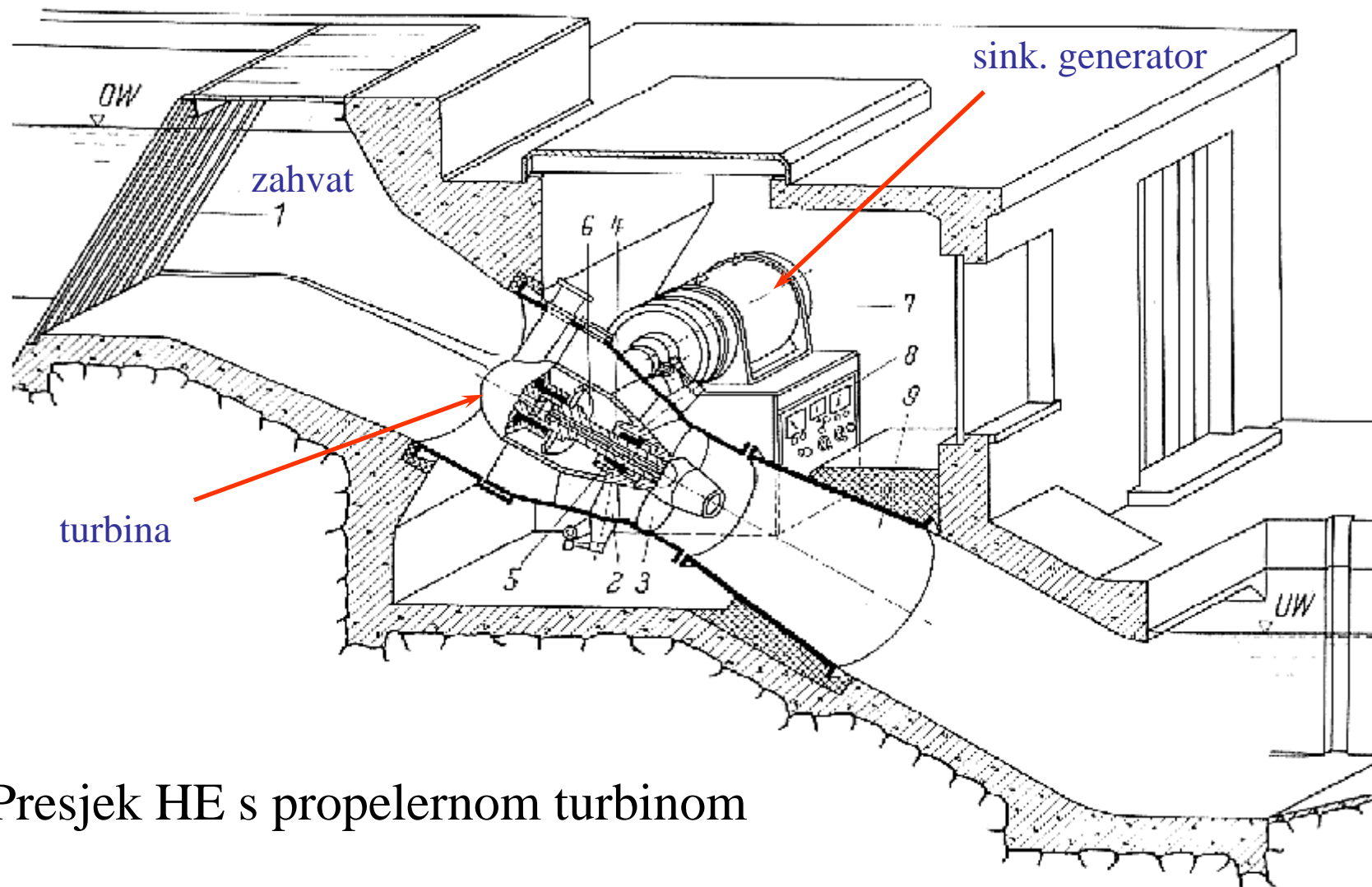
$$*Q = 376 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$*H = 27,6 \text{ m}$$

$$*P = 96 \text{ MW}$$

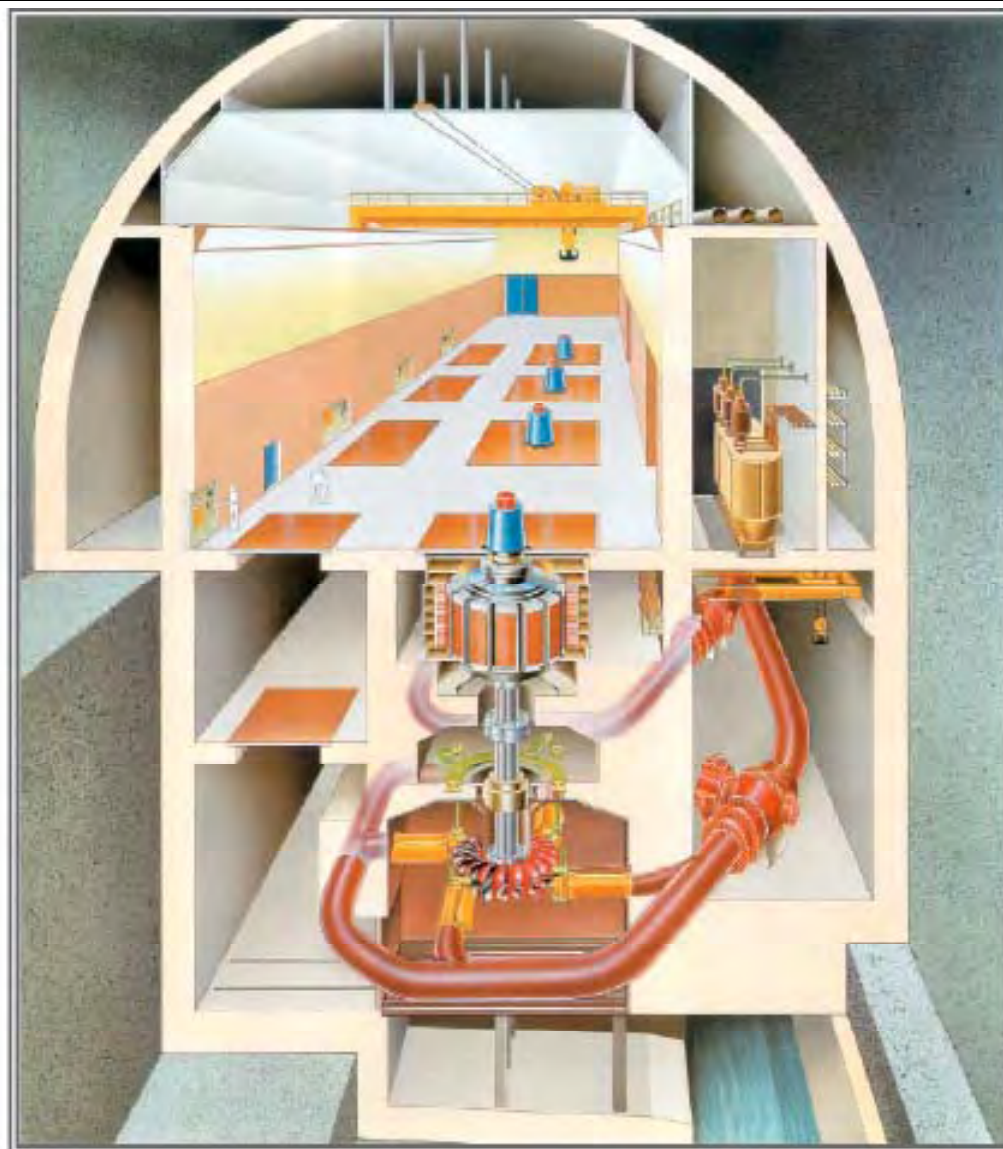


Propelerna vodna turbina

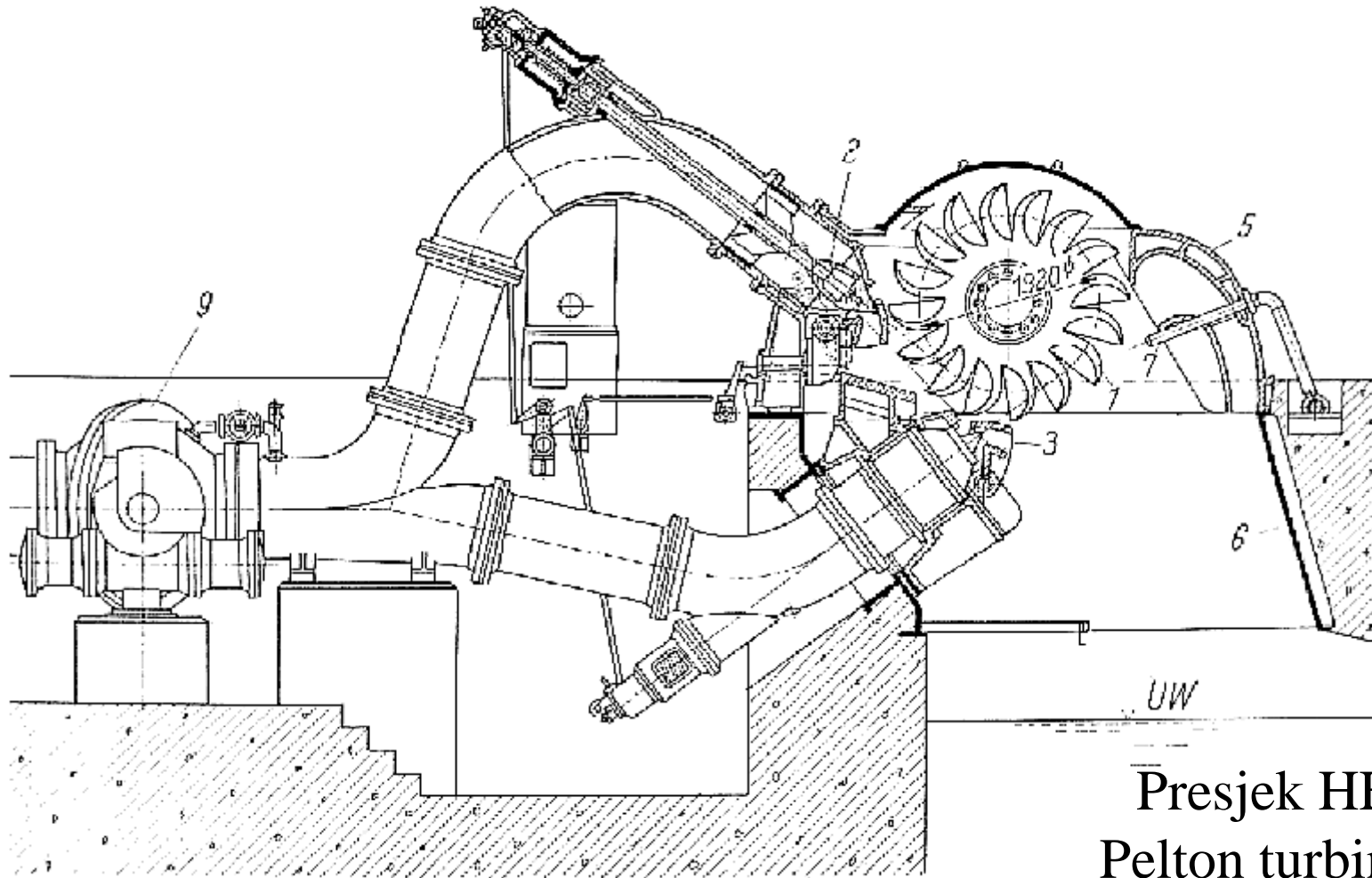


Presjek HE s propelernom turbinom

Tipični izgled HE s Pelton turbinom

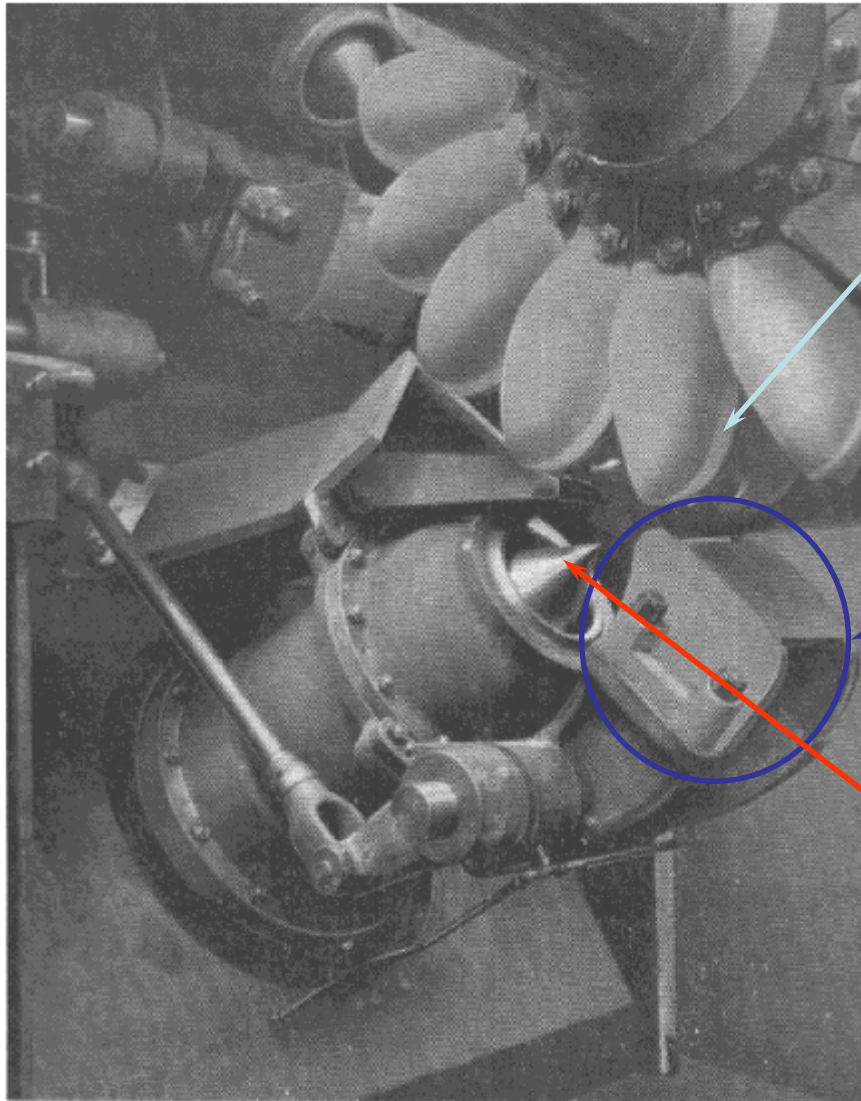


Pelton turbina (1)



Presjek HE s
Pelton turbinom

Pelton turbina (2)



lopatica turbine s
prorezom za ispuštanje vode

- do 6 mlaznica

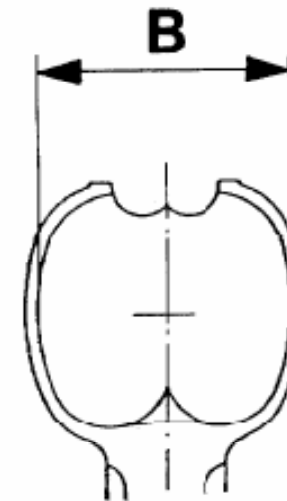
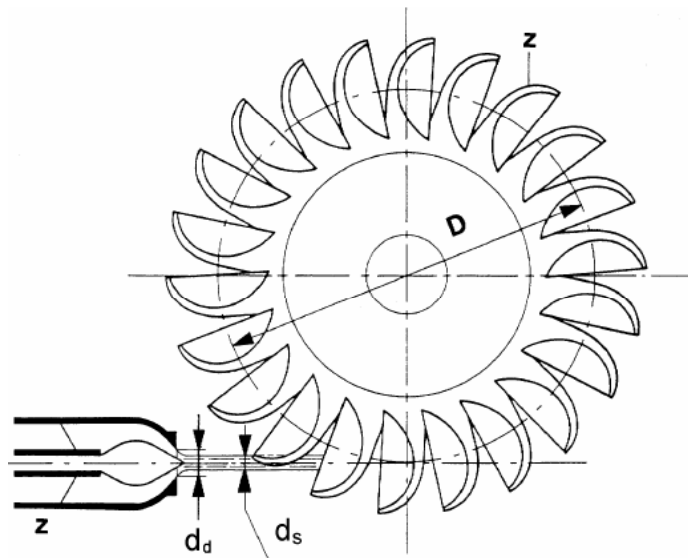
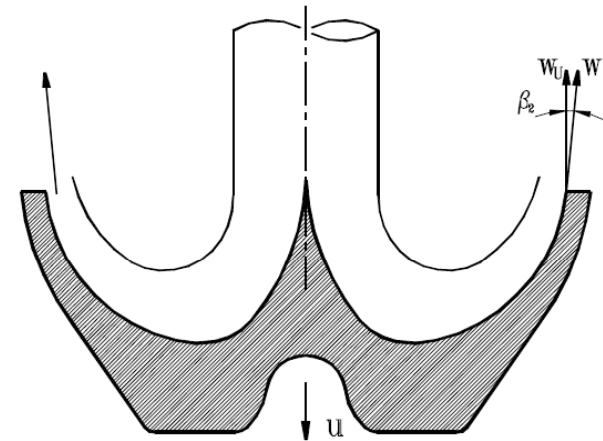
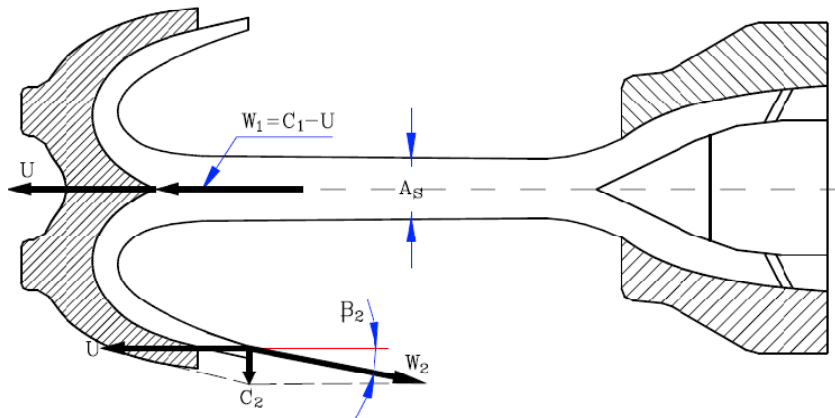
sustav za skretanje
mlaza vode

Relativno mali protok

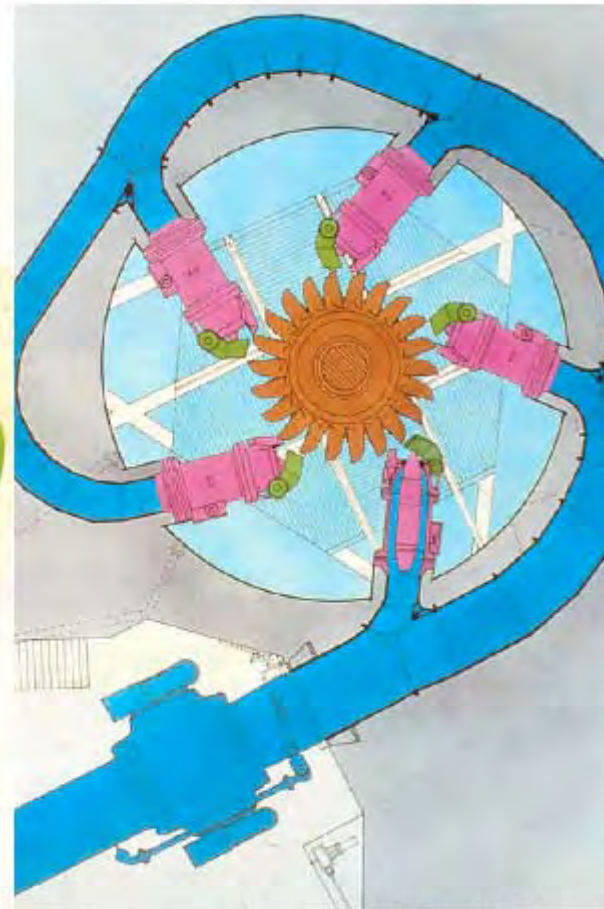
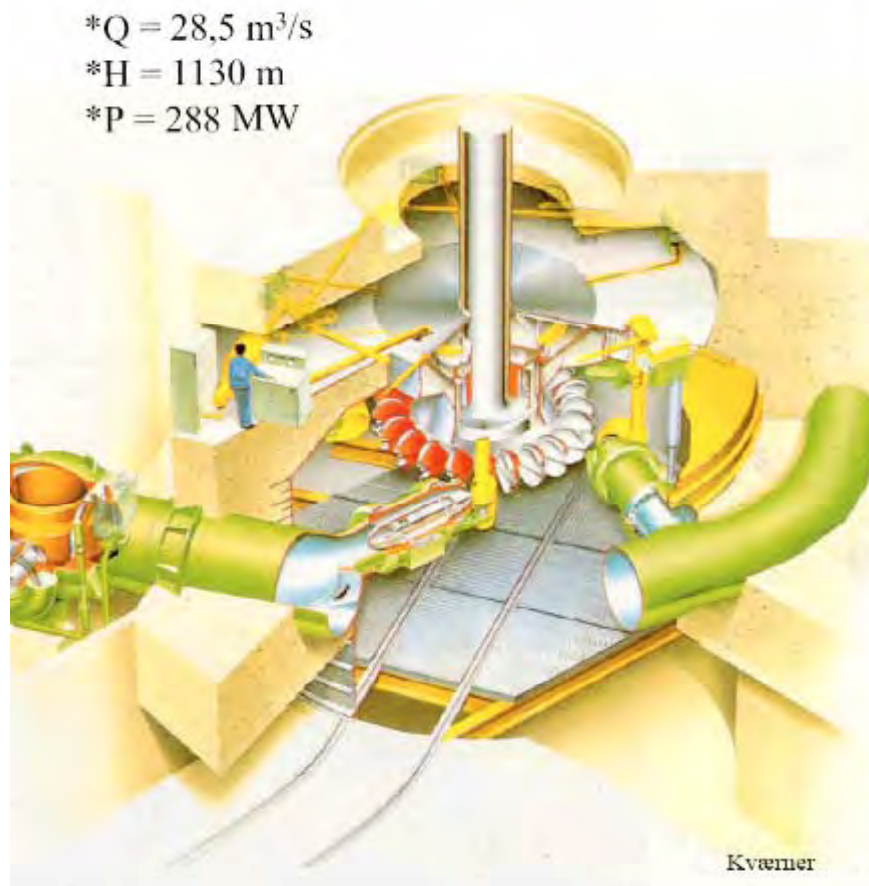
igla mlaznice

H od 100 do 1800 m

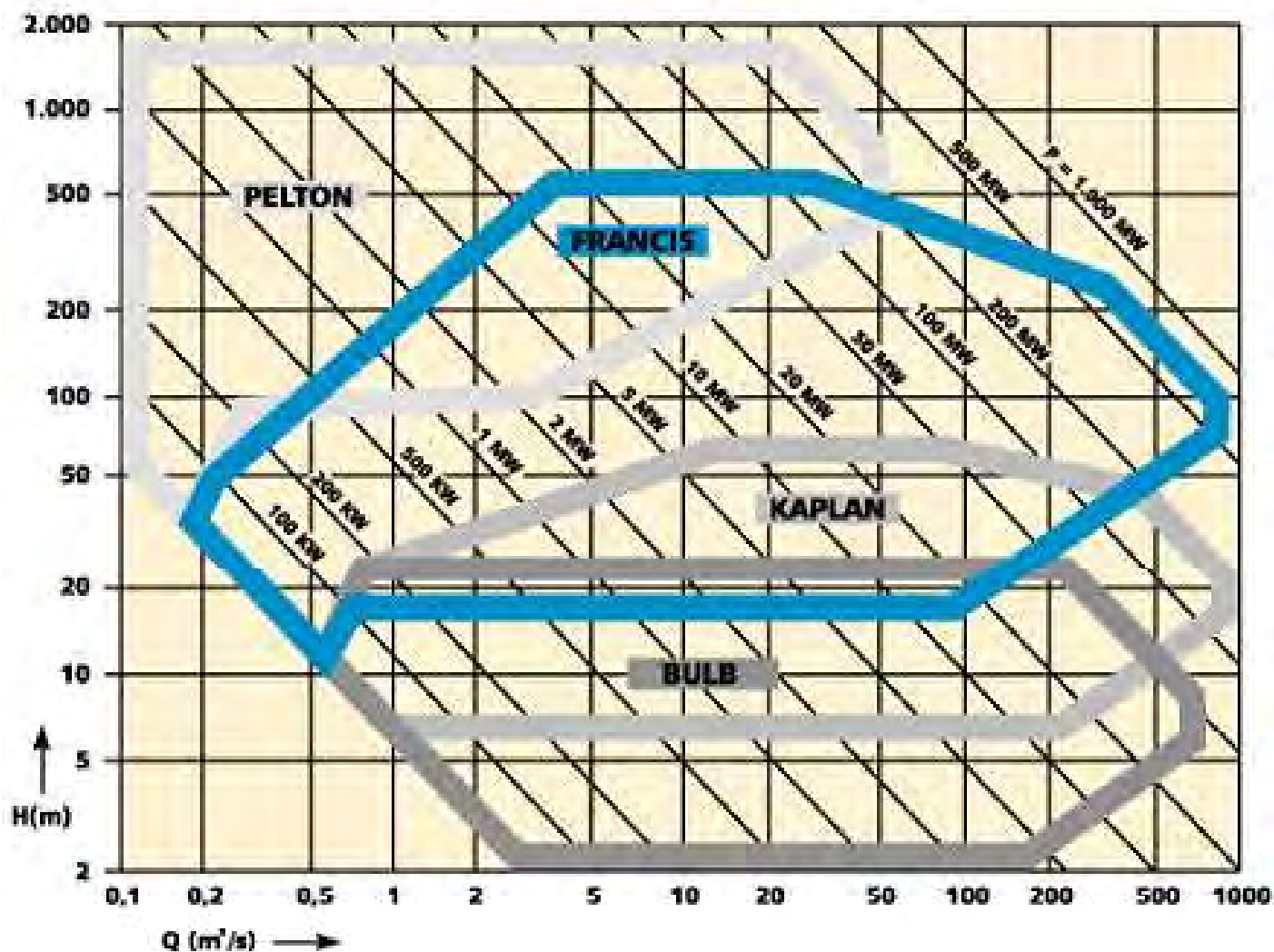
Pelton turbina – princip rada



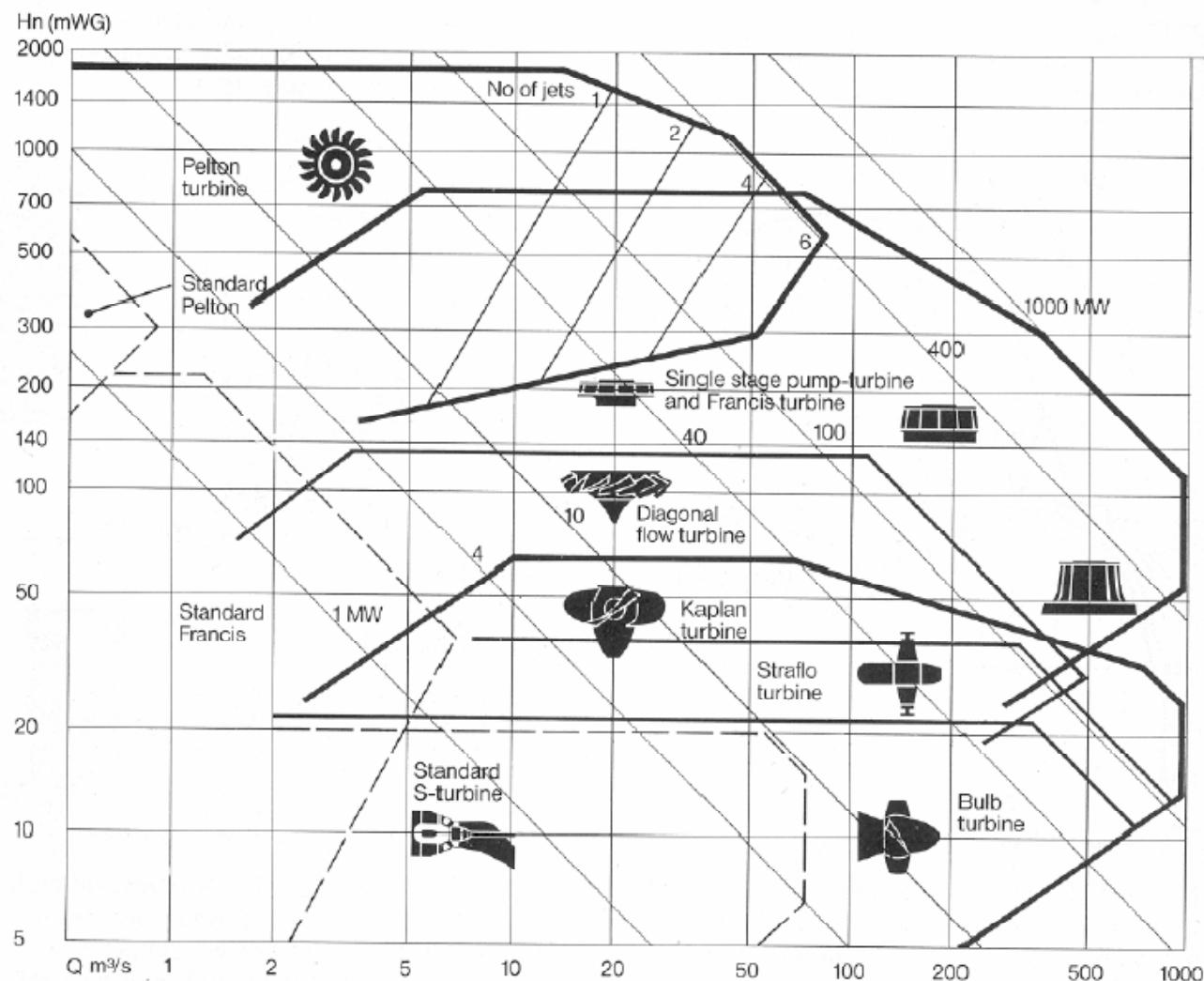
Pelton vodna turbina - izvedba



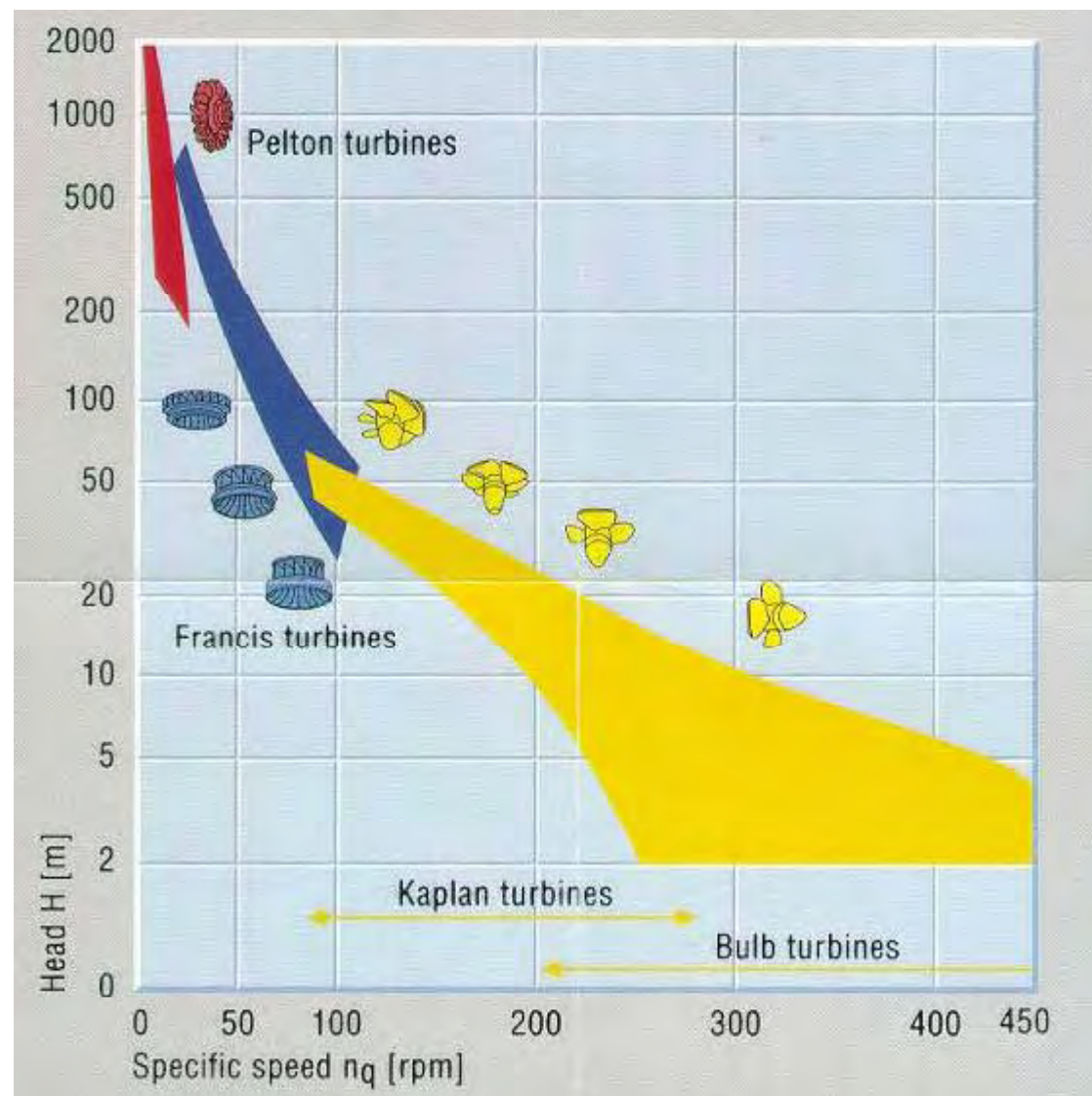
Izbor turbine (prema Voest Alpine)



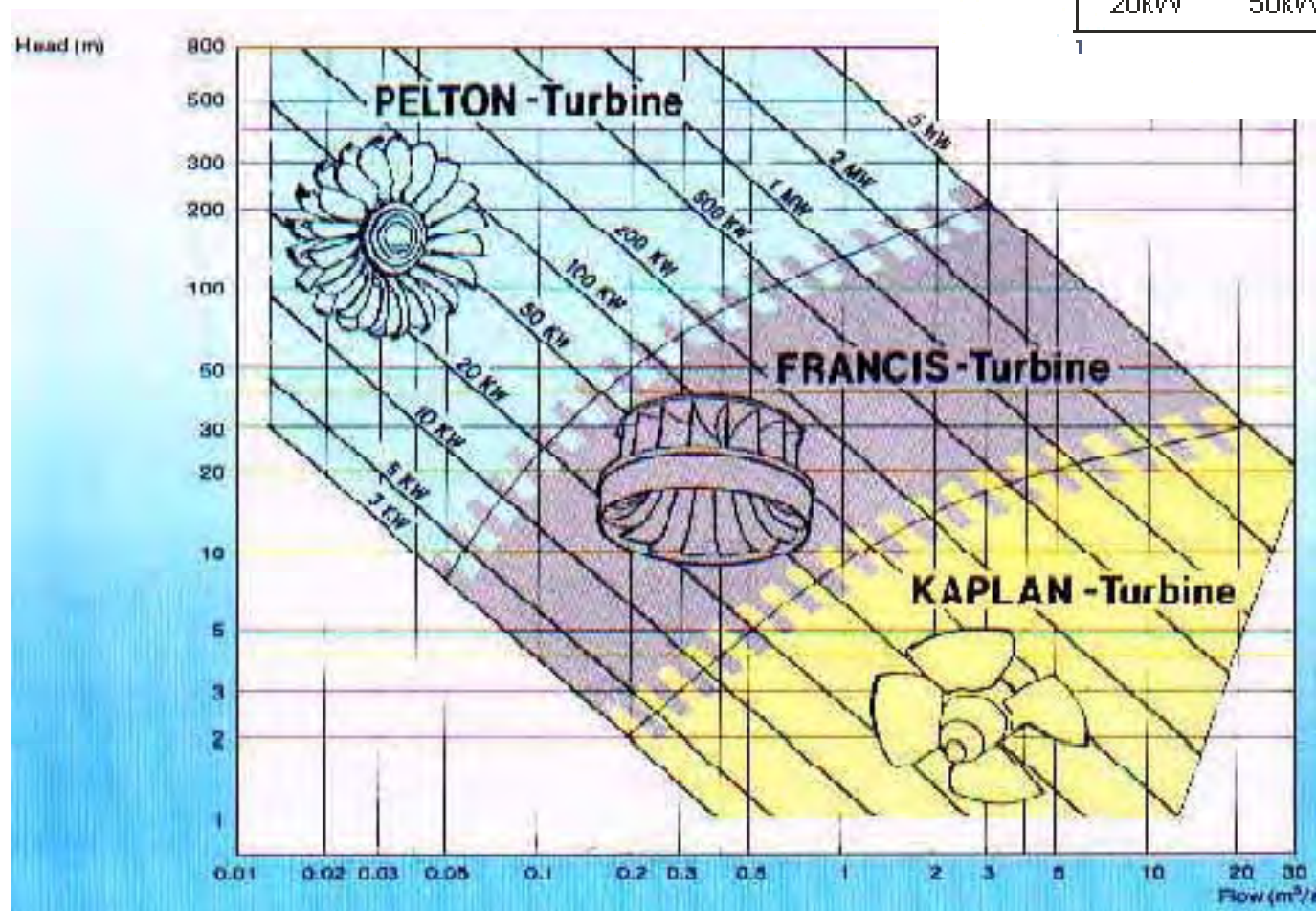
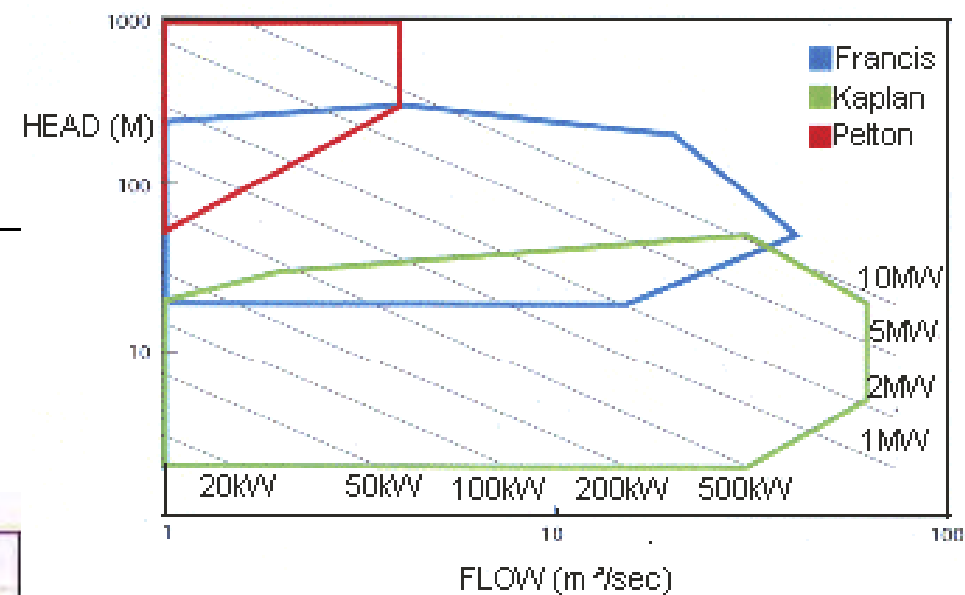
Područje rada turbine – ovisno o tipu



Izbor turbine – pad i specifična brzina



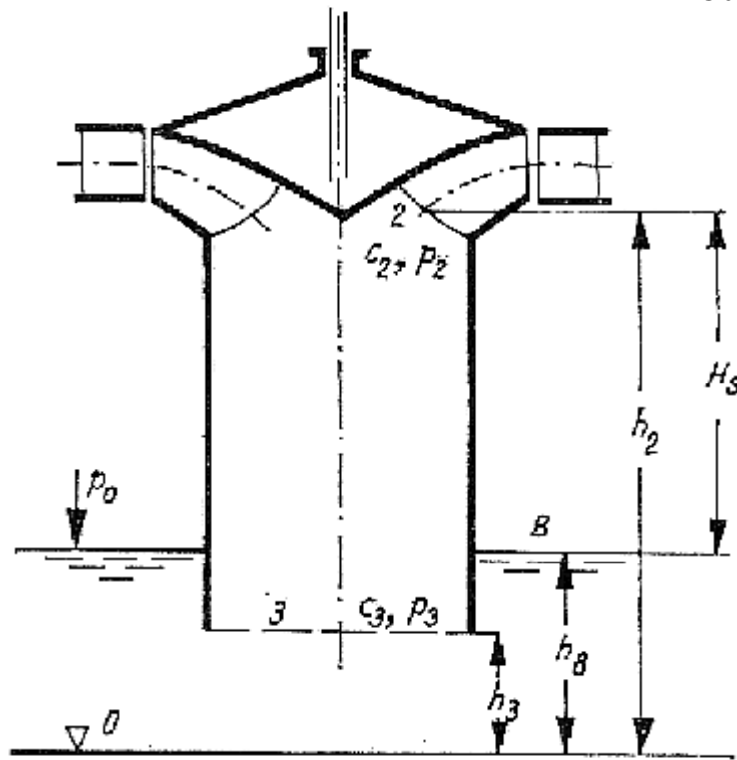
Usporedba turbina



Aspirator (1)

- uređaj na izlazu iz turbine koji omogućava iskorištenje potencijalne energije vode između izlaza iz turbine i razine donje vode

duljina aspiratora (smještaj izlaza iz rotora) limitirana kavitacijom - $H_s \leq 8 \text{ m}$



- snaga u presjeku 2

$$P_2 = \frac{p_o}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} + gh_2$$

- snaga na razini donje vode

$$P_B = \frac{p_o}{\rho} + gh_B$$

- gubici energije iznose $P_2 - P_B$

$$\Delta P = P_2 - P_B = \frac{c_2^2}{2} + g(h_2 - h_B) = \frac{c_2^2}{2} + gH_s$$

Aspirator (2)

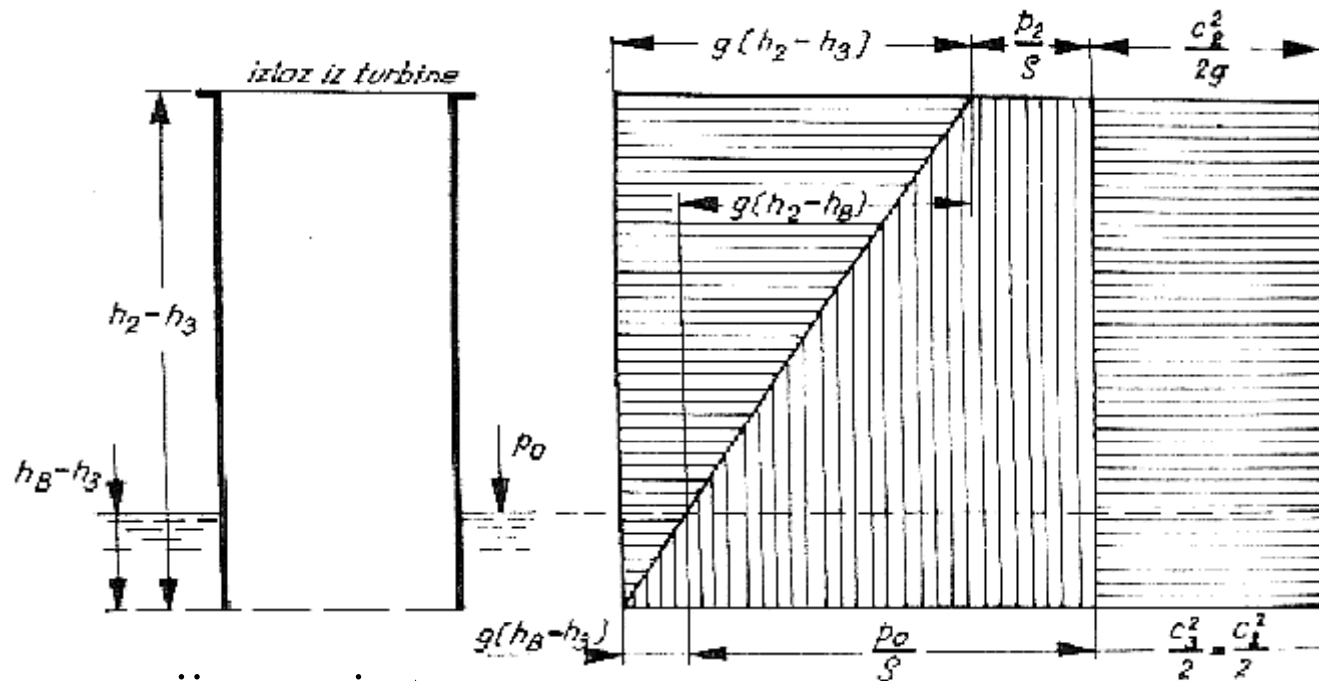
- Specifična snaga na izlazu iz aspiratora

$$c_3 = c_2, \quad P_3 = \frac{p_3}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} + gh_3$$

- gubitak energije

$$\Delta P = P_3 - P_B = + \frac{p_3}{\rho} - \frac{p_o}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} - g(h_B - h_3)$$

- uz pretpostavku $\frac{p_3}{\rho} + gh_3 = \frac{p_o}{\rho} + gh_B$ gubici iznose $\Delta P = \frac{c_2^2}{2}$



dijagram energije u aspiratoru

Difuzor (1)

- uređaj na izlazu iz turbine koji omogućava iskorištenje potencijalne energije te smanjenje gubitaka kinetičke energije vode između izlaza iz turbine i razine donje vode

- snaga u presjeku 2

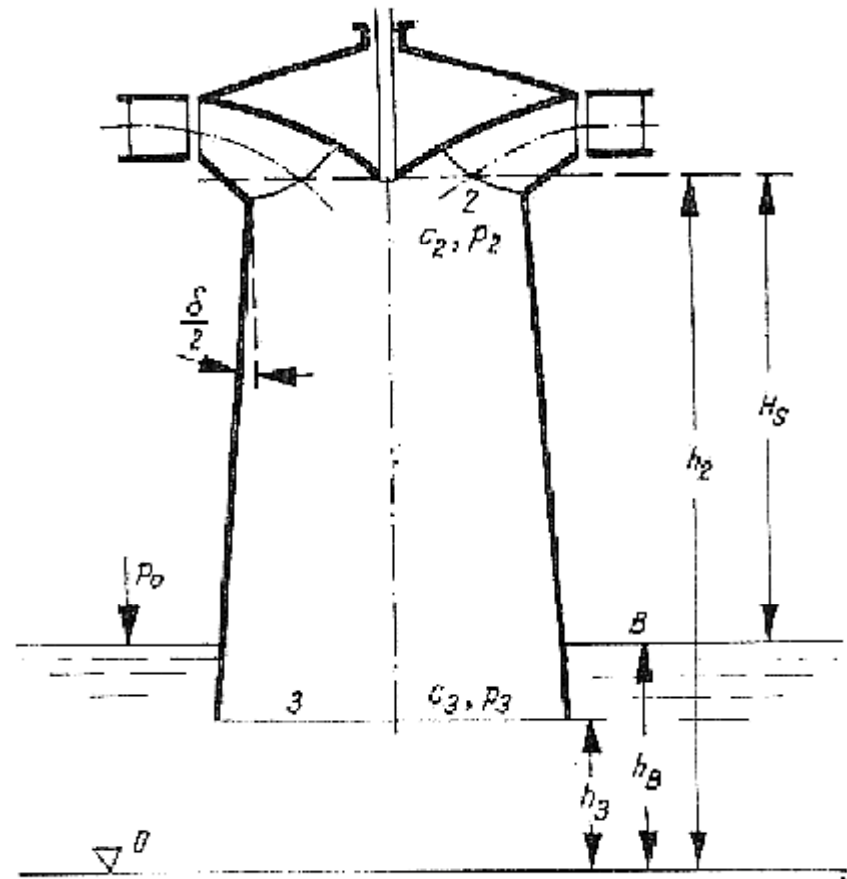
$$P_2 = \frac{p_o}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} + gh_2$$

- snaga na razini donje vode

$$P_B = \frac{p_o}{\rho} + gh_B$$

- gubici energije iznose $P_2 - P_B$

$$\Delta P = P_2 - P_B = \frac{c_2^2}{2} + g(h_2 - h_B) = \frac{c_2^2}{2} + gH_S$$



Difuzor (2)

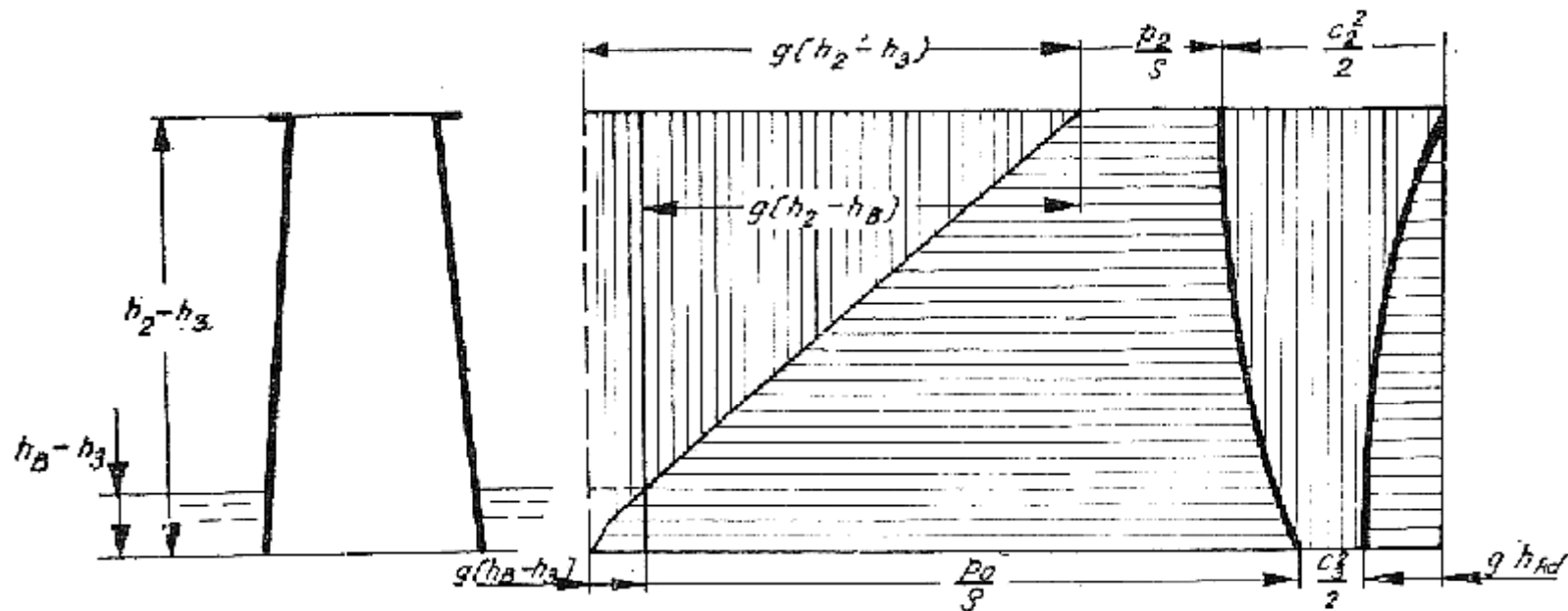
- Specifična snaga na izlazu iz difuzora

h_{Rd} uzima u obzir gubitke u difuzoru (zanemarivo u zadacima)

- gubitak energije

$$P_3 = \frac{p_3}{\rho} + \frac{c_3^2}{2} + gh_3 + gh_{Rd} \quad \Delta P = P_3 - P_B = +\frac{p_3}{\rho} - \frac{p_o}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} - g(h_B - h_3 - h_{Rd})$$

- uz pretpostavku $\frac{p_3}{\rho} + gh_3 = \frac{p_o}{\rho} + gh_B$ gubici iznose $\Delta P = \frac{c_3^2}{2} + gh_{Rd}$



dijagram energija u difuzoru

Zadatak 4: difuzor

Tlačnim se tunelom, sa zahvatom na koti 100 m, iz akumulacijskog jezera dovodi voda do turbine čiji je izlaz na koti 40 m. Razina je vode u jezeru na koti 120 m, a razina donje vode (odvodni kanal) na koti 30 m. Odrediti:

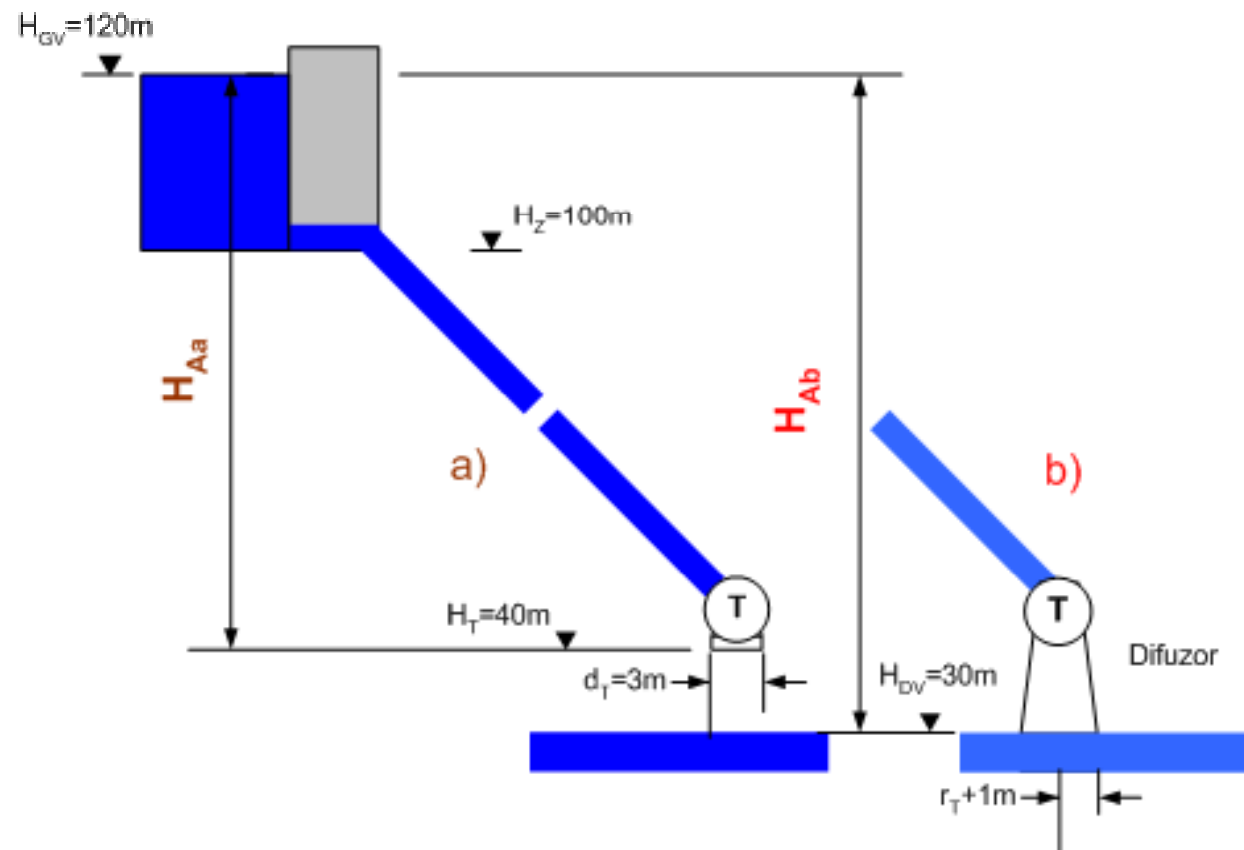
- snagu turbine pri protoku od $100 \text{ m}^3/\text{s}$ u slučaju kada nema difuzora na izlazu iz turbine (promjer izlaznog otvora turbine iznosi 3 m), i
- snagu turbine pri istom protoku, ali kada se postavi difuzor čiji je polumjer izlaznog otvora za 1 m veći od polumjera izlaznog otvora turbine.

Zadatak 4: rješenje

$$H_{GV} = 120 \text{ m n.v.}, H_Z = 100 \text{ m n.v.}, H_T = 40 \text{ m n.v.},$$

$$H_{DV} = 30 \text{ m n.v.}, Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}, \quad d_T = 3 \text{ m}, r_D = r_T + 1 \text{ m}$$

$$P_a = ?, \quad P_b = ?$$



Zadatak 4: rješenje (nastavak)

$$P = 9,81 \cdot \rho \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta$$

$$H_{na} = H_{Aa} - c_T^2/(2g) = H_{GV} - H_T - c_T^2/(2g) = 69,8 \text{ m}$$

$$H_{nb} = H_{Ab} - c_D^2/(2g) = H_{GV} - H_{DV} - c_D^2/(2g) = 88,7 \text{ m}$$

Brzinu određuje protok i površina:

$$c = Q/(d^2\pi/4), \quad c_T = 14,15 \text{ m/s}, \quad c_D = 5,1 \text{ m/s}$$

Stupanj djelovanja nije poznat i ne može se odrediti te je zanemaren.

$$P_a = 68,47 \text{ MW}, \quad P_b = 86,99 \text{ MW}$$