

## 4. AUDITORNE VJEŽBE

### TRANSFORMACIJA POTENCIJALNE ENERGIJE VODE

- 4.1. Koji volumen vode je potreban za proizvodnju milijun kWh energije? Računati s prosječnom neto visinom od 25 m.
- I. bez gubitaka u pretvorbi,
  - II. uz stupanj djelovanja od 80%.

(I. 14,7 milijuna m<sup>3</sup> vode, II. 18,4 milijuna m<sup>3</sup> vode)

- 4.2. Koliko iznosi snaga i koje vrijeme je potrebno za proizvodnju energije iz prethodnog zadatka uz prosječni protok od 11 m<sup>3</sup>/s za slučaj II?

(2,16 MW i 19,3 dana)

- 4.3. Pribranska hidroelektrana s instaliranim protokom od 500 m<sup>3</sup>/s i pregradom visine 30 m, radi sa snagom 112,8 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  $H_{gv} = Q / 20$ . Izračunajte kolika će biti snaga elektrane ako protok naraste za 100 m<sup>3</sup>/s, a zapornice se podignu za 2 m. Brzina istjecanja preko preljeva i brzina otjecanja vode su jednake. (Uzeti  $\eta=1$ .)

(132,4 MW)

- 4.4. Prije otvaranja zapornice širine 10 m u bazenu je voda bila na razini 50 m spram nekog nultog nivoa. Zapornica se zatim spušta za 5 m. Koliko iznosi brzina istjecanja (na profilu preljeva) ako visina gornje vode (nakon otvaranja) iznad zapornice iznosi 49 m, a dotok vode u bazen iznosi 198 m<sup>3</sup>/s. Za faktor istjecanja uzmite 0,6. Da li je visina gornje vode uz zadane uvjete stalna (nakon otvaranja)?

(4,43 m/s, DA)

- 4.5. Pribranska hidroelektrana radi sa snagom od 15,7 MW na pragu uz nazivni protok od 100 m<sup>3</sup>/s. Zbog povećanja protoka u vodotoku od 100 m<sup>3</sup>/s nužno je otvoriti zapornice koje se nalaze ispod površine vode. Odljevna su polja ukupne širine 10 m, a brana 20 m. Koliko se moraju otvoriti zapornice da se ne povisi razina gornje vode i s kolikom će snagom raditi hidroelektrana u tim uvjetima? Ukupni stupanj iskorištenja hidroelektrane iznosi 0,8, koeficijent istjecanja 0,6, a donja visina otvora je 15 m ispod gornje visine vode. Brzina istjecanja i brzina otjecanja donje vode su jednake.

(1 m; 15,3 MW)

- 4.6. Instalirani protok derivacijske hidroelektrane 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  $H_{DV} = Q/50$ . Ako hidroelektrana radi sa snagom 346,6 MW, a razina vode je na  $3/5$  visine pregrade, s kolikom će snagom raditi hidroelektrana kada se voda podigne do vrha pregrade. Računajte bez gubitaka i uz stupanj iskorištenja 0,95. Odredite aktivnu visinu u oba slučaja.

(124 m; 140 m, 652 MW)

- 4.7. Odrediti koliko iznose snage za drugi slučaj u prethodnom zadatku ukoliko je potrebno osigurati protok za biološki minimum od  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , ako biološki minimum:

- I. utječe na razinu donje vode,
- II. ne utječe na razinu donje vode.

(587 MW, 583 MW)

- 4.8. 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. Odredite moguću godišnju proizvodnju hidroelektrana pojedinačno i skupno) sliva 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.

 $(W_1 = 773,2 \text{ GWh}; W_2 = 644,3 \text{ GWh}; W_3 = 515,4 \text{ GWh}; W_{123} = 1933 \text{ GWh})$ 

- 4.9. Odrediti faktor opterećenja za elektrane u prethodnom zadatku.

(75%)

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

- a) 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
- b) snagu turbine pri istom protoku, ali kada se postavi difuzor čiji je polumjer izlaznog otvora za 1 m veći od polumjera izlaznog otvora turbine.

(68,45 MW; 86,99 MW)

- 4.11. Rijeka izvire na nadmorskoj visini 700 m s protokom  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ . Protok se nadalje povećava do nadmorske visine 100 m po zakonu  $H \text{ [m]} = 1300 - Q_{sr} \text{ [m}^3/\text{s]} \cdot 3/2$ . Odredite:

- a) bruto energiju vodotoka,
- b) snagu pribranske hidroelektrane s pregradom na 400 m n.v. i visine 100 m,
- c) snagu derivacijske hidroelektrane sa zahvatom na 400 m n.v., pregradom visine 100 m i postrojenjem na 200 m n.v., i
- d) isto kao pod c), ali se na mjestu zahvata u osnovni vodotok propušta biološki minimum od  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ .

(30,92 TWh; 588,4 MW; 1765 MW; 1618 MW)

- 4.12. Odrediti ukupno proizvedenu el. energiju tijekom jedne godine za protočnu hidroelektranu: visina brane 20 m, ukupni stupanj djelovanja 85% i instalirani protok (jednak prosječnom protoku)  $175 \text{ m}^3/\text{s}$ . Poznato je da vjerojatnosna krivulja protoka ima oblik  $Q(t) = 300 + (50 - Q_{sr}) * t/6 \text{ [m}^3/\text{s]}$ , ( $t$  u mjesecima), a konsumpcione krivulje na zahvatu  $H_z = 10 + Q/30$  i odvodu  $H_o = Q/30$ , ( $Q$  u  $\text{m}^3/\text{s}$  a visina u metrima).

(105 GWh)

- 4.13. Pribranska hidroelektrana, postavljena na 350 m n.v., ima snagu od 60 MW s korisnom visinom vode od 40 m i stupnjem iskorištenja od 90%. Odrediti koliku bi snagu imala derivacijska hidro elektrana postavljena na 250 m n.v., s istim mjestom zahvata, pregradom jednake visine te istim stupnjem djelovanja kao i opisana pribranska hidro elektrana, uz uvjet da je potrebno ispuštati  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  protoka vode na zahvatu kao biološki minimum.

(123,5 MW)

- 4.14. Derivacijska hidroelektrana ima postavljenu turbinu na razini od 44 m nadmorske visine, ukupni stupanj djelovanja od 0.86; promjer turbine 3 m i instalirani protok od  $85 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Odrediti razinu gornje vode kada elektrana daje na pragu snagu od 26 MW uz protok od  $77 \text{ m}^3/\text{s}$ .

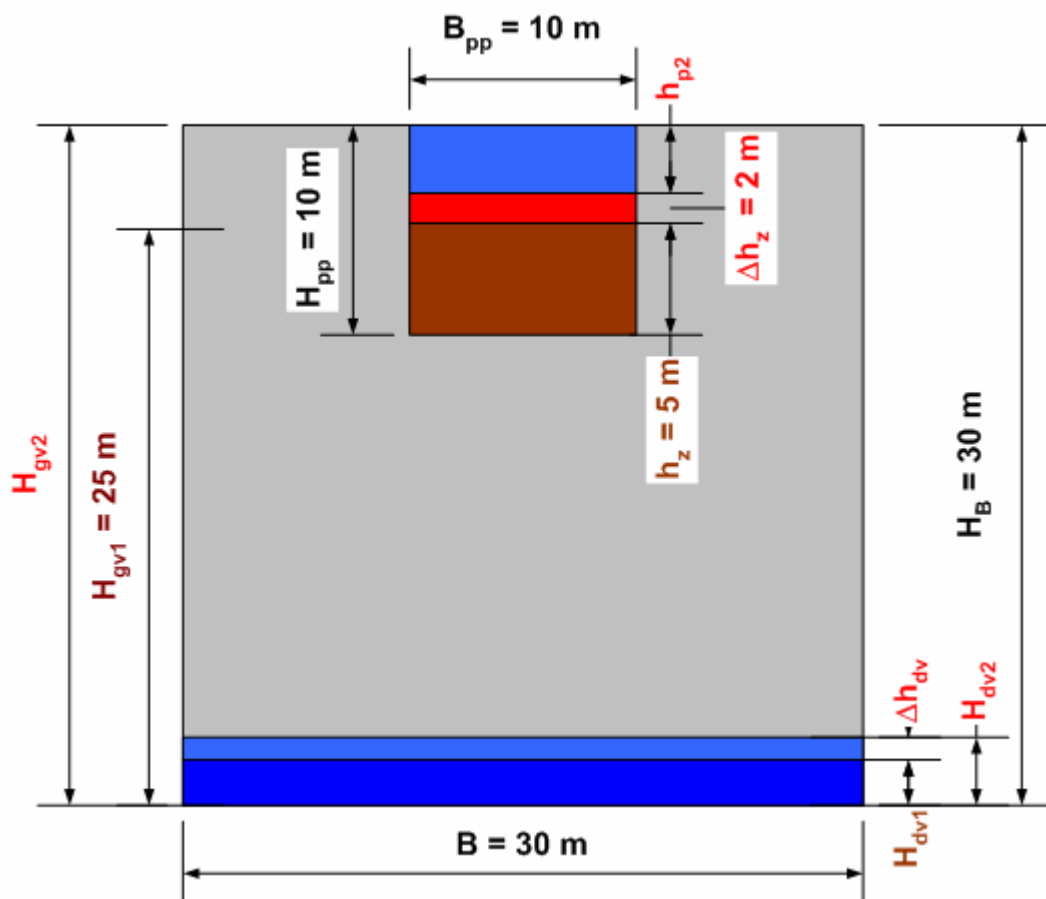
(90 m n.v.)

## Naputci za rješavanje odabranih zadataka

4.3  $B_{pp} = 10 \text{ m}$        $H_{pp} = 10 \text{ m}$        $h_z = 5 \text{ m}$      $\Delta h_z = 2 \text{ m}$        $H_z = Q/20$   
 $Q_i = Q_1 = 500 \text{ m}^3/\text{s}$      $\Delta Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$      $H_B = 30 \text{ m}$      $B = 30 \text{ m}$

$P_2 = ?$

Slika ispod prikazuje pogled na pregradu sprijeda:



$P_2 = 9,807 \cdot Q_{T2} \cdot H_{n2} \cdot \eta$       Snaga ovisi o protoku kroz turbinu, aktivnoj visini i stupnju djelovanja.

$\eta = 1$       Stupanj djelovanja nije zadan niti se može odrediti te se njegov utjecaj zanemaruje.

$Q_{T2} = Q_i$       Protok kroz turbinu jednak je protoku ispred pregrade i ograničen na instalirani iznos.

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

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

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

$H_{dv1} = H_{gv1} - H_{a1}$

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

$$H_{a1} = P_1 / (9,807 \cdot Q_1) = 23 \text{ m}$$

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

$$\Delta h_{dv} = \{\text{podignutoj razini na odvodu od } \Delta Q\}$$

- preko jedn. kontinuiteta i jednakosti brzina vode koja se preljeva i vode na odvodu izlazi:

$$\Delta Q = Q_{p2} = Q_{\Delta h_{dv}}; c_{p2} = c_{\Delta h_{dv}} \rightarrow A_{p2} = A_{\Delta h_{dv}}$$

$$\rightarrow B_{pp} \cdot h_{p2} = B \cdot \Delta h_{dv}$$

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

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

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

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

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

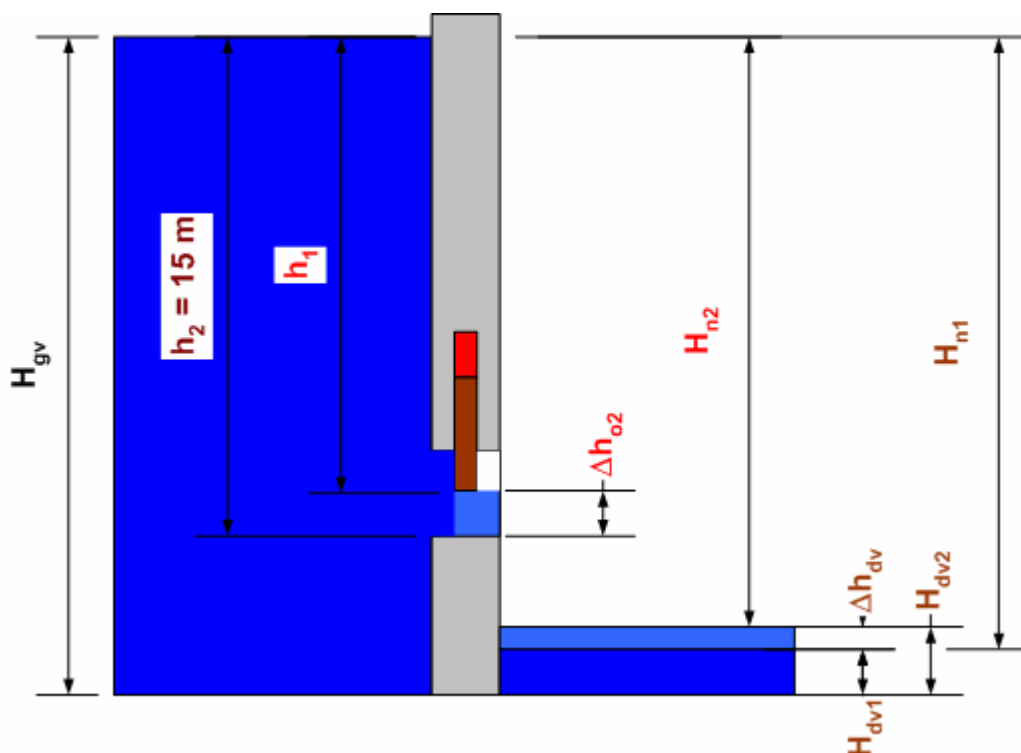
$$P_2 = 9,807 \cdot 500 \cdot 27 \cdot 1 = 132394,5 \text{ kW}$$

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

4.5	$Q_1 = Q_i = 100 \text{ m}^3/\text{s}$	$B_o = 10 \text{ m}$	$h_2 = 15 \text{ m}$	$B = 20 \text{ m}$
	$P_1 = 15,7 \text{ MW}$	$\eta_{HE} = 0,8$	$\mu = 0,6$	$\Delta Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\Delta h_{p2} = ?, P_2 = ?$$

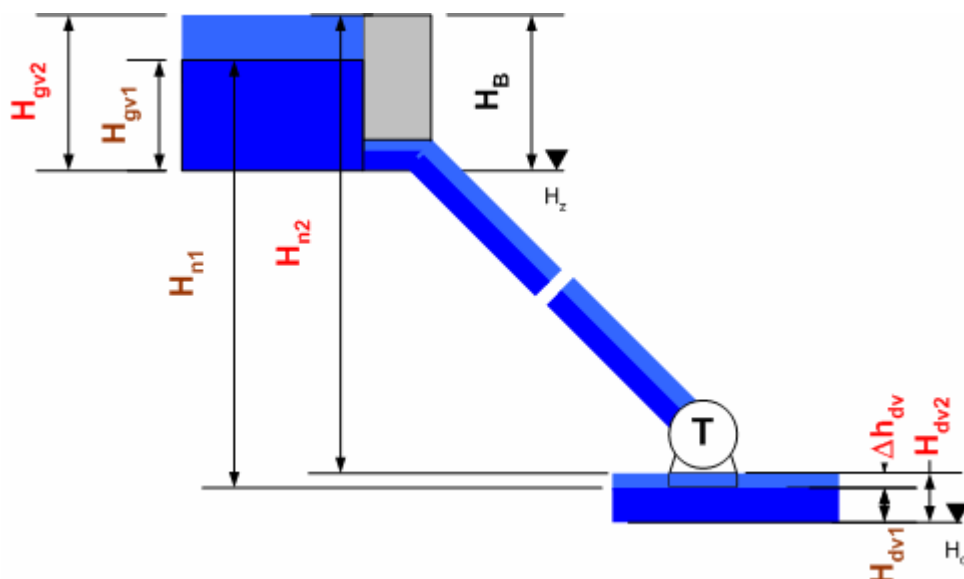
Slika ispod prikazuje pogled na presjek pregrade:



Napomena: Koristiti jednadžbu kontinuiteta i istjecanje promatrati kao za veliki otvor.

- 4.6  $Q_i = 500 \text{ m}^3/\text{s}$   $H_B = 50 \text{ m}$   $H_z = 200 \text{ m n.v.}$   $H_z = 100 \text{ m n.v.}$   
 $P_1 = 346,6 \text{ MW}$   $\eta_{HE} = 0,95$   $H_{GV1} = H_B \cdot 3/5$   $H_{GV2} = H_B$   
 $H_{a1} = ?$ ,  $H_{a2} = ?$ ,  $P_2 = ?$

Pogled na  
presjek  
pregrade i  
relevantne  
razine



Konsumpcione krivulje na  
zahvatu i odvodu – Prikazuju  
razinu gornje vode i razinu donje  
vode u ovisnosti o protoku.



$$H_{a1} = H_{n1} = H_{gv1} + (H_z - H_o) - H_{dv1}$$

$$H_{a2} = H_{n2} = H_{gv2} + (H_z - H_o) - H_{dv2}$$

$$P_2 = 9,807 \cdot Q_i \cdot H_{a2} \cdot \eta$$

4.8	$H = 340 - Q_{sr} \cdot 4/5$	$H_B = 40 \text{ m}$	
	$H_{z1} = 100 \text{ m n.v.}$	$H_{z2} = 140 \text{ m n.v.}$	$H_{z3} = 180 \text{ m n.v.}$
	$Q_{i1} = Q_{sr1}$	$Q_{i2} = Q_{sr2}$	$Q_{i3} = Q_{sr3}$

$$W_1 = ?, W_2 = ?, W_3 = ?, W_{123} = ?$$

$$W_{123} = W_1 + W_2 + W_3$$

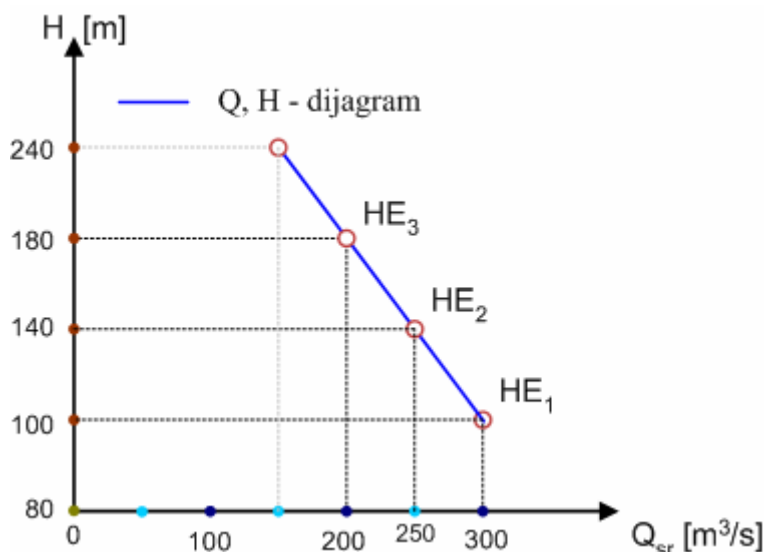
Q-H dijagram prikazuje iznos srednjeg protoka za odabranu nadmorsku visinu sliva.

$$Q_{sr} = (340 - H) \cdot 5/4$$

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

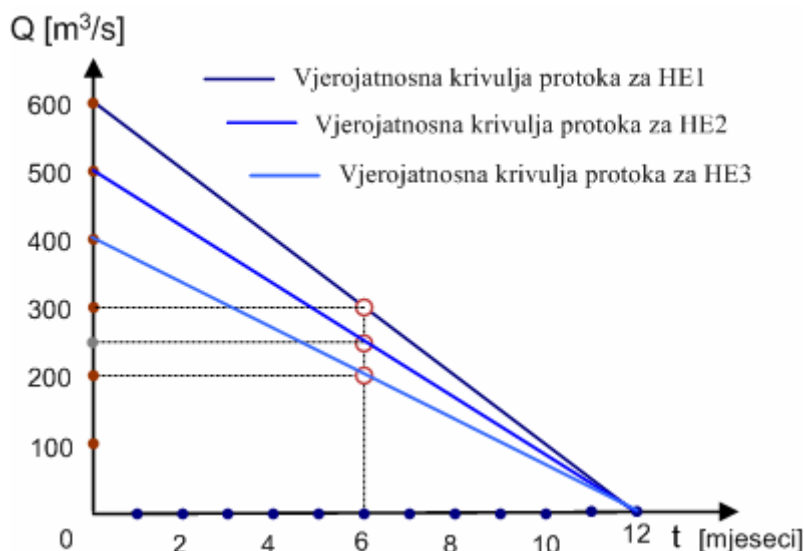
$$Q_{sr2} = 250 \text{ m}^3/\text{s}$$

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



Vjerojatnosna krivulja (ili krivulja trajanja) protoka prikazuje očekivano vrijeme (vjerojatnost) pojavljivanja određenog iznosa protoka za odabranu lokaciju.

Trajanje protoka jednakog ili većeg od instaliranog odredi se iz vjerojatnosne krivulje protoka.



Općenito vrijedi za očekivanu godišnju proizvodnju:

$$W = 9,807 \cdot \left\{ Q_i \cdot \eta_i \cdot \int_0^{t_i} H_n(t) \cdot dt + \int_{t_i}^{12} Q(t) \cdot H_n(t) \cdot \eta(t) \cdot dt \right\}$$

$H_n(t)$  i  $\eta(t)$  ovise o protoku;  $t_i$  je vrijeme očekivanog protoka  $\geq Q_i$ .

Pojednostavljeno se može zanemariti utjecaj  $H_n(t)$  i  $\eta(t)$  te očekivanu snagu računati s godišnjim prosječnim protokom:

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

**Napomena:** 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:

$$W = 8760 \cdot 9,807 \cdot Q_{\text{sri}} \cdot H_n$$

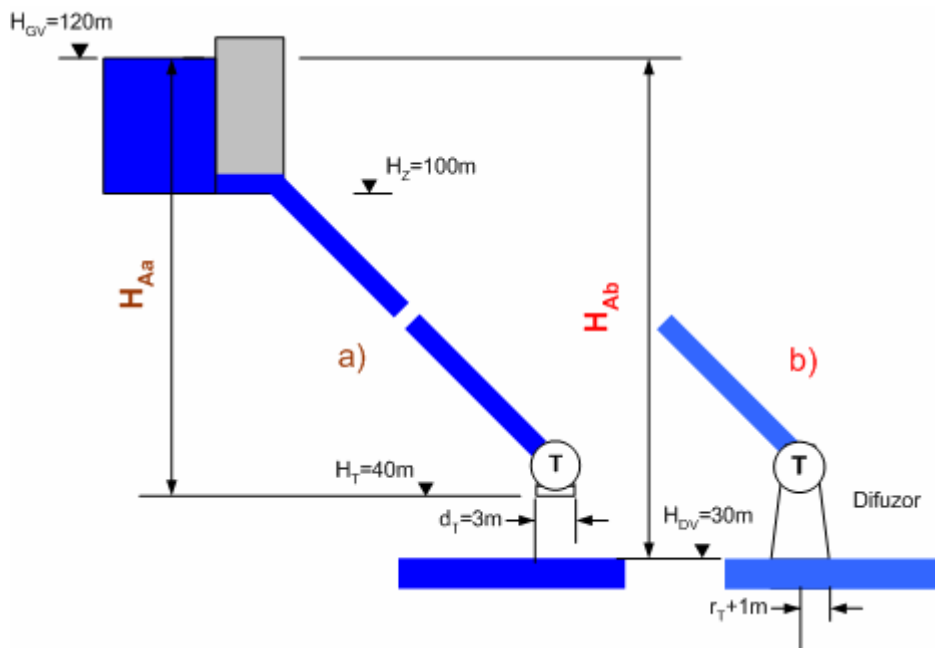
Konačni rezultati:

	$Q_{\text{sri}} [\text{m}^3/\text{s}]$	$P [\text{kW}]$	$W [\text{GWh}]$
HE 1	225	88264	773,2
HE 2	187,5	73550	644,3
HE 3	150	58836	515,4

$$W_{123} = 1932,9 \text{ GWh}$$

4.10  $H_{\text{GV}} = 120 \text{ m n.v.}$      $H_z = 100 \text{ m n.v.}$      $H_T = 40 \text{ m n.v.}$      $H_{\text{DV}} = 30 \text{ m n.v.}$   
 $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$      $d_T = 3 \text{ m}$      $r_D = r_T + 1 \text{ m}$

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



Prikaz situacije za oba slučaja.

$$P = 9,807 \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta$$

$$H_{na} = H_{Aa} - \frac{c_T^2}{2 \cdot g} = H_{\text{GV}} - H_T - \frac{c_T^2}{2 \cdot g}$$

$$H_{nb} = H_{Ab} - \frac{c_D^2}{2 \cdot g} = H_{\text{GV}} - H_{\text{DV}} - \frac{c_D^2}{2 \cdot g}$$

Brzinu određuje protok i površina:  $c = \frac{Q}{A}$

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

$$P_a = 68,45 \text{ MW}, \quad P_b = 86,99 \text{ MW}$$



4.11  $H_{\text{izvora}} = 700 \text{ m n.v.}$   $H_{\text{ušća}} = 100 \text{ m n.v.}$   $H = 1300 - Q_{\text{sr}}^{3/2}$   $Q_{\text{BM}} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{\text{izvora}} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$   $H_Z = 400 \text{ m n.v.}$   $H_T = 200 \text{ m n.v.}$   $H_B = 100 \text{ m}$

---

$W_b = ?$ ,  $P_1 = ?$ ,  $P_2 = ?$ ,  $P_3 = ?$

Naputak je dan samo za bruto energiju vodotoka:

$$W_b = 8760 P = 8760 \cdot 9,81 \cdot \int_{H_u}^{H_i} Q_{\text{sr}}(H) dH = 30,92 \text{ TWh}$$

---

$$W_b = 30,92 \text{ TWh}; P_1 = 588,4 \text{ MW}; P_2 = 1765 \text{ MW}; P_3 = 1618 \text{ MW}$$

---