

1. Q-H dijagram vodotoka aproksimativno je opisan izrazom $H=600-\frac{3}{2}\cdot Q_{sr}$. H je nadmorska visina u metrima, a Q_{sr} protok vode u $[\frac{m^3}{s}]$. Odrediti:
- (a) snagu pribranske HE postavljene na vodotoku od 350 m.n.v. s branom visine 55 m i stupnjem iskorištenja 90%
 - (b) mogući protok biološkog minimuma za derivacijsku elektranu sa zahvatom na istoj elevaciji i s istom visinom brane da bi imala istu snagu kao i elektrana pod (a). Stupanj iskorištenja derivacijske elektrane je 80%, a strojarnica se nalazi 50 m ispod zahvata.
 - (c) bruto energiju vodotoka između nadmorske visine zahvata i ušća rijeke u more

Rješenje:

- (a) 80.93 MW
 - (b) $68.5 \frac{m^3}{s}$
 - (c) $8.52 \cdot 10^9$ kWh
2. Srednji godišnji protok rijeke aproksimativno opisuje izraz $Q_{sr} = 120 - \frac{H}{10}$ [visina u m, protok u $\frac{m^3}{s}$]. Odrediti:
- (a) bruto energiju vodotoka, uz ukupne gubitke (vode i pada) od 20 %, između nadmorske visine zahvata (1200 m n.v.) i ušća rijeke u more
 - (b) snagu derivacijske HE koja uzima vodu na 500 m nadmorske visine, pri srednjem protoku, s $10 \frac{m^3}{s}$ biološkog minimuma, 15 m visine vode ispred brane, 9% gubitaka u padu do turbinskog postrojenja smjerštenog na 400 m n.v. koje ima stupanj djelovanja turbine 88%.

Rješenje:

- (a) $4.95 \cdot 10^9$ kWh
 - (b) 54.2 MW
3. Srednji godišnji protok rijeke aproksimativno opisuje izraz $Q_{sr} = 1000 - H$ [visina u m, protok u $\frac{m^3}{s}$]. Odrediti za hidroelektrane (HE):
- (a) Snagu pribranske HE postavljene na 500 m n.v. s branom visine 50 m i stupnjem iskoritenja 90%,
 - (b) Nadmorsku visinu na koju treba postaviti postrojenje derivacijske HE iste snage, mjesta zahvata i upola manje visine brane kao pribranska HE pod a), stupnjem iskoritenja 80%, i biološkim minimumom od $100 \frac{m^3}{s}$,
 - (c) Godišnju proizvedenu električnu energiju u HE pod a), i b) kada bi se raspoloživi protok za proizvodnju električne energije prikazao kao srednji protok dostupan 75% vremena.

Rješenje:

- (a) 220.7 MW
 - (b) 454.7 m
 - (c) $W_a=W_b=1450$ GWh
4. Srednji godinji protok rijeke se povećava prema $Q_{sr} = \frac{2}{3}(1300 - H)$ [visina u m, protok u $\frac{m^3}{s}$]. Odredite:
- (a) bruto energiju vodotoka, ako je izvor rijeke na 700 m n.v. i ušće na 100 m n.v.
 - (b) snagu pribranske hidroelektrane s branom visine 100 m na 400 m n.v. i stupnjem iskoritenja 90%
 - (c) snagu derivacijske hidroelektrane sa zahvatom na 400 m n. v., pregradom visine 100 m, postrojenjem na 200 m n. v. i stupnjem iskoritenja 85%
 - (d) snagu derivacijske hidroelektrane sa zahvatom na 400 m n. v., pregradom visine 100 m, postrojenjem na 200 m n. v. i stupnjem iskorištenja 85% ali se na mjestu zahvata u osnovni vodotok propušta biološki minimum od $50 \frac{m^3}{s}$
 - (e) odredite godišnju proizvedenu električnu energiju u elektranama pod b), c) i d) kada bi se raspoloživi protok za proizvodnju električne energije prikazao kao srednji protok dostupan 70% vremena.

Rješenje:

- (a) 31 TWh
- (b) 530 MW
- (c) 1500 MW
- (d) 1375 MW
- (e) $W_b=3250$ GWh, $W_c=9204$ GWh, $W_d=8432$ GWh

5. Rijeka ima srednji godišnji protok $Q_{sr}=300 - \frac{H}{2} [\frac{m^3}{s}]$. Izgradnjom pribranske HE na nadmorskoj visini 200 m želi se omogućiti rad agregata 80 MVA nazivnog faktora snage 0.8 i stupnja iskorištenja 0.93 punom snagom. Koliko visoka pregrada se mora izgraditi ako znamo da je instalirani protok elektrane jednak srednjem godišnjem protoku na tok elevaciji?

Rješenje: 35 m

6. Za promatranu lokaciju protočne hidroelektrane (HE) vjerojatnosna krivulja trajanja protoka ima oblik $Q_{vjerojatno}(t) = 300 - 25 \cdot t [\frac{m^3}{s}]$ (t u mjesecima). Istovremeno za promatranu godinu stvarno trajanje protoka opisuje izraz $Q_{stvarno}(t) = 252 - 21 \cdot t$. Pod pretpostavkom konstantne aktivne visine 20 m i ukupnog stupanja djelovanja 85% potrebno je odrediti za HE:

- (a) Snagu uz instalirani protok jednak srednjem vjerojatnom protoku.
- (b) Vjerojatnu i stvarnu godišnju proizvodnju električne energije korištenjem instaliranog protoka jednakog srednjem vjerojatnom protoku.
- (c) Potrebni instalirani protok da bi faktor opterećenja iznosio 80% za zadanu vjerojatnosnu krivlju trajanja protoka.

Rješenje:

- (a) 25 MW
- (b) $W_v=164.4$ GWh, $W_s=153.9$ GWh
- (c) $120 \frac{m^3}{s}$

7. Instalirani protok male protočne hidroelektrane iznosi $125 \frac{m^3}{s}$. Na mjestu zahvata postavljena je brana visine 30 m. Konsumpcijska krivulja na mjestu zahvata opisana je izrazom $H_Z = \frac{Q}{10}$, a na mjestu odvoda $H_O = \frac{Q}{20}$. Srednja vrijednost protoka na mjestu zahvata je $125 \text{ m}^3/\text{s}$, a vjerojatnosna krivulja protoka opisana je izrazom $Q(t) = -Q_{sr} \frac{t}{6} + 300$. Izračunajte snagu hidroelektrane za vrijeme maksimalnog i minimalnog protoka.

Rješenje: $P_{min}=1.23$ MW, $P_{max}=18.39$ MW

8. Pribranska i derivacijska hidroelektrana imaju zahvat na 400 m n.v. s prosječnim protokom od $100 \frac{m^3}{s}$. Pribranska HE ima instalirani protok jednak prosječnom. Obje HE imaju korisnu visinu vode na zahvatu ispred pregrade od 20 m. Derivacijska HE ima 10% manji stupanj djelovanja. Na koju n.v. treba postaviti postrojenje derivacijske HE da ima tri puta veću snagu od pribranske uz zahtjev da se mora osigurati protok biološkog minimuma od $10 \frac{m^3}{s}$.

Rješenje: 346 m

9. Na mjestu zahvata 300 m n.v. s prosječnim protokom od $400 \frac{m^3}{s}$ razmatra se postavljanje pribranske ili derivacijske HE. Za obje HE korisna visina vode ispred pregrade iznosi 30 m. Derivacijska HE ima planirano mjesto postrojenja na 250 m n.v. Koliko iznosi protok biološkog minimuma ako bi derivacijska HE imala istu snagu i isti stupanj djelovanja kao i pribranska?

Rješenje: $250 \frac{m^3}{s}$

10. Odredite moguću godišnju proizvodnju derivacijske HE izgrađene na vodotoku s godišnjom krivuljom trajanja protoka $Q=300-\frac{50}{3} \cdot t$ (Q u $[\frac{m^3}{s}]$ a t u mjesecima) i Q-H dijagramom $H=400-\frac{3}{2} \cdot Q$ (Q u $[\frac{m^3}{s}]$ a H u metrima). Zahvat se ostvaruje na 100 m.n.v., a veličina izgradnje jednaka je očekivanom srednjem godišnjem protoku na tom mjestu. Postrojenje HE izgrađeno je na 10 m.n.v. Brana je visine 50 m s ugrađenim zapornicama koje se reguliraju takoda propuštaju višak vode u vodotok. Tijekom pogona nije potrebno poštivati biološki minimum. Mjesec ima 730 sati. Utjecaj ostalih veličina zanemariti.

Rješenje: 2105 GWh

11. Vjerojatnosnu krivulju protoka na mjestu gdje je postavljena protočna hidroelektrana, instaliranog protoka od $113 \frac{m^3}{s}$, aproksimira izraz $Q=244-17.9 \cdot t [\frac{m^3}{s}]$ (t u mjesecima). Pojednostavljeno uzeti da je netto visina 11.4 m i stupanj djelovanja 0.92 cijelo vrijeme. Koliko iznosi faktor opterećenja hidroelektrane?

12. Odrediti ukupno očekivanu proizvodnju el. energije za godinu dana rada protočne hidroelektrane: visina brane 20 m, ukupni stupanj djelovanja 85% i instalirani protok (10% veći od prosječnog) $196 \frac{m^3}{s}$. Vjerojatnosna krivulja protoka ima oblik $Q(t) = 300 + \frac{(50 - Q_{sr})}{6} \cdot t \left[\frac{m^3}{s} \right]$, (t u mjesecima), a za neto visinu uzeti prosječnu vrijednost od 16 m.

Rješenje: 179 GWh

13. Odrediti ukupno proizvedenu el. energiju tijekom jedne godine za protočnu hidroelektranu te volumen vode koji protee kroz HE tijekom jedne godine: visina brane 20 m, ukupni stupanj djelovanja 85% i instalirani protok (jednak prosječnom protoku) $175 \frac{m^3}{s}$. Poznato je da vjerojatnosna krivulja protoka ima oblik $Q(t) = 300 + \frac{(50 - Q_{sr})}{6} \cdot t \left[\frac{m^3}{s} \right]$, (t u mjesecima), a konsumpcione krivulje na zahvatu $H_z = 10 + \frac{Q}{8}$ i odvodu $H_o = \frac{Q}{8}$, (Q u $\left[\frac{m^3}{s} \right]$ a visina u metrima).

Rješenje: 105 GWh

14. Odrediti snage derivacijske hidroelektrane pri maksimalnom i minimalnom protoku. Ukupni stupanj djelovanja iznosi 85%, instalirani protok (jednak prosječnom) iznosi $175 \frac{m^3}{s}$, zahvat je na 500 m n.v., a turbina na 400 m n.v. Vjerojatnosna krivulja protoka ima oblik $Q(t) = 300 + \frac{(50 - Q_{sr})}{6} \cdot t \left[\frac{m^3}{s} \right]$, (t u mjesecima), a konsumpciona krivulje na zahvatu $H_z = 10 + \frac{Q}{8}$ (Q u $\left[\frac{m^3}{s} \right]$ a visina u metrima).

Rješenje: $P_{max} = 215$ MW, $P_{min} = 48$ MW

15. Tlačnim se tunelom, sa zahvatom na koti 100 m n.v. iz akumulacijskog jezera dovodi voda do turbine čiji je izlaz na koti 40 m n.v. Razina vode je u jezeru na koti 120 m n. v., a razina donje vode (odvodni kanal) na koti 32 m n. v. Odredite:

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

Rješenje:

- 69 MW
- 74 MW

16. Tlačnim se tunelom, sa zahvatom na koti 105 m n.v. iz akumulacijskog jezera dovodi voda do turbine čiji je izlaz na koti 40 m n.v. Razina vode je u jezeru na koti 140 m n. v., a razina donje vode (odvodni kanal) na koti 33.3 m n. v. Odredite za koliko se poveća snaga turbine pri protoku od $118 \frac{m^3}{s}$ ako se na izlaz iz turbine (promjer izlaznog otvora turbine iznosi 3.4 m) postavi difuzor čiji je polumjer izlaznog otvora za 1.5 m veći od polumjera izlaznog otvora turbine, a dužina jednaka visinskoj razlici izlaza iz turbine i donje vode.

Rješenje: 16.92 MW

17. Tlačnim se tunelom sa zahvatom na koti 109 m n.v. iz akumulacijskog jezera dovodi voda do turbine čiji je izlaz na koti 40 m n.v.. Razina vode je u jezeru na koti 124 m n.v., a razina donje vode (odvodni kanal) na koti 33 m n.v.. Odredite za koliko se poveća snaga turbine pri protoku od $88 \frac{m^3}{s}$ ako se na izlaz iz turbine postavi aspirator čija je dužina jedna visinskoj razlici izlaza iz turbine i donje vode. Promjer izlaznog otvora turbine iznosi 2.6 m.

Rješenje: 6.043 MW

18. Tlačnim se tunelom sa zahvatom na koti 100 m n.v. iz akumulacijskog jezera dovodi voda do turbine čiji je izlaz na koti 40 m n.v.. Razina vode je u jezeru na koti 124 m n.v., a razina donje vode (odvodni kanal) na koti 32.4 m n.v.. Odredite za koliko se poveća snaga turbine pri protoku od $83 \frac{m^3}{s}$ ako se na izlaz iz turbine postavi aspirator čija je dužina jedna visinskoj razlici izlaza iz turbine i donje vode. Promjer izlaznog otvora turbine iznosi 2.9 m.

Rješenje: 6.19 MW

19. Pribranska elektrana ima zahvat vode na 500 m.n.v. i nazivni protok od $45 \frac{m^3}{s}$. Visina vode iza brane je 54 m u odnosu na elevaciju zahvata. Turbina promjera 6 m nalazi se na 483 m n.v., a razina donje vode je na 474 m n.v. Koliko se % poveća snaga elektrane nakon dodavanja difuzora promjera 9 m uz sve ostale parametre iste?

Rješenje: 12.8 %

20. Vjerojatnosnu krivulju protoka na mjestu gdje je postavljena protočna hidroelektrana, instaliranog protoka od $8 \frac{m^3}{s}$, aproksimira izraz $Q = 10 - \frac{t}{2} \left[\frac{m^3}{s} \right]$ (t u mjesecima). Pojednostavljeno uzeti da je neto visina 50 m i stupanj djelovanja 0,75 cijelo vrijeme te odrediti:

- (a) Koliko iznosi vjerojatna godišnja proizvodnja električne energije?
- (b) Koliko iznose najveća i najmanja snaga hidroelektrane?
- (c) Odrediti faktor opterećenja za hidroelektranu.

Rješenje:

- (a) 21,5 GWh
- (b) $P_{max}=2.94$ MW, $P_{min}=1.47$ MW
- (c) 0.83

21. Odredite moguću godišnju proizvodnju derivacijske hidroelektrane izgrađene na vodotoku s godišnjom krivuljom trajanja protoka $Q=300-200\frac{t}{12}$. Zahvat se ostvaruje na 100 m n.v., a instalirani protok jednak je očekivanom srednjem godišnjem protoku na tom mjestu. Postrojenje HE izgrađeno je na morskoj obali. Konsumpcijska krivulja na zahvatu zadana je izrazom $H_z=\frac{Q}{20}+40$. Brana je visine 55 m s ugrađenim zapornicama koje se reguliraju tako da proputaju višak vode. Tijekom pogona nije potrebno poštivati biološki minimum. Turbina je u stanju raditi s bilo kojim protokom od maksimalnog instaliranog do nultog. Utjecaj ostalih veličina koje nisu zadane treba zanemariti.

Rješenje: $2.26 \cdot 10^9$

22. Hidroelektrana ima prosječni korisni pad 20 m i stupanj djelovanja 87%. Instalirani protok jednak je srednjem protoku. Krivulju trajanja protoka aproksimira izraz $Q = 770 - 60t$ ($\frac{m^3}{s}$, t u mjesecima)
- (a) Odredite predvidivu godišnju proizvodnju električne energije
 - (b) Odredite snagu hidroelektrane kod najvećeg protoka

Rješenje:

- (a) 478 GWh
- (b) 70 MW

23. Pribranska elektrana ima branu visine 70m izgrađenu na nadmorskoj visini od 400 m. Brana je opremljena ispustima. Srednji godišnji protok rijeke je određen Q-H krivuljom $Q[\frac{m^3}{s}]=\frac{2}{3} \cdot (1300-H[m])$. Instalirani protok HE je odabran tako da bude jednak srednjem protoku za tu lokaciju. Dno odvodnog kanala je elevacijski 15 m ispod brane. Konsumpcijske krivulje vodotoka iznad i ispod brane su $H=\frac{Q}{10}$ i $H=\frac{Q}{200}$. Izračunajte snagu turbine opremljene difuzorom pri protoku od $650 \frac{m^3}{s}$.

Rješenje: 452 MW

24. Hidroelektrana je izgrađena na vodotoku s godišnjom krivuljom trajanja protoka $Q=600-50t$ (t u mjesecima, Q u $[\frac{m^3}{s}]$). Ako je netto visina vode 100 m i faktor opterećenja 0.7 odrediti godišnju proizvodnju elektrane. Uzeti da mjesec ima 730 h. Veličine koje nisu zadane zanemariti.

Rješenje: 2166 GWh

25. Odredite instalirani protok derivacijske HE, na obali mora, koja ima maksimalnu snagu 100 MW uz ukupni stupanj djelovanja od 90 %. Vjerojatnosnu krivulju protoka, na mjestu zahvata na 60 m n.v., aproksimira izraz $Q_v=200-10 \cdot t$ ($\frac{m^3}{s}$, t u mjesecima). Razina vode pred branom je određena konsumpcionom krivuljom $H_z=\frac{Q}{2}-60$ [m], a iza turbine je na razini mora.

Rješenje: $113 \frac{m^3}{s}$

26. Odredite vjerojatnu godišnju proizvodnju HE koja ima faktor opterećenja 0.7. Vjerojatnosnu krivulju na lokaciji protoka aproksimira izraz $Q_v=120-10 \cdot t$ ($\frac{m^3}{s}$, t u mjesecima). Računati s nepromjenjivnom aktivnom visinom - 50 m i ukupnim godišnjim djelovanjem 90 %.

Rješenje: 195 GWh

27. Derivacijska hidroelektrana ima postavljenu turbinu na razini od 453 m nadmorske visine, ukupni stupanj djelovanja od 92%; polumjer turbine 1,5 m i instalirani protok od $100 \frac{m^3}{s}$. Odrediti razinu gornje vode kada elektrana daje na pragu snagu od 30 MW uz protok od $83 \frac{m^3}{s}$.

Rješenje: 500 m

28. Derivacijska hidroelektrana ima ukupni stupanj djelovanja 86%; promjer turbine 3 m, instalirani protok od $85 \frac{m^3}{s}$ i turbinu postavljenu na razini od 44 m nadmorske visine. Kolika je razina gornje vode kada elektrana daje na pragu snagu od 26 MW uz protok od $77 \frac{m^3}{s}$?

Rješenje: 90.1 m

29. Rijeka izvire na nadmorskoj visini 700 m s protokom $400 \frac{m^3}{s}$. Protok se nadalje povećava do nadmorske visine 100 m po zakonu $H[m]=1300-\frac{2}{3}\cdot Q[\frac{m^3}{s}]$. Kolika je snaga derivacijske hidroelektrane za srednji protok, sa zahvatom na 400 m n.v., pregradom visine 100 m i postrojenjem na 200 m n.v. uz biološki minimum od $50 \frac{m^3}{s}$.

Rješenje: 1619 MW

30. Predvidivi protok derivacijske HE kroz godinu aproksimira izraz $Q=90-5\cdot t$ ($\frac{m^3}{s}$, t u mjesecima). Prosječno je stupanj djelovanja 80%, gornja voda na 500 m.n.v., a izlaz turbine na 300 m.n.v. Odrediti:
- (a) predvidivu godišnju proizvodnju električne energije ako je instalirani protok jednak srednjem protoku uz zanemarenja gubitaka el. energije
 - (b) neiskorištenu snagu uz srednji protok ako se izlaz turbine, promjer 3 m, nalazi 5 m iznad donje vode (uz prosječni stupanj djelovanja)
 - (c) faktor opterećenja uz instalirani protok jednak protoku koji je vjerojatno dostupan 4 mjeseca tijekom godine

Rješenje:

- (a) 722 GWh
- (b) 4.084 MW
- (c) 0.81