

161. U vodnoj se turbini hidroelektrane odvija jednodimenzionalni, stacionarni strujni proces. Napišite analitički izraz za količinu dobivenog tehničkog rada.

161.

$$P_t = gQH_n[kW]$$

--- g – ubrzanje zemljine sile teže

Q – ukupni maseni protok vode kroz turbinu

H_n – netopad vode (brutopad je onaj koji nam daje priroda, a netopad je onaj gdje su u brutopad još dodani gubici protoka i brzine vode) ---

162. Kako dijelimo HE prema padu?

162. Prema visini pada razlikuju se „niskotlačne“ (pad do 25 metara), „srednjotlačne“ (od 25 do 200 m) i „visokotlačne“ (iznad 200 m) hidroelektrane.

--- Niskotlačne su hidroelektrane riječne pribranske i derivacijske. Grade se za specifične padove do 1 m/km. Pri tome je karakteristično da im cjelokupni pad stoji na raspolaganju neposredno kod elektrane, bez potrebe za tlačnim dovodima i cjevovodima.

Srednjotlačne hidroelektrane mogu biti pribranske i derivacijske koje se najčešće grade na mjestima gdje rijeka stvara zavoj koji se tada presiječe kanalom ili cjevovodom. Visokotlačne hidroelektrane mogu biti pribranske i derivacijske. Radi li se o pribranskim elektranama, s obzirom na veličinu uspora, ove su hidroelektrane ujedno obično i akumulacijske s djelomičnom ili potpunom godišnjom regulacijom protoka i mogućnošću vršnog rada u tijeku dana.

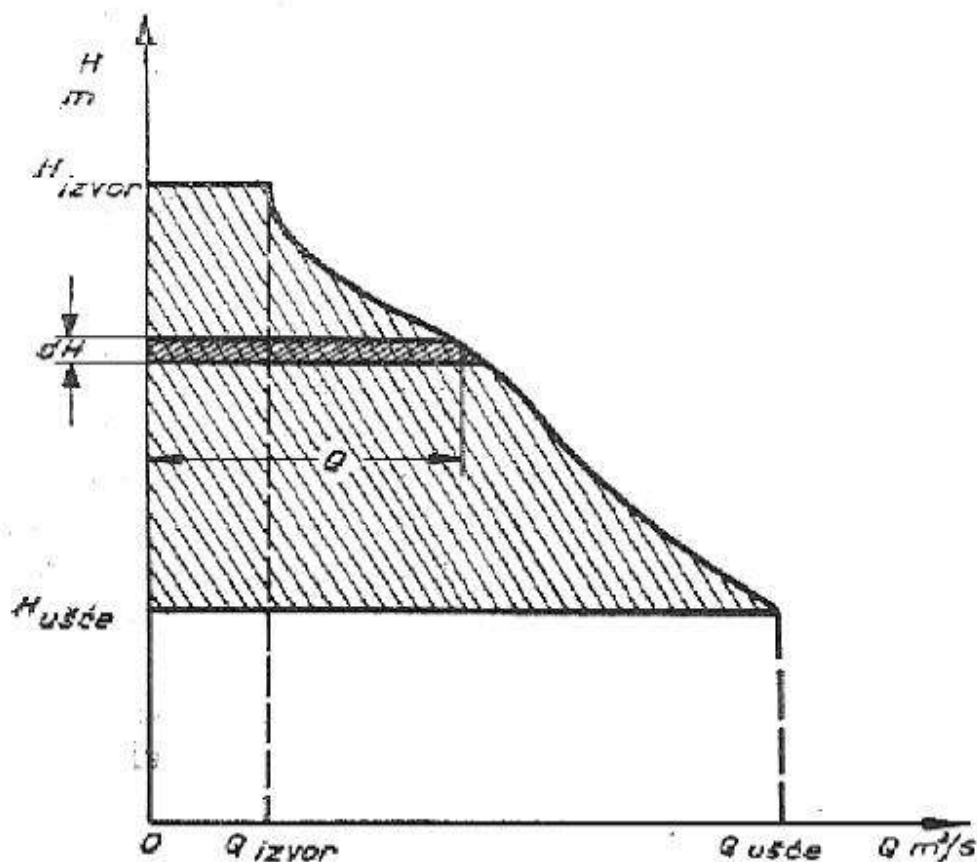
Najčešće su međutim visokotlačne hidroelektrane derivacijske budući da su zahvat i strojarnica prostorno odijeljeni; voda se naime dovodi do turbina cjevovodom dugačkim i više kilometara. Grade se u brdovitim krajevima za padove veće od 5 m/km. ---

163. Kako dijelimo HE prema položaju strojarnice?

163. Prema smještaju strojarnice dijele se hidroelektrane na pribranske (strojarnica smještena neposredno uz branu) i derivacijske.

164. Što prikazuje Q-H dijagram?

164. Idući od izvora prema ušću vodotoka prosječni višegodišnji protok sve više raste, jer sve više raste oborinsko područje, pa su i količine vode od oborina koje gravitiraju vodotoku sve veće. Istodobno, od izvora prema ušću, kota razine vode postaje sve manja. Svakom profilu vodotoka odgovara stoga određena kota H (visina iznad površine mora u metrima) i određeni srednji višegodišnji protok Q (m³/s), pa se svaki vodotok može prikazati Q,H – dijagramom vodotoka, slika 9-14.



Slika 9-14 Primjer Q, H – dijagrama vodotoka

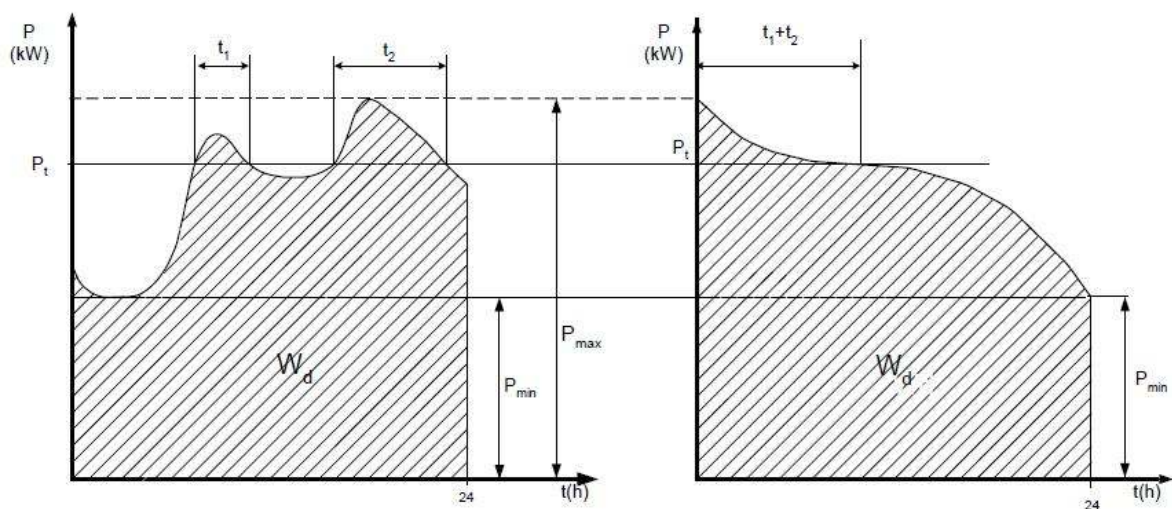
165. Što je krivulja trajanja opterećenja?

165. Radi nepogodnog oblika dnevnog dijagrama opterećenja u analizama se najčešće taj dijagram zamjenjuje „krivuljom trajanja opterećenja“ u kojoj su opterećenja poredana po veličini, a ne po kronološkom redu kao u dijagramu opterećenja, pa je uporaba te krivulje opravdana u svim slučajevima kad nas zanima samo trajanje i veličina pojedinih opterećenja, a ne i njihov vremenski raspored. (desni graf na slici)

166. Što je dnevni dijagram opterećenja?

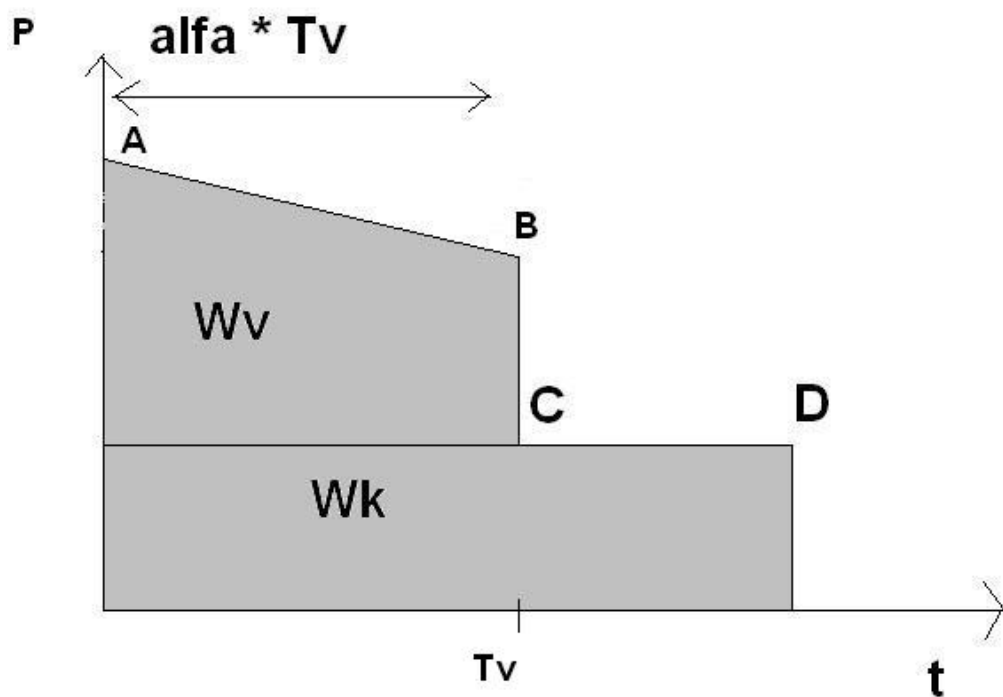
166. U elektroenergetskom sustavu postoji veliki broj potrošača koji troše električnu energiju na način, u količinama i u doba dana kako to najbolje odgovara njihovim potrebama. Radi toga se i potražnja tijekom dana mijenja i tu promjenu prikazujemo „dnevnim dijagramom potražnje“ ili „dnevnim dijagramom opterećenja“.

Na dnevnom dijagramu opterećenja uočavamo dva karakteristična opterećenja: „maksimalno opterećenje“ (P_{max}) i „minimalno opterećenje“ (P_{min}). Površina ispod krivulje predstavlja tijekom dana proizvedenu energiju (W_d). (lijevi graf na slici)

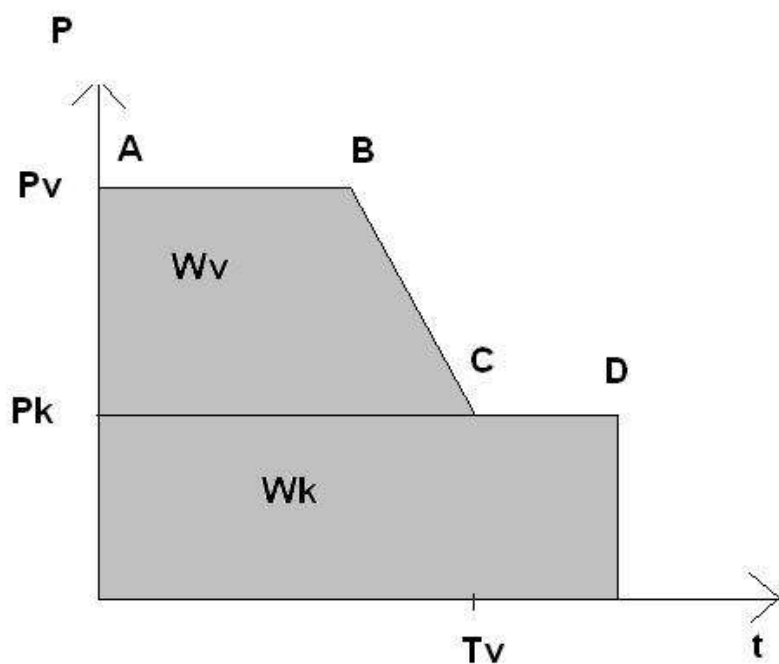


Slika 9-10 Konstrukcija dnevne krivulje trajanja opterećenja iz dnevnog dijagrama opterećenja

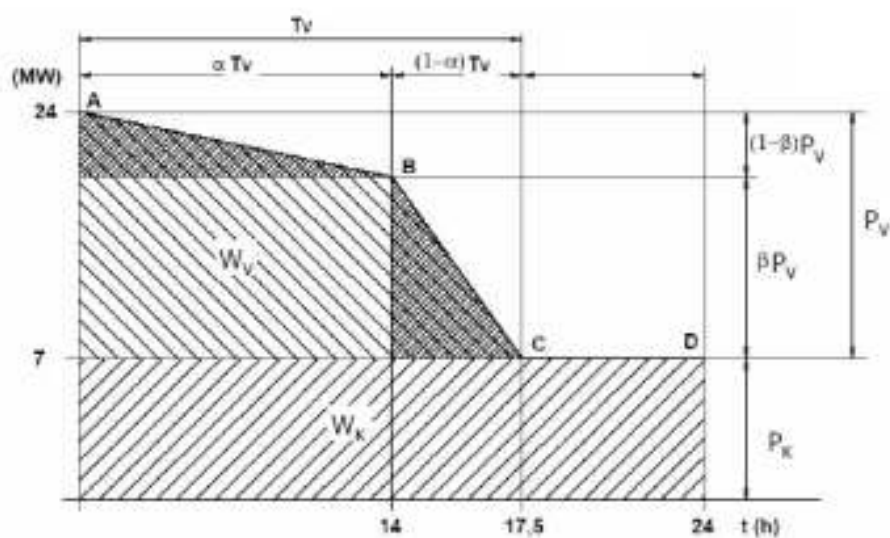
167. Nacrtati dnevnu krivulju trajanja opterećenja takvu da je $\alpha = 1$.
167.



168. Nacrtati dnevnu krivulju trajanja opterećenja takvu da je $\beta = 1$.
168.



--- Objašnjenje:



Slika 9-11 Aproximacija dnevne krivulje opterećenja s tri pravca

Koordinate točaka su:

A (0, $P_k + P_v$)

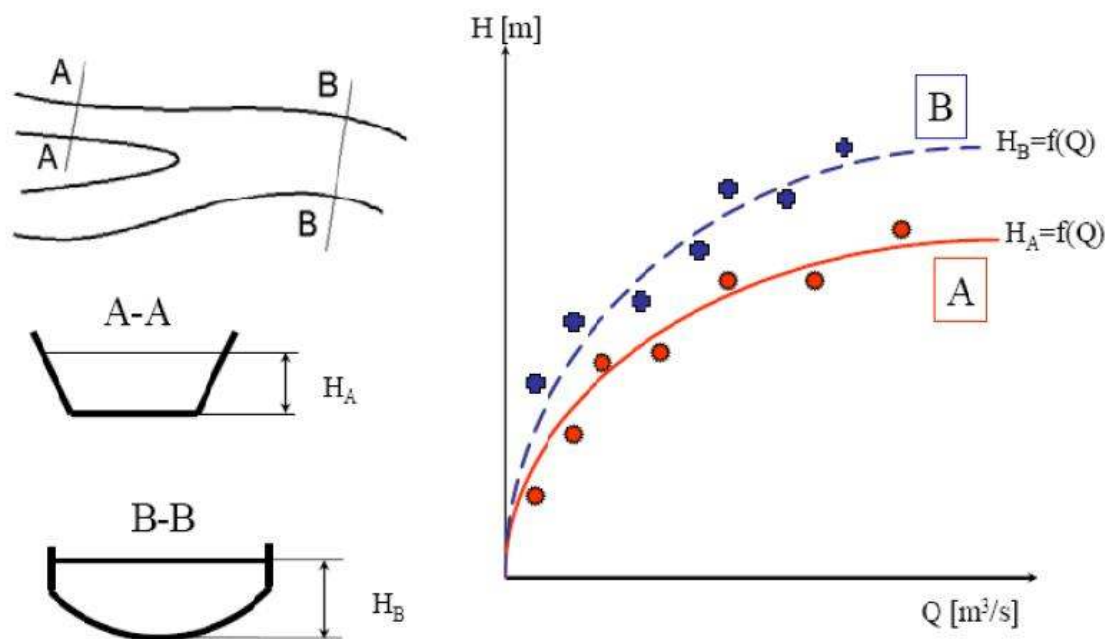
B ($\alpha \cdot T_v$, $P_k + \beta \cdot P_v$)

C (T_v , P_k)

U principu za $\alpha = 1$ nestane druga kosina na dužini BC, a za $\beta = 1$ nestane prva kosina na dužini AB. ---

169. Nacrtajte i objasnite konsumpcionu krivulju.

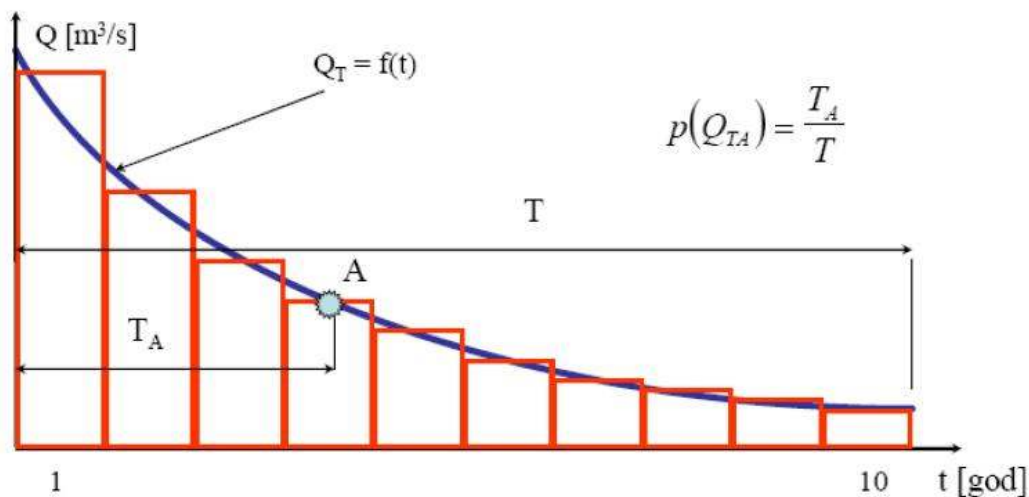
169. Količina vode u vodotoku, kao i vremenski raspored vode u vodotoku, ovisi o nizu utjecaja (o oborinama, sastavu i topografiji zemljišta, temperaturi zraka, biljnom pokrivaču i dr.), pa kao osnova za utvrđivanje količine voda mogu poslužiti samo svakodnevna mjerenja količine vode. Mjerenja se provode pomoću „vodokaza“ na kojima se očitava visina razine vode. Ta se visina naziva „vodostaj“. Pomoću poznate visine vodostaja može se iz tzv. „konsumpcijske krivulje“ očitati protok vode (Q u m^3/s). Konsumpcijske krivulje, slika 9-18, konstruiraju se na temelju mjerenja, a ovise o obliku korita na mjestu vodokaza.



Slika 9-18 Konsumpcijske krivulje za dva profila

170. Nacrtajte i objasnite vjerojatnosnu krivulju protoka.

170. Promatranje protoka u samo jednoj godini može dovesti do krivih zaključaka o količinama i rasporedu voda u promatranom vodotoku, pa je potrebno promatranje protegnuti na dulje vremensko razdoblje. Tako možemo za svaku od promatranih godina odrediti srednji godišnji protok, pa prema tome možemo klasificirati godine i po vlažnosti. Osim krivulja trajanja protoka u kojima su uneseni podaci cijele godine, mogu se nacrtati krivulje trajanja protoka za pojedina razdoblja u godini (zima i ljeto, ili sušno i kišno razdoblje), ili krivulja trajanja za pojedine mjesece. Želi li se, npr., nacrtati krivulja trajanja za mjesec siječanj, uvažit će se podaci za sve siječnje u promatranom razdoblju. Poznavajući takve podatke za dulji niz godina određuje se, koristeći se nekom od brojnijih razvijenih statističkih (vjerojatnosnih) metoda, vjerojatnost pojave određenog protoka.. Najjednostavnija među metodama, kojom ćemo se služiti u našim razmatranjima, jest određivanje vjerojatnosti pojave protoka pomoću krivulje trajanja srednjeg višegodišnjeg protoka, slika 9-21, budući da ta vjerojatnost odgovara relativnom trajanju protoka; točnost je to veća što je dulje razdoblje kroz koje su prikupljeni podaci o stvarnim protocima.

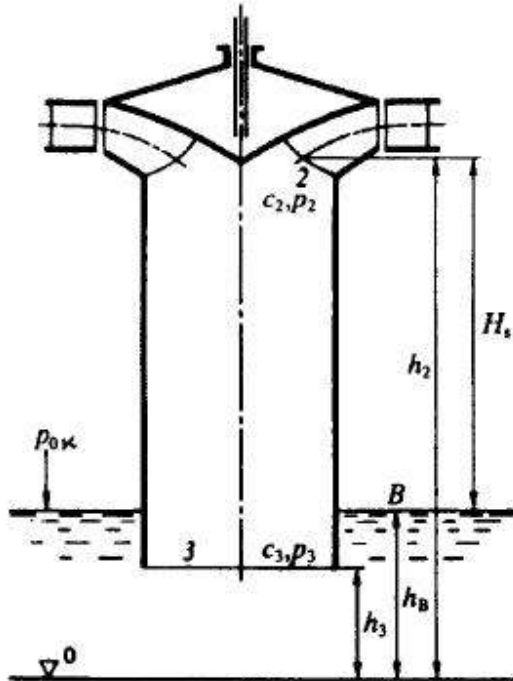


Slika 9-21 Krivulja trajanja srednjeg višegodišnjeg protoka predstavlja ujedno i vjerojatnosnu krivulju: vjerojatnost pojave protoka Q_{T_A} jednaka je omjeru vremena T_A i ukupnog vremena promatranja (na apscisu možemo nanijeti pripadajuće vjerojatnosti)

171. Što je aspirator?

171. Kad voda u slobodnom mlazu izlazi iz turbine, pojavljuju se gubici zbog neiskorištene kinetičke energije koju ona ima na izlazu iz turbine i zbog neiskorištene potencijalne energije vode proporcionalne razini vode na izlazu iz turbine i razine donje vode. Kad bi bilo moguće izlaz turbine smjestiti neposredno na razinu donje vode, gubici bi nastajali samo zbog neiskorištene kinetičke energije. Pokazuje se, međutim, postavi li se na izlaz iz turbine cilindrična cijev koja se naziva aspiratorom, prilike se mijenjaju.

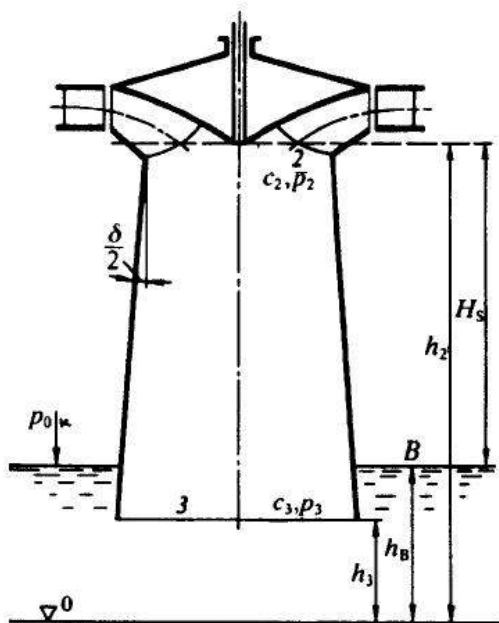
Postavi li se aspirator, gubici se na izlazu smanjuju na iznos koji odgovara smještaju izlaza turbine na razini donje vode.



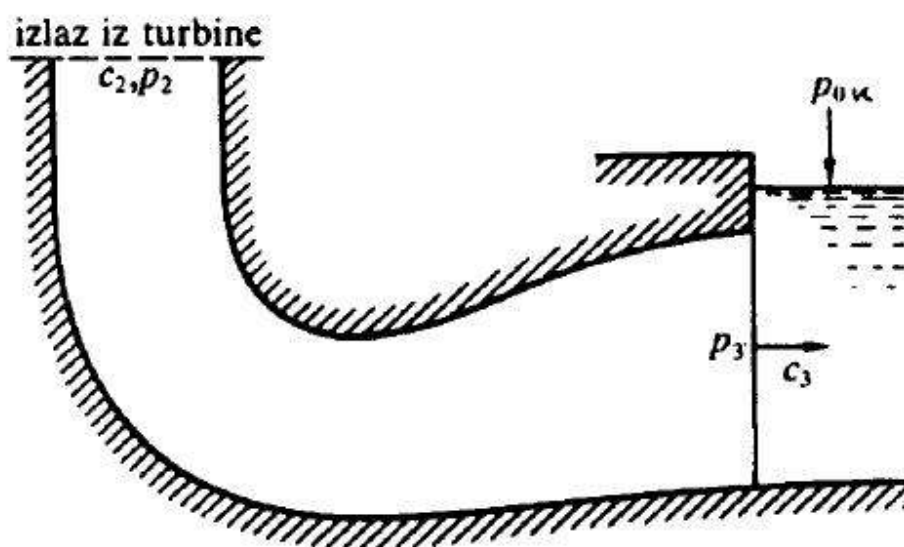
Slika 9-53 Turbina s aspiratorom

172. Što je difuzor?

172. Kako bi se smanjili gubici kinetičke energije, koji su posljedica činjenice da voda iz vodne turbine izlazi brzinom znatno većom od nule, umjesto aspiratora upotrebljava se difuzor, cijev koja se proširuje, pa na izlazu iz njega voda ima manju brzinu c_3 nego na izlazu iz turbine gdje je brzina c_2 . znatno smanjivši brzinu na izlazu iz turbine daju se gotovo potpuno eliminirati gubici kinetičke energije $((c_3^2)/2)$, ali je za to potrebno veliko proširenje difuzora. Ono se može ostvariti ili povećavanjem duljine difuzora ili uz veliki kut proširenja. U prvom slučaju valja turbinu smjestiti visoko iznad donje vode, što se ne može zbog pojave kavitacije. Osim toga, s duljinom difuzora povećavaju se gubici energije $g \cdot h(Rd)$. S druge strane pak, veliki kut proširenja izaziva odvajanje strujanja, što stvara dodatne gubitke. Zbog toga se izvodi difuzor u obliku zavoja.



Slika 9-54 Turbina s difuzorom



Slika 9-55 Difuzor u obliku zavoja

173. Što je derivacijski kanal?

173. Zahvat vodu zaustavljenu pregradom (branom) usmjerava prema dovodu (strojarnici hidroelektrane). Razlikuju se dva osnovna tipa zahvata: zahvat na površini i zahvat ispod površine vode. Zahvat na površini vode izvodi se kada je pregrada niska pa je razina vode iza pregrade praktički konstantna. Prolaz vode kroz zahvat regulira se zapornicama. Zahvat ispod površine vode, i to na najnižoj mogućoj razini, razini do koje će se spuštati voda, izvodi se kada se količina vode tijekom godine mijenja (akumuliranje vode u kišnom i njezino iskorištavanje u sušnom razdoblju).

174. Što je biološki minimum?

174. Biološki minimum je ona količina protoka koja se u toku godine mora ostaviti u vodotoku da bi se omogućio život organizama u rijeci.

175. Što je vodna komora?

175. Vodostan ili vodna komora nalazi se na kraju dovoda, a služi za ublažavanje posljedica naglih promjena opterećenja. Kad je dovod gravitacijski, potreban je vodostan odgovarajućeg obujma kako bi se u njemu mogle pohraniti veće količine vode u slučaju naglih promjena opterećenja hidroelektrane. Ako hidroelektrana ima tlačni dovod, proširenje na kraju tog dovoda mora se izvesti kao vodna komora takvih dimenzija da, nakon promjene opterećenja, tlak u dovodu ne poraste iznad dopuštene granice, odnosno da se razina vode ne spusti ispod najviše kote ulaza u tlačni cjevovod. Dimenzioniranje vodne komore ima velik utjecaj na rad hidroelektrane.

176. Što je tlačni tunel (cjevovod)?

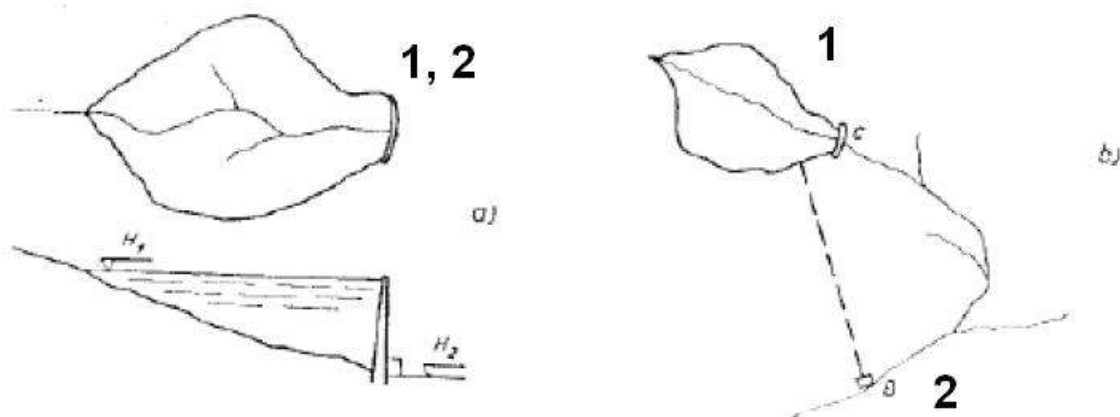
176. Tlačni cjevovod služi za dovođenje vode iz vodostana ili vodne komore do turbina. U pravilu izrađen je od čelika, a za manje padove i od betona. Prema svom smještaju tlačni cjevovod može biti položen po površini ili u tunelu. Cjevovod u tunelu može biti slobodno položen, kada tunel služi samo kao prostor za smještaj cjevovoda, ili prilijegati uz stijene tunela, i to bilo tako da naprezanja preuzima samo stjenka cjevovoda ili tako da ih preuzima djelomično i okolna stijena.

177. Koja su osnovna obilježja pribranske elektrane?

177. Pribranske hidroelektrane su one koje imaju strojarnicu smještenu uz branu ili unutar brane ili je strojarnica izvedena kao dio brane. Tada je (teoretski) moguće upotrijebiti sav dotok koji dolazi do mjesta gdje je izgrađena hidroelektrana. Obično se radi hidroelektranama na velikim rijekama sa širokim koritom, velikim količinama vode, i relativno malim padovima.

178. Koja su osnovna obilježja derivacijske elektrane?

178. Ako je pad veći, normalno se gradi derivacijska hidroelektrana, u kojoj se voda kanalom ili tunelom dovodi strojarnici (turbinama) smještenim u poziciji B. Tada, međutim, ostaje neiskorišteni dotok koji se pojavljuje između brane (C) i postrojenja (B), na potezu CB. Derivacijske se hidroelektrane grade, osim u brdovitim predjelima, i u ravnici kad se samo gradnjom brane, a zbog nepovoljnih topografskih uvjeta, ne ostvaruje ekonomična koncentracija pada. U takvim se slučajevima voda dovodi hidroelektrani tunelom ili umjetnim koritom, crkana linija na slici 9-2 b), uz manje gubitke, zbog tehničke dorađenosti dovoda, nego u prirodnom koritu, pa je nagib umjetnog korita manji od prirodnog,



Slika 9-2 Tipovi hidroelektrana: a) – pribranska hidroelektrana, b) – derivacijska hidroelektrana

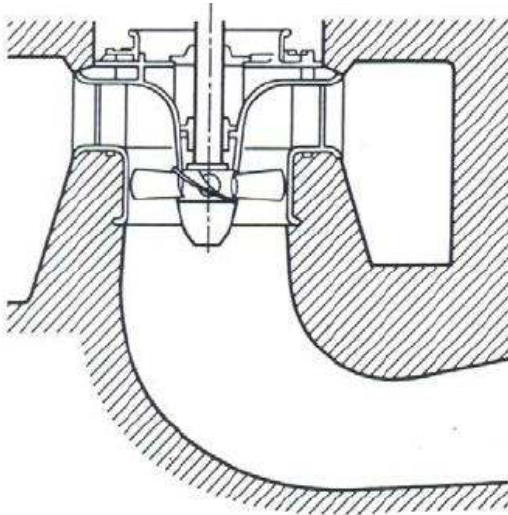
1 - brana 2 - strojarnica

179. Navedite tip vodne turbine (po principu rada i nazivu) za veliki protok i mali pad.

179. Kaplanova (propelerna) turbina najprikladnija za iskorištavanje energije velikih količina vode i malih padova. Ona se koristi u području nizina.

--- (Pretlačnim turbinama nazivaju se vodne turbine u kojima je tlak na ulazu u rotor veći od onoga na njegovom izlazu, što odgovara reakcijskim parnim turbinama. U pretlačnim turbinama, naime, dio se energije tlaka transformira u kinetičku energiju u statoru, a dio u rotoru. U turbinama slobodnog mlaza tlak je na ulazu u rotor jednak kao i na njegovom izlazu, što odgovara akcijskim parnim turbinama, jer se sva energija tlaka transformira u kinetičku energiju vode u statoru.) U Kaplanovoj se turbini rotorske lopatice mogu pomicati da bi se bolje prilagodile uvjetima strujanja. Micanjem lopatica mijenja se njihov nagib i time se stupanj djelovanja održava na povoljnoj razini u širokom području rada.)

Propelerna je turbina (Kaplanova turbina) nastala razvojem Francisove turbine. To je aksijalna turbina s vrlo malim brojem lopatica rotora koji je građen u obliku propelera. Između statora i rotora postoji relativno veliki međuprostor kroz koji se voda giba slobodno. ---

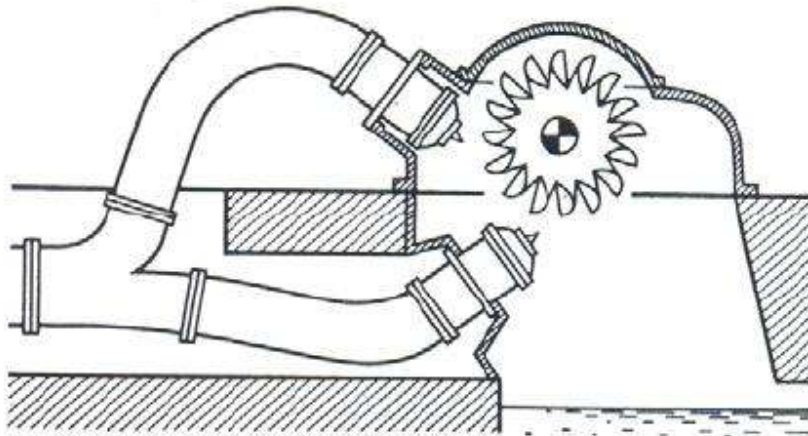


Slika 9-47 Skica Kaplanove turbine

180. Navedite tip vodne turbine (po principu rada i nazivu) za veliki pad i mali protok.

180. Peltonova turbina iskorištava energiju vodotoka karakteriziranih visokim padom i relativno malom količinom vode. Koristi se u visokim gorskim predjelima.

--- Peltonova je turbina, slika 9-48, jedini tip vodne turbine slobodnog mlaza koji se danas izvodi. Konstruirao ju je 1878. godine Amerikanac Pelton. Ova se turbina izvodi s jednom ili s više mlaznica (sapnica): slobodni mlaz tangencijalno udara u lopatice rotora, koje skreću mlaz, i time se proizvodi moment vrtnje. Naime, stator u Peltonovoj turbini jest sapnica, nazvana još mlaznicom, u koju se dovodi voda iz cjevovoda i u kojoj se sva energija vode transformira u kinetičku energiju. Mlaz vode, izlazeći iz sapnice, udara u lopaticu, koja je oštrim bridom podijeljena u dva jednaka ovalna udubljenja. Lopatice su smještene na obodu rotora, koji se okreće zbog djelovanja mlaza. Pojedine lopatice dolaze stoga samo povremeno u dodir s mlazom, a za vrijeme dodira nagib im se s obzirom na mlaz stalno mijenja. Rotor se Peltonove turbine okreće u zraku, pa zbog toga mora mlaz biti podignut na neku visinu h iznad donje vode uvjetovanu prirodnim kolebanjem razine donje vode. Brzina je vode na izlazu iz mlaznice (sapnice) $\sqrt{2g(H - h)}$, pa prema tome visina h predstavlja nužno izgubljenu kinetičku energiju po 1 kg vode. ---

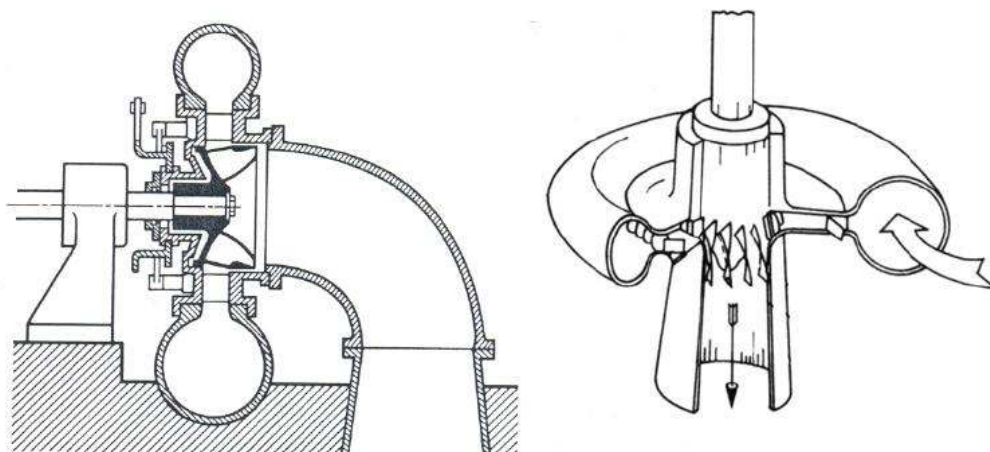


Slika 9-48 Skica Peltonove turbine s dvije mlaznice

----- Francisova turbina

Francisova dolazi uglavnom u obzir za iskorištavanje srednjih padova i odgovarajućih količina vode. Koristi se u nižim brdskim područjima.

Francisova turbina je (pretlačna vrsta turbine) radijalna, odnosno radijalno-aksijalna turbina, centripetalnog smisla utjecanja vode u rotor (voda ulazi u rotor na njegovom vanjskom a izlazi na unutarnjem obodu), redovito opskrbljena difuzorom. Raniji tipovi Francisove turbine bili su gotovo sasvim radijalni, no, kod suvremenih tipova, voda na izlazu iz rotora ima znatnu aksijalnu komponentu strujanja. -----



Slika 9-46 Skica Francisove turbine s horizontalnom i vertikalnom osovinom

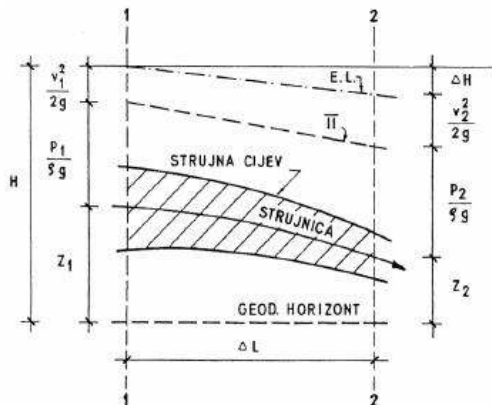
181. Napišite tlačni oblik Bernoullijeve jednadžbe.

181.

$\underbrace{\underbrace{p}_{\text{statički tlak}} + \underbrace{\frac{1}{2}\rho c^2}_{\text{dinamički tlak}}}_{\text{zaustavni tlak}} + \underbrace{\rho g z}_{\text{hidrostatski tlak}} = \text{konst. duž strujnice}$ <p style="text-align: center; margin-top: 10px;"><i>ukupni tlak</i></p>	[9.61]
--	--------

182. Napišite visinski oblik Bernoullijeve jednadžbe.

182.



Slika 2.6 Komponente energije za dvije točke strujnice realne tekućine

"Visinski oblik" Bernoullijeve jednadžbe omogućuje uvid u energetska bilancu duž toka tekućine. Kod viskozne (realne) tekućine u obzir treba uzeti da viskoznost izaziva unutarnje trenje, a trenjem se mehanička energija pretvara u toplinsku energiju, koja se disipira. "Visinski oblik" Bernoullijeve jednadžbe za poprečne presjke 1-1 i 2-2 je, prema prikazu uzdužnoga presjeka cijevi u kojoj struji tekućina gustoće ρ pod tlakom:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H \quad (2.48)$$

gdje je:

- z - geodetska visina (položaj strujnice, odnosno osi cijevi u odnosu na geodetski horizont)
- $\frac{p}{\rho g}$ - tlačna visina (dubina točke ispod slobodne površine; sila teža uzrokuje stvaranje tlaka p)
- $\frac{v^2}{2g}$ - brzinska visina (visina s koje bi tijelo u zrakopraznom prostoru palo i dobilo brzinu v)
- H - visina energetska horizonta (koja se za idealnu tekućinu ne mijenja od presjeka po presjeka)
- ΔH - gubici mehaničke energije.

183. Koja kombinacija pada i protoka najbolje odgovara reakcijskoj (npr. Kaplan) turbini?

183. d) mali H veliki Q

184. Koja kombinacija pada i protoka najbolje odgovara impulsnoj (npr. Pelton) turbini?

184. b) veliki H mali Q

185. Protok vode u osnovnom vodotoku od izvora do ušća opisuje:

185. c) Q-H dijagram

186. Čemu služi aspirator?

186. c) Da iskoristi potencijalnu energiju do razine donje vode

187. Što predstavlja konsumpciona krivulja?

187. c) Ovisnost nivoa vode u koritu o protoku

188. Koja se vrsta vodne turbine ne koristi kod malog pada i velikog protoka?

188. c) Impulsna

--- Kod malog pada i velikog protoka se koristi reakcijska, Kaplanova, propelerna turbina. ---

189. Za povećanje iskorištavanja potencijalne energije vode između izlaza iz vodne turbine i razine donje vode koristi se:

189. b) aspirator

190. Snaga akumulacijske hidroelektrane ne ovisi o:

190. b) veličini akumulacije

--- $P = gQH$ [kW]

H je vrijednost netopada u koju je uvrštena vrijednost brutopada, kao i gubici nastali u dovodnom kanalu. ---

191. Što ne određuje izbor vodne turbine?

191. c) Vjerojatna energija vodotoka

--- Tri osnovna, suvremena tipa turbina najčešće ne predstavljaju konkurenciju jedan drugom, odnosno, u većini se slučajeva ne ćemo morati kolebati prigodom izbora turbine pri zadanim okolnostima s obzirom na raspoloživi pad, količinu vode i broj okretaja, te i s obzirom na uvjete opterećenja i promjenljivost pada i količine vode. U principu *Izbor tipa vodne turbine* je u funkciji vodenog pada, količine protoka vode i specifičnog broja okretaja ---

192. Biološki minimum hidroelektrane je određen prema:

192. a) instaliranom protoku

--- Za određivanje biološkog minimuma koriste se metode zasnovane na hidrološkim ili statističkim vrijednostima (u ovoj grupi metoda vrijednost protoka biološkog minimuma ovisiti će o statističkim vrijednostima protoka rijeke u promatranom profilu) i metode zasnovane na dubini i brzini vode ---

193. Zašto je kavitacija primarno problem?

193. c) Oštećuje opremu

--- Kavitacija je proces oštećivanja stijenke cijevi ili lopatica pumpi, odnosno turbina. Tokom strujanja tekućine, pri padu pritiska ispod 0,3 bara, u tekućini se oslobađaju mjehurići upijenog zraka. Kad ih struja donese u područje većeg pritiska, dešava se proces kompresije, što je praćeno snažnim porastom temperature. Proces kompresije, zagrijavanja i eksploziranja mjehurića naziva se i diesel efekt. ---

194. Je li energetska stupanj djelovanja hidroelektrane ograničen drugim glavnim stavkom termodinamike?

194. a) da

--- Ne može se sva energija vodotoka pretvoriti u energiju jer postoje određeni gubici u procesu pretvorbe, npr. gubitak zbog trenja koje nastaje prolaskom vodom kroz korito i cijevovode) ---