

## 4 Energetske pretvorbe i procesi u nuklearnim elektranama

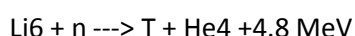
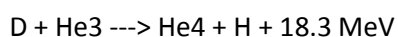
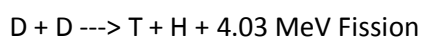
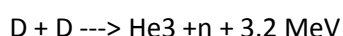
### 125. Što je to fisija i za kakve elemente daje energiju?

Fisija je proces raspada teških jezgri na lakše. Nuklearna fisija fizikalni je pojam koji označava "razbijanje" atomske jezgre na dvije ili više novih atomskih jezgri. Pri tome obično dolazi i do oslobađanja neutrona, gama-zračenja te alfa- i beta-čestica. Pri fisiji jezgri teških elemenata oslobađa se energija u obliku gama-zračenja i kinetičke energije produkata. Kod nekih elemenata fisiju može izazvati apsorpcija sporog neutrona, a novonastali neutroni također mogu izazvati fisiju pa pri povoljnim uvjetima nastaje proces poznat kao nuklearna lančana reakcija koja je u nuklearnim reaktorima kontrolirana, a u nuklearnim bombama nekontrolirana. Elementi za koje dolazi do fisije, odnosno, za koje se oslobađa željena energija:

- Fisijski materijal – fisija je moguća neutronima bilo koje energije (U-233, U-235, Pu-239, Pu-241)
- Fisibilni materijal – fisija neutronima je moguća ali ovisi o energiji neutrona (oslobođena energija veze + kinetička energija neutrona > energija aktivacije), (U-238, Pu-242 + svi fisijski nuklearni materijali)
- Oplodni materijal – materijal koji uhvatom neutrona prelazi u neki od fisijskih materijala, (Th-232, U-238)

### 126. Što je to fuzija i za kakve elemente daje energiju?

Fuzija je proces spajanja lakših jezgara u teže uz oslobađanje energije. Nuklearna fuzija je proces u kome se spaja više atomskih jezgri pri čemu nastaje teža atomska jezgra. To je praćeno oslobađanjem ili apsorpcijom energije što je ovisno o masi uključenih atomskih jezgri. Jezgre željeza i nikla imaju najveću energiju veze po nukleonu i zbog toga su one najstabilnije između svih drugih jezgri. Fuzija dvije jezgre lakših od jezgri željeza ili nikla najčešće oslobađa energiju, dok fuzija jezgri koje su teže od jezgri željeza ili nikla apsorbira energiju - obrnuto je kod reverznog procesa nuklearne fisije. Razlozi za razvoj fuzije su: praktično neiscrpan izvor energije (velike rezerve deuterija i litija), nema emisije stakleničkih plinova, smanjena proizvodnja radioaktivnog otpada u odnosu na fisiju, te povoljna sigurnosna svojstva. Fuzijska reakcija deuterij-tricij ( $D + T$ ) smatra se najboljom reakcijom za dobivanje energije fuzije. Tu su još reakcije  $D + D$ ,  $D + He$ , te  $Li + neutron$ .



### 127. Što je to energija veze?

Energija vezanja je energetska ekvivalent defekta mase (razlika mase jezgre i ukupne mase pojedinačnih nukleona). Nuklidi s velikom energijom vezanja su stabilni. Energija vezanja se oslobađa kad se formira jezgra. Istu količinu energije je potrebno uložiti da se jezgra rastavi na sastavne dijelove. Energija vezanja po nukleonu ima maksimum za  $A = 56$  ( $\sim 8,5$  MeV/nukleonu). Sve reakcije koje vode nastanku nuklida s većom energijom veze od polaznih nuklida oslobađaju energiju. Razlikujemo energiju vezanja i energiju vezanja po nukleonu.

nukleon – zajedničko ime za sastavne dijelove jezgre (protoni i neutroni)

nuklidi - atomi određenog atomskog i masenog broja. Element je prema tome, smjesa nuklida. Elemente koji se sastoje od samo jedne vrste nuklida nazivamo mononuklidnim elementima, a one koji se sastoje od više nuklida polinuklidni elementi (izotopi).

### 128. Što je to defekt mase?

Defekt mase je pojava koja se sastoji od toga da je masa svake atomske jezgre manja od zbroja masa njezinih sastojaka (protona i neutrona). Kao primjer za ovu pojavu neka posluži atom helija. Helijeva jezgra sastoji se iz 2 protona i 2 neutrona. Umjesto 2 protona i elektrona smijemo u ovom računu uzeti 2 vodikova atoma, jer se oni sastoje također iz po jednog protona i jednog elektrona. Atomska masa vodika je 1,008131, a neutrona 1,00895. Dva vodikova atoma i dva protona trebalo bi zajedno dati  $(2 \cdot 1,008131) + (2 \cdot 1,00895) = 4,03416$ . Međutim, atomska masa helija koji se sastoji, iz istih čestica iznosi točno 4,00384 dakle za 0,03032 jedinice atomske mase manje. Ta razlika zove se defekt mase helija. Po Einsteinovom principu ekvivalencije mase i energije ta je razlika u masi prilikom postojanja helija iz protona i neutrona bila pretvorena u energiju. Obzirom na poznatu jednadžbu:  $E = m \cdot c^2$ , lako se može izračunati da defekt mase od 0.03032 grama odgovara energiji od  $2,7288 \cdot 10^{12}$  J. S tom ogromnom energijom moglo bi se otprilike 65 tona vode zagrijati od  $0^\circ \text{C}$  do  $100^\circ \text{C}$ . Istu količinu energije trebalo bi upotrijebiti da se 1 gram-atom helija razbije na protone i neutrone. Ovo se s običnim sredstvima ne može učiniti i zbog toga su helijevi atomi neobično stabilni. Poznato je da oni ostaju stabilni i prilikom raspada atoma radija. Pri tom raspadu bivaju izbačeni u obliku alfa-čestica. Gubitak mase od 0.03032 grama po jednom gramu-atomu helija je mjerilo za tzv. energiju vezanja, tj. energiju s kojom se protoni i neutroni u jezgri helija drže zajedno. Ova se energija aktivira prilikom dobivanja nuklearne energije, ili kako je često zovu atomske energije.

### 129. Što je to ostatna toplina?

Ostatna toplina posljedica je radioaktivnog raspada fizijskih produkata.

$\beta^-$  raspad:  $^{80}\text{Br} \rightarrow ^{80}\text{Kr} + e^- + \bar{\nu}_e$

$$Q(\beta^-) = M(^{80}\text{Br})c^2 - M(^{80}\text{Kr})c^2 = 79.918528 \text{ uc}^2 - 79.916377 \text{ uc}^2$$

$$Q(\beta^-) = (0.002151 \text{ uc}^2) (931.5 \text{ MeV/uc}^2) = 2.00 \text{ MeV}$$

### 130. Što je to obogaćenje nuklearnog goriva?

Obogaćenje nuklearnog goriva je postupak povećanja izotopskog udjela potrebnog izotopa elementa. Obogaćenje urana postupak je kojim se povećava sadržaj izotopa U-235 s obzirom na sadržaj prisutan u prirodnom uranu. Prirodni uran sadrži 0,711% izotopa izraženo u masenom sadržaju. Najrašireniji način odvajanja izotopa U-235 temelji se na razlici prosječnih brzina molekula plinovitih UF<sub>6</sub>-238 i UF<sub>6</sub>-235. Do danas uporabljivani postupci su plinska difuzija, plinska centrifuga, plinska mlaznica, kemijska izmjena, laserska pobuda.

### 131. Napišite zakon radioaktivnog raspada.

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Zakon radioaktivnog raspada opisuje kako se mijenja prosječni broj radioaktivnih jezgara N u vremenu. Konstanta proporcionalnosti,  $\lambda$ , se zove konstanta radioaktivnog raspada.

### 132. Navedite tipove energetskih reaktora.

Tipovi reaktora su: lakovodni reaktori (LWR – Light Water Reactor), reaktor s vodom pod tlakom (PWR – Pressurized Water Reactor), reaktor s vodom koja ključa (BWR – Boiling Water Reactor), teškovodni reaktori (HWR – Heavy Water Reactor), plinom hlađeni reaktori, brzi reaktori.

### 133. Navedite dvije osnovne kemijske forme goriva u nuklearnom reaktoru.

Forme goriva:

- metal, keramika (oksid npr UO<sub>2</sub>, PuO<sub>2</sub>, uran karbid, uran nitrit)
- cilindrične tablete, šipke, kuglice, homogena mješavina uranovih soli

### 134. Navedite osnovne materijale moderatora neutrona.

Moderatori neutrona mogu biti: obična voda (H<sub>2</sub>O), teška voda (D<sub>2</sub>O), grafit (C), berilij (Be).

### 135. Navedite osnovna rashladna sredstva u reaktoru.

Rashladna sredstva mogu biti: obična voda, teška voda, plin (CO<sub>2</sub>, helij), tekući metali (natrij, olovo, olovo-bizmut), rastopljene soli.

**136. Definirajte faktor multiplikacije neutrona.**

Parametar koji opisuje tijek odvijanja procesa naziva se multiplikacijski faktor  $k$ . Definiran je kao omjer srednjeg broja neutrona u dvije susjedne generacije neutrona (prije i poslije fisije). Da bi se nuklearna reakcija mogla nadzirati njegova vrijednost  $k$  ne smije biti puno veća od 1. Reaktor koji ima  $k=1$  zovemo kritičnim reaktorom i on održava konstantan broj neutrona i snagu proizvedenu fisijom. Ako je  $k<1$  broj neutrona i snaga reaktora će se s vremenom smanjivati i reaktor zovemo podkritičnim, a ako je  $k>1$  broj neutrona u reaktoru i snaga reaktora će se povećavati i reaktor zovemo nadkritičnim.

**137. Koliko rashladnih krugova ima BWR reaktor?**

BWR reaktor ima 2 rashladna kruga, primarni i sekundarni. Primarni krug se nalazi u kontaminacijskoj zgradi i sastoji se od reaktorske pumpe i cjevovoda.

**138. Koliko odvojenih rashladnih krugova ima nuklearna elektrana PWR tipa (lakovodni pod tlakom) od reaktora do konačnog ponora topline?**

- a) 1   **b) 2**   c) 3   d) 4

**139. Moderator se koristi za:**

- a) ubrzavanje neutrona  
**b) usporavanje neutrona**  
c) apsorpciju neutrona  
d) multiplikaciju neutrona

**140. Vrijeme poluraspada je vrijeme:**

- a) za koje se raspadne pola početno prisutnih jezgara radioaktivnog izotopa**  
b) za koje se početni broj jezgara smanji  $e$  puta  
c) pola vremena potrebnog da se raspadnu početno prisutni radioaktivni izotopi  
d) vrijeme za koje radioaktivni izotop prestane biti radioaktivan

**141. Koju kombinaciju gorivo/moderator/rashladno sredstvo nije moguće realizirati?**

- a) prirodni uran/obična voda/teška voda
- b) obogaćeni uran/obična voda/obična voda
- c) obogaćeni uran/teška voda/teška voda
- d) prirodni uran/grafit/plin

**142. Kao moderator kod brzog oplodnog reaktora koristi se:**

- a) obična voda b) teška voda c) grafit d) ništa od navedenog

**143. Koji se kružni proces koristi u sekundarnom krugu nuklearne elektrane s tlakovodnim reaktorom (PWR):**

- a) Jouleov b) Rankineov c) Carnotov d) Stirlingov

**144. Nukleonom nazivamo:**

- a) nuklearnu jezgru b) proton c) neutron d) proton ili neutron u jezgri

**145. Energija veze po nukleonu s porastom broja nukleona:**

- a) Raste b) Pada c) Raste pa pada d) Pada pa raste

**146. Ako je ukupna masa čestica prije nuklearne reakcije veća nego masa nakon reakcije:**

- a) oslobođena je energija
- b) morali smo uložiti energiju
- c) ovisi o tipu nuklearne reakcije
- d) ovisi o česticama koje učestvuju u nuklearnoj reakciji

**147. Čime je jednoznačno određena gustoća reakcija fisije?**

- a) Obogaćenjem i masom goriva
- b) Mikroskopskim udarnim presjekom i vrstom fisibilnog materijala**
- c) Temperaturom i tlakom
- d) Tokom neutrona i makroskopskim fisijskim udarnim presjekom

**148. Što je od navedenoga različito između PWR i BWR reaktora?**

- a) gorivo   b) moderator   **c) pogonski tlak**   d) rashladno sredstvo

**149. Reaktor BWR tipa ima sljedeće materijale kao gorivo/moderator/rashladno sredstvo:**

- a) metalni uran/tešku vodu/običnu vodu
- b) uran dioksid/običnu vodu koja ne ključa/običnu vodu koja ne ključa
- c) uran dioksid/običnu vodu koja ključa/običnu vodu koja ključa**
- d) metalni uran/grafit/plin

**150. Koja kombinacija gorivo/ moderator/ rashladno sredstvo odgovara PWR (lakovodni pod tlakom) reaktoru?**

- a) obogaćeni uran/obična voda/obična voda**
- b) obogaćeni uran/teška voda/teška voda
- c) prirodni uran/obična voda/teška voda
- d) prirodni uran/grafit/plin

**151. Nuklearna elektrana u mreži pokriva**

- a) samo bazno opterećenje**
- b) najčešće bazno opterećenje
- c) vršno opterećenje
- d) nema pravila

**152. Iznos ostatne topline ovisi o**

- a) samo o snazi na kojoj je reaktor radio
- b) samo o vremenu obustave
- c) samo o trajanju rada reaktora
- d) sve navedeno**

**153. Ostatna topline u nuklearnom gorivu je posljedica:**

- a) preostalog neiskorištenog fisijskog goriva
- b) radioaktivnog raspada fisijskih produkata**
- c) reakcija neiskorištenih neutrona
- d) kombinacije kemijskih i nuklearnih reakcija

**154. Ostatna topline u nuklearnom gorivu predstavlja problem jer:**

- a) nije iskorištena sva fisijska energija iz goriva
- b) može doći do eksplozije
- c) razvijena topline može istopiti nuklearno gorivo**
- d) složenost procesa radioaktivnih raspada nije lako proračunati

**155. Ostatna topline u nuklearnom gorivu predstavlja najveći problem:**

- a) neposredno nakon obustave rada reaktora**
- b) neposredno prije početka rada reaktora
- c) neposredno prije prestanka rada reaktora
- d) za vrijeme rada reaktora

**156. Što je aktivnost izvora?**

- a) Broj raspada u jedinici vremena**
- b) Energija potrebna za fisiju
- c) Energija deponirana u jedinici mase
- d) Mjera odstupanja reaktora od kritičnosti

**157. Kada je reaktor kritičan?**

- a) Kada ima multiplikacijski faktor jednak 1.**
- b) Kad mu snaga kontinuirano raste.
- c) Kad mu snaga ubrzano raste.
- d) Kad može eksplodirati.

**158. Koji od navedenih moderatorskih materijala nije našao primjenu u energetske reaktorima:**

- a) obična voda   b) teška voda   c) grafit   **d) berilij**

**159. Što je od navedenog indikacija da nuklearna reakcija može proizvesti energiju?**

- a) Razlika mase prije i poslije reakcije je veća od nule**
- b) Razlika mase prije i poslije reakcije je manja od nule
- c) Reakcija ima energiju aktivacije manju od nule
- d) Reakcija ima energiju aktivacije veću od nule

**160. Za snagu kritičnog reaktora vrijedi da:**

- a) raste   b) pada   **c) je konstantna**   d) je nazivnog iznosa



## 5 Energetske pretvorbe i procesi u hidroelektranama

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

$$P_t = gQH_n [kW]$$

$g$  – 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?**

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.

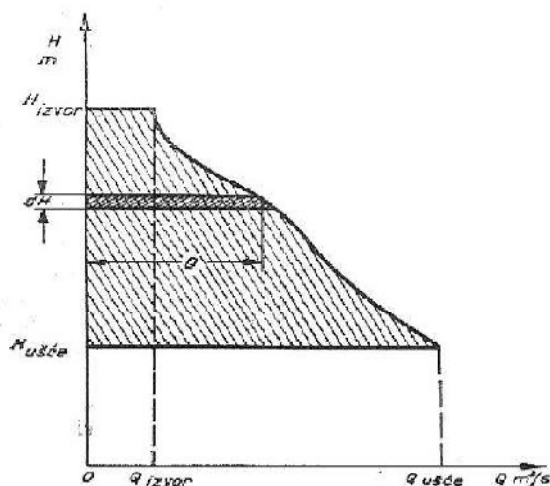
**163. Kako dijelimo HE prema položaju strojarnice?**

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

**164. Što prikazuje Q-H dijagram?**

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  $Q$  ( $m^3/s$ ), pa se svaki vodotok može prikazati  $Q, H$  – dijagramom vodotoka.



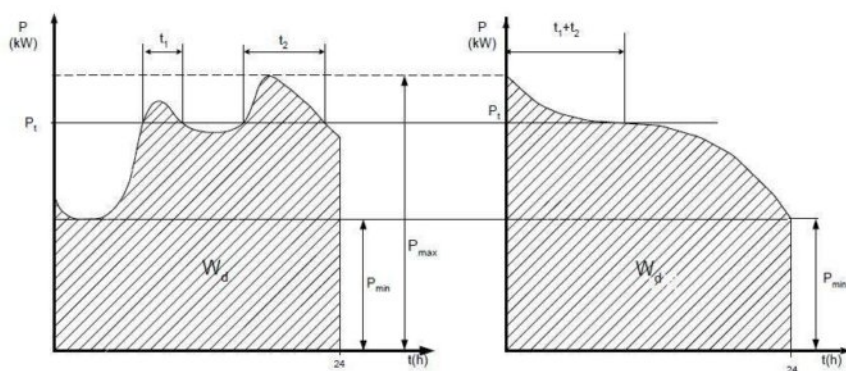
Slika 9-14 Primjer  $Q, H$  – dijagrama vodotoka

#### 165. Što je krivulja trajanja opterećenja?

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)

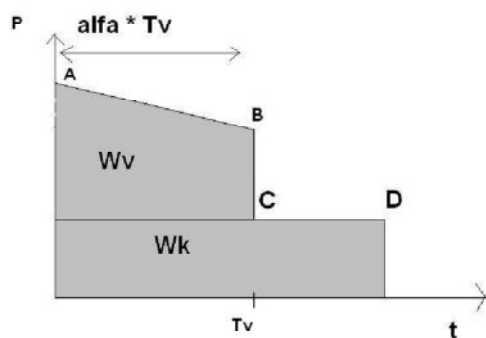
#### 166. Što je dnevni dijagram opterećenja?

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)

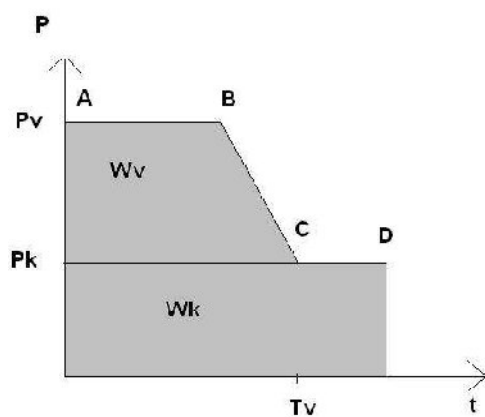


Slika 9-10 Konstrukcija dnevne krivulje trajanja opterećenja iz dnevnog dijagrama opterećenja

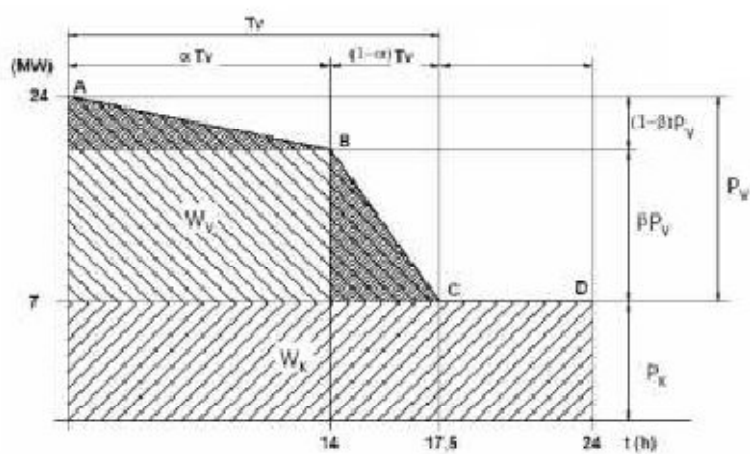
167. Nacrtati dnevnu krivulju trajanja opterećenja takvu da je  $\alpha = 1$ .



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



Objašnjenje:



Slika 9-11 Aproximacija dnevne krivulje opterećenja s tri pravca.

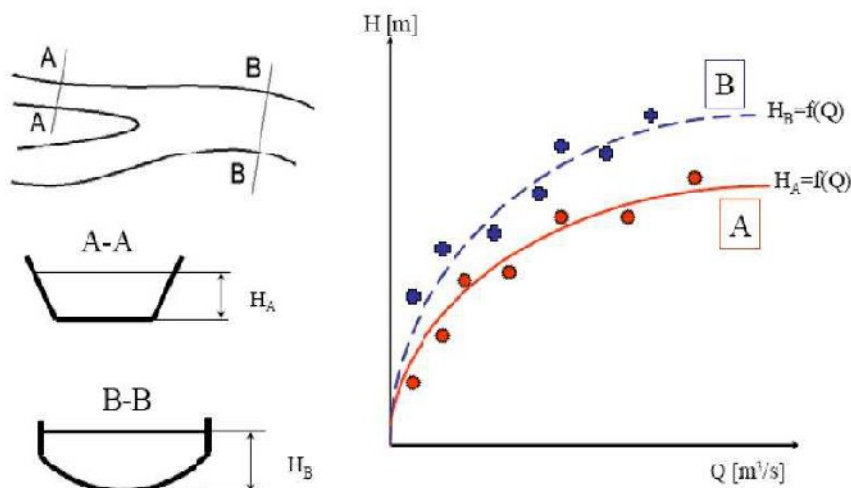
Koordinate točaka su:

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.

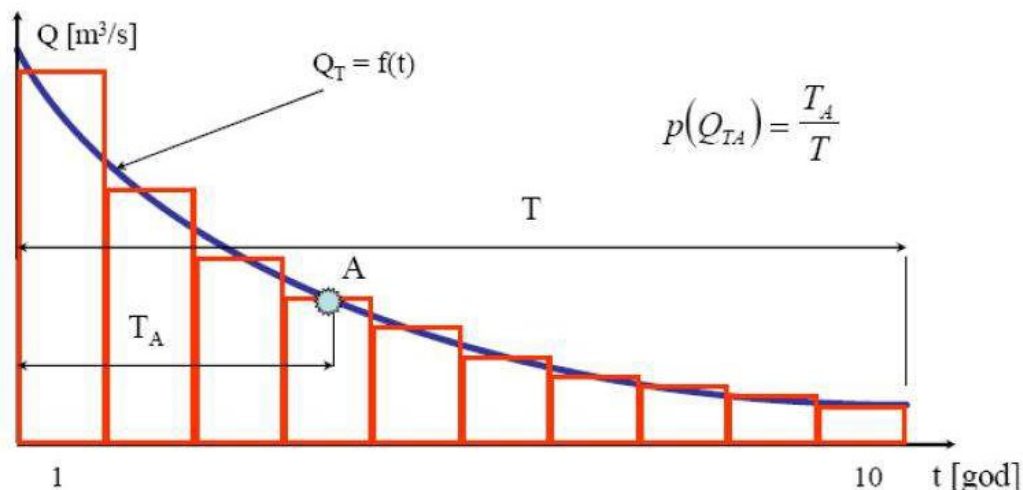
Količina vode u vodotoku, kao i vremenski raspored vode u vodotoku, ovisi o nizu utjecaja (o oborinama, sastavu i topografiji zemljišta, temperaturi zraka, biljnom pokrivaču i dr.), pa kao osnova za utvrđivanje količine voda mogu poslužiti samo svakodnevna mjerenja količine vode. Mjerenja se provode 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.

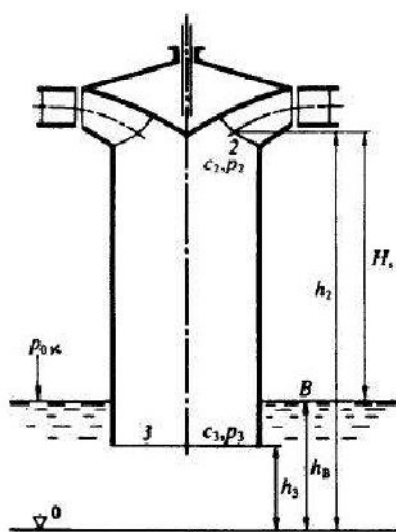
Promatranje protoka u samo jednoj godini može dovesti do krivih zaključaka o količinama i rasporedu voda u promatranom vodotoku, pa je potrebno promatranje protegnuti na dulje vremensko razdoblje. Tako možemo za svaku od promatranih godina odrediti srednji godišnji protok, pa prema tome možemo klasificirati 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  $Q_{TA}$  jednaka je omjeru vremena  $T_A$  i ukupnog vremena promatranja (na apscisu možemo nanijeti pripadajuće vjerojatnosti)

### 171. Što je aspirator?

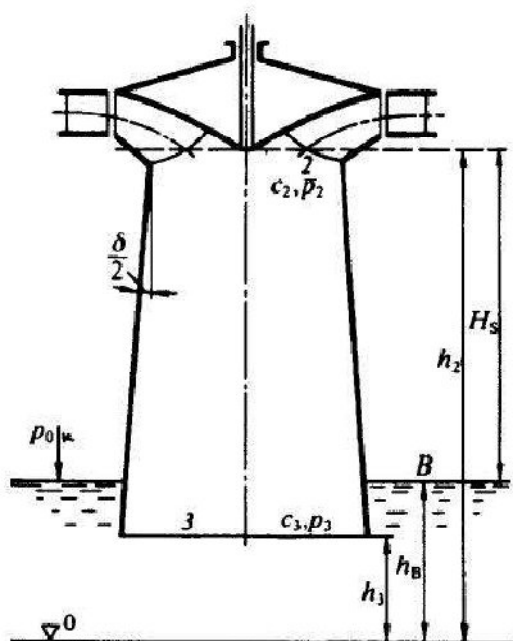
Kad voda u slobodnom mlazu izlazi iz turbine, pojavljuju se gubici zbog neiskorištene kinetičke energije koju ona ima na izlazu iz turbine i zbog neiskorištene potencijalne energije vode proporcionalne razini vode na izlazu iz turbine i razine donje vode. Kad bi bilo moguće izlaz turbine smjestiti neposredno 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 smještanju izlaza turbine na razini donje vode.



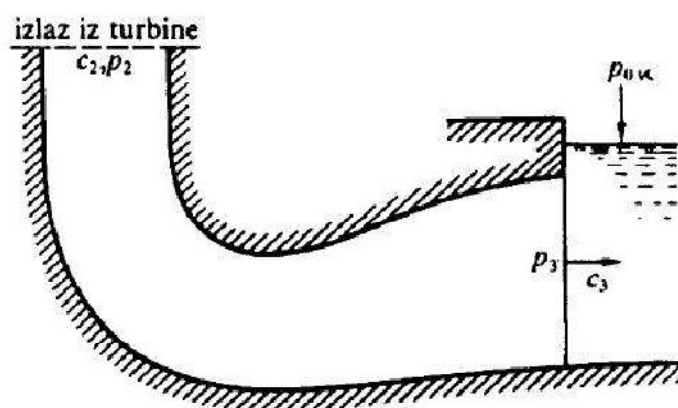
Slika 9-53 Turbina s aspiratorom

## 172. Što je difuzor?

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 ( $(c_2^2)/2$ ), 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?**

Zahvat vodu zaustavljenju 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?**

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?**

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)?**

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 stijenska cjevovoda ili tako da ih preuzima djelomično i okolna stijena.

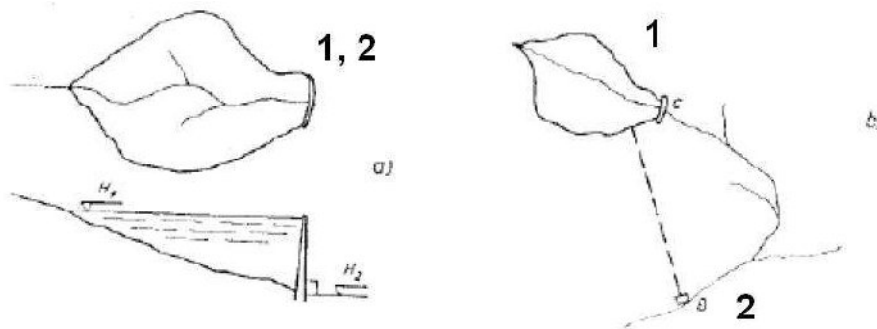
### **177. Koja su osnovna obilježja pribranske elektrane?**

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?

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, crtkana 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.

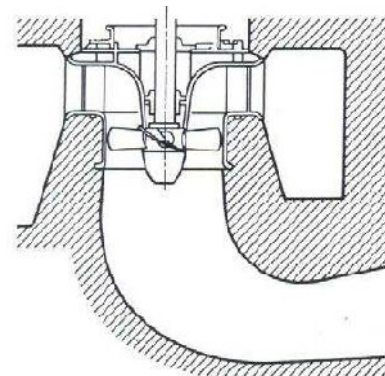


Slika 9-2 Tipovi hidroelektrana: a) – pribranska hidroelektrana, b) – derivacijska hidroelektrana

**1 - brana      2 - strojarnica**

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

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.



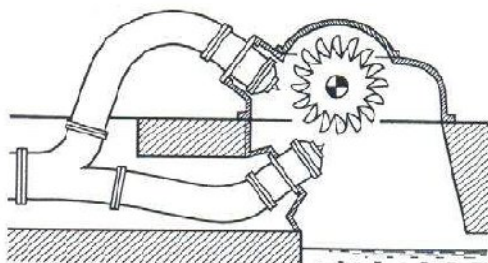
Slika 9-47 Skica Kaplanove turbine



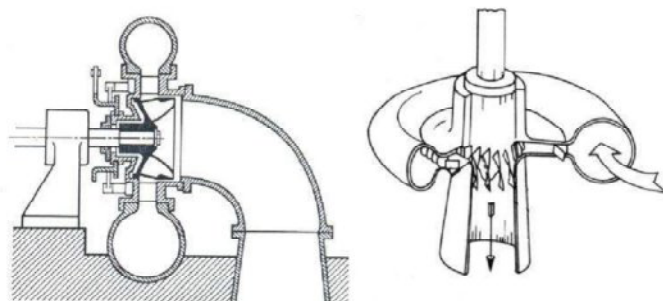
**180. Navedite tip vodne turbine (po principu rada i nazivu) za veliki pad i mali protok.**

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 izgubljenju kinetičku energiju po 1 kg vode.

Francisova turbina 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 9-48 Skica Peltonove turbine s dvije mlaznice

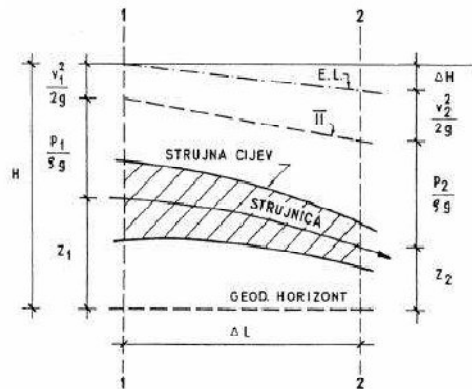


Slika 9-46 Skica Francisove turbine s horizontalnom i vertikalnom osovinom

**181. Napišite tlačni oblik Bernoullijeve jednadžbe.**

$  \underbrace{p}_{\text{statički tlak}} + \underbrace{\frac{1}{2}\rho c^2}_{\text{dinamički tlak}} + \underbrace{\rho g z}_{\text{hidrostatski tlak}} = \text{konst. duž strujnice}  $ <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <math>\underbrace{\hspace{10em}}_{\text{zauzastavni tlak}}</math> <math>\underbrace{\hspace{10em}}_{\text{ukupni tlak}}</math> </div>	<div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 40px; margin: 0 auto;"></div> <p>[9.61]</p>
---	---

182. Napišite visinski oblik Bernoullijeve jednačbe.



Slika 2.6 Komponente energije za dvije točke strujnice realne tekućine

"Visinski oblik" Bernoullijeve jednačbe 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 jednačbe za poprečne presjeke 1-1 i 2-2 je, prema prikazu uzdužnoga presjeka cijevi u kojoj struji tekućina gustoće  $\rho$  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 energetskega horizonta (koja se za idealnu tekućinu ne mijenja od presjeka po presjeka)
- $\Delta H$  - gubici mehaničke energije.

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

- a) veliki  $H$  i  $Q$    b) veliki  $H$  mali  $Q$    c) mali  $H$  i  $Q$    d) mali  $H$  veliki  $Q$

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

- a) veliki  $H$  i  $Q$    b) veliki  $H$  mali  $Q$    c) mali  $H$  i  $Q$    d) mali  $H$  veliki  $Q$

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

- a) vjerojatnosna krivulja protoka
- b) konsumpcijska krivulja
- c) Q-H dijagram**
- d) dnevni dijagram protoka

**186. Čemu služi aspirator?**

- a) Da spriječi kavitaciju
- b) Da poveća protok kroz turbinu
- c) Da iskoristi potencijalnu energiju do razine donje vode**
- d) Da bolje iskoristi visinsku razliku i kinetičku energiju između gornje i donje vode

**187. Što predstavlja konsumpciona krivulja?**

- a) Ovisnost protoka o nadmorskoj visini
- b) Trajanje protoka većeg ili jednakog navedenom
- c) Ovisnost nivoa vode u koritu o protoku**
- d) Ovisnost brzine istjecanja o nivou vode

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

- a) Propelerna   b) Reakcijska   **c) Impulsna**   d) sve navedene se koriste

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

- a) aspirator i difuzor   **b) aspirator**   c) difuzor   d) ništa od navedenog

**190. Snaga akumulacijske hidroelektrane ne ovisi o:**

- a) instaliranom protoku
- b) veličini akumulacije**
- c) visinskoj razlici gornje vode i turbine
- d) gubicima u dovodnom kanalu

**191. Što ne određuje izbor vodne turbine?**

- a) Raspoloživi pad vode
- b) Volumni protok vode
- c) Vjerojatna energija vodotoka**
- d) Očekivani protok kroz turbinu

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:**

- a) instaliranom protoku**
- b) raspoloživom padu vode
- c) kapacitetu derivacijskog kanala
- d) ništa od navedenoga

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?**

- a) Smanjuje snagu   b) Stvara buku   **c) Oštećuje opremu**   d) Ništa od navedenoga

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 eksplodiranja mjehurića naziva se i diesel efekt.

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

- a) da**   b) ne   c) ovisi o vrsti hidroelektrane   d) ovisi o procesu u hidroelektrani

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

## 6 Potrošnja, prijenos i distribucija električne energije

### 195. Što je to jalova snaga?

Jalova snaga je snaga koja ne obavlja aktivan rad na trošilu.  $\rightarrow Q = UI \sin(\varphi)$

U vremenskom dijagramu snage za strujni krug sa radnim otporom i induktivitetom je vidljivo kako trenutne vrijednosti snage imaju pozitivne i negativne vrijednosti s tim da su intervali pozitivne snage veći od intervala negativne snage - postoji radna komponenta snage koja je uvijek pozitivna. Trošilo u takvim slučajevima iz mreže uzima veću snagu nego što je potrebna za vršenje korisnog rada - iz mreže se uzima jalova snaga.

### 196. Što je to prividna snaga?

Ukupna snaga koju trošilo uzima iz mreže zove se prividna snaga, ona je jednaka umnošku efektivnih vrijednosti napona i struje.  $\rightarrow S = UI$

### 197. Što je to faktor opterećenja?

(Dnevni) faktor opterećenja ( $m$ ) je definiran kao omjer izmenu energije  $W_d$  (tijekom dana proizvedena energija) i energije koja bi se mogla proizvesti snagom  $P_{max}$  (maksimalno opterećenje) tijekom 24 sata :  $m = \frac{W_d}{24P_{max}}$

### 198. Navedite barem dvije vrste elektrana za pokrivanje baznog dnevnog opterećenja.

Nuklearne i termoelektrane.

### 199. Navedite elektrane koje se koriste za pokrivanje vršnog i varijabilnog dnevnog opterećenja.

Hidroelektrane, termoelektrane.

### 200. Što je to prekidač?

Prekidač je dio rasklopnog postrojenja koji služi za uključenje i isključenje vodova u normalnom pogonu ili u slučaju kvarova. Prekidači su uređaji koji služe za uklapanje i sklapanje strujnih krugova, ali također i za zaštitu strujnih krugova od struja kratkog spoja. Postavljaju se prije rastavljača, jer se prema rasporedu iskapčanja prvo isključuje prekidač, a zatim rastavljač.

### **201. Što je to rastavljač?**

Rastavljač je mehanički rasklopni aparat koji služi za vidljivo odvajanje dijela postrojenja koji nije pod naponom od dijela postrojenja koji je pod naponom. Kada se u postrojenju obavljaju radovi, on je uvijek otvoren. Rastavljačem se otvara i zatvara strujni krug kada se prekida ili uključuje neznatna električna struja. On je sposoban za trajno provođenje struje u normalnim uvjetima i određeno trajanje provoda struje pri nenormalnim uvjetima, kao što su struje kratkog spoja. Sa rastavljačem se ne smije rukovati ako je prekidač u zatvorenom položaju, jer bi došlo do prekidanja velike struje u zraku što može biti opasno.

### **202. Koja je osnovna razlika između prijenosnih i distribucijskih mreža?**

Osnovna razlika je u tome što su prijenosne mreže visokonaponske, dok distribucijske mogu biti srednjenaponske i niskonaponske. Prijenosne ili visokonaponske mreže su dio elektroenergetskog sustava koji električnu energiju prenosi na visokim naponskim razinama od centara proizvodnje (elektrane) do centara potrošnje (gradovi, regije). Prijenosna mreža energijom napaja razdjelnu mrežu, kojom se dalje energija prenosi do krajnjih korisnika. Razdjelne (distribucijske) mreže su dio elektroenergetskog sustava koji električnom energijom opskrbljuje transformatorske stanice zadnjeg stupnja transformacije i trošila (potrošače). Prema naponskim razinama se dijele na srednjenaponske i niskonaponske mreže.

### **203. Nabroji najmanje četiri utjecaja na porast (odnosno promjenu) potrošnje električne energije?**

Povećanje broja stanovnika, porast životnog standarda – godišnja promjena

Zbog godišnjih doba i drugih ciklusa (npr. sezona odmora) – mjesečna promjena

Ovisno o danu u tjednu (radni dan, subota, nedjelja) – dnevna promjena

Električna energija se ne koristi jednoliko tijekom dana – trenutna promjena

### **204. Energija potrošena u jednom danu:**

a) jednaka je površini ispod dnevne krivulje opterećenja

b) jednaka je površini ispod dnevne krivulje trajanja opterećenja

c) jednaka je zbroju varijabilne i konstantne energije

**d) sve navedeno**

Dnevna krivulja trajanja opterećenja je zapravo dnevna krivulja opterećenja ali nacrtana tako da se potrošnja energije razvrsta po veličini i trajanju, neovisno o vremenu kad se dogodila tokom dana. Konstantna energija je u P-t dijagramu onaj pravokutnik u donjem dijelu, a varijabilna energija je sve iznad njega, tako da njihov zbroj daje ukupnu energiju potrošenu u jednom danu.

**205. Koje elektrane se ne koriste za zadovoljavanje vršnog opterećenja u EES-u?**

- a) plinske elektrane b) reverzibilne hidroelektrane **c) nuklearne elektrane** d) niti jedna navedena

**206. Koje elektrane se koriste za zadovoljavanje vršnog opterećenja u EES-u?**

- a) plinske elektrane** b) protočne hidroelektrane c) nuklearne elektrane d) niti jedna navedena

**207. Prekidači u rasklopnom postrojenju služe za:**

- a) uključenje i isključenje vodova u normalnom pogonu**  
b) vidljivo odvajanje dijelova postrojenja  
**c) uključenje i isključenje vodova u slučaju kvarova**  
d) sve navedeno

**208. Rastavljači u rasklopnom postrojenju služe za:**

- a) uključenje i isključenje vodova u normalnom pogonu  
**b) vidljivo odvajanje dijelova postrojenja**  
c) uključenje i isključenje vodova u slučaju kvarova  
d) sve navedeno

**209. Koji od navedenih sklopni uređaja ne smijemo isklopiti kada njima protječe struja:**

- a) rastavljač** b) prekidač c) oba d) nijedan

**210. Koji od navedenih sklopni uređaja smijemo isklopiti kada njima protječe struja:**

- a) rastavljač **b) prekidač** c) oba d) nijedan

**211. Kojim redosljednom uključujemo prekidač i rastavljač:**

- a) rastavljač nakon prekidača **b) rastavljač prije prekidača** c) svejedno je d) ovisi o konfiguraciji mreže



**212. Gubici snage na prijenosnom vodu su:**

- a) proporcionalni struji
- b) obrnuto proporcionalni struji
- c) proporcionalni kvadratu struje**
- d) obrnuto proporcionalni kvadratu struje

**213. Razdjelne mreže su uglavnom:**

- a) zamkaste   **b) zrakaste**   c) iste kao prijenosne   d) takve da se potrošač napaja iz barem 2 smjera

U pogonu su uglavnom zrakaste (radijalne), odnosno takve da se u svakom trenutku potrošač napaja samo iz jednog smjera.