

Teorija EP 2014-2015

1. Koji su uvjeti mirovanja fluida?

1. rezultantna masena sila što djeluje mora biti okomita na fluid i mora biti uravnotežena prirastom tlaka u fluidu,
2. masene sile moraju biti konzervativne i
3. gustoća fluida mora biti konstantna, $\rho = \text{konst.}$, ili, ako je promjenljiva, mora ovisiti samo o tlaku, $\rho = \rho(p)$.

2. Kako glasi analitička potvrda konzervativnosti sile?

$$\int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad (\text{po krivulji } 1) + \quad \text{rada vraća}$$
$$+ \int_B^A \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad (\text{po krivulji } 2) = 0 = \oint \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

STOKESOV TEOREM:

UVJET: Rad po zatvorenoj krivulji je jednak nuli, tj. sila ovisi samo o početnoj i krajnjoj točki, ne o krivulji po kojoj se tijelo gibalo. $W = \oint \vec{F} \cdot d\vec{s}$

$$W = \oint \vec{F} \cdot d\vec{s} = \iint \text{rot } \vec{F} \cdot d\vec{A} = 0$$

$$\text{rot } \vec{F} \equiv \nabla \times \vec{F} = 0$$

budući da je

$$\text{rot } \vec{F} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = \vec{i} \left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z} \right) - \vec{j} \left(\frac{\partial F_z}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial z} \right) + \vec{k} \left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right)$$

3. Kako glasi analitički uvjet mirovanja kapljevine?

$$\rho \cdot \vec{R} + \vec{F}v = 0$$
$$\rho(Rx \cdot dx + Ry \cdot dy + Rz \cdot dz) = \frac{\sigma p}{\sigma x} dx + \frac{\sigma p}{\sigma y} dy + \frac{\sigma p}{\sigma z} dz$$

4. Hidraulički je tlak u točki A, težištu vodoravne ploče smještene u spremniku s vodom, p_A bara, slika. Rotiramo li ploču oko težišta za 450, slika, koliki će biti hidraulički tlak $p_{A'}$ u točki A?

Hidraulički tlak se neće promijeniti. $\rho g h = \text{konst.}$

5. Što je fluid?

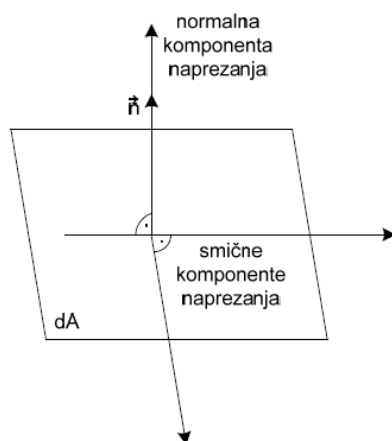
Fluid je tvar koja se pod djelovanjem smičnog naprezanja, koliko god ono malo bilo, deformira-struji.

6. Što je naprezanje? Što je normalno naprezanje, smično naprezanje i tlak?

Naprezanje je tenzor. Smično je naprezanje jednako omjeru veličine tangencijalne komponente sile što djeluje na neku površinu i ploštine te površine.

Normalno je naprezanje jednako omjeru veličine normalne komponente sile što djeluje na neku površinu i ploštine te površine.

U fluidu koji miruje (koji ne struji), a u idealnom fluidu uvijek, normalno se naprezanje (kada okomita komponenta sile djeluje kao tlačna, ne vlačna sila) naziva tlak.



7. Kada je sustav „zatvoreni sustav“, a kada je „kontrolni volumen“?

Zatvoreni sustav - sustav konstantne i poznate mase. Vrijede sljedeći principi: očuvanja (održanja, konzervacije) mase; očuvanja količine gibanja; očuvanja momenta količine gibanja; očuvanja energije (prvi glavni stavak termodinamike); rasta entropije (drugi glavni stavak termodinamike) i jednadžbe stanja tvari (zakoni ponašanja fluida).

Te principe u razmatranjima primjenjujemo na otvorene sustave (kontrolne volumene) nepoznate i promjenjive mase, odnosno, na fluid: skup beskonačnog broja materijalnih točaka (čestica fluida). Velikim dijelom to će nam biti glavni zadatak.

8. Kako se deformira čvrsto (elastično) tijelo pod djelovanjem smičnog naprezanja, koje ne prelazi određenu granicu?

Čvrsto (elastično) tijelo pod djelovanjem smičnog naprezanja, koje ne prelazi određenu granicu, deformira se za konačnu vrijednost i prestankom naprezanja vraća se u prvobitni oblik. Veličina je deformacije upravo proporcionalna veličini smičnog naprezanja.

9. Kako se deformira fluid pod djelovanjem smičnog naprezanja?

Fluid struji.

10. Što je viskoznost?

viskoznost se smatra mjerom otpora fluida smičnom naprezanju ili kutnoj deformaciji za vrijeme gibanja (strujanja fluida). **Viskoznost** je, u osnovi, „**fluidno (tekućinsko) trenje**“.

11. Povećava li se temperatura viskoznost se kapljevina smanjuje ili povećava?

Svi realni fluidi posjeduju viskoznost (ljepljivost) koja je posljedica ili kohezije (kohezivne sile) između molekula fluida (u slučaju kapljevina) ili izmjene količine gibanja između molekula fluida (u slučaju plinova) koje se sudaraju prelazeći iz sloja u sloj.

Zbog toga se viskoznost kod kapljevina smanjuje, a kod plinova povećava, povećava li im se temperatura.

12. Povećava li se temperatura viskoznost se plinova smanjuje ili povećava?

Prethodno.

13. Je li fluidno trenje statičko ili kinetičko (ili može li biti i statičko i kinetičko)?

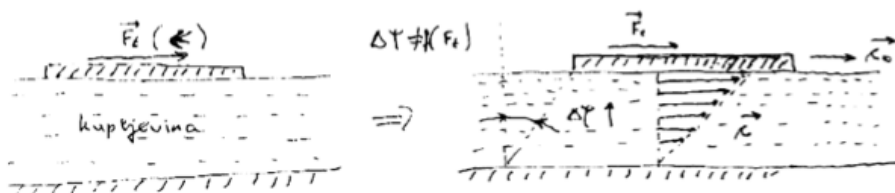
Fluidno je trenje kinetičko, ne postoji statičko fluidno trenje. (Primjerice, čamac (brod) koji miruje u mirnoj vodi pokrenut će se pod djelovanjem i vrlo male sile.) Pritom, za razliku kod čvrstih tijela koja su u dodiru i koja se kreću relativno jedno u odnosu na drugo, trenje između slojeva fluida u doticaju naglo se povećava povećanjem brzine sloja fluida ili objekta

koji se kreće kroz fluid. Radi li se o objektu koji se kreće kroz fluid, ili fluid struji oko njega, trenje ovisi i o (aerodinamičnom) obliku tijela.

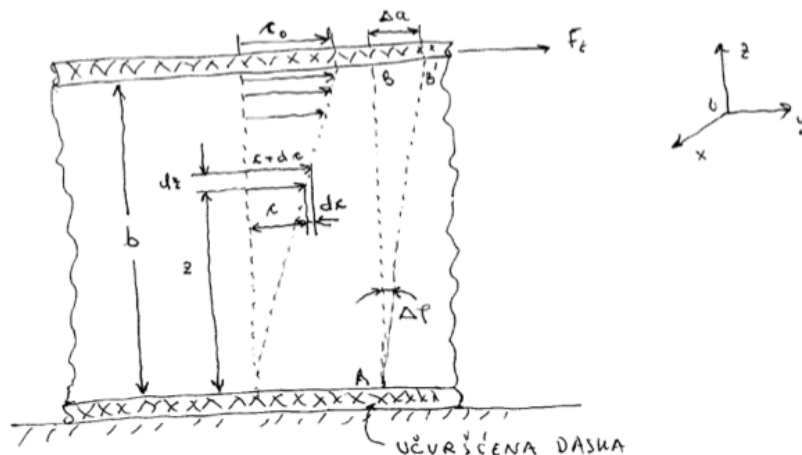
14. Djeluje li na dasku, što pliva na površini kapljevine, konstantna sila, hoće li se daska ubrzavati ili gibati konstantnom brzinom?

Povlačimo li dasku, što pliva na površini kapljevine, konstantom silom F_t , ona će se gibati konstantnom brzinom c_0 što znači da je sila F_t uravnotežena trenjem (viskoznošću) unutar kapljevine.

DUŽI ODG: Povlačimo li dasku, što pliva na površini kapljevine, konstantom silom F_t , **ona će se gibati konstantnom brzinom c_0** , slika 1.4, što znači da je sila F_t uravnotežena trenjem (viskoznošću) unutar kapljevine budući da se, „prilijepljen“ za dasku adhezijom (adhezivnom silom), sloj kapljevine uz dasku giba brzinom daske. Susjedni, niži sloj „osjeća“ manju silu adhezije, ali „osjeća“ trenje (silu trenja, viskoznost) među slojevima, pa se zanosi (giba) u istom smjeru kao i gornji sloj, ali nešto sporije. S druge strane najdonji sloj, sloj iznad učvršćene daske (ili dna) koja miruje, „prilijepljen“ isto tako adhezivnom silom, kao što to potvrđuju eksperimentalna opažanja, miruje. Kapljevina se dakle između dvije daske giba brzinom $c = c(z)$, koja će se, radi li se o vodi (i zraku), odnosno samo o tzv. „Newtonovim (Newtonovskim) fluidima“, mijenjati linearno, slike 1.4 i 1.5: $c = c_0 z/b$. Drugim riječima, gradijent brzine dc/dz razvijen unutar fluida između dvije daske u promatranom je slučaju konstantan budući da vrijedi $dc/dz = c_0/b = c/z = \text{konst.}$



Slika 1.4 Djelovanje smičnog naprezanja na fluid (kapljevinu)



Slika 1.5 Strujanje vode izazvano konstantnim smičnim naprezanjem

15. Koji su fluidi „Newtonovi (Newtonovski) fluidi“?

Jednadžba (1.3) često se naziva „**Newtonovim zakonom viskoznosti**“, a fluidi koji se ponašaju uskladu s tom jednadžbom (voda, zrak primjerice) „Newtonovim fluidima“, $\mu =$

$$\tau = \frac{F_t}{A} = \mu \frac{dc}{dz} = \mu \frac{d\varphi}{dt} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

konst.

16. Formiraju li plinovi „slobodnu površinu“?

Ne formiraju.

17. Formiraju li plinovi kapljice?

Ne formiraju.

18. Zašto se kapljevine nazivaju kapljevinama?

Izbačene u atmosferu u obliku tankog mlaza kapljevine se raspršuju formirajući sitne kapljice.

19. Kako se stlačivost ili kompresibilnost fluida kvantitativno izražava u diferencijalnom obliku?

$$\text{stlačivost ili kompresibilnost fluida: } \frac{dV}{dp} \rightarrow \frac{\frac{dV}{V}}{\frac{dp}{p}} \Rightarrow \frac{dV}{V} = -\frac{dp}{K} = -\beta_p dp$$

20. Što je „volumenski (prostorni) modul elastičnosti“?

K je „volumenski (prostorni) modul elastičnosti“ s dimenzijom Pa.

21. Što je „koeficijent volumenske stlačivosti“?

Recipročna je vrijednost volumenskog modula elastičnosti „koeficijent volumenske stlačivosti“ β_p .

22. Koliki je volumenski modul elastičnosti za plin podvrgnut izotermnoj kompresiji?

$K=p$, što proizlazi diferenciranjem izotermne jednačbe:

$$pV=\text{konst}$$

$$pdV+Vdp=0$$

$$dV/V=-dp/p$$

$$K=p$$

23. Koliki je volumenski modul elastičnosti za plin podvrgnut izentropskoj kompresiji? skripta tekst: 1.1.4. Djelovanje tlačnog naprezanja na fluid, str 24.

$$K=\kappa p \text{ - grčki kappa}$$

što proizlazi iz jedn $PV^\kappa=\text{konst}$

→

24. Što je Machov broj?

Struji li fluidi ili se tijelo giba u fluidu utjecaj stlačivosti fluida ovisi o omjeru brzine strujanja i brzine zvuka u fluidu. Taj se omjer zove Machov broj. Za Machov broj manji od 0,2 utjecaj je stlačivosti zanemariv, pa se govori o nestlačivom strujanju, a za Machov broj veći od 0,3 pojavljuje se stlačivo strujanje.

25. Koje su sile masene (volumenske) sile?

Masene djeluju „na daljinu“, bez fizičkog kontakta između tijela, pa se često nazivaju i beskontaktnim silama. Djeluju na svaki djelić mase (otuda i naziv „masene sile“) po čitavom volumenu tijela (otuda naziv „volumenske“).

Prve sile imaju svoje „polje“: prostor u kojemu se osjeća djelovanje sile. Npr., gravitacijska sila, sila teže, električne, magnetske, inercijske (centrifugalna, Coriolisova) sile. Veličina masene (volumenske) sile ovisi o masi smještenoj u polju sile (sila). Promatrat ćemo stoga masene ili volumenske sile što djeluju na jedinicu mase ili na jedinični volumen tvari, promatrat ćemo dakle gustoću masene (volumenske) sile (sila).

26. Koje su sile površinske sile?

Druge su sile posljedica neposrednog dodira (kontakta) između tijela (fizičkih objekata). Nazivaju se i kontaktnim silama. Druge su sile „na blizinu“: pritisak jednog tijela na drugo, sila tlaka, sile sudara, trenje, naprezanja, ...

Veličina masene (volumenske) sile ovisi o masi smještenoj u polju sile (sila). Promatrat ćemo stoga masene ili volumenske sile što djeluju na jedinicu mase ili na jedinični volumen tvari, promatrat ćemo dakle gustoću masene (volumenske) sile (sila). Površinske sile su kontaktne sile i djeluju na tijelo u točkama njegove granične površine.

27. Napišite analitički izraz za gustoću masene i volumenske sile.

$$\vec{R} \left[\frac{N}{kg} \equiv \frac{m}{s^2} \right] = \lim_{\Delta m \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{F}_m}{\Delta m} = \frac{1}{\rho} \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{F}_m}{\Delta V} = \frac{d\vec{F}_m}{dm}$$

odnosno:

$$\rho \vec{R} = \vec{R}_v \left[\frac{N}{m^3} \right] = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{F}_m}{\Delta V} = \frac{d\vec{F}_m}{dV}$$

28. Napišite analitički izraz kojim je određeno naprezanje.

$$\vec{\sigma} = \frac{d\vec{F}_p}{dA} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

29. Napišite analitičke izraze za komponente površinske sile.

Rastavljamo li površinsku silu na komponente, njezina tangencijalna komponenta t F uzrokuje **smično naprezanje**:

$$\vec{\sigma}_t \equiv \vec{c} = \frac{d\vec{F}_t}{dA} \left[\frac{N}{m^2} \right] = \mu \frac{d\vec{c}}{dz}$$

a normalna **tlačno ili vlačno naprezanje**:

$$\vec{\sigma}_n = \frac{d\vec{F}_n}{dA} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

30. Zašto u doticaju s atmosferom kapljevina formira slobodnu površinu?

Zbog neravnoteže sile kohezije i adhezije -> **površinska napetost**.

31. Što je površinska je napetost?

Pri dodiru površina fluida koji se ne miješaju, između fluida i čvrstih stijenki i kapljevina i plinova, pojavljuje se **površinska napetost**, kao rezultat neuravnoteženih sila kohezije i adhezije na razdjelnici, koja uzrokuje da se fluid ponaša kao da postoji „koža“ ili „membrana“ koja se proteže preko cijele razdjelnice. Jakost kohezijskih sila po jedinici duljine uzduž bilo koje linije na promatranoj površini naziva se površinska napetost i također označava grčkim slovom σ , no jedinica je površinske napetosti dakako **N/m**. Veličina se površinske napetosti određuje eksperimentalno.

32. Što je kapilarnost?

Kapilarnost je svojstvo kapljevine zbog kojeg u vrlo uskim cijevima (kapilarama) ne vrijedi „zakon o spojenim posudama“. Naime, površina je kapljevine u kapilari viša ili niža od vanjske površine kapljevine (kapljevine izvan kapilare).

33. Što je specifični tlak?

„specifični tlak” je tlak u točki unutar fluida, kao omjer veličine okomite komponente sile koja djeluje na površinu i ploštine površine:

$$\frac{\vec{F} \perp}{A}$$

34. Je li je specifični tlak skalarna ili vektorska veličina? Skalar.

35. Što je tenzor?

Tenzor je poopćenje [skalara](#) i [vektora](#), te se, poput vektora, sastoji od više skalarnih vrijednosti, samo što broj indeksa potrebnih da se jednoznačno odredi na koju skalarnu vrijednost se misli, može biti različit od jedan, kao što je slučaj kod vektora.

Rang tenzora je broj gore navedenih indeksa, pa je tako skalar tenzor ranga 0, a vektor tenzor ranga 1. Naziv tenzor se obično koristi za tenzore ranga 2 naviše.

36. Je li je naprezanje u realnom fluidu koji se giba skalarna, vektorska ili tenzorska veličina? Tenzor.

37. Objasnite predznak – (minus) u jednadžbi $\vec{F}_V \left[\frac{N}{m^3} \right] = -grad p \equiv -\nabla p$. Što izriče ta jednadžba?

Predznak – (minus) ukazuje da su vektori \vec{F} i $grad p$ suprotnog smjera

38. Što je „funkcija sile”? Koje su sile „konzervativne sile“?

Negativna vrijednost funkcije sile jednaka je potencijalu polja sile teže Zemlje: $-U = gz$

$$0 = \oint \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

Konzervativne sile su sile čiji je rad neovisan o putu. Drugim riječima rad takvih sila ovisi samo o početku i kraju puta.

39. Napišite analitički oblik zakona promjene specifičnog tlaka u mirnoj kapljevinu pod utjecajem samo sile teže.

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g$$

$$\int_p^{p_{ok}} dp = - \int_z^{z_{ok}} \rho g dz$$

Uzimajući $\rho g = \text{konst.}$, dobivamo

$$p_{ok} - p = -\rho g \overbrace{(z_{ok} - z)}^H = -\rho g H$$

odnosno

$$p = p_{ok} + \rho g H$$

40. Napišite analitički (vektorski) oblik uvjeta mirovanja fluida.

$$\underbrace{\rho(R_x dx + R_y dy + R_z dz)}_{\text{rezultantna masena sila}} = \overbrace{\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz}^{\text{prirast tlaka}} = dp \left[\frac{N}{m^2} = Pa \right]$$

41. Što je hidrostatski tlak, a što hidraulički u kapljevine?

Hidrostatski tlak - tlak uzrokovan težinom fluida

Na slobodnu površinu vode djeluje i jedna površinska sila, sila atmosferskog tlaka (**pok**), koja

je posljedica činjenice da atmosfera ima težinu. Taj tlak, „**narinuti**“ tlak, koji se naziva „**hidrauličkim**“, jednoliko širi kroz kapljevinu (vodu), djelujući u svakoj točki unutar kapljevine (vode).

42. Što je visina tlaka u promatranoj točki kapljevine?

Tlak okolice (atmosfera) izražava pomoću stupca kapljevine koji bi tlačio na podlogu tlakom jednakim tlaku okolice.

Ekvivalentnu visinu kapljevine koja će proizvesti isti tlak na visini zok kao i atmosfera postavljamo

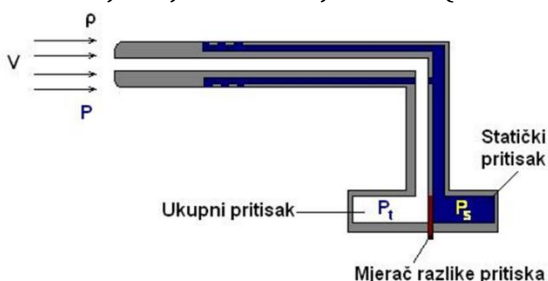
$$p_{ok} = \rho g H_0 \Rightarrow H_0 = \frac{p_{ok}}{\rho g}$$

Visina tlaka u promatranoj točki A.

$$H_0 + H = \frac{p}{\rho g} \left[\frac{\frac{N}{m^2} \equiv \frac{kgm}{m^2 s^2}}{\frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m}{s^2}} = m \right]$$

43. Što je Pitot-ova cijev i na kom principu radi?

Pitot-cijev je posebno konstruirana kratka i šuplja cijev koja se postavlja s vanjske strane zrakoplova u smjeru relativne struje zraka. Ona mjeri dinamički i statički tlak te na principu bernoullijeve jdn određuje brzinu(u ovom slučaju aviona).



44. Što je barometar i na kom principu radi?

Barometar je uređaj kojim mjerimo tlak atmosfere, odnosno, kako se još naziva, tlak okolice ili barometarski tlak. To je ujedno i apsolutni tlak.

45. Što je apsolutni tlak, nadtlak (pretlak) i podtlak odnosno vakuum. Objasnite slikom.

Tlak okolice (atmosferski tlak), narinuti tlak, koji se jednoliko širi kroz živu u posudi barometra, uravnotežuje težinu žive u cijevi barometra. Uobičajeno se tlak kojeg mjerimo od apsolutne nule (tj. potpunog vakuuma) naziva **apsolutnim**. Svi ostali instrumenti za mjerenje tlaka mjere nadtlak (pretlak), odnosno podtlak, što znači pokazuju višak ili manjak tlaka s obzirom na atmosferski tlak (tlak okolice na mjestu mjerenja).

p_{ok} označavat ćemo tlak okolice, s

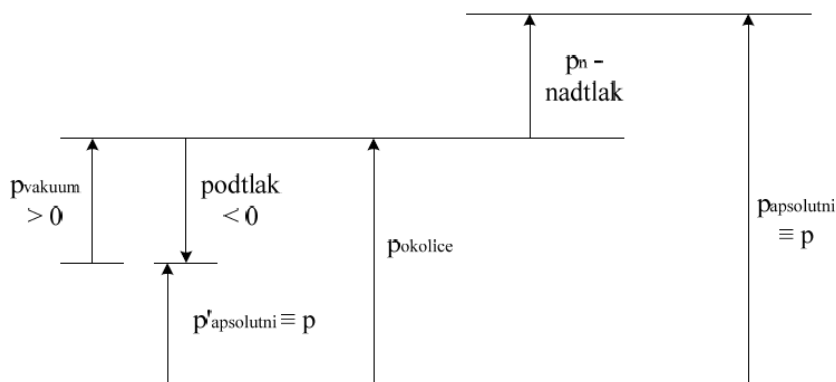
p apsolutni tlak, s

p_n pretlak ili nadtlak: $p_n = p - p_{ok}$, s

p_v vakuum koji je pozitivna veličina budući da pokazuje iznos tlaka od apsolutnog tlaka do tlaka okolice u okolnostima kad je apsolutni tlak manji od tlaka okolice ($p < p_{ok}$):

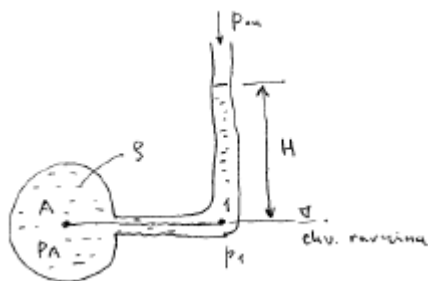
$p_v = p_{ok} - p > 0$, a s

p_p podtlak koji je negativna veličina budući da pokazuje manjak tlaka od tlaka okolice do apsolutnog tlaka u okolnostima kad je apsolutni tlak manji od tlaka okolice: $p_p = p - p_{ok} < 0$



46. Što je piezometar i na kom principu radi?

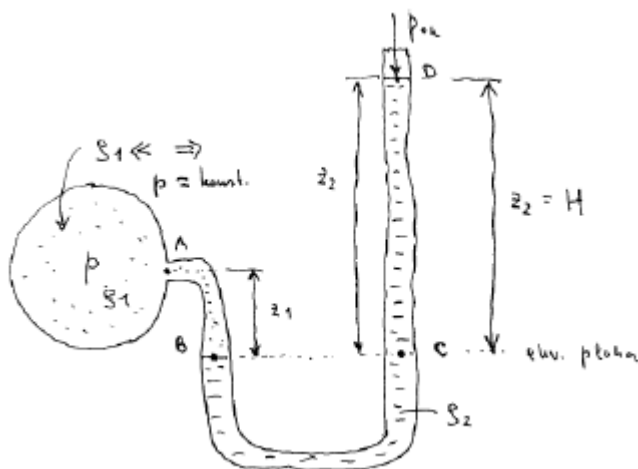
Za mjerenje (manjih) tlakova kapljevina služimo se uređajima koji pomoću visine stupca fluida određuje se relativni tlak (pretlak ili podtlak). Najjednostavniji je uređaj tzv. piezometar.



47. Što je U-cijevni manometar. Objasnite slikom.

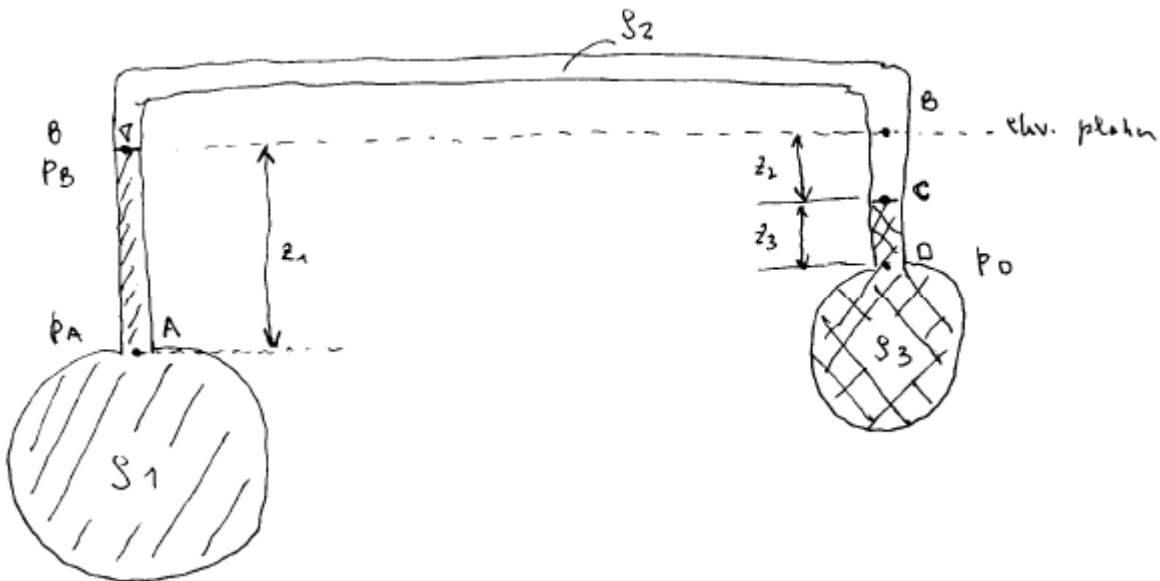
U cijevnim manometrom se može izmjeriti tlak i u kapljevini i u plinu (piezometar može samo u kapljevini mjeriti). U ovisnosti o veličini mjenenog tlaka kapljevina u manometru je voda, alkohol ili živa. Visina tlaka karakteristična za U-cijev iznosi:

$$H = \frac{p - p_{ok}}{\rho_2 g}$$



48. Što je diferencijalni manometar? Objasnite slikom.

Diferencijalni manometar služi za mjerenje razlike tlakova između dva mjerna mjesta.

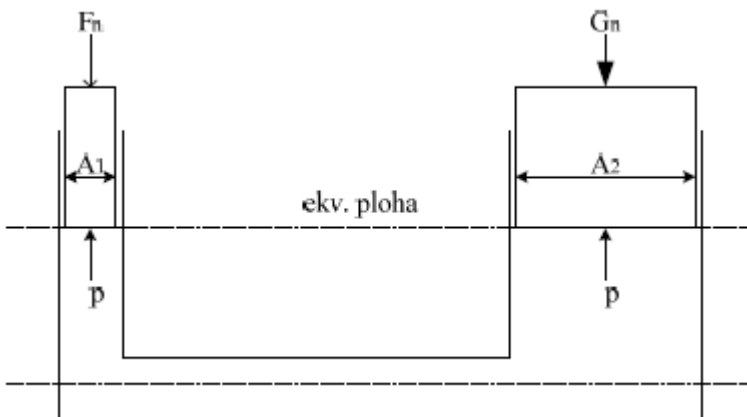


49. U mirujućoj kapljevini, konstantne gustoće, izloženoj djelovanju atmosfere, poveća li se dvostruko udaljenost od slobodne površine kapljevine povećava li se na dvostruku vrijednost apsolutni tlak ili pretlak?

50. Što priopćuje Pascalov zakon? Navedite primjer(e) uporabe Pascalovog zakona.

Pascalov zakon - narinuti se tlak (hidraulički tlak) širi u mirnom fluidu na sve strane u istom iznosu.

Hidraulička preša – primjena Pascalovog zakona



Naime, kod pomicanja stapova mora važiti

1) princip očuvanja mase:

$$A_1 s_1 = A_2 s_2; \frac{s_1}{s_2} = \frac{A_2}{A_1} \text{ (jednakost volumena, } \rho = \text{konst.)}$$

2) princip očuvanja energije

$$F_n s_1 = G_n s_2$$

51. Kojim je analitičkim izrazom određena apsolutna veličina rezultirajuće sile tlaka mirne kapljevine na ravnu plohu ploštine A?

Horizontalna komponenta sile iznosi

$$F_{\text{horizontalna}} \equiv F_h = \rho g H_t A \sin \alpha,$$

a vertikalna

$$F_{\text{vertikalna}} \equiv F_v = \rho g H_t A \cos \alpha$$

a rezultirajuća sila tlaka

$$F = \sqrt{F_v^2 + F_h^2}$$

52. Čemu je jednaka vertikalna komponenta sile tlaka mirne kapljevine na neku plohu? Kvantitativno opišite (ne formulom).

Vertikalna komponenta sile tlaka mirne kapljevine na neku plohu jednaka je težini (imaginarnog ili realnog) stupca kapljevine iznad te plohe, jer je baza stupca kapljevine, $A \cos(\alpha)$, u razini slobodne površine kapljevine, a visina je H_t .

$$F_v = \rho g H_t A \cos \alpha$$

53. Što je uzgon ili potisak?

Uzgon (sila uzgona) usmjeren prema gore i jednak težini „istisnutog fluida”, tj. težini fluida volumena jednakog volumenu uronjenog tijela (Arhimedov zakon). Hvatište je uzgona u težištu istisnutog fluida (istisnine). Odatle izlazi da će neko tijelo, težine G_t , gustoće ρ_t , u fluidu ili tonuti, ili lebdjeti, ili će se dizati. Naime, od slučaja do slučaja, vrijedit će jedan od odnosa:

$$G_t = \rho_t g V \begin{matrix} > \\ < \\ = \end{matrix} F_v = \rho g V; \quad \rho \equiv \rho_{\text{fluida}}$$

54. Što izriče Arhimedov zakon?

Uzgon (sila uzgona) usmjeren prema gore i jednak težini „istisnutog fluida”, tj. težini fluida volumena jednakog volumenu uronjenog tijela (Arhimedov zakon).

55. Na što se, u osnovi, svodi postupak centrifugiranja? Opišite, kvalitativno, kretanje čestice, gustoće manje od gustoće kapljevine u koju je uronjena, pokrenuto centrifugiranjem. Gdje se, u elektroenergetici, primjenjuje takav postupak?

Postupak centrifugiranja svodi se na unašanje tijela(čestice) u kapljevину smještenu u nekoj posudi koju se zatim rotira.

To znači da se i čestice, kojima se gustoća malo razlikuje od gustoće fluida, mogu postupkom centrifugiranja pokrenuti. Na taj je način moguće odijeliti čestice od kapljevine što se u polju sile teže Zemlje ne bi moglo postići zbog premalih sila. Centrifugiranje zbog toga ima važne primjene u znanosti i tehnici; primjerice, odjeljivanjem molekula od kapljevine, i mjerenjem brzine sedimentacije molekula, određuju se njihove mase. U elektroenergetici taj se postupak, uz ostale, upotrebljava prigodom odjeljivanja izotopa urana u procesu obogaćivanja urana.

Ako je $\rho_c > \rho_f$, smjer je rezultantne sile prema „van”, tj. smjer jediničnog vektora; čestica „tone” u područje većeg tlaka, giba se prema bočnoj stijenci posude. Suprotno, ukoliko je $\rho_c < \rho_f$, smjer je rezultantne sile suprotan smjeru koordinatne osi r , sila je usmjerena prema osi vrtnje, čestica se „uspinje” u područje nižeg tlaka, giba se prema osi vrtnje (osi z).

56. Koje sve sile uzrokuju gibanje čestica fluida?

a) masene (volumenske) – djeluju na daljinu, bez fizičkog kontakta. Djeluju na svaki djelić mase po čitavom volumenu tijela (gravitacijska sila, sila teže, električne, magnetske, centrifugalna, Coriolisova

b) površinske – posljedica neposrednog dodira (pritisak jednog tijela o drugo, sila tlaka, trenje,

- naprezanje)
c) sile viskoziteta
d) elastične sile

57. Koje oblike strujanja fluida razlikujemo?

1. protjecanje – strujanje fluida između krutih stijenki (cijevi, kanala i sl.); radi se o transportu fluida protokom, odnosno o transportu energije fluidom;
2. optjecanje – pojave relativnog i apsolutnog strujanja fluida oko nekog čvrstog tijela uronjenog u fluid; radi se dakle o transportu čvrstih tijela kroz fluid (brodovi, podmornice, letjelice itd.), ili, strujanju fluida oko čvrstog tijela i
3. kombinaciju protjecanja i optjecanja – pojavljuje se npr. kod strujanja fluida između lopatica turbostrojeva jer se strujanje tada može promatrati kao protjecanje među lopaticama ili kao optjecanje oko lopatica uronjenih u fluid.

58. Koje su dvije vrste strujanja fluida?

- a) stacionarno – u svakoj čvrstoj točki prostora kojom struji fluid, sve fizikalne veličine čestica fluida kad stignu u tu točku su jednake fizikalnim veličinama prethodnih čestica kad su bile u toj točki, te su ih zamjenile.
- b) nestacionarno – fizikalne veličine čestica pristiglih u točku A se razlikuju od fizikalnih čestica koje zamjenjuju

59. Što je staza a što strujnica?

Staza (putanja ili trajektorija) neke čestice fluida naziva se krivulja koju čestica fluida svojim gibanjem opisuje u prostoru.

Strujnice predstavljaju smjer gibanja većeg broja čestica fluida u istom trenutku (linije tankencijalne na vektor trenutačne brzine čestice fluida na promatranom mjestu).

60. Što je strujna cijev?

Strujna cijev se dobije povuku li se strujnice kroz točke zatvorene konture zamišljene unutar fluida.

61. Koja je razlika između Lagrangeovog i Eulerovog način promatranja strujanja kapljevine? Kvalitativno opišite.

Lagrangeov ili Eulerov pristup analizi strujanja fluida: pratit ćemo svaku česticu fluida na njezinom putu kroz prostor i/ili u nekoj fiksnoj točki.

Eulerov pristup: brzina strujanja u promatranoj točki kao funkcija vremena (brzina kojom ptice prolaze pokraj određene lokacije na migracijskom putu)

Lagrangeov pristup: određivanje lokacije promatrane čestice fluida kao funkcije vremena (kretanje duž migracijskog puta)

62. Napišite integralni oblik osnovne jednačbe strujanja fluida. Uz ispunjenje jednog jedinog uvjeta jednačba nema nikakvih drugih ograničenja valjanosti s obzirom na vrste fluida i vrste strujanja. Koji je to uvjet?

$$\frac{d}{dt} \iiint_{V(t)} \bar{c} \rho dV = \iiint_{V(t)} \rho \bar{R} dV + \oiint_{A(t)} \bar{\sigma} dA$$

uvjet je da se radi o inercijskom prostoru.

63. Kako materijalna vremenska derivacija transformira Lagrangeov u Eulerov način promatranja analize strujanja fluida?

Npr. temp vode u jezeru.

Euler – temp vode se mijenja s dubinom (mjesni način).

Gleda se promjena temperature čestice fluida uzevši u obzir promjenu temperature s dubinom vode i zbog promjene položaja čestice.

$$\text{Lagrangeov način (opis)} \rightarrow \frac{D}{Dt} \rightarrow \text{Eulerov način (opis)}$$

64. Napišite diferencijalne jednadžbe strujanja realne i idealne kapljevine.

idealna:

$$\rho \frac{D\vec{c}}{Dt} = \rho \vec{R} - \nabla p = \rho \vec{R} - \text{grad} p$$

realna:

$$\rho \frac{D\vec{c}}{Dt} = \rho \vec{R} + \nabla \vec{\sigma} \equiv \rho \vec{R} + \text{Div} \vec{\sigma}$$

65. Koja je razlika između Eulerove i Bernoullijeve jednadžbe strujanja idealne kapljevine? (Što je Eulerova, a što Bernoullijeva jednadžba?)

Poseban je slučaj strujanja idealne kapljevine strujanje izazvano samo silom teže.

To strujanja se opisuje Eulerovom jednadžbom:

$$\frac{D\vec{c}}{Dt} = \frac{\partial \vec{c}}{\partial t} + (\vec{c} \cdot \nabla) \vec{c} = -g \nabla z - \frac{1}{\rho} \nabla p$$

Bernoullijeva jdzb se dobije integriranjem Eulerove uz uvjet da se radi o jednodimenzionalnom stacionarnom strujanju

66. Što izriče jednadžba kontinuiteta za kontrolni volumen? Promatrajte jednodimenzionalno strujanje fluida kroz kontrolni volumen i napišite diferencijalni oblik jednadžba kontinuiteta za takvo strujanje. Koja je sveza te jednadžbe i jednadžbe očuvanja mase za isto strujanje fluida?

jednadžba kontinuiteta za jednodimenzionalno strujanje: $\frac{dm_{KV}}{dt} + \sum_{k=1}^n \dot{m}_k - \sum_{j=1}^n \dot{m}_{u_j} = 0$
jednadžba kontinuiteta za trodimenzionalno strujanje: $-\frac{d}{dt} \iiint_{KV} \rho dV = \iint_{KP} \rho \vec{c}_r \cdot d\vec{A}$
$\iint_{KP} \rho \vec{c}_r \cdot d\vec{A} = \iint_{A_i} \rho_i c_{ri} dA_i \cos \alpha_i + \iint_{A_u} \rho_u c_{ru} dA_u \cos \alpha_u =$ $= \iint_{A_i} \rho_i c_{ri} dA_i \cos \alpha_i - \iint_{A_u} \rho_u c_{ru} dA_u \cos \alpha_u $
jednadžba kontinuiteta izriče princip očuvanja mase za kontrolni volumen i omogućuje prijelaz s pristupa preko sustava na pristup preko kontrolnog volumena:
$\left(\frac{dm}{dt} \right)_{sustav} = 0 = \frac{Dm}{Dt} = \frac{D}{Dt} \iiint_{V_{m=KV}} \rho dV = \frac{d}{dt} \iiint_{KV} \rho dV + \iint_{KP} \rho \cdot \vec{c}_r \cdot d\vec{A} = 0$

Promjena mase u KV je jednaka razlici mase koja uđe i koja izađe.

67. Napišite integralni oblik jednadžba kontinuiteta za trodimenzionalno strujanje fluida kroz kontrolni volumen.

vidi pitanje 66. – SLUŽBENI PODSJETNIK

68. Napišite jednadžbu Reynoldsovog transportnog teorema primijenjenog na gustoću mase u kontrolnom volumenu.

$$\text{Reynoldsov transportni teorem: } \frac{d}{dt} \iiint_{KV} \rho dV = \iiint_{KV} \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \oint_{KP} \rho \cdot \vec{c}_{KP} \cdot d\vec{A},$$

69. Napišite diferencijalni oblik jednadžbe kontinuiteta (principa očuvanja mase).

$$\text{div}(\rho \vec{c}) = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad \text{ili} \quad \nabla \cdot (\rho \vec{c}) = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

70. Napišite jednadžbu količine gibanja za inercijski kontrolni volumen. Što izriče (pokazuje) ta jednadžba?

$$\sum \vec{F}_i = \sum \vec{F}_{\text{površinska}} + \sum \vec{F}_{\text{masena}} = \oint_{KP} \vec{\sigma} d\vec{A} + \iiint_{KV} \rho \vec{R} dV = \frac{d}{dt} \iiint_{KV} \vec{c}_r \rho dV + \oint_{KP} \vec{c}_r \rho \vec{c}_r d\vec{A}$$

Jednadžba govori da je rezultatna sila koja djeluje na fluid suma masenih (beskontaktnih) i površinskih (kontaktnih) sila.

71. Mlaz fluida koji izlazi iz kontrolni volumen (reakcija mlaza) djeluje li silom u smjeru brzine ili u suprotnom smjeru?

Mlaz fluida koji izlazi iz kontrolnog volumena djeluje silom u suprotnom smjeru od smjera izlazne brzine na stjenku posude.

72. Koja je sveza reakcije mlaza i specifičnog tlaka na promatranom mjestu?

$$F_x = \rho c_2 Q_2 = \rho A_2 c_2^2 = \rho A_2 2gH = A_2 \cdot 2\rho gH$$

Sila F_x je dakle sila kojom stijenka posude tlačí fluid u smjeru osi x; proporcionalna je dvostrukom specifičnom tlaku na promatranom mjestu. Ta sila uzrokuje promjenu brzine strujanja fluida od 0 do $c = c_2 = c_{2c}$.

jednakom silom, ali suprotnog smjera, fluid djeluje na stijenku posude nasuprot otvoru. ta se sila zove reakcija mlaza.

73. Mlaz fluida koji ulazi u kontrolni volumen (akcija mlaza) djeluje li silom u smjeru brzine ili u suprotnom smjeru?

Mlaz fluida koji ulazi u kontrolni volumen djeluje silom u smjeru ulazne brzine na stijenku posude.

74. Napišite jednadžbu količine gibanja za neinercijski kontrolni volumen. Što izriče (pokazuje) ta jednadžba?

$$\oint_{KP} \vec{\sigma} d\vec{A} + \iiint_{KV} \rho \vec{R} dV - m_{KV} \vec{a}_{01} = \oint_{KP} \vec{c}_r \rho \vec{c}_r d\vec{A} + \frac{d}{dt} \iiint_{KV} \vec{c}_r \rho dV$$

Princip očuvanja količine gibanja za neinercijski kontrolni volumen izriče da je suma ukupnih površinskih i masenih sila što djeluju na fluid unutar kontrolnog volumena umanjena (povećana) za ukupni iznos sila inercije, koje su posljedica neinercijalnosti kontrolnog volumena, jednaka brzini promjene količine gibanja fluida u kontrolnom volumenu plus brzini promjene ukupnog tijeka (protoka) količine gibanja fluida kroz kontrolnu površinu kako to vidi promatrač (fizičar B) smješten u kontrolni volumen (smješten u, povezan s neinercijskim koordinatnim sustavom).

$$\begin{aligned}
P &= \frac{dW}{dt} = F_{fx} \frac{dx}{dt} = F_{fx} u = \\
&= \dot{m} u (c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2) = \\
&= \dot{m} u (w_1 \cos \beta_1 + w_2 \cos \beta_2) [W]
\end{aligned}$$

75. Napišite jednadžbu snage aksijalnih parnih (plinskih) turbina.

76. Koliki je tehnički rad aksijalnih parnih (plinskih) turbina?

$$\begin{aligned}
W &= P \cdot t = \dot{m} u (c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2) = \\
&= \dot{m} u (w_1 \cos \beta_1 + w_2 \cos \beta_2) [J]
\end{aligned}$$

77. Napišite jednadžbu snage pretlačne (reakcijske) vodne turbine.

$$P_t = \dot{m} (u_1 c_1 \cos \alpha_1 - u_2 c_2 \cos \alpha_2) [W]$$

78. Napišite jednadžbu snage vodne turbine slobodnog mlaza (Peltonove turbine).

$$\begin{aligned}
P &= \dot{m} u (c_1 - u) (1 + \cos \beta_i) [W] = \\
&= \rho Q r_1 \omega_p (c_1 - r_1 \omega_p) (1 + \cos \beta_i) [W]
\end{aligned}$$

79. Napišite jednadžbu snage za kontrolni volumen

Prilagodimo sada prvi glavni stavak termodinamike, pisan kao **jednadžba snage** (brzine), odnosno princip očuvanja energije (snage), za primjenu na kontrolni volumen.

Prvi glavni stavak termodinamike za zatvoreni sustav, dakle za konstantnu količinu mase, glasi:

$$Q_{12} = E_2 - E_1 + W_{12} [J] \quad (13.9)$$

ove E bi trebale biti unutrašnje energije sustava

80. Napišite jednadžbu snage za jednodimenzionalni, stacionarni, strujni proces

$$\dot{Q}_{KV} = \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{c_i^2}{2} + g z_i \right) - \sum \dot{m}_u \left(h_u + \frac{c_u^2}{2} + g z_u \right) + \dot{W}_{KV} [W],$$

81. Napišite jednadžbu za prvi glavni stavak termodinamike za procese jednolikog stanja i jednolikog strujanja.

$$Q_{KV} + \sum m_u \left(h_u + \frac{c_u^2}{2} + g z_u \right) = \sum m_i \left(h_i + \frac{c_i^2}{2} + g z_i \right) + \left[m_2 \left(u_2 + \frac{c_2^2}{2} + g z_2 \right) - m_1 \left(u_1 + \frac{c_1^2}{2} + g z_1 \right) \right]_{KV} + W_{KV} [J]$$

82. Napišite entropijsku jednadžbu drugog glavnog stavka termodinamike za kontrolni volumen izraženu pomoću lokalnih svojstava fluida.

$$\frac{d}{dt} \iiint_{KV} s \rho dV + \iint_{KP} s \rho \vec{c}_r d\vec{A} = \iint_{KP} \left(\frac{\dot{Q}_{KV} / A}{T} \right) dA + \iint_{KV} \left(\frac{|\dot{W}_{RT}| / V}{T} \right) dV$$

83. Napišite entropijsku jednadžbu drugog glavnog stavka termodinamike za jednodimenzionalni stacionarni strujni proces.

$$\sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_u s_u \geq \iint_{KP} \left(\frac{\dot{Q}_{KV} / A}{T} \right) dA = \frac{\dot{Q}_{KV}}{T}$$

84. Napišite entropijsku jednadžbu drugog glavnog stavka termodinamike za proces jednolikog stanja i jednolikog strujanja.

$$[m_2 s_2 - m_1 s_1]_{KV} + \sum m_i s_i - \sum m_u s_u = \int_0^t \left(\frac{\dot{Q}_{KV} + |\dot{W}_{RT}|}{T} \right) dt$$

85. Što je nepovratljivost (gubitak rada /eksergije/)? Izrazite riječima i analitičkim izrazom (formulom).

Suma radova kontrolnog volumena u slučaju povratljivog procesa i Carnotovog kružnog

procesa je povratljivi rad, $W_p = W_{KVp} + W_{CKP}$

Nepovratljivost je razlika između povratljivog rada i rada kontrolnog volumena u slučaju

realnog, nepovratljivog procesa, $N = W_p - W_{KV}$

86. Napišite izraz kojim je određena nepovratljivost zatvorenog sustava.

$$N_{12} = m T_{ok} (s_2 - s_1) - Q_{12} = T_{ok} \left[m (s_2 - s_1) - \frac{Q_{12}}{T_{ok}} \right]$$

87. Napišite izraz kojim je određena nepovratljivost procesa stacionarnog stanja i stacionarnog strujanja.

$$N = \sum m_i T_{ok} s_i - \sum m_u T_{ok} s_u - Q_{KV}$$

88. Napišite jednadžbu kojom se određuje povratljivi rad (zatvorenog) sustava.

$$\frac{W_{p12}}{m} = w_{p12} = \left[\left(u_1 - T_{ok} s_1 + \frac{c_1^2}{2} + g z_1 \right) - \left(u_2 - T_{ok} s_2 + \frac{c_2^2}{2} + g z_2 \right) \right] \left[\frac{J}{kg} \right]$$

89. Napišite jednadžbu kojom se određuje povratljivi rad (snaga) procesa jednolikog stanja i jednolikog strujanja.

$$\dot{W}_p = \sum \dot{m}_u \left(h_u - T_{ok} s_u + \frac{c_u^2}{2} + g z_u \right) - \sum \dot{m}_i \left(h_i - T_{ok} s_i + \frac{c_i^2}{2} + g z_i \right) [W]$$

90. Koji su osnovni elementi strukture hidrauličkog turbostroja.

Osnovni elementi hidrauličkog pogona su: hidraulička pumpa, hidraulički fluid, cjevovod, upravljački elementi i hidraulički motor.

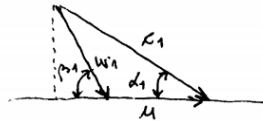
91. Kako se turbine dijele po smjeru strujanja fluida

Radijalne, aksijalne i radijalno-aksijalne

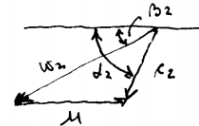
92. Što je to trokut brzina turbostroja, nacrtati primjer

$$\vec{c}_a = \vec{c}_p + \vec{c}_r,$$

koje formiraju trokut: „ulazni“, na ulazu u rotor turbine,

$$\vec{c}_1 = \vec{w}_1 + \vec{u}_1$$


i „izlazni“, na izlazu iz rotora turbine,

$$\vec{c}_2 = \vec{w}_2 + \vec{u}_2$$


93. Napišite momentnu jednadžbu primijenjenu na kontrolni volumen.

jednadžba momenta količine gibanja za inercijski kontrolni volumen:

$$\begin{aligned} \vec{M} &= \int \vec{r} \times d\vec{F}_{rez} = \oint_{KP} \vec{r} \times \vec{\sigma} dA + \iiint_{KV} \vec{r} \times \vec{R} \rho dV = \frac{D}{Dt} \left(\iiint_{Vsustava} \vec{r} \times \vec{c} dm \right) = \frac{D}{Dt} \left(\iiint_{Vsustava} (\vec{r} \times \vec{c}) \rho dV \right) = \\ &= \frac{d}{dt} \iiint_{KV} (\vec{r} \times \vec{c}_r) \rho dV + \oint_{KP} (\vec{r} \times \vec{c}_r) (\rho \vec{c}_r d\vec{A}) \end{aligned}$$

jednadžba momenta količine gibanja za neinercijski kontrolni volumen:

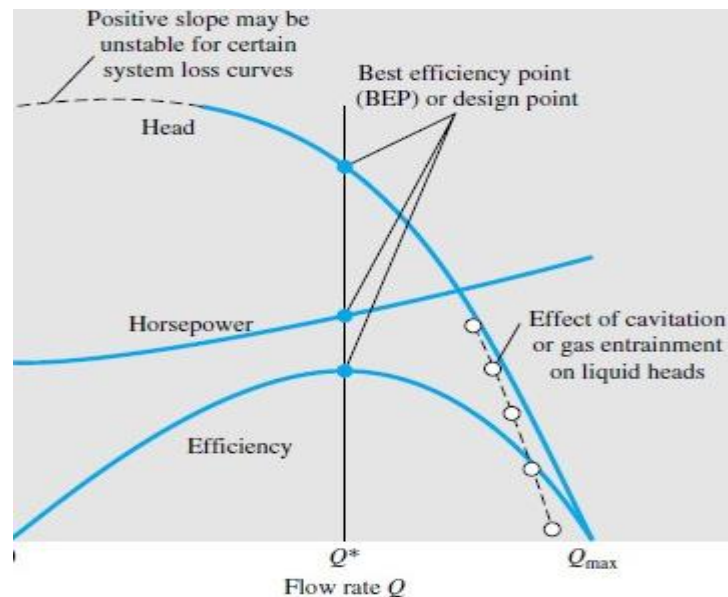
$$\begin{aligned} \vec{M} &= \int \vec{r}_p \times d\vec{F}_{rez} = \oint_{KP} \vec{r}_p \times \vec{\sigma} dA + \iiint_{KV} \vec{r}_p \times \vec{R} \rho dV - \\ &\iiint_{KV} \left\{ \vec{r}_p \times \left[\vec{a}_{01} + 2\vec{\omega}_p \times \vec{c}_r + \vec{\varepsilon}_p \times \vec{r}_p + \vec{\omega}_p \times (\vec{\omega}_p \times \vec{r}_p) \right] \right\} \rho dV = \\ &= \oint_{KP} (\vec{r}_p \times \vec{c}_r) (\rho \vec{c}_r d\vec{A}) + \frac{d}{dt} \iiint_{KV} (\vec{r}_p \times \vec{c}_r) \rho dV \end{aligned}$$

94. Napišite Euler-ovu jednadžbu turbine

$$P_t = u_1 c_1 \cos \alpha_1 - u_2 c_2 \cos \alpha_2 [W] \quad \text{osnovna jdn. pretlačnih(reakcijskih) vodnih turbina.}$$

95. Koje su komponente ukupne efikasnosti hidrauličke turbine, skicirajte karakteristiku ovisnosti o volumnom protoku?

Efikasnost turbine sastoji se od tri komponente, hidrauličkog (η_h), mehaničkog (η_m) i volumetrijskog stupnja djelovanja (η_v): $\eta = \eta_h * \eta_m * \eta_v$. Hidraulički stupanj djelovanja uzima u obzir gubitke u statoru, rotoru, difuzoru i na izlazu iz difuzora. Volumetrijskim stupnjem djelovanja uzima se u obzir činjenica da sva voda koja ulazi u stator turbine ne prolazi i kroz njezin rotor već kroz raspore između statora i rotora, mehanički gubici, karakterizirani mehaničkim stupnjem djelovanja, nastaju uslijed trenja u ležajevima i brtvenicama turbine.



Točka nazivnog protoka je na otprilike 0.6 Q_{max} , a korisnost je u toj točki od 0.8 – 0.9.

96. Što je NPSH?

net positive-suction head (NPSH) je krivulja koja označava potencijal za kavitaciju pumpe, ako se nalazimo ispod te krivulje ne smijemo startati pumpu, označava potrebni tlak pumpe na ulazu u rotor pumpe da se spriječi pojava kavitacije.

$$NPSH = \frac{p_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} - \frac{p_v}{\rho g}$$

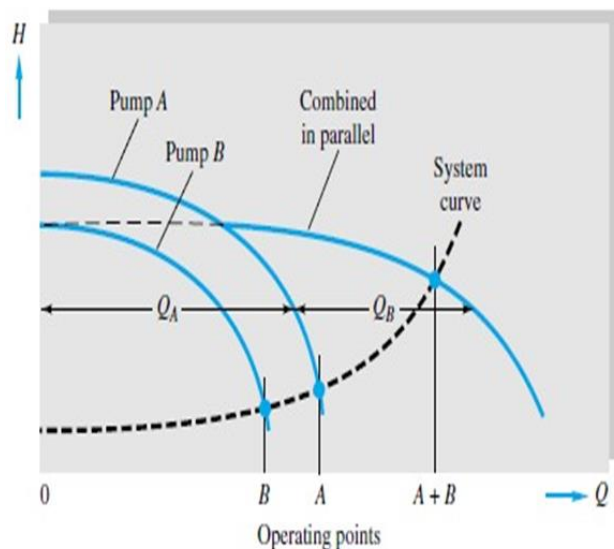
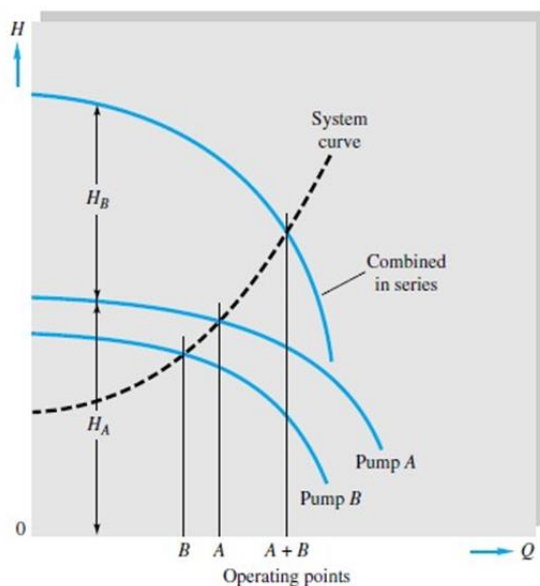
, p_i i V_i su tlak i brzina na ulazu u rotor, zadnji član je tlak pare tekućine.

97. Što je kavitacija i u čemu se razlikuje za pumpu i turbinu?

Kavitacija je pojava isparavanja vode i stvaranja mjehura vodene pare, a nastaje na mjestu najnižeg tlaka. Nastaje u trenutku kada tlak vode postaje jednak ili manji od tlaka zasićenja vodene pare. Nastaju mjehurići pare u struju fluida koji dolaskom na mjesto višeg tlaka naglo kondenziraju i dolazi do naglog povišenja tlaka praćenog šumovima i vibracijama. Pojavom kavitacije dolazi do povećanja gubitaka, a moguća su i mehanička oštećenja. Razlika između pumpi i turbina je na mjestu gdje nastaje kavitacija. Kod pumpi najniži tlak je na ulazu u rotor, dok je kod turbina najveća šansa pojave kavitacije na izlazu iz turbine jer su ti najniži tlakovi nakon što voda preda svoju energiju lopaticama rotora.

98. Nacrtajte Q-H krivulju pumpe, 2 pumpe u paraleli i seriji

Pumpe spajamo u seriju kad nam treba veći porast tlaka(head) pumpe, a u paralelu kad nam treba veći protok kroz pumpu. Zbrojeni H i Q neće biti poduplani ako spajamo dvije jednake pumpe nego će biti nižeg iznosa.



99. Po zakonima sličnosti korelirajte volumni protok i brzinu vrtnje

Zakoni sličnosti služe da se na manjem geometrijskom modelu utvrde određeni proračuni, da se onda sva potrebna svojstva velikih pumpi i turbina mogu približno točno odrediti uz zakone sličnosti. Osnovni zakoni sličnosti su:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right) \cdot \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 ; \quad \frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 ; \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^3 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5 \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1} , \text{ gdje je } Q \text{ protok pumpe, } h$$

potisak pumpe, P snaga, ω brzina vrtnje rotora, ρ je gustoća fluida i D promjer rotora.

Sljedeći zadaci su riješeni onako kako je na slajdovima uzimajući u obzir u prva tri pitanja da su promjeri isti, a u sljedeća tri pitanja da su brzine vrtnje jednake.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

100. Po zakonima sličnosti korelirajte snagu turbine i brzinu vrtnje

$$\frac{\dot{W}_{\text{shaft1}}}{\dot{W}_{\text{shaft2}}} = \frac{\omega_1^3}{\omega_2^3}$$

101. Po zakonima sličnosti korelirajte potisak i brzinu vrtnje

$$\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}$$

102. Po zakonima sličnosti korelirajte volumni protok i promjer rotora

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1^3}{D_2^3}$$

103. Po zakonima sličnosti korelirajte snagu turbine i promjer rotora

$$\frac{\dot{W}_{\text{shaft1}}}{\dot{W}_{\text{shaft2}}} = \frac{D_1^5}{D_2^5}$$

104. Po zakonima sličnosti korelirajte potisak i promjer rotora

$$\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \frac{D_1^2}{D_2^2}$$

105. Što je specifična brzina, formula?

Specifična brzina (rad/s) je brzina turbine po jedinici pieziometričke visine kada proizvodi jedinicu snage. To omogućava da nova konstrukcija turbine bude određena postojećom konstrukcijom poznatih radnih svojstava. Specifična brzina je također glavni kriterij za određivanje pravilnog tipa turbine za određeno hidro-postrojenje.

Tipične specifične brzine su: impulsne - 1 do 10, pelton - oko 4, francis - od 10 do 100, kaplan - 100 i više.

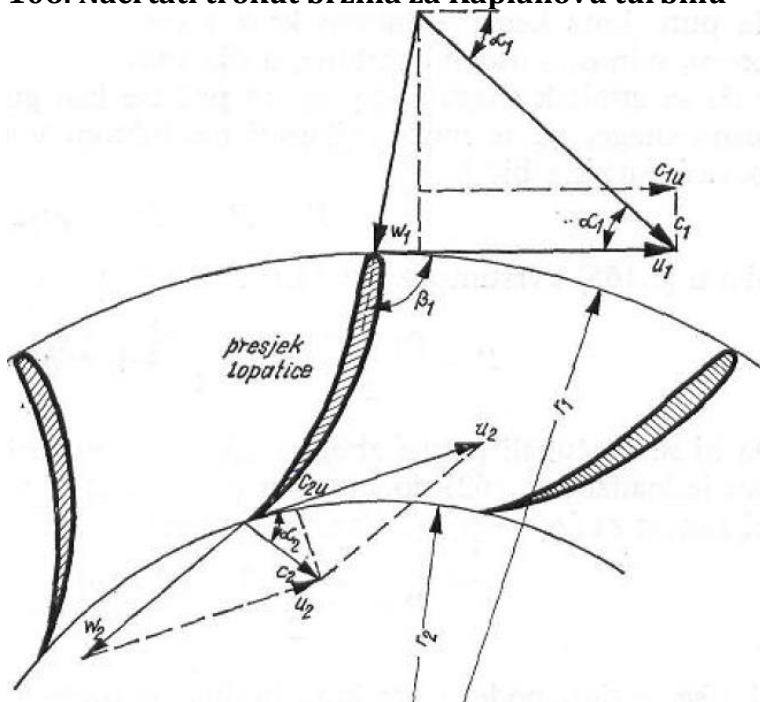
$$n_s = n\sqrt{P}/H^{5/4}$$

n – brzina rotora

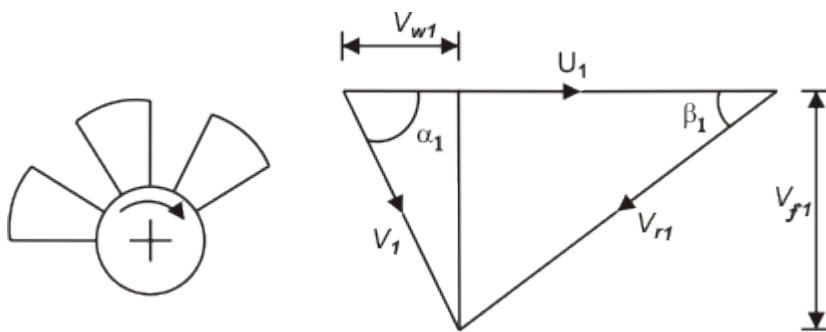
P – snaga turbine

h – visina vode

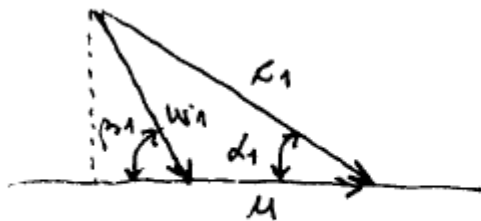
106. Nacrtati trokut brzina za Kaplanovu turbinu



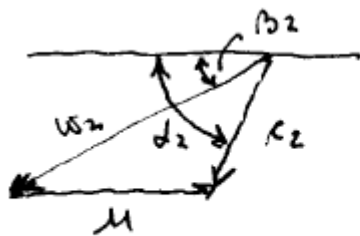
ili



107. Nacrtati trokut brzina za Peltonovu turbinu

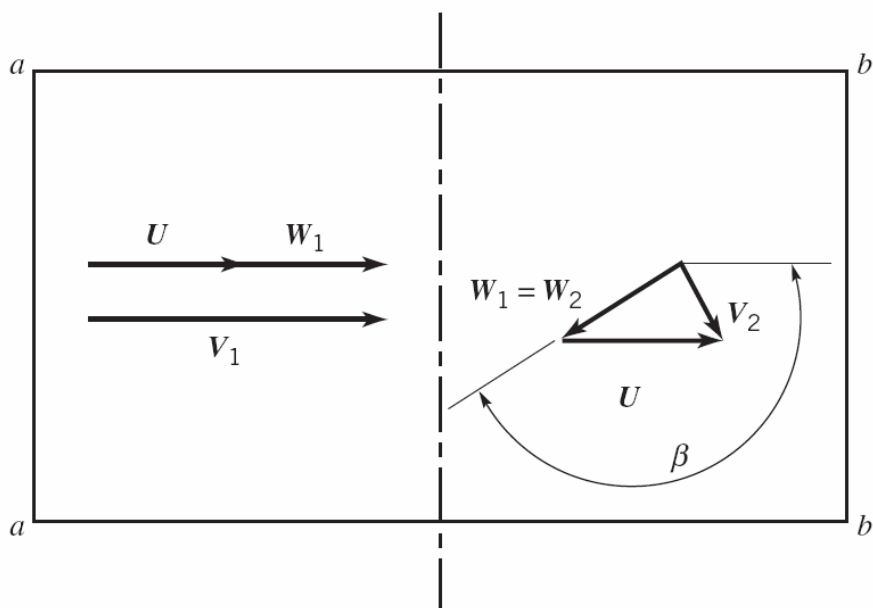


Slika 12.7 Ulazni trokut brzina (odnos između apsolutne, relativne i prijenosne ulazne brzine)

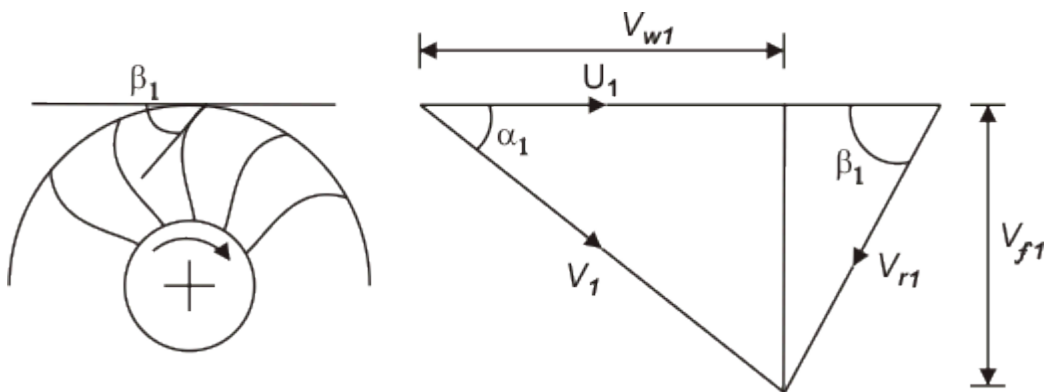


Slika 12.8 Izlazni trokut brzina (odnos između apsolutne, relativne i prijenosne izlazne brzine)

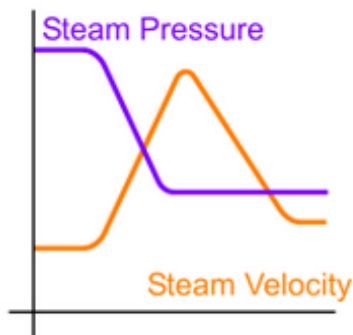
ILI!



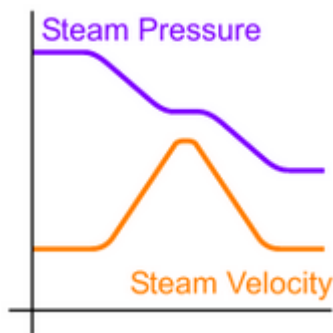
108. Nacrtati trokut brzina za Francisovu turbinu



109. Prikazati ovisnost tlaka i brzine za akcijsku aksijalnu turbinu

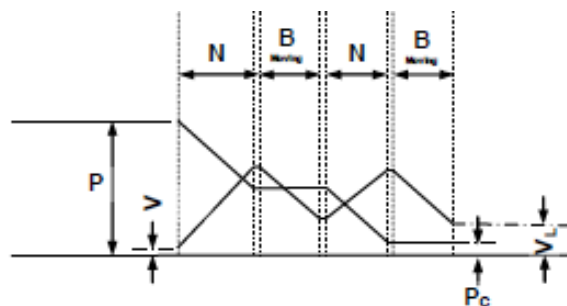


110. Prikazati ovisnost tlaka i brzine za reakcijsku aksijalnu turbinu



111. Prikazati ovisnost tlaka i brzine za Rateau stupanj parne turbine

Para prolazi kroz prvi set sapnica gdje joj se smanjuje pritisak, a povećava ubrzanje. Tada prolazi kroz prvi red pokretnih lopatica gdje se brzina pare smanjuje zbog rotacijske sile koja djeluje na nju. Para tada ulazi u drugi red fiksiranih sapnica gdje još jednom gubi pritisak dok joj se brzina povećava. Nakon toga prolazi kroz drugi red pokretnih lopatica i opet joj se brzina smanjuje zbog utjecaja rotacijske sile. Na dijagramu je prikazan drugi red sapnica te su na njemu prikazani minimalni gubitci pare oko sapnica nastali zbog velikog pada tlaka u sapnicama.

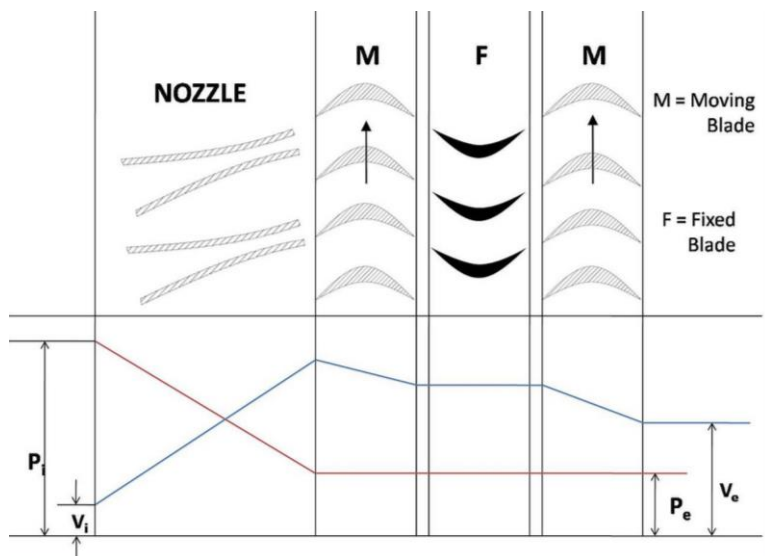


P – pressure of steam entering turbine
V – velocity of steam entering turbine
N – nozzle (fixed blade)
B – blades (moving and fixed)
 P_c – Condenser pressure
 V_L – velocity of steam leaving turbine

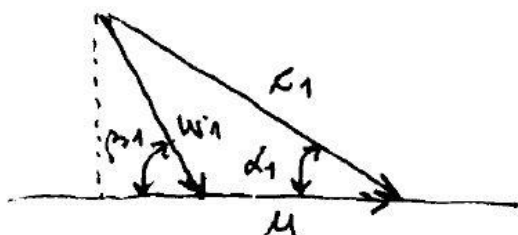
112. Prikazati ovisnost tlaka i brzine za Curtis stupanj parne turbine

Curtis stupanj parne turbine – stupnjevanje brzine

Curtisove turbine – turbine s konstantnim tlakom nakon izlaza iz prvog reda sapnica pa sve do izlaza iz zadnjeg stupnja (idealni fluid), a kod stvarnog fluida pojavljuje se mala razlika tlaka zbog otpora trenja. Također, Curtisova turbina preobrazi značajno više toplinske energije u kinetičku energiju po jednom stupnju u odnosu na akcijske i reakcijske turbine.

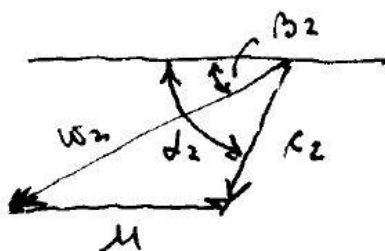


113. Nacrtati trokut brzina za aksijalnu parnu turbinu



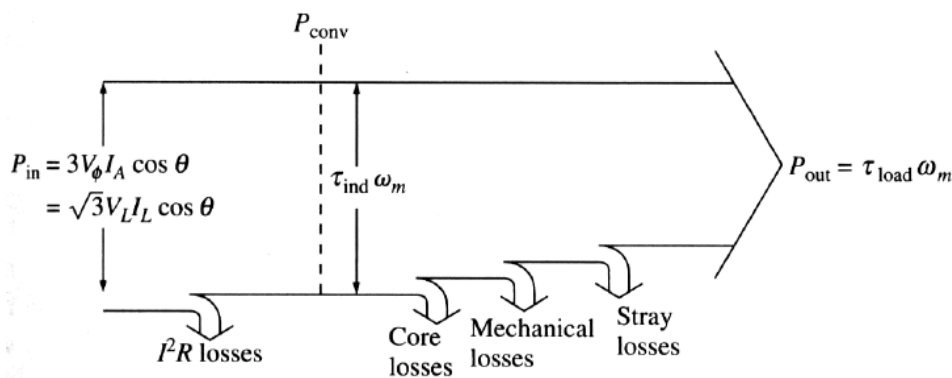
Slika 12.7 Ulazni trokut brzina (odnos između apsolutne, relativne i prijenosne ulazne brzine)

$$c_1 \cos \alpha_1 = w_1 \cos \beta_1 + u \quad \text{i, slika 12.8,}$$

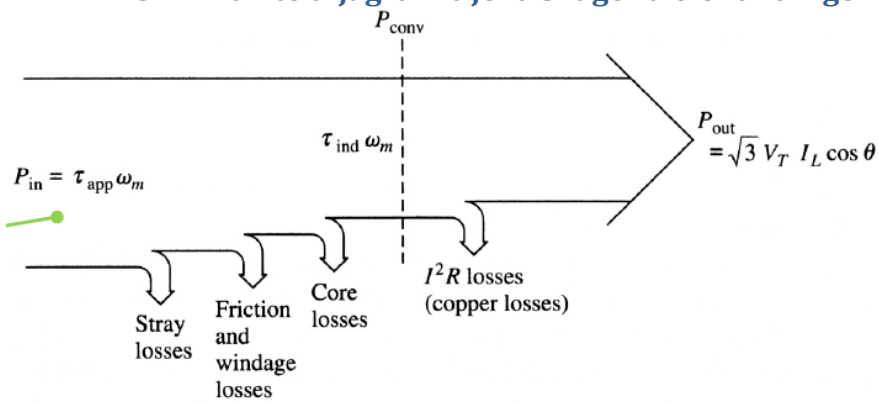


Slika 12.8 Izlazni trokut brzina (odnos između apsolutne, relativne i prijenosne izlazne brzine)

114. Prikazite dijagram tijeka snage za električni motor



115. Prikazite dijagram tijeka snage za električni generator

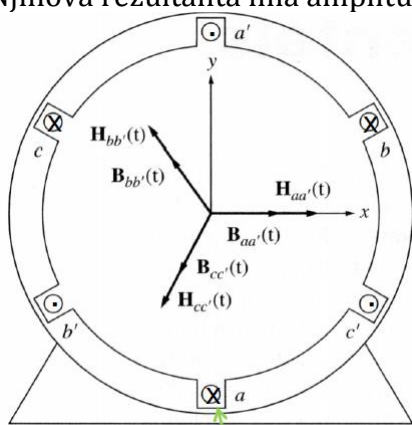


116. Napišite izraz za moment na osovini električnog stroja

$$\tau_{ind} = \frac{3V_{\phi} E_A \sin \delta}{\omega_m X_S}$$

117. Što je okretno magnetsko polje i kako nastaje

Kada kroz tri prostorno pomaknuta namota (120 stupnjeva mehanički) teku tri fazno pomaknute struje (električni fazni pomak od 120) rezultatno protjecanje bit će okretno. Inverzne komponente protjecanja svake faze će se poništiti dok će direktne se zbrojiti. Njihova rezultanta ima amplitudu koja je 1.5 puta veća od protjecanja jedne faze.



118. Koje su osnovne prednosti trofaznog stroja u odnosu na jednofazni

Kako bi se osigurali što manji gubici i što mirniji rad. Teško je napraviti okretni stroj sa dvije ili jednom fazom da bude „glatko“. Za trofazne motora i generatore najveća je proizvodnja energije po kilogramu materijala.

119. Napišite izraz za inducirani napon u vodiču generatora

$$e_{ind} = N_c \phi \omega_m \cos \omega_m t$$

120. Napišite izraz za silu na vodič motora

$$F = i(\mathbf{l} \times \mathbf{B}) = ilB_s \sin \alpha$$

121. U čemu su sve razlike sinkronog i asinkronog stroja

-rotor sinkronog stroja vrti se sinkronom brzinom okretnog magnetskog polja, brzina rotora asinkronog stroja se razlikuje za relativni iznos klizanja s

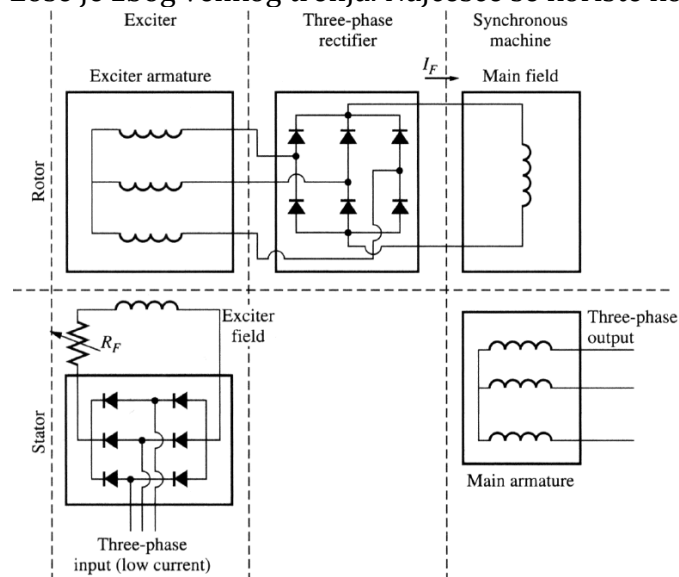
-sve struje u asinkronom motoru (armature i rotora) su izmjenične dok kod sinkronih struja armature je izmjenična, a struja uzbude istosmjerna

122. Kako se izvode uzbude velikih sinkronih generatora

Uzbude se izvode pomoću četkica (brush) i bez njih (brushless)

Izvedba sa četkicama direktno prenosi istosmjernu struju s uzбудnika na uzбудni namot.

Loše je zbog velikog trenja. Najčešće se koriste kod manjih generatora.

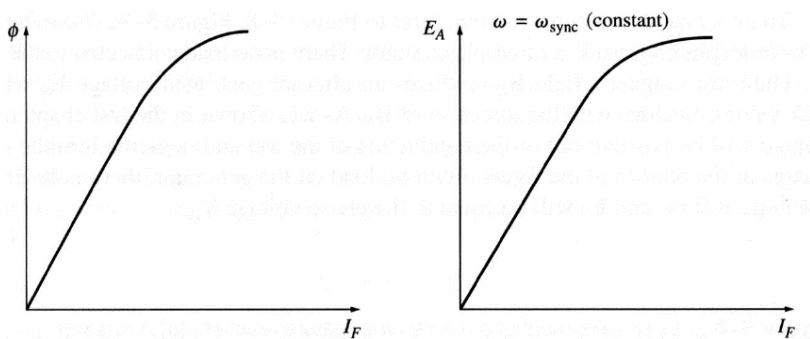


U izvedbi bez četkica postoji sekundarni namot u rotoru motora. Sa strane rotora pusti se istosmjerna struja koju namoti na rotoru vide kao okretno magnetsko polje i u njima se inducira izmjenična struja. Ta izmjenična struja se ispravi na ispravljaču i dovede na rotorski namot.

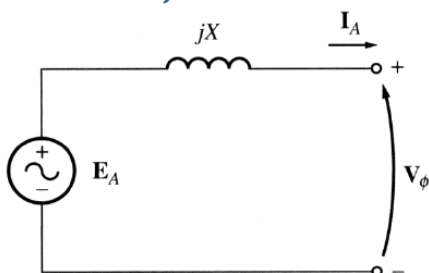
123. Koja je veza električnog i mehaničkog kuta električnog stroja

Veza se postavlja preko broja pari polova p: $\alpha_g = \frac{\alpha_e}{p}$

124. Nacrtajte krivulju magnetizacije sinkronog generatora



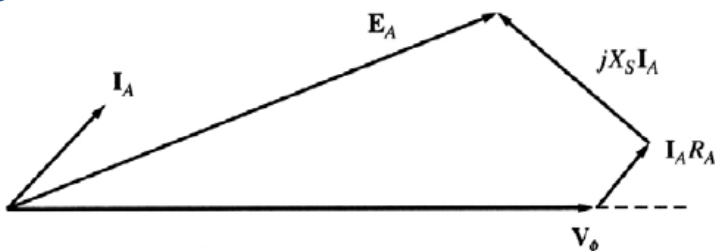
125. Nacrtajte ekvivalentnu shemu sinkronog stroja (jednofaznu)



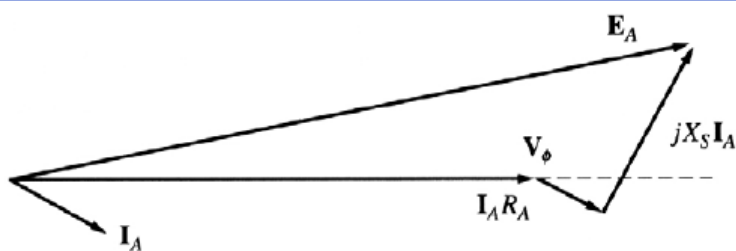
126. Nacrtajte jednostavni fazni dijagram radno opterećenog sinkronog generatora



127. Nacrtajte jednostavni fazni dijagram kapacitivno opterećenog sinkronog generatora



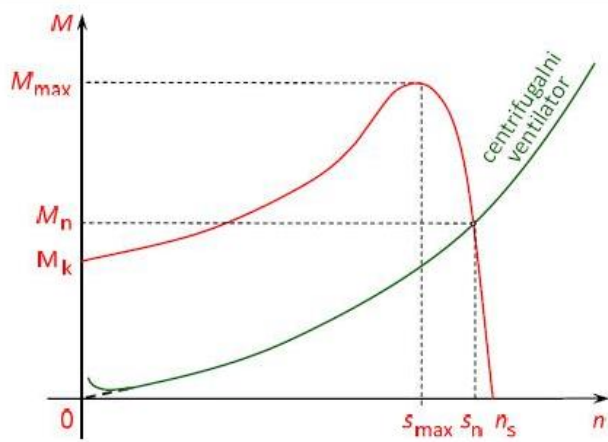
128. Nacrtajte jednostavni fazni dijagram induktivno opterećenog sinkronog generatora



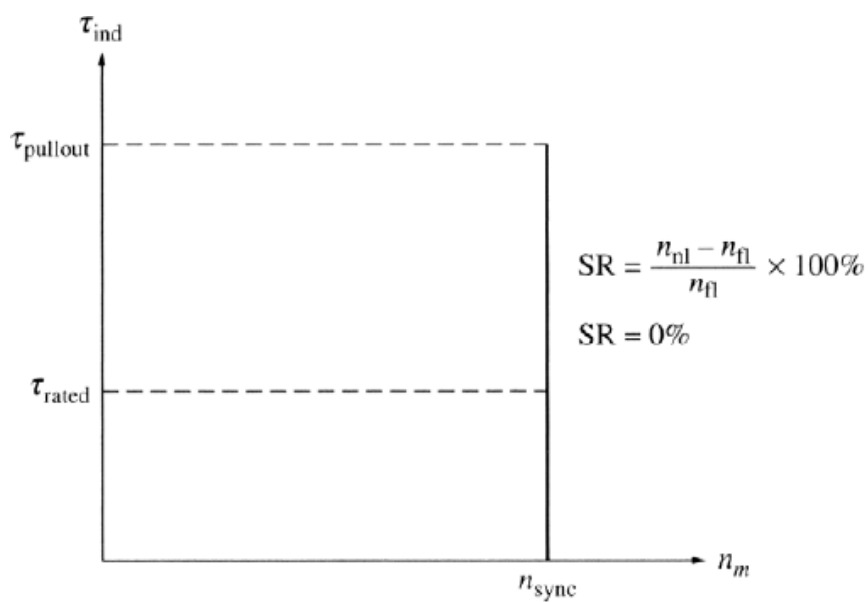
129. Napišite izraz za električni moment na osovini sinkronog generatora

$$\tau_{ind} = \frac{3V_{\phi} E_A \sin \delta}{\omega_m X_S}$$

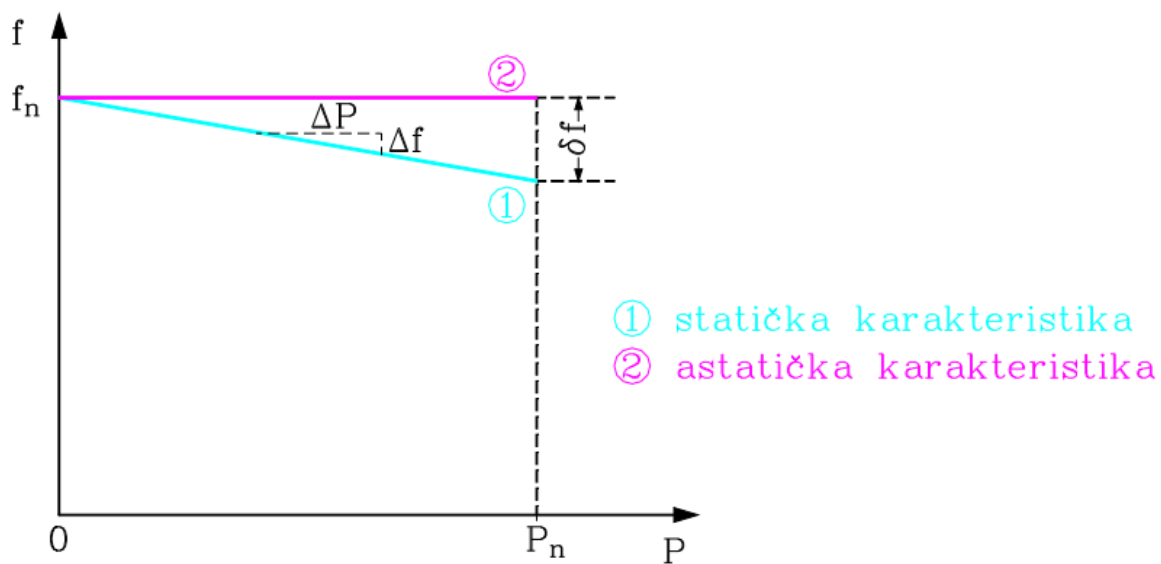
130. Nacrtajte momentu karakteristiku asinkronog stroja



131. Nacrtajte momentu karakteristiku sinkronog stroja



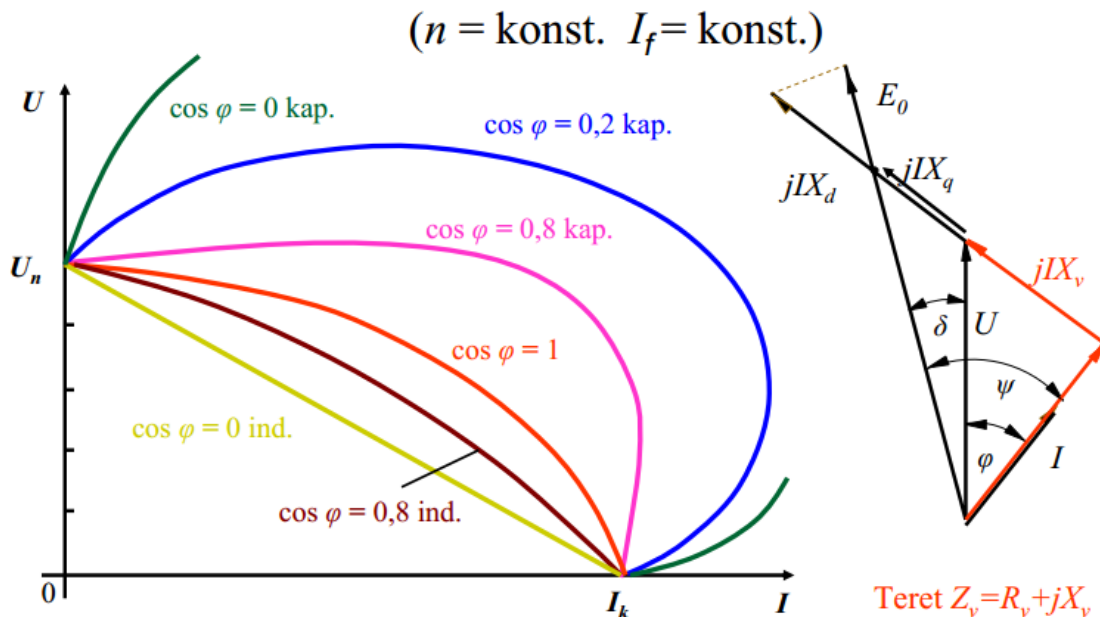
132. Nacrtajte i označite brzinsku karakteristiku sinkronog generatora za otočni rad



Astatički regulator turbinskog ventila/zatvarača radi zadovoljavajuće kada generator radi u otočnom pogonu.

133. Nacrtajte i označite naponsku karakteristiku sinkronog generatora za otočni rad

Vanjske karakteristike SG u radu na vlastitu mrežu



Rad sinkronog generatora na vlastitu mrežu

- Na veličinu frekvencije i napona utječe i trošilo.
- **Regulacijom uzbude regulira se napon, a regulacijom brzine vrtnje** pomoću regulatora na pogonskom stroju **regulira se frekvencija**.
- Da bi dobili željenu frekvenciju napona pogonski stroj treba davati onoliku snagu kolika se troši na radnoj komponenti trošila. Ta snaga ovisi o naponu. Da bi dobili željeni napon treba regulirati uzбудnu struju.
- Za razliku od rada na krutoj mreži kad mreža guta sve što joj agregat može dati, u radu na vlastitoj mreži trošilo diktira zahtijevanu djelatnu i jalovu snagu. Trošilo diktira faktor snage.

134. Koji su izazovi i potencijalne prednosti izvedbe termoelektrane sa superkritičnim CO₂?

Razvoj USC (ultra super kritični parametri) parametara predstavlja povećanje tlaka, a naročito povećanje temperature pregrijane pare. Osnovni problemi u povećanju USC parametara bili su u izboru materijala, tehnologijama zavarivanja i iznenađujućim korozivnim pojavama. Danas se slobodno može reći da su ovi problemi riješeni nakon desetina tisuća MW instaliranih snaga. USC parametri u odnosu na SC parametre omogućuju uštedu od 7-8% u potrošnji goriva za snagu iste elektrane, a time nastavno i smanjenje potreba za rashladnom vodom, vapnencem, te smanjenje količine nusprodukata procesa kao što su pepeo, otpadne vode, gips, te emisije u okoliš.

135. Objasnite na što se misli pod direktnom energijskom pretvorbom i navedite četiri primjera.

Neposredne (direktne) pretvorbe → pretvorbe u električnu energiju bez uporabe kružnih procesa. Primjeri direktne energijske pretvorbe su:

- Fotonaponski efekt
- Termoelektrični efekt
- Termoionski efekt
- Magnetohidrodinamički proces

Gorivni članci predstavljaju uz fotonaponske članke najzanimljiviju direktnu pretvorbu. Piezoelektricitet i statički elektricitet su također predstavnici direktne transformacije kemijske energije.

136. Objasnite koji efekti objašnjavaju termoelektričnu pretvorbu i navedite osnovne relacije.

Seebeckov efekt → Stacionarni napon, bez struje: $\Delta V = -S\Delta T$, pri čemu je S Seebeckov koeficijent, $S = -0,001$ do $S = 1,0$ mV/K, koeficijent ovisi o kristalnoj strukturi, onečišćenjima, temperaturi. Ovaj efekt omogućava direktnu proizvodnju električne energije korištenjem topline.

Peltierov efekt → Oslobođena ili preuzeta toplina proporcionalna je struji: $Q = (\pi_A - \pi_B) * I$, pri čemu je π Peltierov koeficijent za materijale A i B. Ovaj efekt obrnut je Seebeckovom efektu. Ovaj efekt opisuje pojavu zagrijavanja i hlađenja kada struja protječe kroz dva različita vodiča ovisno o smjeru struje.

Thomsonov efekt → Toplinski tok za struju gustoće J i gradijent temperature: $q = -\tau J \nabla T$, τ – Thomsonov koeficijent, $\tau = T \frac{dS}{dT}$, protjecanje struje kroz jedan vodič s temperaturnim gradijentom povratljivo zagrijava i hladi.

137. Navedite prednosti i nedostatke termoelektričnih uređaja te glavnu prepreku daljnjem razvoju.

Prednosti:

- Rade na električnom principu bez potrebe dijelova što značajno pojednostavljuje održavanje
- Ne stvaraju buku ni električni šum, pa se mogu koristiti zajedno s osjetljivim elektroničkim senzorima
- U usporedbi s mehaničkim sustavima hlađenja mnogo su manji i lakši te iste snage, a u radu ne koriste nikakve kemikalije ili plinove koji mogu biti štetni za okolinu
- Isti modul može poslužiti za grijanje i hlađenje ovisno o polaritetu priključenog istosmjernog napona, odnosno nema potrebe za odvojenim funkcijama grijanja i hlađenja
- Zbog poluvodičke konstrukcije posjeduju veliku pouzdanost, tipični vijek trajanja im je veći od 200 000 radnih sati što je više od 22 godine

Nedostaci:

- Bizmut (Bi) i Telurij (Te) su osjetljivi na termalne stresove
- Relativno mali stupanj pretvorbe kod hlađenja, a pogotovo kod većih temperaturnih razlika (problem kod većeg toplinskog opterećenja)

Glavna prepreka daljnjem razvoju:

Glavna prepreka daljnjem razvoju termoelektričnih uređaja, osim cijene materijala i nedostatak telurija na zemlji, održavanje razvnoteže. Ako želimo jednačenu jakost struje, treba održavati konstantnu razliku temperature.

znam da nije predetaljno, al to sam za sad nasao... budem jos potrazio