**PRIJENOS TOPLINE**  
  
Toplina – energija koja se prenosi između sustava kao posljedica razlika njihovih temperatura  
  
Termodinamika – bavi se količinom topline koja se oslobađa iz sustava u procesu prelaska iz jednog u   
 drugo ravnotežno stanje  
  
Prijenos topline – bavi se stopom prijenosa topline među sustavima i variranjem temperatura  
  
Kinetička teorija – molekule u pokretu imaju kinetičku energiju  
  
Kalorička teorija – toplina je tvar nalik fluidu bez mase, mirisa i boje ('kalorik') koja se može prenositi   
 među sustavima  
  
Toplina – energija povezana s nasumičnim kretanjem molekula  
  
Vrste energije: -toplinska  
 -mehanička  
 -kinetička  
 -potencijalna  
 -električna  
 -magnetska  
 -kemijska  
 -nuklearna  
  
Makroskopska energija – energija sustava u odnosu na njegov okvir  
Mikroskopska energija – na molekularnoj razini  
Unutarnja energija – zbroj kinetičke i potencijalne energije svih molekula  
Kinetička energija – sustav ju posjeduje u gibanju  
Potencijalna energija – sustav ju ima zbog elevacije u gravitacijskom polju ili odnosa/stanja prema   
 drugom sustavu  
  
Osjetna toplina – kinetička energija molekula  
Latentna toplina – unutarnja energija zbog faze sustava  
Kemijska energija (veza) – unutarnja energija u vezama među molekulama  
Nuklearna energija – energija u vezama unutar atoma  
  
Entapija: -funkcija stanja sustava  
 -mjera za unutarnji sadržaj toplinske energije  
 -vezana ili oslobođena toplina uz stalni tlak  
 -h= u + Pv  
 -u = unutarnja energija; Pv = energija (rad) toka  
  
  
Specifična toplina: -energija potrebna za podizanje temperature jedinice mase za 1 stupanj  
 -ovisi o temperaturi i tlaku  
 -idealni i nestlačivi plin ovise samo o temperaturi, a 'idealan' je pri niskom tlaku i   
 visokoj temperaturi  
 -cp = uz stalni volumen  
 -cv = uz stalni tlak  
  
Formule s 13. Slajda  
  
Stopa prijenosa topline – količina topline prenesena u vremenu  
Tok topline – stopa prijenosa topline po jedinici površine u smjeru prijenosa topline  
  
Formula 14. Slajd  
  
Prvi zakon termodinamike (očuvanje energije) – energija ne moža nestati niti nastati ni iz čega, već   
 samo mijenjati oblik  
  
Promjena energije sustava = energija u sustav – energija iz sustava  
  
Stacionarni zatvoreni sustav – ukupna energija praktički jednaka unutarnjoj  
  
Formula 17. Slajd  
  
Kontrolni volumen – volumen pod stacionarnim uvjetima rada, kontrola protoka mase u otvorenom   
 sustavu  
  
Maseni protok – količina mase kroz presjek u jedinici vremena  
  
Volumni protok – volumen kroz presjek u jedinici vremena  
  
Formula 18. Slajd  
  
Vrste prijenosa topline:  
Kondukcija: -s energičnijih čestica na manje energične pri interakciji čestica  
 -plinovi i fluidi– sudar i difuzija čestica  
 -krutine – latentne vibracije i kretanje slobodnih elektrona  
 -toplinska kondukcija: -mjera sposobnosti materijala da vodi toplinu  
 -stopa prijenosa topline po jedinici debljine i površine po   
 temperaturnoj jedinici  
 -temperaturni gradijent – nagib temperaturne krivulje na T-x grafu  
 -prijenos topline u smjeru pada temperature  
 -samo kod neprozirnih krutina i mirujućih fluida  
  
slika 11. Slajd 2 predavanje  
Formula 21. I 22. Slajd  
Specifična toplina cp [J/(kg°C)] – toplinski kapacitet po jedinici mase  
Toplinski kapacitet ρcp [J/m3°C] – kapacitet po jedinici volumena  
Toplinska difuzivnost [m2/s]: -brzina prijenosa topline kroz materijal (kondukcija / toplinski kapacitet)  
 -mala difuzivnost – materijal uglavnom upije toplinu i mali dio provede  
  
Konvekcija: -između krute površine i fluida/plina u pokretu (kombinirana kondukcija i pokret fluida)   
 uz promjenu faze fluida; ovisna o brzini fluida i površini dodira  
 -prisilna – fluid tjeran vjetrom, pumpom…  
 -prirodna – zbog sila uzgona/razlike gustoća i temperatura dijelova fluida   
 (mjehurići u vodi)  
 -brži fluid – veći prijenost topline  
 -fluid stoji – prijenos u postpunosti kondukcijom  
 -konvekcija = kondukcija + gibanje fluida  
  
30. Slajd  
  
  
Radijacija: -elektromagnetskim valovima brzinom svjetlosti bez posredstva medija  
 -sva tijela iznad 0 stupnjeva emitiraju toplinsko zračenje  
 -volumna za plinove i fluide, površinska za krutine  
 -crno tijelo – idealna površina koja isijava maksimalnom stopom pri određenoj temperaturi  
 -emisivnost – mjera koliko dobro tijelo predstavlja crno tijelo [0, 1]  
 -apsorptivnost – radijacija energije upijena od površine  
 -fluidi najviše upijaju radijaciju  
 -Kirchoffov zakon – emisivnost i apsorptivnost na danoj temperaturi i valnoj duljini su   
 jednaki  
 -neto prijenos topline: -razlika emitirane i upijene radijacije  
 -ovisi o svojstvima površina, međusobnoj orijentaciji i djelovanju   
 površina  
 -radijacija + kondukcija kod poluprozirnih krutina  
34. Slajd  
  
35. Slajd  
  
32. Slajd  
  
33. Slajd  
  
  
  
  
  
  
  
**O FLUIDU**  
  
Tekućina - zauzima oblik posude u kojoj se nalazi, volumen ostaje jednak zbog jake kohezije među   
 molekulama fluida  
  
Plin: -kohezija molekula malena, nema sobodne površine u otvorenom prostoru  
 -plin - iznad kritične temperature  
 -para - agregatno stanje na graničnoj temperaturi prijelaza tekućina/plin, blizu kondenzacije  
  
Naprezanje je proporcionalno tangencijalnoj sili na površinu, fluid se nikad ne prestaje deformirati  
  
Tlak (pritisak) – na fluid u mirovanju  
  
Vanjski tok – neograničeni fluid preko površine (npr. lopte – vanjski tok preko nje, turbulentni iza   
 lopte)  
  
Unutarnji tok: -ograničeni fluid (npr. cijev)  
 -tok otvorenog kanala – ako cijev nije do vrha ispunjena fluidom  
Lamirani tok – 'uredni' tok fluida s glatkim slojevima i paralelnim strujnicama pri maloj brzini  
 (jako viskozni fluidi pri malim brzinama)  
Turbulentni tok – 'neuredni' tok s 'izmiješanim' slojevima pri velikoj brzini  
 (malo viskozni fluidi pri velikim brzinama)  
Tranzitni tok – izmjenjuje se između laminarnog i turbulentnog  
  
1D, 2D i 3 dimenzionalno strujanje (1D jednostavno strujanje rijeke, 2D oko auta u vožnji)  
  
Kontrolna masa – stalna masa koja ne prelazi granice  
Kontrolni volumen (otvoreni sustav) – masa i energija mogu prelaziti granice  
  
Intenzivna svojstva – ne ovise o masi/veličini sustava (temperatura, tlak, gustoća…)  
Ekstenzivna svojstva – ovise o masi/veličini sustava (masa, volumen)  
Specifična svojstva – ekstenzivna svojstva po jedinici mase  
  
Specifična gravitacija – omjer gustoće prema gustoći standardne tvari na određenoj temperaturi   
 (vodi na 4°C)  
  
Specifična težina – težina po jedinici volumena  
  
5. Slajd 5 predavanje  
  
Jednadžba stanja 8. Slajd (5)  
  
Temperatura zasićenja – temperatura pri kojoj tvar mijenja fazu pri danom tlaku  
Tlak zasićenja – tlak pri kojem tvar mijenja fazu pri danoj temperaturi  
Parcijalni tlak – tlak nekog plina ili pare na ostale plinove u miješavini plinova koju svi čine (npr. tlak   
 mjehurića na vodu u kojoj se nalazi; mješavina vode i zraka)  
  
Kavitacija – mjehurići koji kolabiraju pri napuštanju područja niskog tlaka stvarajući visokotlačne   
 valove  
  
  
13. Slajd (5)  
  
Koeficijent stlačivosti: -promjena tlaka u odnosu na promjenu volumena ili gustoće pri stalnoj   
 temperaturi (veliki koeficijent – veliki tlak za malu promjennu volumena)  
 -idealni plin – koeficijent jednak apsolutnom tlaku plina  
  
Izotermalna stlačivost – inverz koeficijenta stlačivosti  
  
18. Slajd (5)  
  
Koeficijent volumne ekspanzije – mijenjanje gustoće s temperaturom pri stalnom tlaku  
  
20 slajd (5)  
  
Brzina zvuka (sonična) – brzina kojom infinitezimalno mali tlak putuje kroz medij  
  
25. Slajd (5)  
  
Mah – omjer stvarne brzine u fluidu i brzine zvuka u tom fluidu u istim uvjetima  
  
29. Slajd (5)  
  
Viskoznost: -apsolutna - mjera trenja među slojevima fluida (najviše uz površinu) zbog kohezije   
 molekula  
 -dinamička – tangencijalna sila potrebna za pomak jednog sloja fluida u odnosu na drugi  
 -kinetička – omjer apsolutne viskoznosti prema gustoći fluida (F nije uključena)  
 -npr. ulje viskoznije od vode (sporije istječe od vode)  
 -tekućine – dinamička i kinetička neovisne o tlaku osim pri jako visokim temperaturama  
 -plinovi – dinamička neovisna o tlaku, kinematička proporcionalna tlaku  
  
31. I 32. Slajd (5)  
  
Površinska napetost [N\*m/m2]: -sila po jedinici duljine fluida  
 -molekule fluida neposredno ispod površine istog, kohezijom jače   
 privlače površinske molekule od medija iznad fluida (npr. zrak iznad   
 čaše vode) pa je površina zategnuta  
  
slajd 38. Slajd (5)  
Kapilarnost: -uzdizanje (elevacija; voda) ili spuštanje (depresija; živa) fluida u uskoj cijevi  
 -adhezija (sile između fluida i krutine, tj. stijenke) veća od kohezije (sile među   
 molekulama fluida)  
  
slajd 41 (5)  
  
  
**SILE TLAKA NA STIJENKE**  
  
Pretlak – tlak viši od atmosferskog  
  
Pascalov zakon – čestice nestlačivog fluida (u zatvorenoj posudi) prenose tlak jednako na sve strane   
 (npr. hidraulička preša) uz očuvanje mase i energije  
  
Statički moment homogenog ravnog lika:  
slajd 5. (6)  
  
Okomita komponenta sile tlaka na plohu – težina realnog/imaginarnog stupca fluida iznad plohe  
  
Hidrostatski paradoks - sila tlaka na vodoravno dno ne ovisi o obliku spremnika, već o gustoći fluida  
  
Visine stupaca fluida u spojenim posudama su jednake  
  
Uzgon: -sila suprotna sili teži koja pokušava tijelo izbaciti iz fluida; uronjeno tijelo pod histrostatskim   
 tlakom sa svih strana  
 -ρtijelo > ρfluid – tijelo tone  
 -ρtijelo = ρfluid –tijelo lebdi u fluidu  
 -ρtijelo < ρfluid – tijelo pluta (izbačeno na površinu)  
 -stabilnost uronjenog tijela: -linearna (linearni pomak izaziva F koja vraća u početni položaj)  
 -rotacijska (kutni pomak -||-)  
 -težište tijela ispod težišta istisnine na okomici  
  
Arhimedov zakon – uronjeno tijelo gubi na težini onoliko kolika je težina istisnutog fluida  
slajd 31 (6)  
  
 **SPECIFIČNI TLAK**  
  
Tlak – okomita sila fluida na jedinicu površine  
  
Apsolutni tlak – stvarni iznost tlaka u točki  
  
Nad/pod/pretlak – razlika tlakova  
  
Vakuumski tlak – tlak ispod atmosferskog  
  
Površinska sila: -raspodijeljena na stijenke zbog privlačnih/odbojnih sila molekula i njihove kinetičke   
 energije  
 -zamjenjuje utjecaj uklonjenog fluida iznad elementa površine  
 -vlak ili tlak  
 -koncentrirana sila – poseban slučaj površinske sile na jako malu površinu  
  
Specifični tlak: -tlak u točki unutar fluida (F/A)   
 -mijenja se od točke do točke pod utjecajem sile teže (veća dubina – veći tlak), okomit   
 na površinu u točki, neovisan o smjeru/orijentaciji plohe (skalar)  
 -pretpostavka – djeluje u težištu plohe  
 -mirujući realni fluid – trenje u fluidu samo u slučaju gibanja  
 -realni fluid u gibanju – ima trenja, sila nagnuta prema površini (tang. i norm.   
 komponenta)  
  
Masene sile na fluid  
  
Površinske sie fluida na tijela  
  
Uvjeti mirovanja fluida: -ograničeno širenje   
 -Newtonova mehanika   
 -rezultantna masena sila na fluid u ravnoteži s prirastom tlaka u fluidu  
 -masene sile konzervativne (ovise samo o početnoj i krajnjoj točki, izvedene   
 iz funkcije polja sile)  
 -gustoća fluida konstanta ili promjenjiva u ovisnosti samo o tlaku  
 -fluid miruje – postoji samo normalna komponentna na plohu  
 -fluid miruje ako gustoća ovisi samo o tlaku (temperatura konstantna)  
 -fluid ne miruje ako se gustoća i temperatura mijenjaju u prostoru (strujanje   
 mase)  
  
  
Funkcija polja sile: -negativna vrijednost jednaka potencijalu polja sile teže  
 -izvodi konzervativne sile  
Ekvipotencijalne plohe: -kretanjem po plohi (koordinatama) istog tlaka, prirast tlaka jednak nulli  
 -sila teža na fluid – ekvipotencijalne plohe su vodoravne  
  
  
  
  
  
  
  
**SILE TLAKA**  
Apsolutni tlak – tlak mjeren od apsolutne nule (vakuuma)  
Hidrostatski tlak – uzrokovan težinom fluida  
Hidraulički tlak – narinuti tlak  
Težinu elementa fluida uravnotežuje prirast tlaka  
Razlika između razina vode u kracima spojene posude jednaka je razlici visine tlaka na tim razinama  
  
Barometar – mjeri atmosferski (apsolutni) iznos tlaka u točki  
  
Manometar (U-cijev) – mjeri male i srednje razlike tlakova (ne i apsolutni)  
  
Piezoelektrik – krutine koje prenose tlak generiranjem električnog potencijala u kristalu pod   
 pritiskom  
  
  
**MIROVANJE FLUIDA**  
  
Pretpostavke: -fluid kao kruto tijelo ubrzavano stalnim pravocrtnim ubrzanjem ili u kružnom gibanju   
 sa stalnom kutnom brzinom  
 -nema relativnog gibanja čestica fluida, sve se gibaju istom brzinom  
 -nema smičnog naprezanja u fluidu  
  
Inercijski sustav: -dva referentna sustava gibaju se jedan u odnosu na drugog stalnom brzinom  
 -gibanje u odnosu na inercijski sustav – apsolutno  
 -gibanje u odnosu na neinercijski sustav – prijenosno  
 -ubrzanje fluida u neinercijskom prostoru ovisi o ubrzanju tog fluida u inercijskom   
 sustavu i neinercijskom sustavu mjerenom iz inercijskog sustava  
 -rezultantna (masena + površinska + sila tlaka) + inercijska sila = naprezanje fluida  
 -ako nema inercijske sile, nema smičnog naprezanja  
 -inercijska sila (Coriolisova, centrifugalna…) posljedica promjene translatorne brzine  
  
Površinska sila – masena (inercijska) sila + sila teže na vodu  
  
Coriolisova sila: -dodatna inercijska sila ovisna o brzini tijela koja djeluje na to tijelo u rotirajućem   
 prostoru  
 -okomita na ravninu gibanja tijela  
 -rad jednak nuli  
   
  
Kontinuum – čestice fluida djeluju međusobno i s okolinom  
  
  
  
Strujanje fluida: -protjecanje, optjecanje, kombinacija, (ne)stacionarno  
 -smično naprezanje  
 -neravnoteža normalnog naprezanja (tlakova)  
 -gibaju se čestice fluida, a ne njegove molekule  
 -za opis, treba znati raspored unutrašnje površinske F u materijalnom volumenu i   
 vanjske F preko granične površine (jednadžba količine gibanja)  
 -stacionarno strujanje – nema mjesne akceleracije  
 -veća brzina strujanja – manja gustoća  
 -uzroci: -masena (volumenska) sila  
 -površinska sila  
 -sila viskoziteta  
 -elastična sila  
 -Lagrangeova analiza: -staza koju prijeđe označena čestica, lokacija čestice kao   
 funkcije vremena ('termometar' na čestici)  
 -za homogene fluide  
 -Eulerova analiza: -bilježenje brzine (kao funkcije vremena) čestica u određenim   
 točkama prostora   
 -'termometar' u fiksnoj točki prostora glumi česticu koja se giba   
 kroz nestacionarno temperaturno polje   
 -temperatura je veličina stanja  
 -Euerova jednaždba – strujanje idealnog fluida pod utjecajem sile   
 teže  
 -lokalna vremenska derivacija - brzina promjene veličine u zadanoj   
 točki  
 -konvektivna (prijenosna) vremenska derivacija:  
 -brzina promjene veličine s promjenom položaja čestice u   
 prostoru  
 -transformira Lagrangeovu u Eulerovu analizu strujanja  
 -brzina promjene temperature čestice ovisi o:  
 -smjeru gibanja i brzini čestice  
 -razdiobi temperature u prostoru (gradijent)  
   
   
Strujnice: -smjer gibanja većeg broja čestica fluida u istom trenutku (slične silnicama)  
 -tangente su im vektori brzina  
 -više strujnica = strujna cijev (fluid ne može proći kroz granicu te cijevi)  
 -stacionarno strujanje – strujnice ne mijenjaju oblik i položaj  
 -nestacionarno strujanje – mijenjaj oblik i položaj, staza i strujnice se ne podudaraju  
 -dobivene serijom snimljenih krivulja čestica  
  
Vrste gibanja čestica: translatorno, rotacijsko, linearno istezanje, mijenjanje oblika bez promjene   
 mase  
  
  
  
Jednadžba količine gibanja: -fluid u materijalnom volumenu ograničenim površinom  
 -vrijedi u inercijskom prostoru  
 -rezultat vanjskih površinskih sila – diferencijal površinske sile kojom   
 čestice izvan materijalnog volumena   
 dodirom djeluju preko plohe na fluid   
 unutar tog volumena  
  
slajd 23, 76  
  
Bernouillijeva jednadžba: -jednodimenzionalno stacionarno strujanje idealnog (neviskoznog,   
 nestlačivog) fluida duž jedne strujnice  
  
  
  
**PRINCIP OČUVANJA MASE ZA KONTROLNI VOLUMEN**  
  
Masa u kontrolnom volumenu u trenu t+Δt je zbroj mase u trenu t i rezultantnoj masi 'ušlo-izašlo' u KV u intervalu Δt  
  
Zbroj sila na masu u KV = promjena KG mase u KV + razlika promjene KG što ulazi i izlazi u KV  
 -  
7. slajd  
  
Jednadžba kontinuiteta: -promjena mase u KV je razlika ulaznog i izlaznog masenog protoka  
 -3D strujanje – Eulerov pristup  
 -stacionarno strujanje – koliko mase uđe u Δt, toliko i izađe  
11. Slajd  
  
25. slajd  
Maseni protok   
16. Slajd)  
  
Reynoldsov transportni teorem: -prijelaz sa sustava na kontrolni volumen, analogan materijalnoj   
 vremenskoj derivaciji za infinitezimalne volumene  
 -mijenja se gustoća s koordinatom, KV stalnog obujma  
  
  
Izotropnost fluida – gustoća u svakoj točki jednaka neovisno o smjeru  
  
slajd 62.  
  
  
  
**PRINCIP OČUVANJA KOLIČINE GIBANJA ZA INERCIJSKI KONTROLNI VOLUMEN**  
  
Prvi Newtonov zakon – ako je rezultantna sila na tijelo jednaka nuli, tijelo se giba jednolikom brzinom   
 ili miruje  
  
Drugi Newtonov zakon – rezultanta vanjskih sila rezultira promjeni KG u tom smjeru  
  
Treći Newtonov zakon – zakon akcije i reakcije, sila je jednaka protusili  
  
Jednadžbe vrijede za količinu fluida poznate mase  
  
Princip OKG za inercijski KV - određuje sile na fluid koje uzrokuju promjenu KG u KG i KG protoka   
 fluida preko kontrolne površine KV-a  
  
Sila teže zanemariva prema površinskim silama  
  
Sila p1A1 utiskuje fluid u KV, p2A2 istiskuje  
  
Rezultantna sila na cijev = djelovanje fluida u/izvan cijevi na cijev uz vrijednosti nadtlaka/podtlaka  
slika 46. (12)  
  
Rezultantni tlak na D i rezultantne sile u smjeru osi X = 0  
  
Reakcija mlaza: -princip očuvanja mase (nestlačivost) i energije  
 -mlaz izlazećeg fuida djeluje silom u suprotnom smjeru od izlazne brzine na stijenku   
 posude  
 -sila tlačenja fluida od stijenke proporcionana dvostrukom specifičnom tlaku na   
 određenom mjestu  
 -promjena brzine strujanja fluida do c2x  
  
Akcija mlaza - mlaz ulazećeg fluida u KV djeluje silom u smjeru ulazne brzine  
  
Veličina sila mjeri se temeljem relativnog (nad/pod/pre)tlaka u težištu kontrolne površine  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
**PRINCIP OČUVANJA KOLIČINE GIBANJA ZA NEINERCIJSKI VOLUMEN**  
  
Zbroj površinskih i masenih sila na fluid unutar KV, uanjen za sile inercije, jednak je brzini promjene KG u KV plus brzini promjene protoka KG kroz kontrolnu površinu KV (kako vidi neinercijski sustav)  
  
Tri komponente derivacije vektora položaja: -tangencijalno i centripetalno ubrzanje u odnosu na   
 koord. osi  
 -relativno ubrzanje točke u odnosu na neinercijski sustav  
 -uzajamno djelovanje prijenosnog i relativnog gibanja   
  
Coriolisovo ubrzanje: -posljedica promjene relativne i prijenosne brzine zbog   
 -relativnog gibanja točke (mijenjanje prijenosne brzine)  
 -rotacijskog prijenosnog gibanja (mijenjanje pravca relativne brzine u odnosu   
 na inercijski sustav)  
 -jednako nuli: -koord. sustav giba se translatorno u odnosu na inercijski (**ω**=0)  
 -točka se ne giba u neinercijskom koord. sustavu (**c**=0)  
 -ako su vektori **ω** i **c** paralelni  
  
Sile u neinercijskom prostoru: -pretpostavljeno relativnog gibanje točke promatrano iz neinercijskog   
 prostora  
 -aktivne sile i reakcije veza sa stajališta inercijskog sustava  
 -prijenosna sila inercije sa stajališta neinercijskog sustava  
 -Coriolisova sila inercije  
  
\*Aspirator – cijev koja proizvodi vakuum Venturijevim efektom, sužava se povećavajući brzinu i   
 snižavajući tlak fluida  
  
\*Difuzor (odsisna cijev) – uz aspirator, služi smanjenju izlaznih gubitaka energije; smanjuje brzinu   
 fluida na izlazu iz turbine