

PRIMJERI ISPITNIH PITANJA

ZA

USMENI ISPIT IZ UVODA U TERMODINAMIKU

(Upute za uporabu: vidjeti na kraju!)

A Osnovni pojmovi

1. Što su veličine stanja? Nabrojite sve s kojima smo se služili i napišite njihove mjerne jedinice!
2. Što se mjeri s pomoću manometra i U-cijevi? Smijemo li na njima očitane vrijednosti izravno unositi u formule s kojima računamo (primjerice u jednadžbu stanja idealnog plina)?
3. Nabrojite sve oblike energije koje neki sustav može sadržavati! Koje su im značajke? Kojim se mjernim jedinicama izražavaju?
4. Nabrojite prijelazne oblike energije! Koliko ih ima i kako su definirani (riječima)? Jesu li oni veličine stanja? Kako se nazivaju (i kojim se mjernim jedinicama izražavaju) u zatvorenom, a kako u otvorenom sustavu?
5. Što je toplinski kapacitet tijela i kako je definiran? Što je specifični, a što molarni toplinski kapacitet tijela i kako su definirani? Može li toplinski kapacitet biti "beskonačan"?
6. Što su to "ravnotežni procesi"? Koje uvjete mora ispunjavati tijekom procesa da bi ga mogli smatrati ravnotežnim? Koliko ravnotežnih uvjeta treba biti narušeno da bi proces bio neravnotežan?
7. Kako glasi "prvi postulat ravnoteže"?
8. Kako glasi "drugi postulat ravnoteže"?

B Prvi glavni stavak za zatvoreni sustav

1. Napišite prvi glavni stavak za zatvoreni sustav, u punom obliku; komentirajte članove! Skica općeg sustava!
2. Napišite prvi glavni stavak za zatvoreni sustav, u skraćenom obliku; komentirajte članove! Skica općeg sustava!

Uza svako od tih pitanja, treba znati objasniti:

- Gdje se pojavljuje (mehanički) rad i s kim se izmjenjuje? Navedite bar dva načina na koje sustav izmjenjuje rad! Prikažite skicom konkretnih primjera!
- Kojim je izrazom definiran rad zbog promjene volumena sustava? Kako se na temelju tog izraza može rad zbog širenja tvari prikazati u p,v -dijagramu? Za kakvu vrstu procesa to vrijedi?
- Može li se apsolutno spriječiti izmjena rada sustava i njegova okoliša? Kakva bi trebala biti granica sustava? Postoji li takvo što u prirodi?
- Gdje se pojavljuje toplina? Po čemu se (u računu) razlikuje dovedena od odvedene topline? Kako glasi dogovor o predznacima?

- S kime sustav izmjenjuje toplinu? Kako se taj sudionik naziva općim imenom? Koja dva naziva se koriste prema smjeru izmjene topline u odnosu na sustav?
- Što je toplinski spremnik beskonačnog toplinskog kapaciteta? Mijenja li se njegova temperatura u tijeku izmjene topline? Postoji li takvo tijelo u prirodi? Navedite bar dva primjera!
- Što je adijabatska promjena stanja? Postoji li *idealna* toplinska izolacija koja može *apsolutno spriječiti* izmjenu topline?

C Prvi glavni stavak za otvoreni sustav

1. Napišite prvi glavni stavak za otvoreni sustav, u punom obliku; komentirajte članove! Skica sustava!
2. Napišite prvi glavni stavak za otvoreni sustav, u skraćenom obliku; komentirajte članove! Skica sustava!

Uza svako od tih pitanja, treba znati objasniti:

- Gdje se pojavljuje (mehanička) snaga i s kim se izmjenjuje? Skicom prikažite turbinu i stapni/klipni stroj i na tim primjerima objasnite izmjenu rada!
- Kojim je izrazom definiran “*tehnički rad*”? Kako se na temelju tog izraza može tehnički rad prikazati u p,v -dijagramu? Za kakvu vrstu procesa to vrijedi?
- Gdje se pojavljuje toplinski tok? Po čemu se (u računu) razlikuje dovedeni od odvedenog toplinskog toka? Kako glasi *dogovor o predznacima*?
- S kim promatrani sustav izmjenjuje toplinski tok? Kako se taj sudionik naziva općim imenom? Kako se naziva prema smjeru izmjene topline?
- Što je toplinski spremnik beskonačnog toplinskog kapaciteta? Mijenja li se njegova temperatura u tijeku izmjene topline? Postoji li takvo tijelo u prirodi? Navedite bar jedan primjer!
- Kako je, u općem slučaju (za bilo kakvu tvar), definirana entalpija tvari?
- Što su to “stacionarni” procesi?

D Drugi glavni stavak (zakon)

1. Kako glasi (riječima) Clausiusova formulacija drugoga glavnog stavka?
2. Kako glasi (riječima) Thomsonova formulacija drugoga glavnog stavka?
3. Kako glasi (riječima) Planckova formulacija drugoga glavnog stavka?
4. Koje jednadžbe nazivamo “analitički oblik drugoga glavnog stavka”? Napišite izraze za ravnotežne i za neravnotežne promjene stanja!
5. Koja veličina stanja je uvedena drugim glavnim stavkom? Znamo li njen apsolutni iznos? Kako izbjegavamo taj problem?
6. Koji je dijagram osnovan zato da se mogu iskoristiti ove jednadžbe (T,s -dijagram)? Čemu je jednaka površina ispod linije promjene stanja u ovom dijagramu i za kakve promjene stanja to vrijedi?

7. Koji je još dijagram (osim T,s -dijagrama) osnovan tako da ima na apscisi (jediničnu) entropiju tvari? Što mu je na ordinati? Za kakve je procese taj dijagram posebno pogodan? Može li se u njemu površini (šrafuri) pridijeliti fizikalno značenje?
8. Što je u termodinamici “IZOLIRANI SUSTAV”? Što vrijedi za entropiju izoliranog sustava? Što vrijedi za promjenu entropije izoliranog sustava?
9. Kako se zovu procesi za koje je entropija izoliranog sustava konstantna (promjena entropije izoliranog sustava jednaka nuli)? Jesu li takvi procesi mogući u prirodi/tehnici?
10. Može li se entropija izoliranog sustava smanjivati? Zna li to potkrijepiti primjerom?

E Kružni procesi (općenito)

1. Što je osnovno obilježje kružnoga procesa? Kakva tvar može poslužiti za njegovu provedbu? Prikažite jedan opći kružni proces u p,v - i T,s -dijagramu! Što je “neto” rad kružnog procesa i kako se sve može izračunati? Napišite prvi glavni stavak primijenjen na kružni proces! Što po definiciji otpada iz prvoga glavnog stavka za kružne procese?
2. Može li se kružni proces provesti samo s dovodenjem topline? Može li se kružni proces provesti samo s odvođenjem topline?
3. Koje dvije grupe kružnih procesa postoje i koja je svrha (učinak) svake od njih?
4. Koja je svrha provedbe desnokretnoga kružnog procesa? Čime se iskazuje učinkovitost desnokretnoga kružnog procesa? Koje brojčane vrijednosti može taj pokazatelj poprimiti? Koliko je najmanje toplinskih spremnika potrebno za provedbu desnokretnoga kružnog procesa?
5. Koja je svrha provedbe lijevokretnoga kružnog procesa? Čime se iskazuje učinkovitost lijevokretnoga kružnog procesa? Koje brojčane vrijednosti taj pokazatelj obično poprima? Što su to “rashladni procesi”, a što “dizalice topline” (“toplinske pumpe”)? Koliko je najmanje toplinskih spremnika potrebno za provedbu lijevokretnoga kružnog procesa? S koliko se toplinskih spremnika redovito ipak provodi lijevokretni kružni proces da bi imao svoju svrhu?
6. Što je “perpetuum mobile prve vrste”? Što je “perpetuum mobile druge vrste”?
7. Od kojih se promjena stanja sastoji Carnotov kružni proces? Ovisi li njegov prikaz u T,s -dijagramu o vrsti radne tvari? Kako glasi izraz za termički stupanj djelovanja Carnotova kružnog procesa, te ovisi li on o vrsti radne tvari?
8. Što je “karnotizacija” nekog ne-Carnotovog kružnog procesa? Nacrtajte neki opći kružni proces u T,s -dijagramu i karnotizirajte ga! Koliko je termički stupanj djelovanja zamjenskog Carnotovog procesa u odnosu na izvorni proces?

F Idealno nestlačive tvari

1. Kako glasi (termička) jednadžba stanja idealno nestlačive tvari? Ako nametnemo stalan tlak u procesu, što se događa s volumenom te tvari?
2. O čemu ovisi (čime je određena) unutarnja energija idealno nestlačive tvari? Kako glasi opći izraz za unutarnju energiju idealno nestlačive tvari? Što je nepoznato u tom izrazu? Kako možemo računati promjenu unutarnje energije idealno nestlačive tvari u slučaju da je jedinični toplinski kapacitet tvari neovisan o temperaturi?

G Idealni plinovi

1. Napišite različite (sve kojih se možete sjetiti) oblike jednadžbe stanja idealnog plina! Kakve su mjerne jedinice pojedinih članova, a kakve za cijelu jednadžbu?
2. O čemu ovisi (čime je određena) unutarnja energija idealnog plina? Kako glasi opći izraz za unutarnju energiju idealnog plina? Što je nepoznato u tom izrazu? Kako možemo računati promjenu unutarnje energije idealnog plina u slučaju da je jedinični toplinski kapacitet tvari neovisan o temperaturi?
3. O čemu ovisi (čime je određena) entalpija idealnog plina? Kako glasi opći izraz za entalpiju idealnog plina? Što je nepoznato u tom izrazu? Kako možemo računati promjenu entalpije idealnog plina u slučaju da je jedinični toplinski kapacitet tvari neovisan o temperaturi?
4. Kako glasi Mayerova jednadžba? Ovisi li jedinični toplinski kapaciteti idealnih plinova c_p i c_v (ili $C_{m,p}$ i $C_{m,v}$) o tlaku ili volumenu plina?

H Smjese idealnih plinova

1. Kako se opisuje sastav smjese idealnih plinova? Napišite definicijske izraze za maseni i molni udio nekog sudionika u smjesi!
2. Kako glasi Daltonov zakon?
3. Kako glase izrazi za računanje prosječnih vrijednosti pojedinih svojstava smjese? Navedite izraze za specifična i za molarna svojstva!

I Ravnotežne promjene stanja idealnih plinova u zatvorenom sustavu

1. Izohorna promjena stanja (skicirati p,v - i T,s -dijagram, šrafirati površinu, napisati izraze za izmijenjeni rad i toplinu izmijenjenu u procesu)?
2. Izobarna promjena stanja – ekspanzija/kompresija (skicirati p,v - i T,s -dijagram, šrafirati površinu, napisati izraze za izmijenjeni rad i toplinu izmijenjenu u procesu)?
3. Izotermna promjena stanja – ekspanzija/kompresija (skicirati p,v - i T,s -dijagram, šrafirati površinu, napisati izraze za izmijenjeni rad i toplinu izmijenjenu u procesu)? U kakvom su odnosu rad i toplina kod izotermne promjene stanja?
4. Izentropska promjena stanja – ekspanzija/kompresija (skicirati p,v - i T,s -dijagram, šrafirati površinu, napisati izraze za izmijenjeni rad i toplinu izmijenjenu u procesu)? Iz čega se dobije (ili u što se pretvara) rad izentropske promjene stanja?
 - U kakvom su odnosu pojmovi “adijabatska” i “izentropska” promjena stanja? Koji još naziv koristimo za izentropsku promjenu stanja? Može li promjena stanja biti adijabatska, a da nije izentropska? Može li promjena stanja biti izentropska, a da nije adijabatska?
5. Politropska promjena stanja, $1 < n < \kappa$, – ekspanzija/kompresija (skicirati p,v - i T,s -dijagram, šrafirati površinu, napisati izraze za izmijenjeni rad i toplinu izmijenjenu u procesu)? Što je neobično u odvijanju ove politrope i zašto do toga dolazi?
6. Nacrtajte različite politrope (četiri posebne i po jednu predstavnicu za svako područje između njih) u zajedničkom p,v - i T,s -dijagramu, tako da prolaze kroz jednu točku! Zamislimo li to presjecište kao polaznu točku promjene stanja, u kojim smjerovima treba toplinu odvoditi i u kojima dovoditi, te u kojim smjerovima se rad dobije, a u kojima troši?

Uza svako od tih pitanja, treba znati objasniti:

- Što su ravnotežne promjene stanja? Koji sve uvjeti moraju biti ispunjeni da bi promjena stanja bila ravnotežna? Objasnite uz skicu!
- Kad je promjena stanja prikazana neprekinutom crtom u p,v - i T,s -dijagramu i kad se smije površina u dijagramu šrafirati i proglasiti radom, dotično toplinom? Na temelju kojih jednažbi se to smije učiniti?

J Ravnotežne promjene stanja idealnih plinova u otvorenom sustavu

1. Izohorna promjena stanja (skicirati p,v - i T,s -dijagram, šrafirati površinu, napisati izraze za izmijenjenu snagu i toplinski tok izmijenjen u procesu)?
2. Izobarna promjena stanja – ekspanzija/kompresija (skicirati p,v - i T,s -dijagram, napisati izraze za izmijenjenu snagu i toplinski tok izmijenjen u procesu)?
3. Izotermna promjena stanja – ekspanzija/kompresija (skicirati p,v - i T,s -dijagram, šrafirati površinu, napisati izraze za izmijenjenu snagu i toplinski tok izmijenjen u procesu)?
4. Izentropska promjena stanja – ekspanzija/kompresija (skicirati p,v - i T,s -dijagram, šrafirati površinu, napisati izraze za izmijenjenu snagu i toplinski tok izmijenjen u procesu)?
 - U kakvom su odnosu pojmovi “adijabatska” i “izentropska” promjena stanja? Koji još naziv koristimo za izentropsku promjenu stanja? Može li promjena stanja biti adijabatska, a da nije izentropska? Može li promjena stanja biti izentropska, a da nije adijabatska?
5. Politropska promjena stanja, $1 < n < \kappa$, – ekspanzija/kompresija (skicirati p,v - i T,s -dijagram, šrafirati površinu, napisati izraze za izmijenjenu snagu i toplinski tok izmijenjen u procesu)? Što je neobično u odvijanju ove politrope? Kakav je specifični (ili molni) toplinski kapacitet plina kod takve politrope?
6. U jednom p,v - i T,s -dijagramu nacrtajte različite politrope (četiri poimence spomenute i za ostale samo po jednu predstavnicu za svako područje dijagrama) tako da sve prolaze kroz jednu točku! Ako tu zajedničku točku (presjecište) shvatimo kao početak procesa, označite u koja područja dvaju dijagrama možemo doći dovođenjem dotično odvođenjem topline, te kod kojih se promjena stanja rad dobiva, a kod kojih se troši!

Uza svako od tih pitanja, treba znati objasniti:

- Što su ravnotežne promjene stanja? Koji sve uvjeti moraju biti ispunjeni da bi promjena stanja bila ravnotežna? Objasnite uz skicu!
- Kad je promjena stanja prikazana neprekinutom crtom u p,v - i T,s -dijagramu i kad se smije površina u dijagramu šrafirati i proglasiti tehničkim radom, dotično toplinom? Na temelju kojih jednažbi se to smije učiniti?

K Kružni procesi s idealnim plinovima kao radnom tvari

1. Prikažite u p,v - i T,s -dijagramu desnokretni Carnotov kružni proces s idealnim plinom! Napišite izraz za termički stupanj djelovanja Carnotova procesa! Ovisi li on o svojstvima radne tvari (idealnog plina)? Ucertajte (po vlastitom izboru) jednu (konstantnu)

temperaturu ogrjevnog spremnika i jednu (konstantnu) temperaturu rashladnog spremnika za provedbu tog procesa! Utječe li na termički stupanj djelovanja širina tog procesa u T,s -dijagramu? Kako povisiti termički stupanj djelovanja Carnotova procesa?

2. Prikažite u p,v - i T,s -dijagramu desnokretni Jouleov kružni proces s idealnim plinom! Napišite izraz za termički stupanj djelovanja Jouleova procesa! Ovisi li on o svojstvima radne tvari (idealnog plina)? Ucertajte po vlastitom izboru jednu (konstantnu) temperaturu ogrjevnog spremnika i jednu (konstantnu) temperaturu rashladnog spremnika za provedbu tog procesa!
3. Prikažite u p,v - i T,s -dijagramu desnokretni Ottoov kružni proces s idealnim plinom! Napišite izraz za termički stupanj djelovanja Ottoova procesa! Ovisi li on o svojstvima radne tvari (idealnog plina)? Ucertajte po vlastitom izboru jednu (konstantnu) temperaturu ogrjevnog spremnika i jednu (konstantnu) temperaturu rashladnog spremnika za provedbu tog procesa!
4. Prikažite u p,v - i T,s -dijagramu desnokretni Diesellov kružni proces s idealnim plinom! Napišite izraz za termički stupanj djelovanja Diesellova procesa! Ovisi li on o svojstvima radne tvari (idealnog plina)? Ucertajte po vlastitom izboru jednu (konstantnu) temperaturu ogrjevnog spremnika i jednu (konstantnu) temperaturu rashladnog spremnika za provedbu tog procesa!
5. Prikažite u p,v - i T,s -dijagramu desnokretni Ericsonov kružni proces s idealnim plinom! Napišite izraz za termički stupanj djelovanja Ericsonova procesa! Ovisi li on o svojstvima radne tvari (idealnog plina)? Ucertajte po vlastitom izboru jednu (konstantnu) temperaturu ogrjevnog spremnika i jednu (konstantnu) temperaturu rashladnog spremnika za provedbu tog procesa!
6. Prikažite u p,v - i T,s -dijagramu desnokretni Stirlingov kružni proces s idealnim plinom! Napišite izraz za termički stupanj djelovanja Stirlingova procesa! Ovisi li on o svojstvima radne tvari (idealnog plina)? Ucertajte po vlastitom izboru jednu (konstantnu) temperaturu ogrjevnog spremnika i jednu (konstantnu) temperaturu rashladnog spremnika za provedbu tog procesa!
7. Prikažite u p,v - i T,s -dijagramu lijevokretni Carnotov kružni proces s idealnim plinom! Napišite izraze za faktor hlađenja i faktor grijanja lijevokretnog Carnotova procesa! Ovisi li oni o svojstvima radne tvari (idealnog plina)? Ucertajte (po vlastitom izboru) jednu (konstantnu) temperaturu ogrjevnog spremnika i jednu (konstantnu) temperaturu rashladnog spremnika za provedbu tog procesa!
8. Prikažite u p,v - i T,s -dijagramu lijevokretni Jouleov kružni proces s idealnim plinom! Napišite izraze za faktor hlađenja i faktor grijanja lijevokretnog Jouleova procesa! Ovisi li oni o svojstvima radne tvari (idealnog plina)? Ucertajte (po vlastitom izboru) jednu (konstantnu) temperaturu ogrjevnog spremnika i jednu (konstantnu) temperaturu rashladnog spremnika za provedbu tog procesa!

L Neravnotežne promjene stanja idealnih plinova u zatvorenom sustavu

1. Miješanje dvaju (ili više) plinova u zatvorenoj, toplinski izoliranoj posudi – kojim fizikalnim zakonima su određeni konačna temperatura i konačni tlak – izvedite izraze!
2. Miješanje dvaju (ili više) plinova u zatvorenoj, toplinski neizoliranoj posudi – kojim fizikalnim zakonima su određeni konačna temperatura i konačni tlak – izvedite izraze!

Uza svako od tih pitanja, treba znati objasniti:

- Što su neravnotežne promjene stanja? Možemo li kod njih pratiti proces u svakom djeliću od početka do kraja?
- Ako proces teče adijabatski, je li on izentropski?

M Neravnotežne promjene stanja idealnih plinova u otvorenom sustavu

1. Što je prigušivanje kao proces? Skicirajte prigušilište, napišite opću jednadžbu koja vrijedi za taj proces! Koje su pretpostavke postavljene na proces, a koji je rezultat? Kakav je rezultat za prigušivanje bilo kakve tvari, a kakav za prigušivanje idealnih plinova? Skicirajte taj proces u p,v -, i T,s i h,s -dijagramu za idealni plin!
2. Miješanje dviju (ili više) struja idealnih plinova u toplinski izoliranom mješalištu – kojim fizikalnim zakonom je određena konačna temperatura – izvedite izraz! Čime je određen konačni tlak? Koliko sudionika ima taj proces?
3. Miješanje dviju (ili više) struja idealnih plinova u toplinski neizoliranom mješalištu – kojim fizikalnim zakonom je određena konačna temperatura – izvedite izraz! Čime je određen konačni tlak? Koliko sudionika ima taj proces?

Uza svako od tih pitanja, treba znati objasniti:

- Što su neravnotežne promjene stanja? Možemo li kod njih pratiti proces u svakom djeliću od ulaznog do izlaznog presjeka? Kako (po dogovoru) prikazujemo neravnotežne procese u dijagramima?
- Koja fizikalna pojava je bitni sastavni dio takvih neravnotežnih procesa?
- Ako proces teče adijabatski, je li on izentropski?

N Ponašanje realnih tvari

1. Nacrtajte dijagram fazne ravnoteže za čistu tvar! Koja su područja u tom dijagramu? Koje promjene agregatnog stanja su prikazane u tom dijagramu? Što znate o nagibu pojedinih linija napetosti? Koje su dvije karakteristične točke u dijagramu?
2. Što je karakteristično za izobarnu promjenu agregatnog stanja čiste tvari? Čemu je jednaka izobarno izmijenjena toplota – napišite izraze!
3. Kako je definirana “toplina isparivanja”? S pomoću kojih se izraza može izračunavati?
4. Kako glasi Clapeyron-Clausiusova jednadžba? Kakve ona ima veze s nagibima krivulja u dijagramu fazne ravnoteže?
5. Kakvo je stanje tvari u tijeku promjene agregatnog stanja? Ako je stanje ravnotežno, što to znači za dvije faze? Kako se u tijeku isparivanja naziva kapljevita, a kako parovita faza u međusobnoj ravnoteži?
6. Odakle očitavamo potrebne veličine stanja mokre pare? Što je važno provjeriti prije prve uporabe tablica i dijagrama za očitavanje specifične entalpije i specifične entropije (i specifične unutarnje energije, ako je potrebna)?
7. Kako glase formule za pojedine veličine stanja mokre (zasićene) pare?

8. Odakle je pogodno očitavati veličine stanja pregrijane pare? Moraju li integracijske konstante biti jednake u dijagramu i u tablicama, ako ih koristimo istodobno?
9. Kolik je specifični toplinski kapacitet c_p mokre pare? Vrijedi li to i za c_v ?

O Procesi s parom u zatvorenom sustavu

1. Izohorna promjena stanja (skicirati p,v - i T,s -dijagram, šrafirati površinu tamo gdje ima značenja, napisati izraze za izmijenjeni rad i toplinu izmijenjenu u procesu):
 - dovođenje topline, početak je u području mokre pare lijevo od kritične točke K u p,v -dijagramu ($v < v_K$), kraj u području pothlađene kapljevine;
 - dovođenje topline, početak je u području mokre pare desno od kritične točke K u p,v -dijagramu ($v > v_K$), kraj u području pregrijane pare;
2. Izobarna promjena stanja (skicirati p,v -, T,s - i h,s -dijagram, šrafirati površinu tamo gdje ima značenja, napisati izraze za izmijenjeni rad i toplinu izmijenjenu u procesu):
 - ekspanzija/dovođenje topline, početak je u području pothlađene kapljevine, kraj u području mokre pare;
 - ekspanzija/dovođenje topline, početak je u području mokre pare, kraj u području pregrijane pare;
 - ekspanzija/dovođenje topline, početak je u području pothlađene kapljevine, kraj u području pregrijane pare;
 - ekspanzija/dovođenje topline, i početak i kraj su u području mokre pare;
 - kompresija/odvođenje topline, početak je u području mokre pare, kraj u području pothlađene kapljevine;
 - kompresija/odvođenje topline, početak je u području pregrijane pare, kraj u području mokre pare;
 - kompresija/odvođenje topline, početak je u području pregrijane pare, kraj u području pothlađene kapljevine;
 - kompresija/odvođenje topline, i početak i kraj su u području mokre pare;
3. Izotermna promjena stanja (skicirati p,v -, T,s - i h,s -dijagram, šrafirati površinu tamo gdje ima značenja, napisati izraze za izmijenjeni rad i toplinu izmijenjenu u procesu):
 - ekspanzija/dovođenje topline, početak je u području pothlađene kapljevine, kraj u području mokre pare;
 - ekspanzija/dovođenje topline, početak je u području mokre pare, kraj u području pregrijane pare;
 - ekspanzija/dovođenje topline, početak je u području pothlađene kapljevine, kraj u području pregrijane pare;
 - ekspanzija/dovođenje topline, i početak i kraj su u području mokre pare;
 - kompresija/odvođenje topline, početak je u području mokre pare, kraj u području pothlađene kapljevine;
 - kompresija/odvođenje topline, početak je u području pregrijane pare, kraj u području mokre pare;

- kompresija/odvođenje topline, početak je u području pregrijane pare, kraj u području pothlađene kapljevine;
 - kompresija/odvođenje topline, i početak i kraj su u području mokre pare;
4. Izentropska promjena stanja (skicirati p,v -, T,s - i h,s -dijagram, šrafirati površinu tamo gdje ima značenja, napisati izraze za izmijenjeni rad i toplinu izmijenjenu u procesu):
- kompresija, početak je u području mokre pare lijevo od kritične točke K u T,s -dijagramu ($s < s_K$), kraj u području pothlađene kapljevine;
 - kompresija, početak je u području mokre pare desno od kritične točke K u T,s -dijagramu ($s > s_K$), kraj u području pregrijane pare;
 - kompresija, početak je u stanju suhozasićene pare, kraj u području pregrijane pare;
 - ekspanzija, početak je u području pothlađene kapljevine lijevo od kritične točke K u T,s -dijagramu ($s < s_K$), kraj u području mokre pare;
 - ekspanzija, početak je u području pregrijane pare desno od kritične točke K u T,s -dijagramu ($s > s_K$), kraj u području mokre pare;
 - ekspanzija, početak je u stanju suhozasićene pare, kraj u području mokre pare;

P Procesi s parom u otvorenom sustavu

1. Izohorna promjena stanja (skicirati p,v - i T,s -dijagram, šrafirati površinu tamo gdje ima značenja, napisati izraze za tehnički rad i toplinski tok izmijenjen u procesu):
- dovođenje topline, početak je u području mokre pare lijevo od kritične točke K u p,v -dijagramu ($v < v_K$), kraj u području pothlađene kapljevine;
 - dovođenje topline, početak je u području mokre pare desno od kritične točke K u p,v -dijagramu ($v > v_K$), kraj u području pregrijane pare;
 - izohorno stlačivanje vrele kapljevine na viši tlak; Kakvo je konačno stanje tvari?
2. Izobarna promjena stanja (skicirati p,v -, T,s - i h,s -dijagram, šrafirati površinu tamo gdje ima značenja, napisati izraze za tehnički rad i toplinski tok izmijenjen u procesu):
- ekspanzija/dovođenje topline, početak je u području pothlađene kapljevine, kraj u području mokre pare;
 - ekspanzija/dovođenje topline, početak je u području mokre pare, kraj u području pregrijane pare;
 - ekspanzija/dovođenje topline, početak je u području pothlađene kapljevine, kraj u području pregrijane pare;
 - ekspanzija/dovođenje topline, i početak i kraj su u području mokre pare;
 - kompresija/odvođenje topline, početak je u području mokre pare, kraj u području pothlađene kapljevine;
 - kompresija/odvođenje topline, početak je u području pregrijane pare, kraj u području mokre pare;
 - kompresija/odvođenje topline, početak je u području pregrijane pare, kraj u području pothlađene kapljevine;
 - kompresija/odvođenje topline, i početak i kraj su u području mokre pare;

Kako se općenito nazivaju uređaji u kojima se odvija izobarna izmjena topline? Kakvi su nazivi konkretnih uređaja koji služe za isparivanje kapljevine, za kondenzaciju pare, dotično za pregrijavanje pare?

3. Izotermna promjena stanja (skicirati p,v -, T,s - i h,s -dijagram, šrafirati površinu tamo gdje ima značenja, napisati izraze za tehnički rad i toplinski tok izmijenjen u procesu):
 - ekspanzija/dovođenje topline, početak je u području pothlađene kapljevine, kraj u području mokre pare;
 - ekspanzija/dovođenje topline, početak je u području mokre pare, kraj u području pregrijane pare;
 - ekspanzija/dovođenje topline, početak je u području pothlađene kapljevine, kraj u području pregrijane pare;
 - ekspanzija/dovođenje topline, i početak i kraj su u području mokre pare;
 - kompresija/odvođenje topline, početak je u području mokre pare, kraj u području pothlađene kapljevine;
 - kompresija/odvođenje topline, početak je u području pregrijane pare, kraj u području mokre pare;
 - kompresija/odvođenje topline, početak je u području pregrijane pare, kraj u području pothlađene kapljevine;
 - kompresija/odvođenje topline, i početak i kraj su u području mokre pare;
4. Izentropska promjena stanja (skicirati p,v -, T,s - i h,s -dijagram, šrafirati površinu tamo gdje ima značenja, napisati izraze za tehnički rad i toplinski tok izmijenjen u procesu):
 - kompresija, početak je u području mokre pare lijevo od kritične točke K u T,s -dijagramu ($s < s_K$), kraj u području pothlađene kapljevine;
 - kompresija, početak je u području mokre pare desno od kritične točke K u T,s -dijagramu ($s > s_K$), kraj u području pregrijane pare;
 - kompresija, početak je u stanju suhozasićene pare, kraj u području pregrijane pare;
 - ekspanzija, početak je u području pothlađene kapljevine lijevo od kritične točke K u T,s -dijagramu ($s < s_K$), kraj u području mokre pare;
 - ekspanzija, početak je u području pregrijane pare desno od kritične točke K u T,s -dijagramu ($s > s_K$), kraj u području mokre pare;
 - ekspanzija, početak je u stanju suhozasićene pare, kraj u području mokre pare;

Q Kružni procesi s parom kao radnom tvari

1. Od kojih se uređaja sastoji tipično postrojenje kružnog procesa s parom? Nabrojite ih i opišite promjene stanja koje se u njima odvijaju! S pomoću kojih se izraza izračunavaju potrebne veličine stanja za svaki uređaj?
2. Kako je zamišljen desnokretni Carnotov proces s parom? Skicirati shemu postrojenja, te p,v -, T,s - i h,s -dijagram, šrafirati površine tamo gdje to ima značenja, napisati izraze za izmijenjeni rad i za toplinu izmijenjenu u procesu! Smije li stanje tvari izaći iz područja mokre pare? Je li tako zamišljeni proces provediv? U kojem dijelu procesa su nesavladive poteškoće i kako se one rješavaju, da bi se dobio provediv proces?

3. Kako izgleda osnovni Rankineov proces dobiven izravno preinakom Carnotova procesa? Skicirati shemu postrojenja, te p,v -, T,s - i h,s -dijagram, šrafirati površine tamo gdje to ima značenja, napisati izraze za izmijenjeni rad i za toplinu izmijenjenu u procesu! Usporedite ga s Carnotovim procesom iz kojeg je proizašao! Kakav je termički stupanj osnovnoga Rankineova procesa u usporedbi s Carnotovim procesom?
- Karnotizirajte osnovni Rankineov proces! Ucertajte srednju temperaturu dovođenja topline? Kako se sniženje srednje temperature dovođenja topline odražava na termički stupanj djelovanja Rankineova u usporedbi s Carnotovim procesom?
4. Kako izgleda “Rankineov proces s pregrijanom parom”? Skicirati shemu postrojenja, te p,v -, T,s - i h,s -dijagram, šrafirati površine tamo gdje to ima značenja, napisati izraze za izmijenjeni rad i za toplinu izmijenjenu u procesu! Kakav je termički stupanj Rankineova procesa s pregrijanom parom u usporedbi s osnovnim Rankineovim procesom?
- Karnotizirajte Rankineov proces s pregrijanom parom i ucertajte srednju temperaturu dovođenja topline!
 - Što se, osim povišenja termičkog stupnja djelovanja procesa, još dobiva uporabom pregrijane pare?

R Osnovni pojmovi izmjene topline

1. Koja su tri osnovna načina ("mehanizma") transporta topline (toplinskog toka)? Koja su im osnovna obilježja i po čemu se razlikuju?
2. Gdje se tipično pojavljuje transport topline provođenjem?
3. Gdje se može pojaviti konvekcija? Koja su dva osnovna uzroka gibanja tekućine i kako se zovu pripadajuće konvekcije?
4. Po čemu se izmjena topline zračenjem razlikuje od prethodnih dvaju načina transporta topline?
5. Kako su definirani: toplinski tok, gustoća toplinskog toka, temperaturno polje? Kakve slučajeve proučavamo u okviru ovog kolegija?
6. Što je stacionarni slučaj (proces)? Koje uvjete mora proces zadovoljavati, da bi tekao stacionarno?

S Izmjena topline provođenjem

1. Koji je osnovni zakon koji vrijedi kod provođenja? Koje svojstvo tvari se u njemu pojavljuje? Koji materijali su poznati kao dobri, a koji kao loši vodiči topline?
2. Provođenje topline kroz ravnu homogenu stijenku – skica u \mathcal{Q},x -dijagramu, osnovne jednačbe i izrazi, analogija s Ohmovim zakonom? Kakav je raspored temperatura unutar sloja?
3. Provođenje topline kroz višeslojnu ravnu stijenku sastavljenu od nekoliko homogenih slojeva – skica u \mathcal{Q},x -dijagramu, osnovne jednačbe i izrazi, analogija s Ohmovim zakonom?
4. Prolaz topline kroz jednoslojnu (homogenu) i višeslojnu ravnu stijenku – skica u \mathcal{Q},x -dijagramu, osnovne jednačbe i izrazi? Newtonov zakon i koeficijent prijelaza topline? Definijski izraz za koeficijent prolaza topline?
5. Provođenje topline kroz homogenu cijevnu stijenku – skica u \mathcal{Q},r -dijagramu, osnovne jednačbe i izrazi, analogija s Ohmovim zakonom? Kakav je raspored temperatura unutar sloja cijevi?
6. Provođenje topline kroz višeslojnu cijevnu stijenku sastavljenu od nekoliko homogenih slojeva – skica u \mathcal{Q},r -dijagramu, osnovne jednačbe, analogija s Ohmovim zakonom? Kakav je raspored temperatura unutar sloja cijevi?
7. Prolaz topline kroz jednoslojnu (homogenu) i kroz višeslojnu cijevnu stijenku – skica u \mathcal{Q},r -dijagramu, osnovne jednačbe i izrazi? Newtonov zakon i koeficijent prijelaza topline? Definijski izraz za koeficijent prolaza topline?

T Izmjena topline konvekcijom

1. Newtonov zakon i koeficijent prijelaza topline? Koju mjernu jedinicu ima koeficijent prijelaza topline α ?
2. O čemu ovisi intenzitet prijelaza topline iskazan koeficijentom prijelaza topline α ? Kolik je utjecaj svojstava same stijenke, a kolik svojstava tekućine uza stijenkku? Što je to "temperaturni granični sloj"?
3. Koliki su tipični redovi veličine brojeva koeficijenta prijelaza topline α ? Kako se može utjecati na veličinu koeficijenta prijelaza topline α ?
4. Koje dvije vrste (režimi) strujanja su mogući u tekućini? Koji se od njih pojavljuje kad dominiraju sile trenja, a koji kad prevladavaju sile inercije? Ima li to izravne i isključive veze s uzrokom gibanja tekućine, spomenutim u pitanju R 3?
5. Po čemu se razlikuje laminarno od turbulentnog strujanja? Može li se kod postojećeg strujanja ta razlika učiniti vidljivom? Na temelju čega možemo predvidjeti kakvo će se strujanje pojaviti u nekoj budućoj situaciji? Kako je definiran Reynoldsov broj?
6. Koja jednadžba povezuje koeficijent prijelaza topline iz Newtonovog zakona s profilom temperatura u temperaturnom graničnom sloju tekućine? Prikažite skicom!
7. Nabrojite fizikalna svojstva tekućine koja imaju utjecaja na intenzitet prijelaza topline – dinamičku i kinematičku žilavost (viskozitet), gustoću, specifični toplinski kapacitet c_p , koeficijent temperaturne vodljivosti a , te napišite njihove definicijske izraze i mjerne jedinice!
8. Od koliko i kojih se diferencijalnih jednadžbi sastoji Oberbeckov sustav diferencijalnih jednadžbi – nazivi i fizikalni smisao?
9. Tko (prezime) je postavio teorem sličnosti s pomoću kojeg se rješava Oberbeckov sustav diferencijalnih jednadžbi? Koje bezdimenzijske značajke ("brojevi") se pritom koriste (nazivi) i kako su definirane (jednadžbe)?
10. Koji se bezdimenzijski brojevi koriste za izračunavanje koeficijenta prijelaza topline pri slobodnoj, a koji pri pojavi prisilne konvekcije?
11. Kad će neka para kondenzirati u dodiru sa stijenkom? Koje dvije vrste kondenzacije pare na stijenci postoje? Kod koje je prijelaz topline intenzivniji?

U Izmjena topline zračenjem

1. Zračenje općenito; vrste (nazivi) elektromagnetskih zraka (podjela prema valnoj duljini); temperaturno zračenje; apsorpcija, refleksija i propuštanje zraka; crno tijelo – definicija, svojstva i način realizacije; stvarna (siva i obojena) tijela; svjetloća površine.
2. Zračenje crnog tijela; raspodjela intenziteta po valnoj duljini (Planckov zakon)?
3. Stefan-Boltzmannov zakon?
4. Zračenje stvarnih (sivih i obojenih) tijela?
5. Kirchhoffov zakon?
6. Zračenje plinova?

7. Izmjena topline zračenjem – modeli?
 - Model usporednih stijenki? Skica, pretpostavke i formula za toplinski tok?
 - Model usporednih stijenki s međuzastorom? Skica, pretpostavke i formula za toplinski tok?
 - Model obuhvaćenog tijela? Skica, pretpostavke i formula za toplinski tok?
 - Model obuhvaćenog tijela s međuzastorom? Skica, pretpostavke i formula za toplinski tok?
8. Istodobna izmjena topline zračenjem i konvekcijom – kad se pojavljuje? Kako računamo ukupni koeficijent prijelaza topline zračenjem i konvekcijom?

V Tehnički izmjenjivači topline

1. Koja su osnovna obilježja tehničkih izmjenjivača topline? O kakvim se sustavima radi?
2. Koje su tri osnovne grupe tehničkih izmjenjivača topline? S kojom od njih se mi bavimo u ovom kolegiju?
3. Što su rekuperativni izmjenjivači topline i koja im je zajednička karakteristika? Koja tri osnovna tipa strujanja se pojavljuju kod rekuperatora? Skicirajte shemu strujanja dviju struja za ta tri tipa izmjenjivača!
4. Napišite prvi glavni stavak primijenjen na izmjenjivače topline!
5. Nabrojite sve veličine koje utječu na proces izmjene topline u izmjenjivaču! Koliko takvih zasebnih veličina ima i kakvim je mjernim jedinicama izražena svaka od njih?
6. Kako tim veličinama pridjeljujemo oznake (struja “1” i “2”; ulazna ili izlazna veličina)? Koliko se neovisnih bezdimenzijskih veličina (parametara) može složiti od gore nabrojanih zasebnih veličina? Kako glase definicijski izrazi tih bezdimenzijskih veličina i koji je mogući bročani raspon svake od njih?
7. Istosmjerni rekuperator:
 - (Za zadane krajnje temperature) nacrtajte (kvalitativno, ali tako da ne oborite fizikalne zakone!) raspored temperatura duž površine istosmjernog rekuperatora u \mathcal{Q},A -dijagramu! Unesite strelice za smjerove strujanja, označite struju “1” i “2”!
 - (Ako znate!?) napišite diferencijalne jednadžbe za konkretan slučaj i pripadajuće rubne uvjete! Možete li, s pomoću njih, dokazati oblik krivulja?
 - Koju fizikalnu veličinu predstavlja površina između dviju krivulja rasporeda temperatura?
 - Kvalitativno skicirajte dijagram $\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3)$ za istosmjerni rekuperator!
8. Protusmjerni rekuperator:
 - (Za zadane krajnje temperature) nacrtajte (kvalitativno, ali tako da ne oborite fizikalne zakone!) raspored temperatura duž površine protusmjernog rekuperatora u \mathcal{Q},A -dijagramu! Unesite strelice za smjerove strujanja, označite struju “1” i “2”!
 - (Ako znate!?) napišite diferencijalne jednadžbe za konkretan slučaj i pripadajuće rubne uvjete! Možete li, s pomoću njih, dokazati oblik krivulja?

- Koju fizikalnu veličinu predstavlja površina između dviju krivulja rasporeda temperatura?
- Kvalitativno skicirajte dijagram $\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3)$ za protusmjerni rekuperator!

9. Križni (poprečnostrujni, unakrsni) rekuperator

- Kakav je relativan smjer strujanja dviju struja? Zagrijava li se svaka strujnica hladnije struje jednako? Hladi li se svaka strujnica toplije struje jednako? S kakvim izlaznim temperaturama dviju struja provodimo račun?
- Kvalitativno skicirajte dijagram $\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3)$ za križni rekuperator!

10. Posebni slučajevi

- Nacrtajte raspored temperatura duž površine istosmjernog rekuperatora za slučaj da je $\pi_3 = 1$! Što je karakteristično za dvije krivulje?
- Nacrtajte raspored temperatura duž površine protusmjernog rekuperatora za slučaj da je $\pi_3 = 1$! Što je karakteristično za dvije krivulje?
- Nacrtajte raspored temperatura duž površine rekuperatora ("kondenzatora") u kojem jedna struja kondenzira, a druga ne mijenja agregatno stanje! Kolika je značajka π_3 ? Što je karakteristično za temperaturu one struje koja mijenja agregatno stanje? Čime je određen njen iznos?
- Nacrtajte raspored temperatura duž površine rekuperatora ("isparivača") u kojemu jedna struja isparava, a druga ne mijenja agregatno stanje! Kolika je značajka π_3 ? Što je karakteristično za temperaturu one struje koja mijenja agregatno stanje? Čime je određen njen iznos?
- Iz kojeg od triju dijagrama očitavamo potrebne podatke za proračun kondenzatora i isparivača? Kako glasi analitička jednadžba krivulje $\pi_3 = 0$?

W Izgaranje

1. Kakav je to proces izgaranje? Što ulazi u reakciju, a što njome nastaje? Zbog čega je temperatura dimnih plinova visoka?
2. Kojim trima uvjetima moramo raspolagati da bi izgaranje moglo teći? Što je temperatura zapaljenja? Zašto voda gasi vatru?
3. Odakle nabavljamo kisik za izgaranje? Kad se koristi čisti kisik?
4. Kako dijelimo goriva? Nabrojite nekoliko vrsta goriva po porijeklu, po agregatnom stanju, po sastavu! Koji kemijski elementi sudjeluju u tehničkim procesima izgaranja?
5. Napišite stehiometrijsku jednadžbu:
 - izgaranja ugljika u ugljikov dioksid;
 - izgaranja ugljikova monoksida u ugljikov dioksid;
 - potpunog izgaranja vodika;
 - potpunog izgaranja sumpora!
6. Napišite stehiometrijsku jednadžbu potpunog izgaranja ugljikovodika C_xH_y !
7. Napišite stehiometrijsku jednadžbu potpunog izgaranja ugljikohidrata $C_xH_yO_z$!

8. Kako je deklariran sastav goriva složene i nepoznate kemijske građe? Kako se za takva goriva izračunava stehiometrijska (minimalna) potrebna količina kisika?
9. Kako je deklariran sastav goriva poznate kemijske građe? Kako se za takva goriva izračunava stehiometrijska (minimalna) potrebna količina kisika? Pokažite na primjeru!
10. Kako je definiran faktor pretička (suviška) zraka? Koje brojčane vrijednosti on načelno treba imati da bi izgaranje bilo potpuno? Je li to apsolutna garancija potpunog izgaranja? Kako se određuje potreban faktor pretička zraka za neko izgaranje?
11. Za potpuno izgaranje goriva zadanog masenog sastava napišite izraze za količine svih sudionika u dimnim plinovima! Po kakvoj se jedinici goriva one iskazuju?
12. Za potpuno izgaranje goriva poznatog molnog sastava napišite izraze za količine svih sudionika u dimnim plinovima! Po kakvoj se jedinici goriva one iskazuju?
13. Što su to “vlažni”, a što “suhi” dimni plinovi? Koji od njih su pravi dimni plinovi? Kako se, uobičajeno, deklarira sastav dimnih plinova? Kojim se instrumentom on mjeri?
14. Kako je (riječima) definirana ogrjevna vrijednost goriva? Je li ta definicija jednoznačna? Što znači “donja”, a što “gornja” ogrjevna vrijednost? Koja je od njih dviju veća? Koji je jedini pouzdan način određivanja ogrjevnosti goriva?
15. Napišite izraz za energijsku bilancu ložišta (kotla)! Koji se članovi pojavljuju u tom izrazu? Ima li kakve razlike u tom izrazu, odvija li se izgaranje u zatvorenoj posudi ili u otvorenom sustavu?
16. Kako je definirana teorijska temperatura izgaranja? O čemu ovisi njen iznos i kako mi možemo na to utjecati?
17. Kakve su stvarne temperature izgaranja u odnosu na teorijsku? Zbog čega?
18. S kakvom temperaturom izlaze dimni plinovi kroz dimnjak u okoliš i zašto? Kako se zovu gubici povezani s visokom temperaturom dimnih plinova na izlazu iz dimnjaka?

Gdje naći odgovore na gornja pitanja?

- U bilo kojoj knjizi koja obrađuje dotičnu problematiku;
- u “radnim materijalima” za Uvod u termodinamiku (studentska fotokopirana);
- (dio) čak i u uvodnim napomenama u materijalima za vježbe.

Pitanja su složena prema redoslijedu kojim se gradivo obrađuje i trebala bi poslužiti studentu za provjeru pozornosti kojom je dotično poglavlje učio. Odgovori na neka pitanja vrlo su kratki, gdje kad svega jedna ili nekoliko (pravih) riječi (primjerice, odgovor na pitanje W 17. može glasniti: „Niže, zbog odvođenja toplinskog toka iz ložišta.“).

Nemaju sva pitanja jednaku „težinu“ i utjecaj na prolaz na ispitu! Važnija su, svakako pitanja povezana s osnovnim fizikalnim zakonima, pa se može pasti i na jednom pitanju, ako je to neko od bitnih pitanja bez kojeg se ne može razumjeti veći dio gradiva!

Nabrojana pitanja nisu niti razvrstana, a ni obilježena prema svojoj važnosti, ali se nadam da će ipak i takva pomoći pri učenju.

