

Aleksandar Dedi

ZBIRKA ZADATAKA

IZ

OSNOVA MAŠINSTVA

Predgovor

Ova Zbirka zadataka namenjena je studentima II godine Šumarskog fakulteta, Odseka za tehnologije drveta, kao literatura za savladjivanje gradiva iz predmeta "Osnovi mašinstva".

Zbirka pored rešenih sadrži i nekoliko nerešenih zadataka koji se preporu uju studentima za samostalan rad. Podeljena je u tri tematske oblasti koje se izu avaju u okviru posebnih predmeta na Mašinskom fakultetu. Time je u injen veliki napor kako bi se ova obimna problematika mašinstva prilagodila potrebama studenata Šumarskog fakulteta.

Da bi uspešno pratili i rešavali zadatke iz ove zbirke studentima je neophodno znanje iz: Tehni ke fizike, Tehni ke mehanike, Matematike i Nacrtna geometrije sa tehni kim crtanjem.

Zbirka daje neophodnu osnovu za dalje pra enje stru nih predmeta kao što su: Hidrotermi ka obrada drveta, Mašine i alati za obradu drveta i Unutrašnji transport; što i jeste njen cilj pored pripreme studenata za uspešno polaganje kolokvijuma i pismenog dela ispita iz ovog predmeta.

Posebnu zahvalnost dugujem student Ivanu Cveji u za tehni ku pripremu ove Zbirke.

Sve dobronamerne primedbe i uo ene greške rado emo prihvatiti kako bi se u eventualnim narednim izdanjima mogle otkloniti.

Autor

Prof. dr Aleksandar Dedi

Sadržaj

| | |
|---|----|
| I Tehni ka termodinamika..... | 5 |
| 1. Termodinami ke osnove..... | 5 |
| 1.1. Prvi zakon termodinamike | 7 |
| 1.2. Drugi zakon termodinamike | 7 |
| 1.3. Osnovni termodinami ki procesi idealnog gasa | 7 |
| 1.3.1. Politropski proces | 7 |
| 1.3.2. Izobarski proces | 9 |
| 1.3.3. Izohorski proces | 9 |
| 1.3.4. Izotermiski proces | 9 |
| 1.3.5. Adijabatski proces..... | 10 |
| 2. Kružni procesi | 13 |
| 2.1. Karnoov ciklus..... | 13 |
| 2.2. Otov kružni ciklus..... | 14 |
| 2.3. Dizelov kružni ciklus..... | 16 |
| 3. Prostiranje toplote | 18 |
| 3.1. Provođenje toplote - višeslojan zid | 20 |
| 3.2. Prolaz toplote - višeslojan zid..... | 21 |
| 3.3. Provođenje toplote - jednoslojan cilindar..... | 23 |
| 3.4. Prolaz toplote - višeslojan cilindar..... | 23 |
| 4. Rekuperativni razmenjiva i toplote | 24 |
| 5. Vodena para. Parni kotao..... | 26 |
| 5.1. Parametri stanja i promena stanja vodene pare | 26 |
| 5.2. Parni kotao. Dimenzionisanje parovoda | 34 |
| 5.3. Gornja i donja toplotna mo goriva . Formula VDI..... | 35 |
| 5.4. Vlažan vazduh..... | 37 |
| 6. Pneumatika i hidraulika | 43 |
| 6.1. Klipni kompresor..... | 43 |
| 6.2. Zup asta pumpa..... | 48 |
| 6.3. Cilindar dvosmernog dejstva..... | 48 |
| 7. Kombinovani zadaci iz tehni ke termodinamike | 49 |
| II Mašinski materijali | 59 |
| 1. elici - podela i ozna vanje | 59 |
| 2. Osnovne vrste naprezanja | 61 |
| 2.1. Zatezanje | 61 |
| 2.2. Smicanje | 63 |
| 3. Ispitivanje materijala | 64 |
| 3.1. Ispitivanje tvrdo e | 64 |
| 3.2. Ispitivaje žilavosti | 66 |
| III Mašinski elementi..... | 68 |
| 1. Kinematika prenosnika | 70 |
| 2. Dimenzionisanje vratila | 75 |
| 3. Izbor klina | 77 |
| 4. Izbor ležaja | 78 |
| 5. Kruta spojnica . Podešena i nepodešena zavrtnajska veza | 79 |
| 6. Frikciona spojnica | 80 |
| 7. Zakovane veze..... | 82 |
| 8. Spoj na preklap podešenom i nepodešenom zavrtnajskom vezom | 83 |
| 9. Frikcioni par..... | 83 |
| 10. Kaišni prenosnik | 84 |
| 11. Kinematika lan anog prenosnika..... | 86 |
| 12. Kombinovani zadaci iz mašinskih elemenata..... | 87 |
| Literatura..... | 90 |

Spisak korisćenih oznaka

- A (m^2) – površina
 c_p (J/kgK) – masena (specifična) toplota pri constantnom pritisku
 c_v (J/kgK) – masena (specifična) toplota pri constantnoj zapremini
 F (N) – sila
 i (kJ/kg) – specifična entalpija
 i (-) – kinematski prenosni odnos
 k (W/m^2K) – koeficijent prolaza toplote
 k (N/mm^2) – specifični (jedinicni) deformacioni rad
 k_r (daN/mm^2) – specifični otpor rezanja
 k (-) – eksponent adijabate
 L (J) – zapreminski rad
 l (J/kg) – specifičan zapreminski rad
 n (min^{-1}) – broj obrta
 n (-) – eksponent politrope
 M (Nm) – moment sile
 M ($kg/kmol$) – molarna masa
 m (kg) – masa
 P (W) – snaga
 Q (J) – količina toplote
 \dot{Q} (W) – toplotni fluks
 R_m (N/mm^2) – zatezna cvrstoca (jacina materijala na kidanje)
 R (J/kgK) – gasna konstanta
 r (kJ/kg) – toplota isparavanja (kondenzovanja) vode
 S (kJ/K) – entropija
 s (kJ/kgK) – specifična entropija
 T (K) – apsolutna temperatura
 t ($^{\circ}C$) – temperatura
 t (s) – vreme

I Tehni ka termodinamika

1. Termodinami ke osnove

- Šta je radno telo u termodinamici ?

Radno telo u termodinamici je medijum koji obavlja termodinami ki proces. To može biti: idealan gas, vodena para, vlažan vazduh ili komprimovan vazduh.

- Pojam idealnog gasa

Idealni gas predstavlja gas iji se molekuli haoti no kre u i imaju oblik pravilnih loptica beskona no malog pre nika, ali kona ne mase. Medju molekulima (sem u momentima sudara) vladaju beskona no male sile. Neki realni gasovi pri niskim pritiscima i visokim temperaturama se ponašaju približno idealnom gasu ime je njegovo uvodjenje opravdano.

U prakti nom smislu to je gas ije je stanje daleko od stanja zasi enja.

- Veli ine (parametri) stanja idealnog gasa.

To su fii ke veli ine koje opisuju stanje idealnog gasa.

a) Temperatura

To je fizi ka veli ina koja karakteriše toplotno stanje tela u odnosu na uslovno izabrano nulto stanje.

Apsolutna temperatuta (T) je prema kineti koj teoriji gasova proporcionalna srednjoj kineti koj energiji translatornog kretanja velikog broja molekula na koji se mogu primeniti zakoni statisti ke mehanike. Apsolutna temperatura se izražava u Kelvinima a po etak skale je apsolutna nula.

U Celzijusovoj skali, koja ima nesumljivu prakti nu primenu, temperaturska razlika od 1°C odgovara razlici od 1 K, tj. 1°C = 1 K. Razlika je u tome što nuli u Celzijusovoj skali odgovara 273,15 K tj. ta ka topljenja leda pri normalnom atmosferskom pritisku od 101,325 kPa. Prema tome veza izmedju temperature izražene u Kelvinima i Celzijusima je:

$$T (K) = 273,15 + t (^{\circ}C) \cong 273 + t (^{\circ}C)$$

Temperaturska razlika je uvek ista, bez obzira da li je izražena u Kelvinima ili stepenima Celzijusa, tj. $T_2 - T_1 = t_2 - t_1$

Postoji još i Farenhajtova i Reomirova skala. Ta ka topljenja leda u Celzijusovoj, Farenhajtovoj i Reomirovoj skali je redom 0 °C, 32 °F i 0 °R a ta ka klju anja vode 100 °C, 212 °F, 80 °R; pri p = 101,325 kPa, pa je:

$$t (^{\circ}C) = 5/9 (t(^{\circ}F) - 32) = 5/4 t (^{\circ}R)$$

b) Pritisak

Apsolutni pritisak prema kineti koj teoriji gasova predstavlja zbir svih normalnih sila usled udara u pregradni zid molekula gasa sveden na jedinicu površine. Osnovna jedinica je Paskal (Pa).

Veza (Pa) sa ostalim jedinicama za pritisak data je u tabeli 1.

Tabela 1: Jedinice za pritisak

| NAZIV | OZNAKA | Pa |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| 1 bar | bar | 10 ⁵ |
| 1milimetar vodenog stuba* | mmH ₂ O | 9,81 |
| 1 milimetar živinog stuba** | mmHg, Torr | 133,32 |
| 1 atmosfera | at | 98100 |
| 1 fizi ka atmosfera | atm | 101325 |

* pri 4 °C

** pri 0 °C

- Šta je barometarski pritisak ?

To je atmosferski pritisak koji ina e zavisi od temperature, vlažnosti i nadmorske visine. Za nominalnu vrednost se uzima 1 atm = 101,325 kPa

- Šta su nadpritisak i potpritisak ?

Razlika apsolutnog pritiska gasa i pritiska okoline (barometarskog pritiska) se naziva nad pritisak. Meri se manometrima i esto se naziva i manometarski pritisak.

$$p_m = p - p_b$$

Ako je apsolutni pritisak nekog gasa u zatvorenom sudu manji od pritiska okoline razlika pritiska okoline i apsolutnog pritiska gasa naziva se podpritisak. Meri se vakuumetrima.

$$p_v = p_b - p$$

c) Specifi na (jedini na) zapremina

To je zapremina svedena na jedinicu mase gasa koji tu zapreminu zauzima.

$$v = V/m \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

- Koji su oblici jedna ine stanja idealnog gasa ?

Jedna ina stanja idealnog gasa glasi:

$$pV = mRT \text{ (1)}$$

R - gasna konstanta koja zavisi od vrste gasa i predstavlja rad koji izvrši 1 kg gasa kad mu se temperatura promeni za 1 K pri konstantnom pritisku ($R = pV/mT \text{ (J/kgK)}$). Deljenjem jedna ine sa (1) sa masom "m" dobijamo:

$$pv = RT \text{ (2)}$$

Ako se jedna ina (2) pomnoži molarnom masom M (kg / kmol) dobijamo:

$$pV_M = MRT = R_u \cdot T / n$$

$$pV = nR_u \cdot T$$

$$n = m/M - \text{br. molova}$$

gde je: $V_M = vM$ - zapremina jednog kmola $V_M = 22,4 \text{ m}^3/\text{kmol} = 22,4 \text{ dm}^3/\text{mol}$

$R_u = M R$ - univerzalna gasna konstanta, $R_u = 8\,314 \text{ J/kmolK} = 8,314 \text{ J/molK}$

Prema jedn. (2) može se napisati:

$$p = \rho RT$$

gde je:

$\rho(\text{m}^3/\text{kg})$ - gustina gasa

- Šta je entalpija ?

Entalpija (I) je veli ina stanja i predstavlja termodinami ki potencijal koji se sastoji iz termi kog potencijala (U) i spoljašnjeg mehani kog potencijala (pV), izraženog preko veli ine stanja materije

$$I = U + pV \text{ (J)}$$

Nalazi veliku primenu kod vodene pare i pri analizi strujnih procesa.

- Šta je entropija ?

Entropija (S) je veli ina stanja koja povezuje apsolutnu temperaturu (T), takodje veli inu stanja, sa toplotom (Q) koja se odvodi ili dovodi izmedju dva stanja preko izraza:

$$Q = T \cdot ds$$

Kada S raste imamo dovodjene toplote, a kada opada odvodjenje.

Primenu nalazi kod formulacije Drugog zakona termodinamike i vodene pare.

- Šta su smeše idealnih gasova ?

To su smeše gasova kod kojih izmedju komponenata ne postoji hemijska reakcija, pa u tom slu aju važe svi zakoni gasova i jedna ina stanja.

Svaki gas - komponenta smeše, stvara na zidove sudova pritisak, ija vrednost ne zavisi od prisustva drugih gasova u toj zapremini. Takav pritisak se naziva parcijalni pritisak gasa.

- Kako glasi Daltonov zakon ?

Pri konstantnoj temperaturi smeše, ukupan pritisak smeše gasova (koji hemijski medjusobno ne reaguju) jednak je sumi parcijalnih pritisaka:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{k=1}^n p_k$$

gde je:

n - broj komponenata u datoj smeši.

- Šta je relativna vlažnost

Relativna vlažnost (φ) je odnos parcijalnog pritiska vodene pare u vlažnom vazduhu (p_p) i parcijalnog pritiska vodene pare u zasi enom vlažnom vazduhu iste temperature (p_z).

$$\varphi = p_p / p_z$$

Pritisak zasi enja (p_z) se odedjuje iz tablica ili preko analiti kog izraza u funkciji temperature. Tako je analiti ki izraz za pritisak zasi enja:

$$p_z = \frac{1}{10} \cdot e^{\left(\frac{75.0151 - \frac{7299.3}{T} - 8.593 \cdot \ln T + 0.0063064 \cdot T}{T}\right)} \quad (kPa)$$

1.1. Prvi zakon termodinamike

Predstavlja oblik opšteg zakona o održanju energije koji je primenjen na toplotne promene stanja. Najopštija matemati ka formulacija glasi:

$$Q_{12} = \Delta U + L_{12}$$

gde je:

$\Delta U = U_2 - U_1$ - promenu unutrašnje energije izmedju stanja 1 i 2.

Q_{12} - dovedena (odvedena) toplota radnom telu izmedju stanja 1 i 2.

L_{12} - izvršen (uložen) zapreminski rad izmedju stanja 1 i 2.

Dakle, jedan deo dovedene koli ine toplote troši se na promenu unutrašnje energije radnog tela a drugi na vršenje rada. Da bi se toplota odvela od tela potrebno je uložiti rad.

1.2. Drugi zakon termodinamike

O uslovima koji moraju biti zadovoljeni pri transformaciji toplotne energije u rad govori drugi zakon termodinamike.

Na elna formulacii je da su svi termi ki procesi nepovratni. Samim tim promena entropije (ΔS) adijabatski (toplotno) izolovanog sistema koga sa injavaju: radno telo, toplotni izvor (zagreja) i toplotni ponor (hladnjak) ne može biti negativna.

Ekvivalentne formulacije su da toplota ne može spontano prelaziti sa hladnijeg na toplije telo bez ulaganja rada ili drugih kompenzacija u sistemu. Takodje, sva toplota izvora ne može se pretvoriti u mehani ki rad.

1.3. Osnovni termodinami ki procesi idealnog gasa

1.3.1. Politropski proces

Objedinjuje sve osnovne procese (izobarski, izohorski, izotermi i adijabatski) tj. ove procese pri kojima masena (specifi na) toplota ima proizvoljnu, ali konstantnu vrednost tokom celog procesa.

Masena (specifi na) toplota pri konstantnom pritisku (c_p) je koli ina toplote koju treba dovesti jedinici mase gasa da bi mu se temperatura povisila za 1 K pri const. pritisku.

Masena (specifi na) toplota pri konstantnoj zapremini (c_v) je koli ina toplote koju treba dovesti jedinici mase gasa da bi mu se temperatura povisila za 1 K pri const. zapremini.

$$\frac{c_p}{c_v} = k - \text{eksponent adijabate}$$

$$c_p - c_v = R - \text{Majerova relacija}$$

Tabela 2 : Molarne specifi ne toplote i odnos molarnih specifi nih toplota $k = (Mc_p) / (Mc_v)$ idealnih gasova (prema kineti koj teoriji gasova)

| Idealni gas | Mc_v | | Mc_p | | k |
|------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|---|------|
| | $\frac{J}{\text{mol} \cdot K}$ | $\frac{\text{kcal}}{\text{kmol} \cdot K}$ | $\frac{J}{\text{mol} \cdot K}$ | $\frac{\text{kcal}}{\text{kmol} \cdot K}$ | |
| Jednoatomni | 12.5 | 3 | 20.8 | 5 | 1.67 |
| Dvoatomni | 20.8 | 5 | 29.1 | 7 | 1.40 |
| Troatomni i višeatomni | 29.1 | 7 | 37.4 | 9 | 1.28 |

Tabela 3 : Fizi ke osobine nekih idealnih gasova

| Gas | $M \cdot 10^3$ | R | c_p | c_v | k | ρ |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------|-----------------|
| | $\frac{\text{kg}}{\text{mol}}$ | $\frac{J}{\text{kg} \cdot K}$ | $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot K}$ | $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot K}$ | - | kg/m^3 |
| Amonijak | 17 | 489 | 2.20 | 1.71 | 1.28 | 0.771 |
| Argon | 40 | 208 | 0.52 | 0.31 | 1.67 | 1.782 |
| Azot | 28 | 297 | 1.04 | 0.74 | 1.40 | 1.251 |
| Kiseonik | 32 | 260 | 0.91 | 0.65 | 1.40 | 1.4290 |
| Neon | 20 | 416 | 1.04 | 0.62 | 1.67 | 0.9002 |
| Ugljen dioksid | 44 | 189 | 0.85 | 0.66 | 1.28 | 1.976 |
| Ugljen monoksid | 28 | 297 | 1.04 | 0.74 | 1.40 | 1.250 |
| Vazduh | 29 | 287 | 1.00 | 0.72 | 1.40 | 1.293 |
| Vodonik | 2 | 4157 | 14.55 | 10.40 | 1.40 | 0.08985 |

Jedna ina politrope je :

$$pV^n = \text{const}$$

gde je :

n - eksponent politrope

Rad procesa razmene toplote i unutrašnje energije :

$$L = \int_{v_1}^{v_2} p dV = \frac{1}{n-1} (p_1 V_1 - p_2 V_2) = \frac{mR}{n-1} (T_1 - T_2)$$

$$\Delta U = mc_v \cdot (T_2 - T_1) \text{ -isto za sve procese}$$

Indeks '1' ozna ava po etno a indeks '2'krajnje stanje gasa .

1.3.2 Izobarski proces

$$p = \text{const} ; n = 0$$

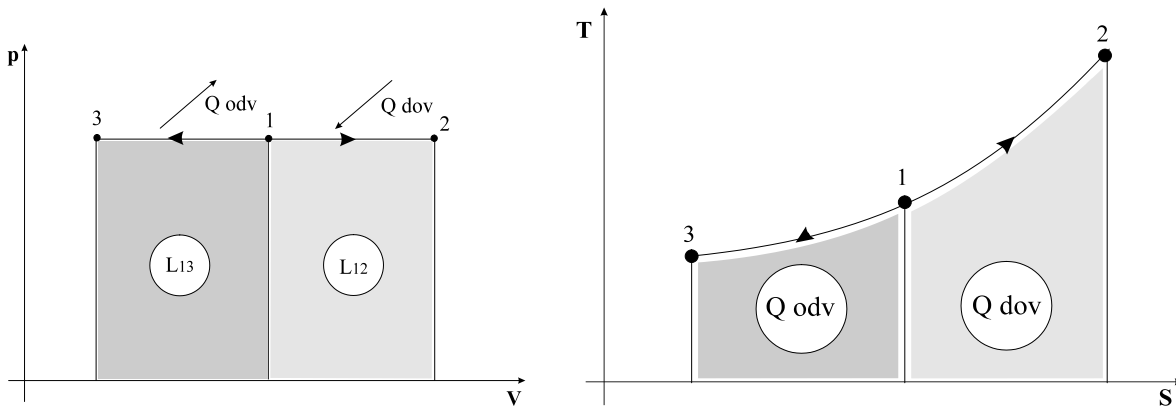
Iz jednacine stanja (1):

$$\frac{V}{T} = \text{const} ; \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \text{ - Gej - Lisakov zakon}$$

$$L = mR(T_2 - T_1)$$

$$Q = mc_p(T_2 - T_1)$$

$$\Delta U = Q - L = m \cdot (c_p - R) \cdot (T_2 - T_1) = mc_v(T_2 - T_1)$$



Kako je $Q = \int T ds$ kada S raste imamo dovodjenje toplote (Q_{dov}), a kada opada odvodjenje (Q_{odv}).

1.3.3. Izohorski proces

$$V = \text{const} , n = \infty$$

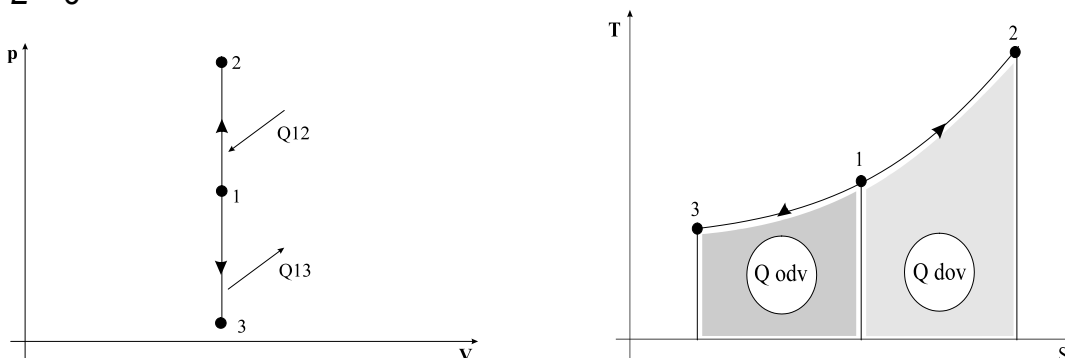
Iz jednacine stanja (1):

$$\frac{p}{T} = \text{const} ; \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \text{ - Šarlov zakon}$$

Dovodena toplota ide na povecanje unutrašnje energije .

$$Q = \Delta U = mc_v(T_2 - T_1)$$

$$L = 0$$



1.3.4 Izotermni proces

$$T = \text{const}, n = 1$$

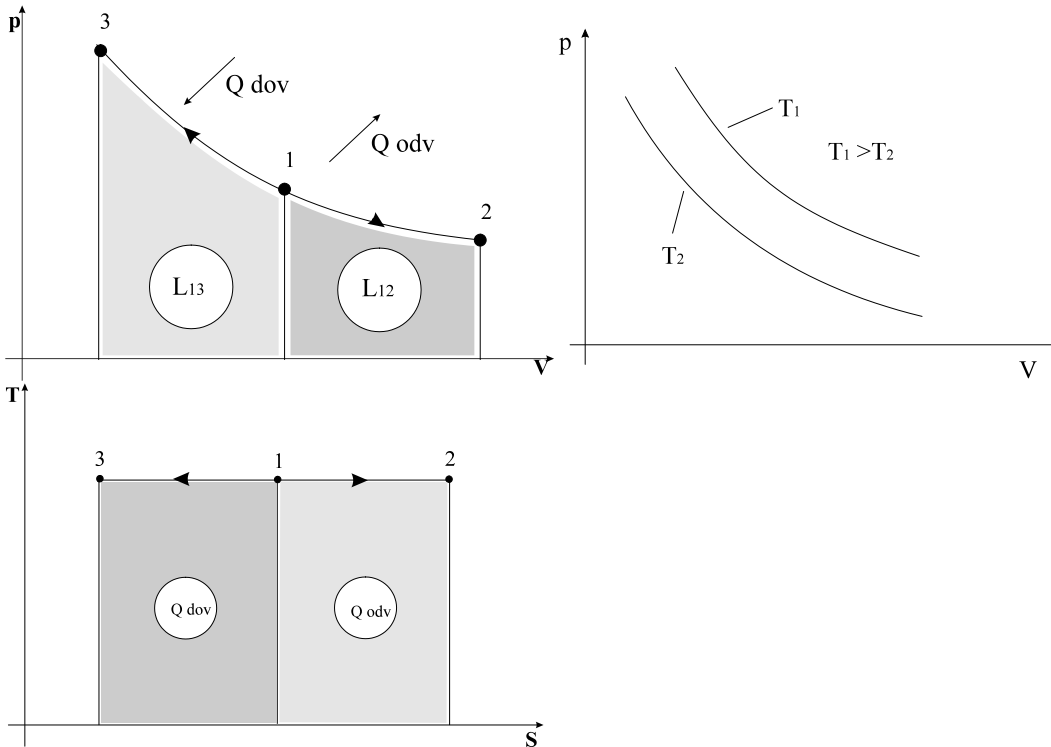
Iz jednacine stanja (1) :

$$pV = \text{const} \rightarrow p_1V_1 = p_2V_2 \text{ Bojl - Mariotov zakon}$$

Sva dovedena toplota trosi se na vršenje rada :

$$Q = L = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} mRT \frac{dV}{V} = mRT \ln \frac{V_2}{V_1} = p_1V_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = mRT_1 \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$\Delta U = 0$$



1.3.5 Adijabatski proces

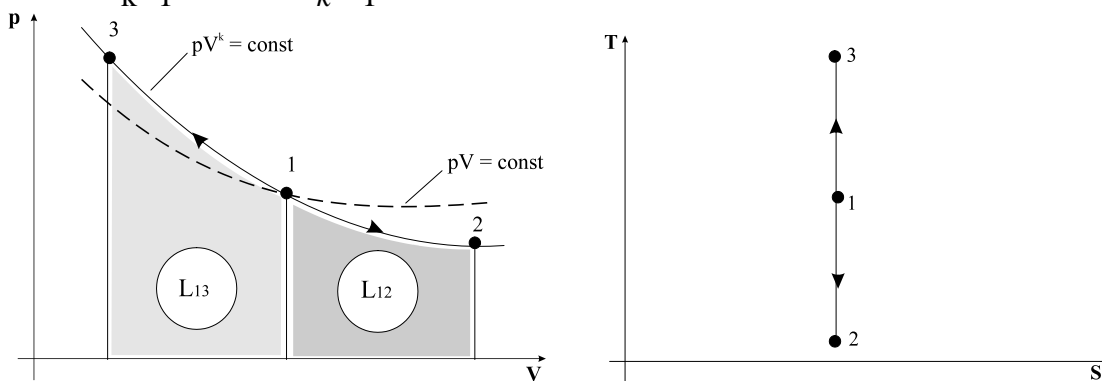
$$Q = 0, n = k, k = 1,4 - \text{za dvoatomne gasove}$$

$$pV^k = \text{const} - \text{jednacina adijabate}$$

Rad se vrši na racun promene unutrašnje energije

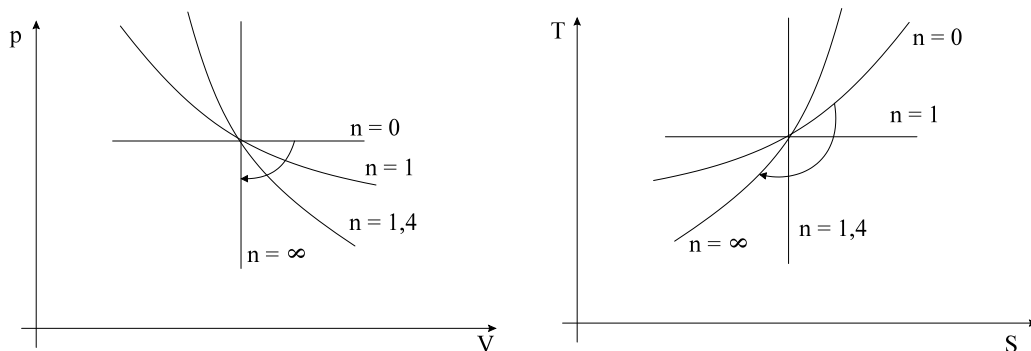
$$(5): L = -\Delta U = mc_v(T_1 - T_2) \text{ ili}$$

$$(3): L = \frac{mR}{k-1}(T_1 - T_2) = \frac{1}{k-1}(p_1V_1 - p_2V_2)$$



- adijabata je "strmija" od izterme

Dijagrami politropa



- kompresija (sabijanje) - smanjenje zapremine
- ekspanzija (širenje) - povećanje zapremine

Zadaci:

1. U rezervoaru const zapremine nalazi se vazduh pritiska 4 bara i temperature 10 °C. Za koliko se promeni pritisak vazduha ako se temperatura (izražena u °C) poveća za 50 %.

Rešenje:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \rightarrow p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 4 \cdot \frac{288}{283} = 4,07 \text{ bar}$$

$$t_2 = t_1 + 0,5t_1 = 10 + 0,5 \cdot 10 = 15^\circ \text{C} \rightarrow T_2 = t_2 + 273 = 288 \text{K}$$

$$\Delta p = p_2 - p_1 = 4,07 - 4 = 0,07 \text{ bar} = 7000 \text{Pa} = 7 \text{kPa}$$

Pritisak se promeni za 7kPa

2. Uporediti radove pri adijabatskom i politropskom procesu ($n=1.2$) koje vrši 1 kmol vodonika ($R=4157 \text{ J / kgK}$) između temperature 20°C i 60°C.

Rešenje:

Masa vodonika bice :

$$m = \text{br. kmol} \cdot M = 1 \cdot 2 = 2 \text{kg}$$

gde je :

$$M = 2 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} - \text{molarna masa vodonika data u tablici 3.}$$

Sada je rad pri politropskom procesu :

$$L_p = \frac{mR}{n-1} (T_1 - T_2) = \frac{2 \cdot 4157}{1.2 - 1} (293 - 333) = -1662.8 \text{ kJ}$$

Rad pri adijabatskom procesu bice :

$$L_a = \frac{mR}{k-1} (T_1 - T_2) = \frac{2 \cdot 4157}{1.4 - 1} \cdot (-40) = -831.4 \text{ kJ}$$

Dakle, rad pri adijabatskom procesu je duplo manji od politropskog kod koga je $n = 1,2$.

Znak minus ukazuje da se radi o uloženom radu.

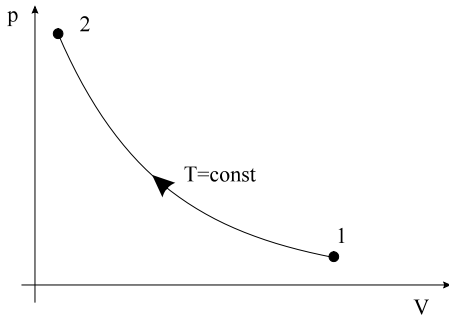
3. Masa od 3 kg kiseonika ($R= 260 \text{ J/kgK}$) pritiska $p_1=1 \text{ bar}$ i temperature $t_1=20^\circ\text{C}$, sabija se izotermno do zapremine 0.43 m^3 .

1. Predstaviti proces u P-V dijagramu.

2. Do kog pritiska treba vršiti izotermno sabijanje, koju toplotu pri tom treba odvesti i na i rad u tom slučaju ?

Rešenje :

1.)



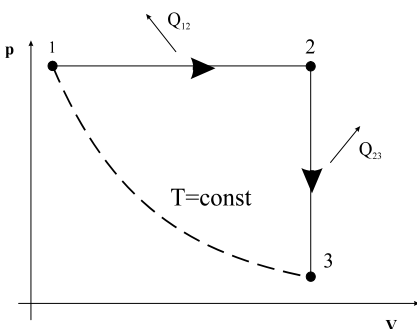
$$2.) V_1 = \frac{mRT_1}{p_1} = \frac{3 \cdot 260 \cdot 293}{10^5} = 2,3 \text{ m}^3$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \rightarrow p_2 = p_1 \cdot \frac{V_1}{V_2} = 1 \cdot \frac{2,3}{0,46} = 5 \text{ bar}$$

$$L = Q = mRT_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = 3 \cdot 260 \cdot 293 \cdot \ln \frac{1}{5} = -367821 \text{ J} \cong -368 \text{ kJ}$$

4. U cilindru pre nika 60 cm nalazi se 0.31 m³ vazduha ija je temperatura 37 °C , a pritisak 0.423 bar. Na koju temperaturu mora da se zagreje vazduh pri stalnom pritisku da bi se klip koji se kre e bez trenja pomerio za 40 cm ? Koji pritisak se uspostavi u cilindru ako se klip utvrdi u tom položaju , a temperatura opet opadne na 37 °C ? Izra unati izvršeni rad , ukupnu promenu unutrašnje energije i razmenjenu koli inu toplote , i prikazati proces u p-V dijagramu. Gasna konstanta je R=287J/kgK , a specifi na toplota pri const. pritisku 1 $\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$, a pri const. zapremini 0.72 $\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$.

Rešenje:



Zapremina u stanju 2 :

$$V_2 = V_1 + \frac{D^2 f}{2} \cdot h = 0.31 + \frac{0.6^2 f}{4} = 0.423 m^3$$

Koriscenjem jedn. izobare za proces 1-2 dobija se :

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{V_2}{V_1} = 310 \cdot \frac{0.423}{0.31} = 423 K$$

Pritisak u stanju 3 odredjen je jedn. izohore 2-3 :

$$p_3 = p_2 \cdot \frac{T_3}{T_2}$$

Kako je usled izobarskih procesa 1-2 pritisak $p_1 = p_2$, a tacke 1 i 3 leze na istoj izotermi imamo tako da je $T_1 = T_3$ pa se predhodna jednakost moze napisati kao :

$$p_3 = p_1 \cdot \frac{T_1}{T_2} = 0.423 \cdot \frac{310}{423} = 0.31 \text{ bar}$$

Ukupan rad i razmenjena kolicina toplote dobija se sabiranjem za pojedinačne delove ciklusa :

$$L_{13} = L_{12} + L_{23} = L_{12} = p_1(V_2 - V_1) = 0.423 \cdot 10^5 \cdot (0.423 - 0.31) = 4780 J$$

$$\Delta u = \Delta u_{12} + \Delta u_{23} = m \cdot c_v(T_2 - T_1) + m \cdot c_v(T_3 - T_2) = m \cdot c_v(T_3 - T_1) = 0$$

$$Q_{13} = Q_{12} + Q_{23} = m \cdot C_p(T_2 - T_1) + m \cdot c_v(T_3 - T_2) = 3 \cdot 10^{-4} \cdot [10^3 \cdot (423 - 310) + 0.72 \cdot 10^3(310 - 423)] = 9.5 J$$

5. Koli ini od 1,5 kg vodonika se dovede pri izohorskom procesu 3237 kJ toplote, a zatim se pri izobarskoj kompresiji zapremina smanji za 40%. Po etni parametri vodonika su : $p_1=0.8 \text{ bar}$ i $t_1=10^0 \text{ C}$. Predstaviti proces u P-V dijagramu i izra unati rad, promenu unutrašnje energije i koli inu razmenjene toplote. Za vodonik je : $c_v = 10.4 \text{ kJ/kgK}$, $R = 4157 \text{ J/kgK}$

Rešenje:

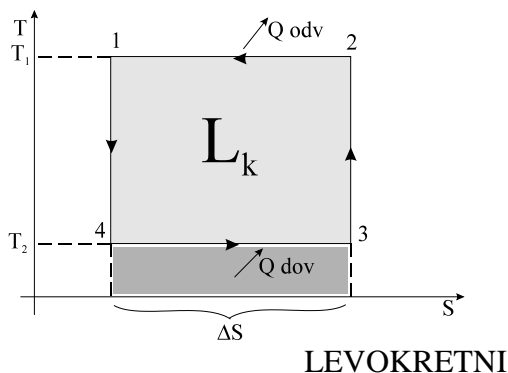
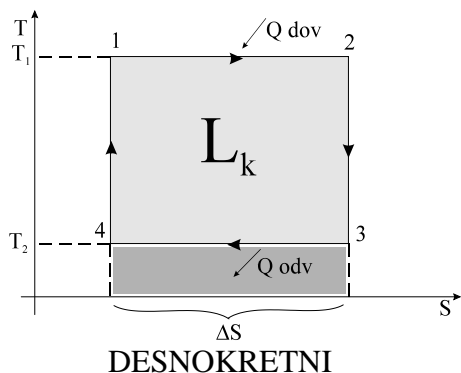
$$L = -1223.4 kJ, \Delta U = 176.3 kJ, Q = -1048 kJ$$

2. Kružni procesi . Karnoov , Otov i Dizelov ciklus

Kružni proces je onaj kod koga se na ra un razmenjene koli ine toplote *stalno* dobija koristan rad .

2.1. Karnoov cikluc

Sastoji se iz dve izoterme i dve adijabate . Ima najve i stepen iskoriš enja jer su mu svi procesi povratni .



Stepen iskoriš enja ciklusa odnosi se na desnokretni ciklus prisutan kod toplotnih motora .

$$\eta_{tc} = \frac{\text{korisno}}{\text{uloženo}} = \frac{L_k}{Q_{dov}} \stackrel{\otimes}{=} \frac{Q_{dov} - |Q_{odv}|}{Q_{dov}} = \frac{T_1 \cdot \Delta S - |T_2 \cdot \Delta S|}{T_1 \cdot \Delta S} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$0 < \eta_{tc} < 1$$

Zavisi samo od temperatura zagreja a (toplotnog izvora) T_1 , i hladnjaka (toplotnog ponora) T_2 .

Levokretni predstavlja idealizaciju realnih procesa u mašinama za hladjenje ili toplotnim pumpama . Efektivnost ciklusa mašina za hladjenje izražava se **koeficijentom hladjenja** ,

$$\varepsilon_{hc} = \frac{\text{korisno}}{\text{uloženo}} = \frac{Q_{dov}}{L_k} \stackrel{\otimes}{=} \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

a efektivnost ciklusa toplotnih pumpi **koeficijentom grejanja** .

$$\varepsilon_{gc} = \frac{\text{korisno}}{\text{uloženo}} = \frac{|Q_{odv}|}{L_k} \stackrel{\otimes}{=} \frac{T_1}{T_1 - T_2} = 1 + \varepsilon_{hc}$$

⊗Levo od znaka jednakosti važi uopšteno za sve termodinami ke cikluse , a desno samo za idealni Karnoov ciklus .

Zadaci :

6. Gasu koji obavlja desnokretni Karnoov ciklus dovedena je toplota od 250 kJ . Termini ki stepen iskoriš enja ciklusa 0.46 . Koliki je ostvareni rad i odvedena toplota ?

Rešenje :

$$\eta_{tc} = \frac{L_k}{Q_{dov}} \rightarrow L_k = \eta_{tc} \cdot Q_{dov} = 0.46 \cdot 250 = 115 \text{ kJ}$$

$$|Q_{odv}| = Q_{dov} - L_k = 250 - 115 = 135 \text{ kJ}$$

7. U sušari za drvo agens sušenja (vlažni vazduh) se greje toplotnom pumpom , pri emu se hladnjak pumpe nalazi u vodi temperature $t_2 = 4^\circ\text{C}$, a temperatura koju dostiže greja je $t_1 = 60^\circ\text{C}$. Koliki je koeficijent grejanja ako smatramo da pumpa radi po Karnoovom ciklusu ?

Rešenje :

$$\varepsilon_g = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{333}{333 - 277} = 5.94 = \frac{|Q_{odv}|}{L_k}$$

Zna i pumpom se predaje toplota vazduhu 5.94 puta ve a od uloženog rada . Drugim re ima, utroškom elektri ne energije od 1 kWh , dobija se 5.94 kWh toplote za grejanje , no treba imati u vidu da je ovo samo idealizacija levokretnog Rankin - Klauzisovog ciklusa koji se dešava u toplotnoj pumpi .

2.2. Otov kružni ciklus

8. Odrediti koristan rad i stepen iskoriš enja Otovog ciklusa koji se odigrava sa 1 kg vazduha

(idealni gas) za koga je $c_v = 0.72 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$, a temperature na po etku i kraju adijabatske kompresije redom $T_1 = 303 \text{ K}$ i $T_2 = 765 \text{ K}$; dok su temperature na po etku i na kraju adijabatske ekspanzije $T_3 = 1225 \text{ K}$ i $T_4 = 598 \text{ K}$ respektivno .

Rešenje :

Na dijagramu je prikazan teoretski ciklus koji se odigrava u cilindru etvorotaktnog SUS motora koga sa inajvaju slede i osnovni termodinami ki ciklusi :

1-2 adijabatska kompresija (sabijanje)

2-3 dovođenje toplote mešavini putem varnice sve ice (paljenje)

3-4 adijabatska ekspanzija (radni takt)

4-1 odvodjenje toplote (ispuštanje sagorelih gasova u (4) i uvođenje nove radne mešavine (1) iz karburatora).