

Priručnik za termodinamiku

Tabele i dijagrami

Dr Bogosav M. Vasiljević, profesor u penziji
Prof. dr Miloš J. Banjac

**Priručnik za termodinamiku
Tabele i dijagrami
VIII izdanje**

Recenzenti:
Dr Vladimir Stevanović, red. prof.
Dr Srbislav Genić, red. prof.

Izdavač:
MAŠINSKI FAKULTET
Univerziteta u Beogradu
Ul. Kraljice Marije br. 16, Beograd
tel. (011) 3370-760
fax. (011) 3370-364
www.mas.bg.ac.rs

Za izdavača:
Dekan, prof. dr Radivoje Mitrović.

Urednik:
Dr Milan Lečić, red. prof.
Predsednik komisije za izdavačku delatnost
Mašinskog fakulteta u Beogradu

Tiraž: 500 primeraka

Štampanje odobrila:
Komisija za izdavačku delatnost
Mašinskog fakulteta u Beogradu,
i
Dekan Mašinskog fakulteta u Beogradu
Odlukom br. 06/2021
od 18.3.2021. godine

Štampa: "Planeta print"
Ruzveltova 10, 11000 Beograd
www.planeta-print.co.rs

Beograd, 2021. godine

ISBN 979-86-6060-068-6

©Sva prava zadržavaju autori. Nije dozvoljeno da bez predhodne pismene dozvole autora bilo koji deo ove knjige bude snimljen, emitovan ili reprodukovan, uključujući, ali ne i ograničavajući se na fotokopiranje, fotografiju, magnetni ili bilo koji drugi vid zapisa.

Umesto predgovora

Novi Priručnik iz termodinamike - tabele i dijagrami, predstavlja rezultat višedecenijskog pabirčenja potrebnog materijala, te njegovog sistematizovanja, obrađivanja i pripremanja za što preglednije prikazivanje. Želja man je da, već u prvom izdanju ovog Priručnika, bude što manje propusta u izboru numeričkih vrednosti za pojedine fizičke veličine, te da izabrane vrednosti budu što pouzdanije i što detaljnije prikazane. To se odnosi, pre svega, na numeričke vrednosti veličina stanja i termofizičkih svojstava za gasove (idealne, poluidalne i realne), vodu, vodenu paru, tečne rashladno-grejne fluide i njihove pare, vlažni vazduh i, veoma sažeto, na vrednosti termofizičkih svojstava za čvrste materijale i vrednosti zračnih svojstava za granične površi čvrstih tela. Detaljniji prikaz termofizičkih svojstava za tečnosti, tečne metale, čvrste metrijale i za većinu termodinamičkih fluida što se, kao nosioci energije, koriste u toplotnim predajnicima (prijemnicima), biće dati u novom Priručniku iz prenošenja količine toplote, koji se nalazi u završnoj fazi pripreme za štampu. Postoji, takođe, pritajena nada da će korisnici ovog Priručnika – studenti Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, sudenti drugih tehničkih fakulteta, viših i visokih tehničkih škola u Srbiji, te svi oni koji se u praksi susreću sa termodinamičkim problemima (oblast: termotehnike, termoenergetike, rashladne i procesne tehnike itd.), biti zadovoljni njegovim sadržajem i načinom na koji je taj materijal predstavljen.

Pri sastavljanju Priručnika nailazilo se na brojne, stručno-terminološke nedoumice, što proizilaze, uglavnom, iz haotičnog stanja u Srpskom jezičkom standardu. Da bi se izbegla pojmovna dvosmislenost, zamagljenost i nedorečenost, težilo se što pravilnijem izboru naučno-stručnih termina, koji se koriste u oblastima: termodinamike, prenošenja količine toplote, fizike, hemije itd. Stoga su dosledno poštovane preporuke međunarodnog i nacionalnog standarda ISO-a i SRPS-a 31, zatim preporuke Međunarodne unije za čistu i primenjenu fiziku, IUPAP-a, te preporuke Međunarodne unije za čistu i primenjenu hemiju, IUPAC-a, o nazivima i označavanju fizičkih veličina i njihovih mernih jedinica, kao i o nazivima i označavanju hemijskih jedinjenja.

Posebna pažnja je posvećena:

- a) upotrebi atributa “maseni” (ili “specifični”), “zapreminski” (ili termina “gustina”), “molarni”, “površinski” i “linijski”. Prvi atribut je dodavan fizičkoj veličini, dobijenoj kao količnik razmatrane ekstenzivne fizičke veličine i mase [masena ili specifična zapremina (*massic or specific volume*); masena ili specifična entalpija (*massic or specific enthalpy*)], drugi – razmatrane ekstenzivne fizičke veličine i zapremine [zapreminska masa ili gustina mase (*volumic mass or mass density*); zapreminska entalpija ili gustina entalpije (*volumic enthalpy or enthalpy density*)], treći – razmatrane ekstenzivne fizičke veličine i količine, četvrti – razmatrane ekstenzivne fizičke veličine i površine i peti – razmatrane ekstenzivne fizičke veličine i dužine.
- b) upotrebi termina „protok“ neke ekstenzivne veličine kroz zadatu površinu. Taj termin je dodavan fizičkoj veličini, dobijenoj kao količnik razmatrane elementarne ekstenzivne veličine i elementarnog trajanja proticanja, npr. protok mase (*mass flow rate*) fluidne supstancije, protok zapremine (*volume flow rate*) fluidne supstancije, protok entalpije (*enthalpy flow rate*) fluidne supstancije itd.
- c) upotrebi termina „koeficijent“ ili „modul“ i „faktor“ ili „činilac“. Termin „koeficijent“ ili „modul“ je korišćen kad je jedna fizička veličina neke pojave proporcionalna drugoj fizičkoj veličini te pojave, pri čemu te fizičke veličine imaju različite merne jedinice, npr. koeficijent toplotnog prelaženja - h , koeficijent toplotnog prolaženja - k , modul elastičnosti - E itd. Termin „faktor“ ili „činilac“ je korišćen kad je jedna fizička veličina neke pojave proporcionalna drugoj fizičkoj veličini te pojave, pri čemu obe fizičke veličine imaju istu mernu jedinicu. Dakle, korišćen je za izvedene fizičke veličine sa mernom jedinicom 1, npr. faktor (činilac) ozračenosti površi 2 odzračenosti sa površi 1 - $\bar{f}_{1 \rightarrow 2}$, činilac ili faktor apsorpcije granične površi nekog tela - α , činilac ili faktor refleksije granične površi nekog tela - ρ , faktor ternja - μ itd. Ukoliko fizička veličina predstavlja čisto fizičko svojstvo materijala ili granične površi, a po svojoj prirodi bi trebalo da u nazivu sadrži i termin „koeficijent“ ili „faktor“, saglasno preporukama ISO-a i SRPS-a 31, ti termini su izostavljani, npr. toplotna provodljivost za materijal - λ , a ne koeficijent toplote

provodljivosti, toplotna difuzivnost za materijal - a , a ne koeficijent toplotne difuzivnosti, emisivnost za graničnu površ tela - ε , a ne koeficijent emisije itd.

- d) korišćenju stručnih naziva što ih je za neorganska i organska jedinjenja, još 1957. i 1963. godine, razradila i preporučila Komisija međunarodne unije za čistu i primenjenu hemiju - International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC. Tako su, ispred malih zagrada navedeni nazivi jedinjenja po preporuci IUPAC-ove komisije za nomenklaturu, a u zagradama njihova uobičajena imena.
- e) korišćenju uobičajenih sintagmi: „dovoditi“ ili „odvoditi mehanički rad“, te „dovoditi“ ili „odvoditi toplotu“ koja se protive svakoj logici pošto rad i toplota predstavljaju samo načine energijskog dejstva između razmatranog termodinamičkog tela i okolnih tela i obrnuto, i nisu povezani sa odvođenjem i dovođenjem količine supstancije. Dakle, okolna tela mogu samo da obave mehanički rad na razmatranom termodinamičkom telu ili da termodinamičko telo od okolnih tela primi određenu količinu toplote (energije) i obrnuto – da termodinamičko telo obavi mehanički rad na okolnim telima ili da im preda određenu količinu toplote.
- f) upotrebi pojmova: „agregatno stanje“, „komponenta“ i „faza“, te atributa „prehlađena“ i „pothlađena“ tečnost. Kao što je poznato, svaka čvrsta jednokomponentna hemijska supstancija ili hemijsko jedinjenje, u zavisnosti od fizičkih uslova, može da se pojavi u tri agregatna stanja: jednofaznom gasovitom, jednofaznom tečnom (osim tečnog helijuma koji ima dve faze – helijum I i helijum II) i čvrstom kristalnom stanju, koje može imati više faza – različitih kristalnih oblika, tzv. alotropa, sa različitim fizičkim i hemijskim svojstvima. Tako, na primer, supstancija sa hemijskom formulom H_2O , može se pojaviti u:
- čvrstom kristalnom stanju, koje može imati 8 alotropskih modifikacija (faza – vodenih leđova I, II, ..., VIII), od koji je samo 6 stabilnih;
 - jednofaznom tečnom stanju, koje uslovno može biti razvrstan na: prehlađenu vodu [$p < p_{tr}$, $\vartheta < \vartheta_{sat}(p)$], pothlađenu vodu [$p_{tr} < p < p_{cr}$, $\vartheta_{liq}(p) < \vartheta < \vartheta_{sat}(p)$], vodu u stanju zasićenja [$p_{tr} < p < p_{cr}$, $\vartheta = \vartheta_{sat}(p)$] i vodu u nadkritičnom stanju [$p \geq p_{cr}$, $\vartheta_{liq}(p) < \vartheta < \vartheta_{cr,pr}(p)$];
 - jednofaznom gasovitom stanju, koje uslovno može biti razvrstan na: suvozasićenu vodenu paru [$p < p_{cr}$, $\vartheta = \vartheta_{sat}(p)$], pregrejanu vodenu paru [$p < p_{cr}$, $\vartheta_{sat}(p) < \vartheta < \vartheta_{cr}$] i realni gas [$p < p_{cr}$, $\vartheta > \vartheta_{cr}$ ili $p \geq p_{cr}$ i $\vartheta > \vartheta_{cr,pr}(p)$].

Termin, pothlađena voda, označava vodu koja se pri izobarskom zagrevanju može dovesti do stanja zasićenja $\vartheta = \vartheta_{sat}(p)$, tj. ravnotežnog stanja pri kome naporedno mogu postojati ključala voda i suvozasićena vodena para, tokom preobražaja vode u paru. Međutim, voda u nadkritičnom stanju ne može biti pothlađena, budući da pri njenom izobarnom zagrevanju i dostizanju temperature $\vartheta_{cr,pr}(p)$, voda u celini, pretvara u realan gas, a da nema ravnotežnog stanja između njih.

S obzirom na ono što je već rečeno, nisu korišćeni uobičajeni termini kao što su: „maseni protok“, „zapreminski protok“ i „molarni protok“, iako su u duhu srpskog jezika i kao takvi navedeni i u nacionalnom standardu SRPS-a 31 (delovi od 0 do 13 iz 1998), pošto nisu ispravni u stručnom smislu. Budući da ne postoji pojam matematičke, a ni fizičke veličine čiji bi jezički izraz bio samo „protok“, to ne postoje ni količnici te veličine i mase supstancije, te veličine i zapremine supstancije i te veličine i količine supstancije.

Isto tako, za rad, obavljen promenom zapremine termodinamičkog tela, nije korišćen termin ukorenjeni termin „zapreminski rad“, pošto takav termin stvarno i postoji, i odnosi se na veličinu koja predstavlja količnik obavljenog rada i zapremine supstancije. Dakle, ispravno bi bilo samo „rad obavljen promenom zapremine termodinamičkog tela“.

Pored toga, u ovom izdanju, a prema SRPS-u i ISO-u 31, (delovi od 0 do 13, iz 1998. godine), izvršena je i promena algebarskog znaka obavljenih mehaničkih radova, tako da elementarni rad, što ga okolna tela, pomoću idealnog i toplotno izolovanog kinematičkog mehanizma obave na prostom zatvorenom i makroskopski nepokretnom termodinamičkom telu, promenom (smanjenjem) njegove zapremine, ili povišenjem njegovog pritiska, pri elementarnom delu prividno ravnotežne promene

ϖ , predstavlja pozitivnu veličinu ($\delta W_{\varpi}^V = -pdV > 0$, $\delta W_{\varpi}^t = Vdp > 0$), dok elementarni rad, što ga termodinamičko telo obavi na okolnim telima, promenom (povećanjem) svoje zapremine ili sniženjem svoga pritiska, pri elementarnom delu prividno ravnotežne promene ϖ , predstavlja negativnu veličinu ($\delta W_{\varpi}^V = -pdV < 0$, $\delta W_{\varpi}^t = Vdp < 0$). Stoga, prvi i drugi oblik Prvog principa termodinamike za prost, zatvoren i makroskopski nepokretan termomehanički sistem, sada glase: $\delta Q_{\varpi} + \delta W_{\varpi}^V = dU$ i $\delta Q_{\varpi} + \delta W_{\varpi}^t = dH$.

Posebno skrećemo pažnju korisnicima ovog Priručnika da su u zaglavljinama kolona u tabelama i na koordinatnim osama grafika i dijagrama nanošene numeričke vrednosti fizičkih veličina, izražene eksplicitno kao odnos fizičke veličine i njene osnovne ili izvedene jedinice SI, na primer: $(p_{tr}/\text{Pa}) = 611,2$, $[v''/(\text{m}^3/\text{kg})] = 1,42$, $(\vartheta/^\circ\text{C}) = 80$ itd. Ukoliko su numeričke vrednosti fizičke veličine, izražena osnovnom ili izvedenom jedinicom SI isuviše male, ili pak isuviše velike, korišćeni su:

- nazivi predmetaka za uvećanje (10^{+x}) ili umanjeње (10^{-x}) jedinica SI, na primer: $(p/\text{MPa}) = 70$, $[h''/(\text{kJ}/\text{kg})] = 2795$, $(\lambda/\text{nm}) = 589,6$ itd.
- ili predmeci za uvećanje (10^{+x}) ili umanjeње (10^{-x}) fizičke veličine, na primer $\{\lambda \cdot 10^3 / [\text{W}/(\text{mK})]\} = 83,7$, $[\eta \cdot 10^6 / (\text{Pa s})] = 24,91$, $[a \cdot 10^9 / (\text{m}^2/\text{s})] = 148$ itd., pa navedene fizičke veličine iznose: $\lambda = 83,7 \cdot 10^{-3} \text{ W}/(\text{m K})$, $\eta = 24,91 \cdot 10^{-6} \text{ Pa s}$ i $a = 148 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

Posebnu zahvalnost dugujemo recenzentima ovog rukopisa, prof. dr Vladimiru Stevanoviću i prof. dr Srbislavu Geniću, na korisnim savetima, koji su doprineli poboljšanju kvaliteta Priručnika.

Sve savete, predloge i primedbe u vezi s nedoslednošću i nedostacima u prikazu materijala, počešno navedenim podacima ili pogrešno upotrebljenim terminima, što ih budemo primili od studenata i ostalih korisnika ovog priručnika, prihvaćićemo sa zahvalnošću i kao dragocene, korisne i dobronamerne kritike, koje ćemo radi unapređenja sadržaja priručnika, otkloniti u sledećem izdanju.

Beograd,
septembar, 2009. godine

Autori

Predgovor 4. izdanju

Treće izdanje Priručnika iz termodinamike dopunjeno je poglavljem 7, koje je najvećim delom posvećeno temofizičkim svojstvima derivata nafte. Deo prikazanih podataka dobijen je u neposrednim ispitivanjima sprovedenim u kontrolnim laboratorijama kompanije „Naftna industrija Srbije“, a.d. Novi Sad, na derivatima nafte koji se nalaze na tržištu Srbije. Pored toga, u ovom poglavlju data su i temofizička svojstva žive i olova, kada se ovi metali nalaze u tečnom stanju, čime su obezbeđeni svi neophodni podaci potrebni za rešavanje zadataka iz zbirke zadataka Mapa za termodinamiku, a koja se preporučuje da se koristi pri pripremi ispita iz Termodinamike M, Primenjene termodinamike i Termodinamike M.

Unapred zahvaljujemo svima, a posebno kolegama po struci i studentima, da nam ukažu na eventualne greške, kako bi ih ispravili u sledećem izdanju.

Beograd,
januar, 2017. godine

Autori

Predgovor 5. izdanju

Peto izdanje Priručnika iz termodinamike ostalo je nepromenjeno u odnosu na njegovo 4. izdanje.

Unapred zahvaljujemo svima, a posebno kolegama po struci i studentima, da nam ukažu na eventualne greške, kako bi ih ispravili u sledećem izdanju.

Beograd,
januar, 2018. godine

Autori

Predgovor 6. izdanju

Šesto izdanje Priručnika iz termodinamike ostalo je nepromenjeno u odnosu na njegovo 4. izdanje.

Unapred zahvaljujemo svima, a posebno kolegama po struci i studentima, da nam ukažu na eventualne greške, kako bi ih ispravili u sledećem izdanju.

Beograd,
januar, 2019. godine

Autori

Predgovor 7. izdanju

Sedmo izdanje Priručnika iz termodinamike ostalo je nepromenjeno u odnosu na njegovo 4. izdanje.

Unapred zahvaljujemo svima, a posebno kolegama po struci i studentima, da nam ukažu na eventualne greške, kako bi ih ispravili u sledećem izdanju.

Beograd,
januar, 2020. godine

Autori

Predgovor 8. izdanju

Osmo izdanje Priručnika iz termodinamike ostalo je nepromenjeno u odnosu na njegovo 4. izdanje.

Unapred zahvaljujemo svima, a posebno kolegama po struci i studentima, da nam ukažu na eventualne greške, kako bi ih ispravili u sledećem izdanju.

Beograd,
februar, 2021. godine

Autori

Sadržaj

1. MEĐUNARODNI SISTEM MERNIH JEDINICA (SI JEDINICA)

1.1. Osnovne fizičke veličine i jedinice SI	1
1.1.2. Definicije osnovnih jedinica SI	1
1.2. Dopunske jedinice SI	3
1.2.2. Definicije dopunskih jedinica SI	3
1.3. Predmeci za uvećanje i umanjenje jedinica SI	3
1.4. Vrednosti osnovnih matematičkih i fizičkih konstanti koje se koriste u termodinamici i prenošenju količine toplote	4

2. HEMIJSKI ELEMENTI

2.1. Mendeljejevljev (Д. И. Менделеев, 1869) periodni sistem elemenata	5
2.2. Relativne atomske mase hemijskih elemenata	6
2.3. Raspored elektrona po slojevima i podslojevima prema tablici periodnog sistema za sve poznate elemente	7

3. GASOVI

3.1. Idealni gasovi	9
3.1.1. Jednačina termomehantičkog stanja za idealne (i poluidealne) gasove	9
3.1.2. Analitički oblici jednačine termomehantičkog stanja za idealne (i poluidealne) gasove	10
3.1.3. Jednačine energijskog stanja za idealne (i poluidealne) gasove	11
3.1.4. Broj stepeni slobode molekula, molarni toplotni kapaciteti, molarna termodinamička (ili unutrašnja) energija, molarna entalpija i odnos molarnih toplotnih kapaciteta za idealne gasove (po kinetičkoj teoriji gasova)	12
3.1.5. Fizička svojstva za neke idealne gasove	13
3.1.6. Izrazi za određivanje molarne i masene (ili specifične) termodinamičke (ili unutrašnje) energije i entalpije za idealne gasove	14
3.1.7. Izrazi za određivanje promene molarne i masene (ili specifične) termodinamičke (ili unutrašnje) energije, entalpije i entropije za idealne gasove	15

3.2. Poluidealni gasovi	16
3.2.1. Jednačina termomehantičkog stanja za poluidealne gasove	16
3.2.2. Molarni toplotni kapaciteti za poluidealne gasove (po kinetičkoj teoriji gasova i teoriji kvanta)	16
3.2.3. Karakteristične temperature za neke poluidealne gasove	16
3.2.4. Energijske jednačine stanja za poluidealne gasove	17
3.2.5. Zavisnost molarnog i masenog (ili specifičnog) toplotnog kapaciteta za neke poluidealne gasove od termodinamičke temperature	17
3.2.6. Zavisnost odnosa masenih (ili specifičnih) toplotnih kapaciteta, odnosno eksponenta izoentropije, za neke poluidealne gasove, od Celzijusove temperature	17
3.2.7. Izrazi za određivanje promene molarne i masene (ili specifične) termodinamičke (ili unutrašnje) energije, entalpije i entropije za poluidealne gasove	18
3.2.8. Koeficijenti u jednačini s numeričkim vrednostima za empirijsku zavisnost molarnog toplotnog kapaciteta, pri stalnom pritisku ($p \rightarrow 0$), od termodinamičke temperature za poluidealne gasove	20
3.2.9. Molarna entalpija za neke poluidealne gasove u zavisnosti od termodinamičke temperature	24
3.2.10. Srednji molarni toplotni kapacitet za neke poluidealne gasove, pri stalnom pritisku, u zavisnosti od Celzijusove temperature	25
3.2.11. Srednji maseni (ili specifični) toplotni kapacitet za neke poluidealne gasove, pri stalnom pritisku, u zavisnosti od Celzijusove temperature	26
3.2.12. Apsolutna molarna entropija za neke poluidealne gasove, pri pritisku $p = 101,325$ kPa, u zavisnosti od termodinamičke temperature	27
3.2.13. Priraštaj molarne entropije za neke poluidealne gasove, pri izobarnoj promeni njihovog stanja, od polazne termodinamičke temperature $T_0 = 273,15$ K do dostignute termodinamičke temperature T	28
3.2.14. Priraštaj molarne entropije za neke poluidealne gasove, pri izohornoj promeni njihovog stanja, od polazne termodinamičke temperature $T_0 = 273,15$ K do dostignute termodinamičke temperature T	29
3.3. Realni gasovi	30
3.3.1. Veličine kritičnog (kriznog) stanja za neke čiste supstancije (hemijske elemente i hemijska jedinjenja)	30

3.3.2. Kohezijska konstanta a , kovolumen b i masena (ili specifična) gasna konstanta r_w , u Van der Valsovoj jednačini termomehantičkog stanja za neke realne gasove	35
3.3.3. Fizička svojstva za neke značajnije tehničke gasove, pri pritisku $p = 0,1$ MPa	36
3.3.4. Termofizička svojstva za suvi vazduh pri pritisku $p = 0,1$ MPa	38

4. VODA I VODENA PARA

4.1. Grafički prikazi jednačine termomehantičkog stanja za čiste jednokomponentne supstancije	39
4.1.1. Figurativna termodinamička površ - grafički prikaz jednačine termomehantičkog stanja $f(v, T, p) = 0$ za čiste jednokomponentne supstancije, što pri topljenju smanjuju svoju zapreminu (H_2O , Bi, Sb, liveno Fe i neke organske supstancije)	39
4.1.2. Figurativna termodinamička površ - grafički prikaz jednačine termomehantičkog stanja $f(v, T, p) = 0$ za čiste jednokomponentne supstancije, što pri topljenju povećavaju svoju zapreminu (većina neorganskih i organskih supstancija)	40
4.1.3. Figurativna termodinamička površ - grafički prikaz jednačine termomehantičkog stanja $f(v, T, p) = 0$ za H_2O	41
4.2. Određivanje veličina stanja za zasićenu vlažnu vodenu paru	41
4.3. Dijagrami stanja za vodu i vodenu paru	43
4.3.1. Grafički prikaz jednačine termomehantičkog stanja za vodu i vodenu paru u Klapertonovoj (B.P.E. Clapeyron) koordinatnoj ravni - v, p dijagram	43
4.3.2. Grafički prikaz jednačine energijskog stanja za vodu i vodenu paru u Belperovoj (Belpaire) koordinatnoj ravni - s, ϑ dijagram	43
4.3.3. Grafički prikaz jednačine energijskog stanja za vodu i vodenu paru u Molijerovoj (R. Mollier, 1904) koordinatnoj ravni - s, h dijagram	44
4.3.4. Zavisnost masenih (ili specifičnih) entalpija za vodu u stanju zasićenja (h') i za suvozasićenu vodenu paru (h''), te masene (ili specifične) količine toplote za isparavanje vode $[(h'' - h') = (u'' - u') + p_{sat}(v'' - v')]$, od Celzijusove temperature zasićenja, odnosno od pritiska zasićenja	44
4.3.5. Grafički prikaz jednačine energijskog stanja za vodu i vodenu paru u p, h koordinatnoj ravni - p, h dijagram	45

4.4. Veličine stanja i termofizička svojstava za vodu i vodenu paru	46
4.4.1. Pritisak za zasićenu, zapreminski razvijenu paru, iznad ravne površi vodenog leda I, a u zavisnosti od Celzijusove temperature $\vartheta \in [-50, \dots, 0]^\circ\text{C}$	46
4.4.2. Pritisak za zasićenu, zapreminski razvijenu paru, iznad ravne površi prehlađene vode, a u zavisnosti od Celzijusove temperature $\vartheta \in [-20, \dots, 0]^\circ\text{C}$	48
4.4.3. Pritisak za zasićenu, zapreminski razvijenu paru, iznad ravne površi vode, a u zavisnosti od Celzijusove temperature $\vartheta \in [1, \dots, 50]^\circ\text{C}$	49
4.4.4. Veličine stanja za vodeni led I i njegovu zapreminski razvijenu paru u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	51
4.4.5. Veličine stanja za vodu i njenu zapreminski razvijenu paru u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	52
4.4.6. Veličine stanja za vodu i njenu zapreminski razvijenu paru u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od termodinamičke temperature	55
4.4.7. Veličine stanja za vodu i njenu zapreminski razvijenu paru u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od pritiska	58
4.4.8. Veličine stanja za pothlađenu vodu [$p_{tr} < p < p_{cr} = 22,115 \text{ MPa}$, $\vartheta_{liq}(p) < \vartheta < \vartheta_{cr,pr}(p)$, $\vartheta_{liq}(p) < \vartheta < \vartheta_{sat}(p)$], pregrejanu vodenu paru [$p < p_{cr}$, $\vartheta_{sat}(p) < \vartheta < \vartheta_{cr} = 374,12^\circ\text{C}$] i realni gas ($p < p_{cr}$ $\vartheta > \vartheta_{cr}$), a u zavisnosti od pritiska i Celzijusove temperature	61
4.4.9. Veličine stanja za vodu u natkritičnom stanju [$p > p_{cr} = 22,115 \text{ MPa}$,] i realni gas [$p > p_{cr}$, $\vartheta > \vartheta_{cr,pr}(p)$], a u zavisnosti od pritiska i Celzijusove temperature	98
4.4.10. Empirijske zavisnosti u obliku jednačine sa numeričkim vrednostima, za približno određivanje nekih veličina stanja i fizičkih svojstava za vodu pri pritisku $p < 1,5 \text{ MPa}$	110
4.4.11. Termofizička svojstva za vodu pri pritisku $p = 0,1 \text{ MPa}$, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	111
4.4.12. Termofizička svojstva za vodu u stanju zasićenja, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	111
4.4.13. Termofizička svojstva za suhu vodenu paru u stanju zasićenja, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	113

4.4.14. Maseni (ili specifični) toplotni kapacitet za pothlađenu vodu, pregrejanu vodenu paru i realni gas, pri stalnom pritisku, a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	115
4.4.15. Zavisnost masenog (ili specifičnog) toplotnog kapaciteta za vodu i vodenu paru, pri stalnom pritisku, od Celzijusove temperature i pritiska	120
4.4.16. Toplotna provodljivost za pothlađenu vodu, pregrejanu vodenu paru i realni gas, a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	121
4.4.17. Zavisnost toplotne provodljivosti za vodu i vodenu paru od Celzijusove temperature i pritiska	127
4.4.18. Dinamička viskoznost za pothlađenu vodu, pregrejanu vodenu paru i realni gas, a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	128
4.4.19. Zavisnost dinamičke viskoznosti za vodu i vodenu paru od Celzijusove temperature i pritiska	134
4.4.20. Prantlov broj za pothlađenu vodu, pregrejanu vodenu paru i realni gas, a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	135
4.4.21. Zavisnost Prantlovog broja za vodu i vodenu paru od Celzijusove temperature i pritiska	141
4.4.22. Zavisnost površinskog napona za vodu od termodinamičke temperature	142
4.4.23. Zavisnost eksponeta izoentropije za vlažnu i pregrejanu vodenu paru od Celzijusove temperature i entropije	143
4.4.24. Zavisnost faktora realnog gasa (faktora kompresibilnosti ili faktora stišljivosti) za pregrejanu vodenu paru od pritiska i Celzijusove temperature	144
4.4.25. Koeficijenti u aproksimacionim izrazima sa numeričkim vrednostima, za određivanje termofizičkih svojstva za vodu u stanju zasićenja, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	145

5. RASHLADNO-GREJNI FLUIDI

+ 5.1. Označavanje rashladno-grejnih fluida i njihova osnovna fizička svojstva	147
5.2. R717 - Amonijak (NH ₃)	150
5.2.1. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečni R717 (amonijak, NH ₃) i njegovu zapreminski razvijenu paru u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	150
5.2.2. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za pregrejanu paru i realni gas R717 (amonijak, NH ₃), a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	157

5.2.3. Termofizička svojstva za tečni R717 (amonijak, NH ₃) i njegovu paru u stanju zasićenja, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	165
5.3. R744-Ugljenik (IV)-oksid (ugljen-dioksid, CO₂)	166
5.3.1. Veličine stanja za kristalni „suvi led“ R744 [ugljenik (IV)-oksid, CO ₂] i njegovu zapreminski razvijenu paru, u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	166
5.3.2. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečni R744 [ugljenik (IV)-oksid, CO ₂] i njegovu zapreminski razvijenu paru u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od termodinamičke temperature	167
5.3.3. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za pothlađenu tečnost [$p < p_{cr}$, $\vartheta_{liq}(p) < \vartheta < \vartheta_{sat}(p)$], pregrejanu paru [$p < p_{cr}$, $\vartheta_{sat}(p) < \vartheta < \vartheta_{cr}$], i realan gas ($p < p_{cr}$, $\vartheta > \vartheta_{cr}$) R744 [ugljenik(IV)-oksid, CO ₂], a u zavisnosti od termodinamičke temperature i pritiska	169
5.3.4. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečnost u natkritičnom stanju [$p > p_{cr} = 7,383$ MPa , $T_{liq}(p) < T < T_{cr,pr}(p)$] i realan gas [$p > p_{cr}$, $T > T_{cr,pr}(p)$] R744 (ugljenik(IV)-oksid, CO ₂), a u zavisnosti od termodinamičke temperature i pritiska	177
5.3.5. Toplotna provodljivost za pothlađenu tečnost, pregrejanu paru i realni gas ($\vartheta > \vartheta_{cr}$) R744 [ugljenik (IV)-oksid, CO ₂], a u zavisnosti od termodinamičke temperature i pritiska	184
5.3.6. Dinamička viskoznost za pregrejanu paru, tečnost i realni gas ($\vartheta > \vartheta_{cr}$) R744 [ugljenik (IV)-oksid, CO ₂], u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	186
5.4. R11 - Fluortrihlormetan (CFCl₃)	188
5.4.1. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečni R11 (Fluortrihlormetan, CFCl ₃) i njegovu zapreminski razvijenu paru, u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	188
5.4.2. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za pregrejanu paru i realni gas R11 (Fluortrihlormetan, CFCl ₃), a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	196
5.4.3. Termofizička svojstva za tečni R11 (Fluortrihlormetan, CFCl ₃) i njegovu suhu paru u stanju zasićenja, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	202

5.5. R12 – Difluordihlormetan (CF₂Cl₂)	203
5.5.1. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečni R12 (Difluordihlormetan, CF ₂ Cl ₂) i njegovu zapreminski razvijenu paru, u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	203
5.5.2. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za pregrejanu paru i realni gas R12 (Difluordihlormetan, CF ₂ Cl ₂), a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	209
5.5.3. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za realni gas R12 (Difluordihlormetan, CF ₂ Cl ₂), a u zavisnosti od Celzijusove temperature ($\vartheta > \vartheta_{cr,pr} = 112^{\circ}\text{C}$) i pritiska ($p > p_{cr} = 4,119 \text{ MPa}$)	215
5.5.4. Termofizička svojstva za tečni R12 (Difluordihlormetan, CF ₂ Cl ₂) i njegovu suhu paru u stanju zasićenja, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	217
5.6. R12B1 – Difluorhlorbrommetan (CF₂ClBr)	218
5.6.1. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečni R12B1 (Difluorhlorbrommetan, CF ₂ ClBr) i njegovu zapreminski razvijenu paru, u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	218
5.6.2. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za pregrejanu paru i realni gas R12B1 (Difluorhlorbrommetan, CF ₂ ClBr), a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	226
5.6.3. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečnost i realni gas R12B1 (Difluorhlorbrommetan, CF ₂ ClBr), a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	231
5.6.4. Termofizička svojstva za tečni R12B1 (Difluorhlorbrommetan, CF ₂ ClBr) i njegovu suhu paru u stanju zasićenja, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	232
5.7. R13 – Trifluorhlormetan (CF₃Cl)	233
5.7.1. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečni R13 (Trifluorhlormetan, CF ₃ Cl) i njegovu zapreminski razvijenu paru, u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	233
5.7.2. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za pregrejanu paru i realni gas R13 (Trifluorhlormetan, CF ₃ Cl), a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	238

5.7.3. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečnost i realni gas R13 (Trifluorhlormetan, CF_3Cl), a u zavisnosti od Celzijusove temperature ($\vartheta > \vartheta_{\text{cr}} = 28,75^\circ\text{C}$) i pritiska ($p > p_{\text{cr}} = 3,868 \text{ MPa}$)	244
5.7.4. Termofizička svojstva za tečni R13 (Trifluorhlormetan, CF_3Cl) i njegovu suhu paru u stanju zasićenja, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	244
5.8. R13B1 – Trifluorbrommetan (CF_3Br)	245
5.8.1. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečni R13B1 (Trifluorbrommetan, CF_3Br) i njegovu zapreminski razvijenu paru, u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	245
5.8.2. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za pregrejanu paru i realni gas R13B1 (Trifluorbrommetan, CF_3Br), a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	251
5.8.3. Termofizička svojstva za tečni R13B1 (Trifluorbrommetan, CF_3Br) i njegovu suhu paru u stanju zasićenja, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	258
5.9. R22 – Difluorhlormetan (CHF_2Cl)	260
5.9.1. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečni R22 (Difluorhlormetan, CHF_2Cl) i njegovu zapreminski razvijenu paru, u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	260
5.9.2. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za pregrejanu paru i realni gas R22 (Difluorhlormetan, CHF_2Cl), a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	266
5.9.3. Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečnost u natkritičnom stanju i realni gas R22 (Difluorhlormetan, CHF_2Cl), a u zavisnosti od Celzijusove temperature ($\vartheta > \vartheta_{\text{cr}} = 96,13^\circ\text{C}$) i pritiska ($p > p_{\text{cr}} = 4,99 \text{ MPa}$)	274
5.9.4. Termofizička svojstva za tečni R22 (Difluorhlormetan, CHF_2Cl) i njegovu suhu paru u stanju zasićenja, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	276
5.10. R142 – 1, 1-Difluor-1-hlorethan (CF_2ClCH_3)	277
5.10.1 Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečni R142 (1, 1-Difluor-1-hlorethan, CF_2ClCH_3) i njegovu zapreminski razvijenu paru, u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	277

5.10.2	Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za pregrejanu paru i realni gas R142 (1, 1-Difluor-1-hlorethan, CF ₂ ClCH ₃), a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	283
5.10.3	Termofizička svojstva za tečni R142 (1, 1-Difluor-1-hlorethan, CF ₂ ClCH ₃) i njegovu suhu paru u stanju zasićenja, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	287
5.11.	R502 – Azeotropna smeša R22 (Difluorhlormetana, CHF₂Cl) i R115 (Pentafluorhlorethana, CF₃CF₂Cl)	288
5.11.1.	Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečni R502 i njegovu zapreminski razvijenu paru, u stanju termodinamičke ravnoteže, pri ravnoj površi razdvajanja faza, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	288
5.11.2.	Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za pregrejanu paru i realni gas R502, a u zavisnosti od Celzijusove temperature i pritiska	295
5.11.3.	Veličine stanja i specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku za tečnost u natkritičnom stanju i realni gas R502, a u zavisnosti od Celzijusove temperature ($\vartheta > \vartheta_{cr} = 82,16^{\circ}\text{C}$) i pritiska ($p > p_{cr} = 4,01 \text{ MPa}$)	303
5.11.4.	Termofizička svojstva za tečni R502 i njegovu suhu paru u stanju zasićenja, a u zavisnosti od Celzijusove temperature	306
 6. VLAŽNI VAZDUH		
6.1.	Veličine stanja za suvozasićenu vodenu paru iznad ravne površi vodenog leda I	308
6.2.	Veličine stanja za zasićeni vlažni vazduh, pri pritisku $p = 0,1 \text{ MPa}$, u zavisnosti od Celzijusove temperature $\vartheta \in [-40, \dots, 0,01]^{\circ}\text{C}$	308
6.3.	Veličine stanja za suvozasićenu vodenu paru iznad ravne površi vode	310
6.4.	Veličine stanja za zasićeni vlažni vazduha, pri pritisku $p = 0,1 \text{ MPa}$, u zavisnosti od Celzijusove temperature $\vartheta \in [0 \dots, 99,63]^{\circ}\text{C}$	310
 7. TERMOFIZIČKA SVOJSTVA NEKIH TEHNIČKIH FLUIDA		
7.1.	Termofizička svojstva derivata nafte	315
7.1.1.	Termofizička svojstva BENZINA BMB 95 (bezolovni) u zavisnosti od Celzijusove temperature	315

7.1.2.	Termofizička svojstva mlaznog goriva Jet A-1 (kerozina) u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	315
7.1.3.	Termofizička svojstva dizel goriva (Euro Dizel) u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	316
7.1.4.	Termofizička svojstva ekstra lakog ulja za loženje (ekstra lako E) u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	316
7.1.5.	Termofizička svojstva ulje za loženje S (MAZUT S) u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	316
7.1.6.	Termofizička svojstva ulja za loženje nisko sumporno gorivo-specijalno u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	317
7.1.7.	Termofizička svojstva hidrauličkog ulja u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	317
7.1.8.	Termofizička svojstva motornog ulja SAE15W406 u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	317
7.1.9.	Termofizička svojstva ulja MS-20 u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	318
7.1.10.	Termofizička svojstva ulja MK-22 u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	318
7.1.11.	Termofizička svojstva ulja za transformatore u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	319
7.1.12.	Termofizička svojstva ulja AU u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	319
7.1.13.	Termofizička svojstva ulja za turbine 22 (Turbinog L) u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	320
7.1.14.	Termofizička svojstva ulja za turbine 46 (Turbinog T) u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	320
7.2.	Termofizička svojstva tečnih metala	.....	321
7.2.1.	Termofizička svojstva tečne žive u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	321
7.2.2.	Termofizička svojstva tečnog olova u zavisnosti od Celzijusove temperature	.....	323

8. DODATAK – PRENOŠENJE TOPLOTE

D.1. Ustaljeno toplotno provođenje, prelaženje i prolaženje za višeslojni ravni i višeslojni kružnocindrični zid	325
D.2. Termofizička svojstva za čvrste materijale	
D.2.1. Termofizička svojstva za neke metale	326
D.2.2. Termofizička svojstva za neke legure	326
D.2.3. Termofizička svojstva za neke nemetale	326
D.3. Ustaljeno toplotno prelaženje sa jednofaznog fluida na izotemperaturnu graničnu površ nepokretnog čvrstog tela i obrnuto	328
D.3.1. Pregled kriterijalnih jednačina za određivanje srednjeg koeficijenta toplotnog prelaženja pri prinudnom strujanju fluida	310
D.3.1.1. Vrednosti popravnog činioca ε_l pri laminarno-viskoznom strujanju fluida u cevi ili kanalu	310
D.3.1.2. Vrednosti činioca $K_0 = f(Re_f)$ pri preobražajnom strujanju fluida u cevi ili kanalu	310
D.3.1.3. Vrednosti popravnog činioca ε_t pri razvijenom turbulentnom strujanju fluida u cevi ili kanalu	310
D.3.1.4. Vrednosti popravnog činioca ε_β pri poprečnom opstrujavanju usamljene cevi	331
D.3.2. Pregled kriterijalnih jednačina za određivanje srednjeg koeficijenta toplotnog prelaženja pri slobodnom strujanju fluida u neograničenom prostoru	331
D.4. Razmena flukseva energije zračenja između graničnih površi dva siva tela, koja se nalaze u prozračnoj sredini	332
D.4.1. Činioci (faktori) ozračenosti i uslovna površina, pri uzajamnoj razmeni flukseva energije zračenja, za sistem od dve površi	333
D.4.2. Emisivnost (svetalasna, panhromatska), u pravcu normale na izotemperaturnu graničnu površ sivog tela	335
Literatura	336

2. HEMIJSKI ELEMENTI

Tabela 2.1. MENDELJEVLJEV (Д. И. Менделеев, 1869) PERIODNI SISTEM ELEMENATA [1]
(sa rednim brojevima, simbolima i atomskim poluprečnicima u nm)

Grupe Periode	IUPAC-ova preporuka (1985. godine)																			
	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
	Ia	Ib	Prelazni elementi										IIa	IIb	IIIA	IIIV	IIVa	IIVb	IIIVa	IIIVb
I	1. H 0,037 Vodoni																		2. He 0,05 Helij	
II	3. Li 0,155 Litij	4. Be 0,113 Berilij											5. B 0,091 Bor	6. C 0,077 Ugljenik	7. N 0,070 Azot	8. O 0,066 Kiselo	9. F 0,064 Fluor	10. Ne 0,160 Neon		
III	11. Na 0,189 Natrij	12. Mg 0,160 Magnezium											13. Al 0,143 Aluminij	14. Si 0,134 Silicij	15. P 0,110 Fosfor	16. S 0,104 Sumpor	17. Cl 0,099 Hlor	18. Ar 0,192 Argon		
IV	19. K 0,236 Kalij	20. Ca 0,197 Kalcij	21. Sc 0,164 Skandij	22. Ti 0,140 Titan	Vb	Vb	VIIb	VIIIb	VIIIb	VIIIb	VIIIb	IIb	31. Ga 0,139 Galij	32. Ge 0,139 Germanij	33. As 0,148 Arsen	34. Se 0,117 Selen	35. Br 0,144 Brom	36. Kr 0,198 Kripton		
V	37. Rb 0,248 Rubidij	38. Sr 0,215 Stroncij	39. Y 0,181 Itrij	40. Zr 0,160 Cirkonij	41. Nb 0,145 Niobij	42. Mo 0,139 Molibden	43. Tc 0,136 Tehnecij	44. Ru 0,133 Rutenij	45. Rh 0,134 Rodij	46. Pd 0,137 Paladij	47. Ag 0,144 Srebro	48. Cd 0,156 Kadmij	49. In 0,166 Indij	50. Sn 0,158 Kalaj	51. Sb 0,161 Antimon	52. Te 0,137 Telur	53. I 0,133 Jod	54. Xe 0,218 Ksenon		
VI	55. Cs 0,267 Cezij	56. Ba 0,221 Barij	57. La 0,187 Lantan*	72. Hf 0,159 Hafnij	73. Ta 0,146 Tantal	74. W 0,140 Volfram	75. Re 0,137 Renij	76. Os 0,135 Osmij	77. Ir 0,138 Iridij	78. Pt 0,138 Platina	79. Au 0,144 Zlato	80. Hg 0,160 Živa	81. Tl 0,171 Talij	82. Pb 0,175 Olovo	83. Bi 0,182 Bizmut	84. Po 0,153 Polonij	85. At -- Astat	86. Rn 0,22 Radon		
VII	87. Fr 0,280 Francij	88. Ra 0,235 Radjij	89. Ac 0,203 Aktinij**	104. Rf -- Raderfordij	105. Db -- Dubnij	106. Sg -- Sjorgij	107. Bh -- Borij	108. Hs -- Hasiij	109. Mt -- Majmarij	110. Uun -- Ununilij	111. Uuh -- Ununilij	112. Uub -- Ununbilij	113. Uut -- Ununtrij	114. Uuq -- Ununkvadracij	115. Uup -- Ununpentacij	116. Uuh -- Ununheksacij	117. Uus -- Ununseptacij	118. Uuo -- Ununoktacij		

Redni broj I. H Simbol elementa
0,037 Vodonik Atomski poluprečnik nm

3. GASOVI

3.1. IDEALNI GASOVI

Idealan gas predstavlja hipotetički gas, što ga čini mnoštvo jedno-, ili dvo- ili višeatonih molekula, sa krutim međuatomskim vezama. Molekuli geometrijski predstavljaju pravilne krute loptice, zanemarljive zapremine, ali konačne mase. Između molekula ne deluju privlačno-odbojne sile, pa se središta masa pojedinih molekula, pri njihovom složenom kretanju, između svaka dva uzastopna, uvek upravna, centralna i apsolutno elastična sudara, kreću uvek translatorno i pravolinijski, dok se molekuli, istovremeno, još i obrću oko svojih trenutnih osa, koje prolaze kroz središte masa pojedinih molekula. Prema I i II principu termodinamike, takav gas bi mogao i postojati, jedino što ne bi mogao, ni pri kakvim uslovima, da bude preobražen u tečno ili čvrsto agregatno stanje. Međutim, prema III principu termodinamike, gas sa takvim svojstvima ne bi mogao da postoji, posebno ne pri veoma niskoj termodinamičkoj temperaturi ($T \rightarrow 0$ K).

Poluidalni gas ima ista svojstva kao i idealni gas, osim što su međuatomske veze elastične, pa atomi u molekulu još i harmonijski osciluju oko svojih ravnotežnih položaja. Broj stepeni slobode, za harmonijsko oscilatorno kretanje takvog molekulskog sistema, odgovara ukupnom broju osa što spajaju središta masa pojedinih atoma u molekulu.

3.1.1. JEDNAČINA TERMOMEHANIČKOG STANJA ZA IDEALNE (I POLUIDEALNE) GASOVE

- U implicitnom obliku, za 1 mol idealnog (i poluidealnog) gasa, jednačina glasi

$$F_m(p, V_m, T) = F_m\left[p, \left(\frac{V}{n}\right), T\right] = F_m\left[p, \left(\frac{M \cdot V}{m}\right), T\right] = 0,$$

čiji eksplicitni oblici mogu biti predstavljeni zavisnostima

$$p = F_{m1}(V_m, T) \text{ ili } V_m = F_{m2}(p, T) \text{ ili } T = F_{m3}(p, V_m).$$

- U implicitnom obliku, za 1 kg idealnog (i poluidealnog) gasa, jednačina glasi

$$f(p, v, T) = f\left[p, \left(\frac{V}{m}\right), T\right] = f\left[p, \left(\frac{V}{nM}\right), T\right] = 0,$$

čiji eksplicitni oblici mogu biti predstavljeni zavisnostima

$$p = f_1(v, T) \text{ ili } v = f_2(p, T) \text{ ili } T = f_3(p, v).$$

3.1.2. ANALITIČKI OBLICI JEDNAČINE TERMOMEHANIČKOG STANJA ZA IDEALNE (I POLUIDEALNE) GASOVE

- Klaperon - Mendeljejevljeva (B.P.E. Clapeyron - Д.И. Менделеев, 1874) jednačina:

- za $n = 1$ mol (za N_A molekula) idealnog (i poluidealnog) gasa:

$$pV_m = N_A kT = RT ,$$

- Klaperonova (B.P.E. Clapeyron, 1834) jednačina:

- za $m = 1$ kg idealnog (i poluidealnog) gasa:

$$pv = \frac{p}{\rho} = rT ;$$

- za proizvoljnu količinu ili masu idealnog (i poluidealnog) gasa:

$$pV = NkT = \frac{N}{N_A} N_A kT = nRT = mrT ;$$

- za protok zapremine, količine ili mase idealnog (i poluidealnog) gasa:

$$pq_V = q_n RT = q_m rT ,$$

gde su:

p , Pa - pritisak idealnog gasa;

T , K - termodinamička temperatura idealnog gasa;

V , m³ - zapremina idealnog gasa;

n , mol - količina idealnog gasa;

m , kg - masa idealnog gasa;

$V_m = V/n = Mv$, m³/mol - molarna zapremina idealnog gasa;

$v = V/m = V_m/M$, m³/kg - masena ili specifična zapremina idealnog gasa;

$\rho = m/V = 1/v$, kg/m³ - gustina (mase) ili zapreminska masa idealnog gasa;

$q_V = A\bar{w}$, m³/s - protok zapremine idealnog gasa,

$q_n = A\bar{w}/V_m = A\bar{w}\rho/M$, mol/s - protok količine idealnog gasa,

$q_m = A\bar{w}\rho = A\bar{w}/v$, kg/s - protok mase idealnog gasa;

A , m² - površina poprečnog preseka gasnog toka (gasovoda);

\bar{w} , m/s - srednja brzina idealnog gasa kroz razmatrani poprečni presek gasovoda;

N - broj molekula idealnog gasa;

$R = N_A k = 8,3145$ J/(mol K) - molarna (opšta, univerzalna) gasna konstanta;

$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ mol⁻¹ - Avogadrova konstanta;

$k = 1,380658 \cdot 10^{-23}$ J/K - Bolcmanova konstanta;

$r = R/M$, J/(kg K) - masena (ili specifična) gasna konstanta;

M , kg/mol - molarna masa idealnog gasa.

Svođenje zapremine V , stalne količine (ili mase) idealnog (i poluidealnog) gasa, sa zadate termodinamičke temperature T i zadatog pritiska p , na normalne fizičke uslove: $T_0 = 273,15$ K i $p_0 = 101,325$ kPa, dato je izrazom

$$V_0 = V \frac{p \cdot T_0}{p_0 \cdot T} .$$

3.1.3. JEDNAČINE ENERGIJSKOG STANJA ZA IDEALNE (I POLUIDEALNE) GASOVE

Prva energijska jednačina – za termodinamičku (ili unutrašnju) energiju, U

- U implicitnom obliku, za 1 mol idealnog (i poluidealnog) gasa, jednačina glasi

$$\Phi_m(U_m, T) = \Phi_m\left[\left(\frac{U}{n}\right), T\right] = \Phi_m\left[\left(\frac{M \cdot U}{m}\right), T\right] = 0,$$

jer je $(\partial U_m / \partial V_m)_T = (\partial U_m / \partial p)_T = 0$, pa je eksplicitni oblik jednačine dat izrazom

$$(dU_m / dT) = (\partial U_m / \partial T)_{V_m} = (\partial U_m / \partial T)_p = \begin{cases} C_{m,V} = \text{idem, za idealni gas,} \\ C_{m,V} = f(T) \text{ za poluidealni gas,} \end{cases}$$

to jest izrazom

$$dU_m = \begin{cases} C_{m,V} dT, \text{ za idealni gas, } U_m = C_{m,V}T + U_{m,0}, \\ C_{m,V}(T) dT, \text{ za poluidealni gas, } U_m = \int_0^T C_{m,V}(T) dT + U_{m,0}. \end{cases}$$

- U implicitnom obliku, za 1 kg idealnog (i poluidealnog) gasa, jednačina glasi:

$$\varphi(u, T) = \varphi\left[\left(\frac{U}{m}\right), T\right] = \varphi\left[\left(\frac{U}{nM}\right), T\right] = 0,$$

jer je $(\partial u / \partial v)_T = (\partial u / \partial p)_T = 0$, pa je eksplicitni oblik jednačine dat izrazom

$$(du / dT) = (\partial u / \partial T)_v = (\partial u / \partial T)_p = \begin{cases} c_V = \text{idem, za idealni gas,} \\ c_V = f(T) \text{ za poluidealni gas,} \end{cases}$$

to jest izrazom

$$du = \begin{cases} c_V dT, \text{ za idealni gas, } u = c_V T + u_0, \\ c_V(T) dT, \text{ za poluidealni gas, } u = \int_0^T c_V(T) dT + u_0. \end{cases}$$

Druga energijska jednačina – za entalpiju, $H = U + pV$

- U implicitnom obliku, za 1 mol idealnog (i poluidealnog) gasa, jednačina glasi

$$\Psi_m(H_m, T) = \Psi_m\left[\left(\frac{H}{n}\right), T\right] = \Psi_m\left[\left(\frac{M \cdot H}{m}\right), T\right] = 0,$$

jer je $(\partial H_m / \partial V_m)_T = (\partial H_m / \partial p)_T = 0$, pa je eksplicitni oblik jednačine dat izrazom

$$(dH_m / dT) = (\partial H_m / \partial T)_{V_m} = (\partial H_m / \partial T)_p = \begin{cases} C_{m,p} = \text{idem, za idealni gas,} \\ C_{m,p} = f(T) \text{ za poluidealni gas,} \end{cases}$$

to jest izrazom

$$dH_m = \begin{cases} C_{m,p} dT, & \text{za idealni gas, } H_m = C_{m,p}T + H_{m,0}, \quad H_{m,0} = U_{m,0}, \\ C_{m,p}(T) dT, & \text{za poluidealni gas, } H_m = \int_0^T C_{m,p}(T) dT + H_{m,0}. \end{cases}$$

- U implicitnom obliku, za 1 kg idealnog (i poluidealnog) gasa, jednačina glasi

$$\psi(h, T) = \psi\left[\left(\frac{H}{m}\right), T\right] = \psi\left[\left(\frac{H}{nM}\right), T\right] = 0,$$

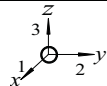
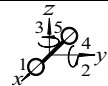
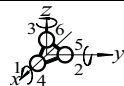
jer je $(\partial h / \partial v)_T = (\partial h / \partial p)_T = 0$, pa je eksplicitni oblik jednačine dat izrazom

$$(dh/dT) = (\partial h / \partial T)_v = (\partial h / \partial T)_p = \begin{cases} c_p = \text{idem, za idealni gas,} \\ c_p = f(T) \text{ za poluidealni gas,} \end{cases}$$

to jest izrazom

$$dh = \begin{cases} c_p dT, & \text{za idealni gas, } h = c_p T + h_0, \quad h_0 = u_0 \\ c_p(T) dT, & \text{za poluidealni gas, } h = \int_0^T c_p(T) dT + h_0. \end{cases}$$

Tabela 3.1.4. BROJ STEPENI SLOBODE MOLEKULA, MOLARNI TOPLOTNI KAPACITETI, MOLARNA TERMODINAMIČKA (ILI UNUTRAŠNJA) ENERGIJA, MOLARNA ENTALPIJA I ODNOS MOLARNIH TOPLOTNIH KAPACITETA ZA IDEALNE GASOVE (PO KINETIČKOJ TEORIJI GASOVA) [9, 22, 29]

Gas	Jednoatomni (Ar, Ne, He, Hg,...)	Dvoatomni (O ₂ , N ₂ , CO, Cl ₂ ,...)	Troatomni I višeatomni (CO ₂ , NH ₃ , CH ₄ ,...)
Broj stepeni slobode: f	3	5	6
- translatornog kretanja f_{tr}	3	3	3
- obrtnog kretanja f_{ob}	0	2	3
- oscilatornog kretanja f_{os}	0	0	0
- šematski prikaz			
Molarni toplotni kapacitet pri stalnoj zapremini $C_{m,v} = \left(\frac{\partial U_m}{\partial T}\right)_{V_m} = \frac{dU_m}{dT} = \frac{f}{2} R = \frac{R}{\gamma-1}$	$\frac{3}{2} R = 12,5 \frac{J}{mol \cdot K}$	$\frac{5}{2} R = 20,8 \frac{J}{mol \cdot K}$	$3R = 24,9 \frac{J}{mol \cdot K}$
Molarni toplotni kapacitet pri stalnom pritisku $C_{m,p} = \left(\frac{\partial H_m}{\partial T}\right)_p = C_{m,v} + R = R \frac{\gamma}{\gamma-1}$	$\frac{5}{2} R = 20,8 \frac{J}{mol \cdot K}$	$\frac{7}{2} R = 29,1 \frac{J}{mol \cdot K}$	$4R = 33,3 \frac{J}{mol \cdot K}$
Molarna termodinamička (unutrašnja) energija $U_m = C_{m,v} T + U_{m,0}$	$\frac{3}{2} RT + U_{m,0}$	$\frac{5}{2} RT + U_{m,0}$	$3RT + U_{m,0}$
Molarna entalpija $H_m = U_m + pV_m = U_m + RT = C_{m,p} T + U_{m,0}$	$\frac{5}{2} RT + U_{m,0}$	$\frac{7}{2} RT + U_{m,0}$	$4RT + U_{m,0}$
Odnos molarnih toplotnih kapaciteta ^{*)} $\gamma = \frac{C_{m,p}}{C_{m,v}}, \quad \kappa = -\frac{V_m}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial V_m}\right)_{S_m} = -\frac{v}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_s, \quad \gamma = \kappa$	1,667	1,400	1,333

^{*)} κ - eksponent izoentropne (prividno ravnotežne adijabate, prividno ravnotežne adijaterme)

3.2. POLUIDEALNI GASOVI

3.2.1. JEDNAČINA TERMOMEHANIČKOG STANJA ZA POLUIDEALNE GASOVE (videti 3.1.1.)

3.2.2. MOLARNI TOPLOTNI KAPACITETI ZA POLUIDEALNE GASOVE (PO KINETIČKOJ TEORIJI GASOVA I TEORIJI KVANTA) [22, 29]

Molarni toplotni kapacitet za poluidealne gasove pri stalnoj zapremini dat je izrazom:

$$C_{m,V} = (C_{m,V})_{id} + C_{m,os} + \Delta C_{m,ob},$$

gde je $(C_{m,V})_{id}$ - molarni toplotni kapacitet za idealne gasove pri stalnoj zapremini; $C_{m,os}$ - uvećanje molarnog toplotnog kapaciteta za poluidealne gasove usled oscilatornih kretanja atoma u molekulu; $\Delta C_{m,ob}$ - (po teoriji kvanta) popravni sabirak molarnog toplotnog kapaciteta za idealne gasove, usled obrtnog kretanja molekula. Popravni sabirak $\Delta C_{m,ob} \approx 0$, osim za lake gasove pri veoma niskim temperaturama.

Uvećanje molarnog toplotnog kapaciteta za poluidealne gasove, usled oscilatornih kretanja atoma u molekulima poluidealnog gasa, može biti određen pomoću Ajnštajn-Planckove (Einstein-Planck) jednačine, dobijene na osnovu teorije kvanta:

$$C_{m,os} = R \sum_{i=1}^{f_{os}} \frac{\left(\frac{\theta_i}{T}\right)^2 \exp\left(\frac{\theta_i}{T}\right)}{\left[\exp\frac{\theta_i}{T} - 1\right]^2} = R \sum_{i=1}^{f_{os}} \left[\frac{\left(\frac{\theta_i}{2T}\right)}{\operatorname{sh}\left(\frac{\theta_i}{2T}\right)} \right]^2,$$

$$\lim_{T \rightarrow 0 \text{ K}} C_{m,os} = 0, \quad \lim_{T \rightarrow \infty} C_{m,os} = R f_{os}.$$

Molarni toplotni kapacitet za poluidealne gasove, pri stalnom pritisku, dat je izrazom:

$$C_{m,p} = (C_{m,p})_{id} + C_{m,os} + \Delta C_{m,ob} = C_{m,V} + R$$

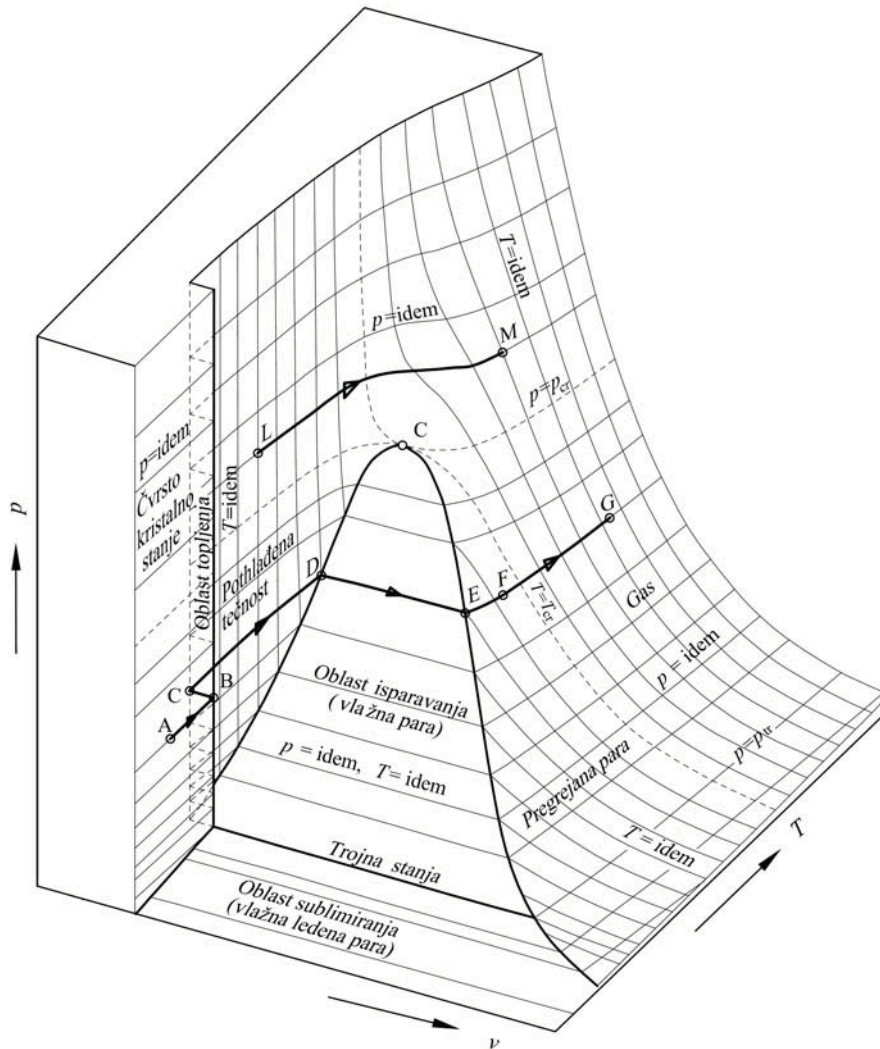
Tabela 3.2.3. KARAKTERISTIČNE TEMPERATURE ZA NEKE POLUIDEALNE GASOVE [22]

$\theta_i = h\nu_i/k = 47,992\,746 \cdot 10^{-12} \nu_i$, $h = 6,626\,075 \cdot 10^{-34}$ Js - Plankova konstanta, $k = 1,380\,658 \cdot 10^{-23}$ J/K - Bolcmanova konstanta, ν_i Hz - učestanost (frekvencija) oscilovanja atoma u molekulu.

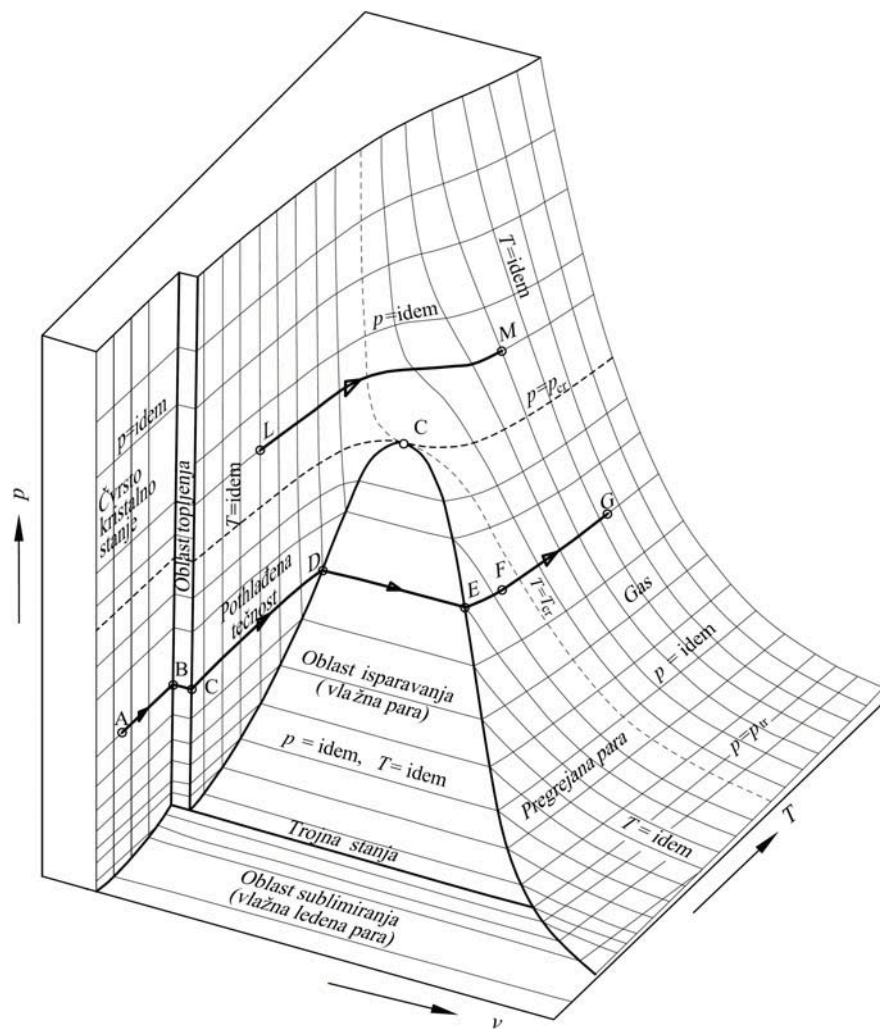
Gas	Broj atoma u molekulu	Broj stepeni slobode $f = 3n$			Karakteristična temperatura
		translatornog kretanja	obrotnog kretanja	oscilatornog kretanja	
	n	f_{tr}	f_{ob}	$f_{os} = 3n - 3 - f_{ob}$	θ_i / K
H ₂	2	3	2	1	6130
O ₂	2	3	2	1	2224
N ₂	2	3	2	1	3350
CO	2	3	2	1	3085
CO ₂	3	3	2	2	960
				1	1830
				1	3280
H ₂ O	3	3	3	1	2290
				1	5370
				1	5510
CH ₄	5	3	3	3	1870
				2	2170
				3	4320
				1	4400

4. VODA I VODENA PARA

4.1. GRAFIČKI PRIKAZI JEDNAČINE TEMOMEHANIČKOG STANJA ZA ČISTE JEDNOKOMPONENTNE SUPSTANCIJE



Slika 4.1.1. Figurativna termodinamička površ - grafički prikaz jednačine temomehantičkog stanja $f(v, T, p) = 0$ za čiste jednokomponentne supstancije, što pri topljenju smanjuju svoju zapreminu (H_2O , Bi, Sb, liveno Fe i neke organske supstancije)



Slika 4.1.2. Figurativna termodinamička površ - grafički prikaz jednačine temomehaničkog stanja $f(v, T, p) = 0$ za čiste jednokomponentne supstancije, što pri topljenju povećavaju svoju zapreminu (većina neorganskih i organskih supstancija)

7. TERMOFIZIČKA SVOJSTVA NEKIH TEHNIČKIH FLUIDA

7.1 TERMOFIZIČKA SVOJSTVA DERIVATA NAFTE

Tabela 7.1.1 TERMOFIZIČKA SVOJSTVA BENZINA BMB 95 (BEZOLOVNI) U ZAVISNOSTI OD CELZIJSOVE TEMPERATURE

ϑ °C	ρ kg/m ³	c_p kJ/(kg K)	λ W/(m K)	$\nu \cdot 10^6$ m ² / s	$a \cdot 10^9$ m ² / s	Pr 1
-20	784	1880	0,123	1,2628	83,45	15,13
0	766	1969	0,120	0,9439	79,56	11,86
20	751	2059	0,116	0,7071	75,02	9,43
40	734	2153	0,112	0,5627	70,87	7,94
60	717	2251	0,108	0,4616	66,92	6,90
80	699	2353	0,104	0,3877	63,23	6,13
100	680	2458	0,100	0,3324	59,83	5,56
120	660	2567	0,096	0,2909	56,66	5,13
140	639	2680	0,093	0,2582	54,31	4,75
160	617	2797	0,089	0,2318	51,57	4,49
180	594	2917	0,085	0,2121	49,06	4,32
200	570	3041	0,081	0,1965	46,73	4,20

Tabela 7.1.2 TERMOFIZIČKA SVOJSTVA MLAZNOG GORIVA JET A-1 (KEROZINA) U ZAVISNOSTI OD CELZIJSOVE TEMPERATURE

ϑ °C	ρ kg/m ³	c_p kJ/(kg K)	λ W/(m K)	$\nu \cdot 10^6$ m ² / s	$a \cdot 10^9$ m ² / s	Pr 1
0	828	1873	0,152	3,2729	98,01	33,39
20	814	1956	0,149	2,3464	93,58	25,07
40	799	2039	0,146	1,7146	89,62	19,13
60	785	2122	0,143	1,2739	85,85	14,84
80	771	2205	0,139	0,9948	81,76	12,17
100	756	2288	0,136	0,8029	78,63	10,21
120	742	2371	0,133	0,6590	75,60	8,72
140	727	2454	0,130	0,5392	72,87	7,40
160	713	2537	0,127	0,4264	70,21	6,07
180	699	2619	0,124	0,3448	67,73	5,09
200	684	2702	0,121	0,2851	65,47	4,35

Tabela D.4.1. ČINIOCI (FAKTORI) OZRAČENOSTI I USLOVNA POVRŠINA PRI UZAJAMNOJ RAZMENI FLUKSEVA ENERGIJE ZRAČENJA ZA SISTEM OD DVE POVRŠI

Slučaj	Uzajamni položaj i oblici graničnih površi tela	Skica	Činioci (faktori) ozračenosti i uslovna površina pri uzajamnom zračenju
1.	Sistem od dve površi, manja površ nije ugnuta ⁾		$\bar{f}_{1 \rightarrow 1} = 0, \quad \bar{f}_{1 \rightarrow 2} = 1,$ $\bar{f}_{2 \rightarrow 1} = \frac{A_1}{A_2}, \quad \bar{f}_{2 \rightarrow 2} = 1 - \frac{A_1}{A_2}$ $A = A_1 = \bar{f}_{2 \rightarrow 1} A_2$
2.	Sistem od dve površi, manja površ je ugnuta ⁾		$\bar{f}_{1 \rightarrow 2} = \frac{D}{A_1},$ $\bar{f}_{2 \rightarrow 1} = \frac{D}{A_2},$ $A = D = \bar{f}_{1 \rightarrow 2} A_1 = \bar{f}_{2 \rightarrow 1} A_2$ <i>D</i> - površina membrane nategnute na konturu tela 1
3.	Dve beskonačne ravne paralelne površi		$\bar{f}_{1 \rightarrow 1} = 0; \quad \bar{f}_{1 \rightarrow 2} = 1,$ $\bar{f}_{2 \rightarrow 1} = 1 \quad \bar{f}_{2 \rightarrow 2} = 0$ $A = A_1 = A_2$

⁾Izrazi važe i za slučaj da su površi 1 i 2 duge i cilindrične sa paralelnim izvodnicama. Pri tom skice predstavljaju poprečne preseke tih cilindričnih površi, a A_1 i A_2 se odnose na površine cilindričnih površi dužine $l = 1$ m.

Prema tome, ako granična površ sivog tela 2 potpuno okružuje ili potpuno nadkriva ispupčenu graničnu površ sivog tela 1 - Hristijansenov sistem (C.Christiansen, 1883), izraz za određivanje prividne emisivnosti graničnih površi sivih tela 1 i 2 dobija oblik,

$$\varepsilon_{pr} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right) \frac{A_1}{A_2}},$$

a fluks energije zračenja, što ga sivo telo 1 predaje sivom telu 2, dat je izrazom

$$\Phi = A_1 \varepsilon_{pr} C_c \left[\left(\frac{T_{s,1}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{s,2}}{100}\right)^4 \right] = \frac{\left[\left(\frac{T_{s,1}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{s,2}}{100}\right)^4 \right]}{\frac{1}{AC_c} \left[\frac{1}{\varepsilon_1} + \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right) \frac{A_1}{A_2} \right]} = \frac{\left[\left(\frac{T_{s,1}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{s,2}}{100}\right)^4 \right]}{R_{zr}}, \text{ W},$$

gde je sa

$$R_{zr} = \frac{1}{AC_c} \left[\frac{1}{\varepsilon_1} + \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right) \frac{A_1}{A_2} \right], \quad \frac{(K/100)^4}{W},$$

označena rezistansa (otpor) pri razmeni flukseva energije zračenja.

Literatura

- [1] Arsenijević, S.R.: *Hemija, opšta i neorganska*, Partenon, Beograd, 2001.
- [2] Arsenijević, S.R.: *Organska hemija*, Partenon, Beograd, 2005.
- [3] Baehr, H. D.: *Mollier i,x Diagramme für Feuchte Luft*, Springer-Verlag, Berlin, 1961.
- [4] Baehr, H. D.: *Thermodynamik*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1966.
- [5] Bošnjaković, F.: *Nauka o toplini, I dio*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1978.
- [6] Bošnjaković, F.: *Nauka o toplini, II dio*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1976.
- [7] Charters, W.W.S., H.A.Sadafi: Property equations for saturated water, International Journal of Refrigeration, Vol. 10, 1987.
- [8] Cohen, E. R., B. N. Taylor: *Codata Bulletin*, No. 63, Pergamon Press, 1986.
- [9] Czichos, H.: *Hütte, Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2000.
- [10] Fabris, O.: *Osnove inženjerske termodinamike*, Svjetlost, Sarajevo, 1989.
- [11] Glück, B.: *Heizwassernetze für Wohn – und Industriegebite*, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1984.
- [12] Hausen, H.: *Wärmeübertragung im Gegenstrom, Gleichstrom und Kreuzstrom*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1976.
- [13] ISO 31 i SRPS, Delovi od 0 do 13, 1998.
- [14] Jahn, A.: *Das Test–Referenzjahr*, Teil 3, HLH 18, Nr. 8, 1977.
- [15] Jovanović, M.K.: *Vlažan vazduh*, Naučna knjiga, Beograd, 1952.
- [16] Kostyrko, K., B. Okołowicz – Grabowska: *Pomiary i regulacja wilgotności w pomieszczeniach*, Arkady, Warszawa, 1977.
- [17] Mollier, R.: *Das i-x Diagramm für Dampfluftgemische*, Zeitschrift des VDI, Band 73, Nr. 29, 1929.
- [18] Myers, A.L., W.D. Seider: *Obliczenica komputerowe w inżynierii chemicznej*, WNT, Warszawa, 1979.
- [19] Ochęduszek, S.: *Termodynamika stosowana*, WNT, Warszawa, 1974.
- [20] Raković, A. R.: *SI veličine i jedinice u nauci i tehnicima*, Autor, Beograd, 2001.
- [21] Szargut, J.: *Teoria procesów cieplnych*, PWN, Warszawa, 1973.
- [22] Szargut, J.: *Termodynamika*, PWN, Warszawa, 1980.
- [23] Szczechowiak, E.: *Analityczne obliczanie parametrowów powietrza wilgotnego*, Chłodnictwo, Tom 20, Nr. 8, 1985.
- [24] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI – Wärmetlas: Breechnungsblätter für den Wärmeübergang*, VDI – VERLAG GmbH, Düsseldorf, 1994.
- [25] Veriga, S.: *Međunarodni sistem fizičkih veličina*, SI, Mašinski fakultet, Beograd, 1979.

- [26] Voronjec, D., Đ. Kozić: *Vlažan vazduh, termodinamičke osobine i primena*, SMEITS, Beograd, 2002.
- [27] Wiśniewski, S.: *Termodynamika techniczna*, WNT, Warszawa, 1980.
- [28] Zwetkow, Z.D.: *Vakuumgefrieretrocknung, Theoretische Grundlagen – praktische Anwendung*, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1985.
- [29] Арноль Л.В., Г.А. Михайловский, В.М. Селиверстов: *Техническая термодинамика и теплопередача*, Высшая школа, Москва, 1979.
- [30] Варгафтик, Н.Б.: *Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей*, Наука, Москва, 1972.
- [31] Вукалович, М.П., С.Л. Ривкин, А.А. Александров: *Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара*, Стандарты, Москва, 1969.
- [32] Григорьев, В.А., В.М. Зорин: *Теоретические основы теплотехники, теплотехнический эксперимент, справочник*, Книга 2, Энергоатомиздат, Москва, 1988.
- [33] Жукаускас, А.А., А.А. Шланчяускас: *Теплоотдача в турбулентно потоке жидкости*, Минтис, Вильнюс, 1973.
- [34] Жукаускас, А.А., И.И. Жюгжда: *Теплоотдача в ламинарном потоке жидкости*, Минтис, Вильнюс, 1969.
- [35] Жукаускас, А.А., И.И. Жюгжда: *Теплоотдача цилиндра в поперечном потоке жидкости*, Минтис, Вильнюс, 1979.
- [36] Жукаускас, А.А.: *Конвективный перенос в теплообменниках*, Наука, Москва, 1982.
- [37] Исаченко, В.П., В.А. Осипова, А.С. Сукомел: *Теплопередача*, Энергия, Москва, 1975.
- [38] Михеев, М.А., И.М. Михеева: *Основы теплопередачи*, Энергия, Москва, 1977.
- [39] Перельштейн, И.И., Е.Б. Парушин: *Термодинамические и теплофизические свойства рабочих веществ холодильных машин и тепловых насосов*, Лёгкая и пищевая промышленность, Москва, 1984.
- [40] Ривкин, С.Л., А.А. Александров: *Теплофизические свойства воды и водяного пара*, Энергия, Москва, 1980.