



E. Meštrović*

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Trg Marka Marulića 19, 10 000 Zagreb

Marko Rogošić Kemijsko-inženjerska termodinamika

Nakladnici:

Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa (HDKI)
Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i
tehnologije (FKIT), Zagreb, 2025.

Recenzenti:

- izv. prof. dr. sc. Gordan Horvat
 - akademik Stanislav Kurajica
 - prof. dr. sc. Aleksandra Sander
 - prof. dr. sc. Domagoj Vulin
- ISBN HDKI: 978-953-6894-91-8
ISBN FKIT: 978-953-8521-07-2
broj poglavlja: 12; broj stranica: 744;
broj slika i dijagrama: 283, broj tablica: 48

Za većinu kemičara i kemijskih inženjera pojam termodinamike nerijetko je prva asocijacija na zahtjevne ispite, duge dane i noći provedene nad skriptama i knjigama te na hrpe papira ispunjenih izvodima, jednadžbama i graničnim slučajevima. Sve to obično prati iskrena želja – i ponešto frustracije – da se barem djelomično pronikne u zakonitosti i “tajnu” tog temeljno važnog, ali često doživljavanog kao apstraktnog područja. Tek znatno kasnije, nakon niza godina rada u industrijskoj praksi ili znanstvenim istraživanjima, postaje jasno koliko je termodinamika doista nezaobilazna i koliko duboko prožima gotovo svaki ozbiljan kemijski ili procesno-inženjerski problem. U tom se trenutku, često s vremenskim odmakom, javlja i zahvalnost prema profesorima koji su ta znanja strpljivo prenosili, kao i prema autorima udžbenika koji su nastojali naizgled nerazumljivu, a ponekad i suhoparnu problematiku učiniti jasnijom, smislenijom i – koliko je to moguće – “pitkijom”. Obogaćen takvim iskustvom i stečenom spoznajom o stvarnoj važnosti termodinamike, s posebnim sam zanimanjem i nestrpljenjem očekivao priliku uzeti u ruke knjigu “Kemijsko-inženjerska termodinamika” autora prof. dr. sc. Marka Rogošića. Već prvi susret s ovim djelom jasno pokazuje da je riječ o udžbeniku nastalom iz dugogodišnjeg nastavnog i znanstvenog iskustva, s izraženom namjerom da se složeni termodinamički koncepti prikažu sustavno, jasno i u funkciji stvarnih problema s kojima se kemijski inženjeri i kemičari susreću u praksi i istraživanju.

Iz same strukture sadržaja razvidno je da je knjiga “Kemijsko-inženjerska termodinamika”, autora prof. dr. sc. Marka Rogošića, koncipirana sustavno, metodološki zrelo i u potpunosti usklađeno s potrebama suvremenog obrazovanja kemijskih inženjera i kemičara koji teže određenom industrijskom iskustvu i dubokom razumijevanju kemijskih procesa. Riječ je o opsežnom i ambicioznom udžbeniku koji dosljedno obuhvaća puni raspon kemij-



ske-inženjerske termodinamike – od temeljnih zakona i pojmova do složenih višekomponentnih, višefaznih i nepovrativih sustava.

U početnoj cjelini, *Uvod i počela termodinamike*, autor jasno pokazuje namjeru da studentima osigura čvrste konceptualne temelje prije prelaska na složenije inženjerske primjene. Obrada pojmova poput termodinamičkog sustava, ravnoteže, faza, veličina stanja i procesa slijedi klasičnu, ali pedagoški provjerenu progresiju znanja. Posebno je važno što su nulti, prvi, drugi i treći zakon termodinamike obrađeni kao zasebne cjeline, čime se naglašava njihovo fizikalno značenje i međusobna razlika, što je osobito važno studentima na početku studija. Uključivanje poglavlja o relacijama među termodinamičkim veličinama već u ovoj fazi uvodi formalizam nužan za kasnije razumijevanje složenijih sustava i matematički zahtjevnijih modela. Time “Kemijsko-inženjerska termodinamika” jasno nadilazi deskriptivni pristup i usmjerava čitatelja prema analitičkom i kvantitativnom razmišljanju karakterističnom za kemijsko inženjerstvo.

Druga velika cjelina, *Jednadžbe stanja realnih plinova*, dodatno potvrđuje izrazitu inženjersku orijentaciju knjige prof. dr. sc. Marka Rogošića. Prijelaz s idealnog plina na realne sustave izveden je postupno i konceptualno jasno: od Gibbsova faznog pravila i odstupanja od idealnosti, preko virijalnih jednadžbi, do klasičnih i suvremenih kubičnih jednadžbi stanja. Posebno je vrijedno što

* Prof. dr. sc. Ernest Meštrović
e-pošta: emestrov@fkit.unizg.hr

se uz povijesno utemeljene modele sustavno uvode i jednadžbe stanja koje su danas standard u industrijskim proračunima. Naglašavanje načela korespondentnih stanja i termodinamičke sličnosti jasno pozicionira “Kemijsko-inženjersku termodinamiku” kao most između temeljne znanosti i inženjerske prakse. Obrada izračunavanja volumetrijskih svojstava i usporedbe različitih jednadžbi stanja dodatno potvrđuju praktičnu vrijednost udžbenika u projektiranju i optimiranju kemijsko-inženjerskih procesa i proizvodnih linija.

Poglavlje *Toplinska svojstva realnih fluida* označava prijelaz prema operativnoj, računski orijentiranoj termodinamici. Prof. dr. sc. Marko Rogošić polazi od toplinskih tablica i dijagrama, alata koji su standard u industrijskoj praksi te ih povezuje s konstrukcijom dijagrama na osnovi jednadžbi stanja. Time studentima omogućuje razumijevanje odnosa između teorijskih modela i grafičkih prikaza koji se primjenjuju u stvarnim proračunima. Uvođenje fugaciteta i njegova sustavna obrada predstavljaju jednu od ključnih konceptualnih točaka knjige. Fugacitet se dosljedno povezuje s Gibbsovom energijom, kemijskom ravnotežom i procesnim modeliranjem, čime “Kemijsko-inženjerska termodinamika” jasno pokazuje da ne cilja na puko operativno znanje, već na dubinsko razumijevanje.

Poglavlje *Osnove termodinamike realnih otopina* logičan je i sadržajno iznimno važan nastavak prethodnih cjelina te jasno odražava činjenicu da su višekomponentni sustavi u kemijskoj industriji pravilo, a ne iznimka. Početak s idealnim otopinama u simetričnim sustavima omogućuje jasno definiranje referentnog okvira, nakon čega slijedi postupno i konceptualno dosljedno uvođenje realnih otopina, ekscenčnih veličina i parcijalnih molarnih veličina. Posebno je vrijedna sustavna i detaljna obrada parcijalnih molarnih veličina i metoda njihova određivanja, poput metode tangente i metode odsječka jer se upravo ti koncepti u praksi često doživljavaju kao apstraktni i teško razumljivi, a ujedno su ključni za razumijevanje miješanja i ravnoteža. Uključivanje Gibbs-Duhemove jednadžbe, smoviteta, standardnih stanja te aktiviteta i fugaciteta u plinskim smjesama i otopinama dodatno potvrđuje visoku teorijsku razinu udžbenika. Završetak poglavlja uvođenjem kemijskog potencijala predstavlja prirodan vrhunac cjeline i potvrđuje njezinu unutarnju koherentnost. Na temelju tako koncipiranog poglavlja jasno je da “Kemijsko-inženjerska termodinamika” sustavno vodi čitatelja od temeljnih pojmova do složenih višekomponentnih sustava, uz kontinuirano i promišljeno povezivanje teorije, matematičkog aparata i inženjerske primjene, čime knjiga nadilazi ulogu osnovnog udžbenika i postaje vrijedan referentni priručnik za inženjersku praksu, osobito u području projektiranja, simulacije i optimiranja kemijskih procesa.

Jedno od najsnažnijih poglavlja udžbenika jest cjelina posvećena modelima koeficijenata aktivnosti. Obuhvaćeni su gotovo svi modeli relevantni za suvremenu praksu: od klasičnih empirijskih pristupa do modela NRTL, UNIQUAC, UNIFAC i COSMO-RS. Takav raspon rijetko se nalazi objedinjen u jednom udžbeniku na hrvatskom jeziku. Posebna vrijednost ovoga dijela očituje se u činjenici da se izlaganje ne zadržava na isključivo formalnoj razini, već sustavno uključuje postupke određivanja parametara modela na temelju eksperimentalnih podataka, čime se studentima pruža jasan i izravan put prema primjeni stečenih znanja u procesnim simulatorima.

Središnji dio knjige čine poglavlja o faznim ravnotežama: para-kapjevina, kapjevina-kapjevina i kapjevina-krutina. Detaljno razrađeni proračuni vrelišta, kaplišta i jednokratnog isparavanja jasno pokazuju da je autoru cilj bio osposobiti čitatelja za samostalno rješavanje realnih inženjerskih zadataka. Upravo je taj dio knjige, po opsegu i dubini obrade, najzahtjevniji i najopsežniji te predstavlja njezinu središnju tematsku cjelinu. Polazeći od temeljnih uvjeta fazne ravnoteže i formalnog opisa pomoću fu-

gaciteta i koeficijenata aktiviteta, čitatelj se sustavno vodi kroz jednadžbe ravnoteže, njihovu primjenu pri niskim i povišenim tlakovima te kroz konstrukciju i interpretaciju faznih dijagrama. Obrada numeričkih proračuna, testova konzistentnosti i određivanja parametara modela dodatno povezuje teorijske postavke s eksperimentalnim podacima i stvarnim inženjerskim problemima, dok se proširenim temama, poput ponašanja sustava u kritičnom području i retrogradne kondenzacije, dodatno produbljuje stručna razina cjeline. Završetak tog velikog tematskog bloka čini ravnoteža kapjevina-krutina, u kojoj se razmatraju jednadžbe fazne ravnoteže, topljivost krutina u kapljevina, eutektici u dvo- i trokomponentnim sustavima, kao i ponašanje sustava u nadkritičnim uvjetima. Time se cjelina faznih ravnoteža zaokružuje u potpunosti i pruža čitatelju rijetko cjelovit uvid u sve tipove ravnoteža s kojima se kemijski inženjer može susresti u praksi.

Završna poglavljia, *Kemijska ravnoteža i Termodinamika nepovratnih procesa*, jasno izdvajaju knjigu prof. dr. sc. Marka Rogošića od velikog broja klasičnih udžbenika te je pozicioniraju kao djelo koje nadilazi isključivo ravnotežni okvir termodinamike. Poglavlje o kemijskoj ravnoteži sustavno povezuje nulti, prvi i drugi zakon termodinamike s kemijskim reakcijama, pri čemu se ravnoteža dosljedno izvodi iz temeljnih bilanci tvari i energije. Posebna se pozornost posvećuje homogenim i heterogenim reakcijskim sustavima, sustavima s jednom i s više reakcija, kao i postupcima minimizacije Gibbsove energije reakcijskog sustava, čime se čitatelja uvodi u formalizam koji je nužan za analizu stvarnih kemijskih procesa.

Poglavlje *Termodinamika nepovrativih procesa* predstavlja svojevrstan teorijski vrhunac knjige. Obrada otvorenih sustava, prirasta entropije pri prijenosu topline i mase, difuziji tvari, istodobnom prijenosu tvari i energije te kemijskim reakcijama jasno pokazuje da se autor ne zaustavlja na idealiziranim sustavima, već sustavno razmatra procese kakvi se pojavljuju u realnim industrijskim i prirodnim okruženjima. Uključivanje fenomenoloških jednadžbi, elektrokemijskih i termoelektričnih efekata dodatno proširuje klasični okvir termodinamike. Osobitu vrijednost predstavlja detaljna obrada stacionarnih stanja, Prigogineova načela, stabilnosti i nestabilnosti stacionarnih režima, nelinearnih pojava, kemijskih oscilacija te prostornih i prostorno-vremenskih obrazaca. Time se čitatelja uvodi u suvremene koncepte koji su ključni za razumijevanje složenih sustava daleko od ravnoteže, ali se rijetko sustavno obrađuju u udžbenicima namijenjenima kemijskim inženjerima. Tim poglavljima knjiga se jasno izdiže iznad klasičnog nastavnog priručnika i zaokružuje u cjelovito djelo koje studentima i inženjerima pruža teorijsku osnovu za razumijevanje, analizu i modeliranje stvarnih, vremenski ovisnih i nelinearnih procesa.

Za svaki udžbenik najveća zasluga pripada autoru na kojem je i najveća odgovornost. Međutim, znatan dio odgovornosti snose i recenzenti, što u ovom slučaju valja posebno istaknuti, budući da je konačnoj kvaliteti udžbenika “Kemijsko-inženjerska termodinamika” autora prof. dr. sc. Marka Rogošića uvelike pridonio iznimno ozbiljan i temeljit recenzentski postupak. Knjigu su recenzirali izv. prof. dr. sc. Gordan Horvat s Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, akademik Stanislav Kurajica s Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, prof. dr. sc. Aleksandra Sander s Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu te prof. dr. sc. Domagoj Vulin s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Njihova stručna evaluacija dodatno je osigurala znanstvenu utemeljenost, terminološku preciznost i didaktičku dosljednost sadržaja, što je od iznimne važnosti za udžbenik ovakvog opsega i zahtjevnosti. Jezičnu jasnoću i stilsku ujednačenost teksta osigurala je lektorica Mirjana Štraus, mag. phon. et philol. croat., čime je dodatno pridonijela čitljivosti i razumljivosti složene termodinamičke problematike. Posebnu vrijednost djela predstavljaju i iznimno kvalitetna, pregledna i suvremena grafička

obrađa te prijelom, koje je izradila prof. dr. sc. Gordana Matijašić; vizualna jasnoća, dosljednost u prikazu matematičkih izraza, dijagrama i tablica te uravnotežen odnos teksta i grafičkih elemenata uvelike doprinose "pitkosti" i uporabnoj vrijednosti udžbenika.

Kad knjigu uzmete u ruke i, još prije samog čitanja, počnete je listati, pred vama se postupno otvara svojevrsna rapsodija raznovrsnih sadržaja: jasno napisan tekst, stilski dotjerani i sadržajno pregledni dijagrami, pažljivo pripremljene tablice te jednadžbe zapisane čitkim i dosljednim stilom. Nakon svakog poglavlja slijedi obilna i promišljeno odabrana literatura, koja čitatelju omogućuje dodatno produbljivanje obrađenih tema. Iako je riječ o djelu izrazite stručne težine, koje zahtijeva duboko promišljanje o konceptima, primjerima i gradivu, knjiga istodobno posjeduje i snažnu estetsku dimenziju. Početak svakog poglavlja obilježen je originalnom fotografijom koja nenametljivo nadahnjuje, privlači čitatelja i stvara suptilan predah prije ulaska u zahtjevnju, ali iznimno vrijednu termodinamičku problematiku.

Da bi nastalo takvo djelo, uz autora, recenzente, tehničku obradu i lekturu, nužno je pronaći i izdavača spremnog prepoznati vrijednost i zahtjevnost takvog projekta. U taj su pothvat zajednički krenuli Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa te Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, čime je osigurana ne samo institucionalna potpora, nego i jasna poruka o važnosti ulaganja u kvalitetnu domaću znanstveno-nastavnu literaturu. Na toj se sinergiji, ali i na hrabrosti da se podrži tako opsežno i zahtjevno izdanje, objema institucijama s pravom može i treba čestitati. Važno je istaknuti da objavljivanje tako opsežnog i zahtjevnog udžbenika ne bi bilo moguće bez financijske i institucionalne potpore niza ustanova i tvrtki koje su prepoznale vrijednost ulaganja u domaću znanstveno-nastavnu literaturu. Njihova potpora ne predstavlja samo materijalni doprinos izdavanju knjige, već i jasnu poruku o važnosti povezivanja akademske zajednice, industrije i javnih institucija u jačanju obrazovanja i znanosti te ih vrijedi navesti i zahvaliti im na tome

(abecednim redom): ACCUMULAR d. o. o., AGROPROTEINKA d. d., ANSAR-ANALITIKA d. o. o., HIKMA d. o. o., Hrvatsko kemijsko društvo, JADRAN-GALENSKI LABORATORIJ d. d., Ministarstvo znanosti, obrazovanja i mladih Republike Hrvatske, PUREX d. o. o., SELVITA d. o. o., Sveučilište u Splitu Kemijsko-tehnološki fakultet, TAPI Croatia Industries d. o. o. i Zaklada Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti.

Knjiga "Kemijsko-inženjerska termodinamika" prof. dr. sc. Marka Rogošića predstavlja jedno od najsveobuhvatnijih i metodološki najzrelijih djela iz područja kemijskog inženjerstva dostupnih na hrvatskom jeziku. Riječ je o iznimno opsežnom djelu, napisanom na 725 stranica, strukturiranom u 12 tematski zaokruženih poglavlja, uz nekoliko stotina tablica i ilustracija, velik broj pažljivo odabranih literaturnih vrela te opsežne priloge s razrađenim proračunima i algoritmima. Sustavno i dosljedno povezivanje teorije, matematičkog aparata i inženjerske primjene čini ovu knjigu iznimno vrijednim nastavnim i referentnim djelom, prikladnim kako za prijediplomske i diplomске studije, tako i za profesionalnu praksu u industriji i znanstvenom radu. U kontekstu domaće stručne literature, riječ je o djelu koje postavlja visoke standarde za buduće udžbenike iz kemijskog inženjerstva.

U skladu s navedenim, valja istaknuti i važno institucionalno priznanje koje je ovo djelo dobilo. Sveučilište u Zagrebu prepoznalo je znanstvenu, nastavnu i ukupnu vrijednost knjige "Kemijsko-inženjerska termodinamika" te joj je, odlukom Senata, dodijelilo status sveučilišnog udžbenika (*Manualia Universitatis Studiorum Zagrabienensis*). Time je potvrđeno da ovo djelo predstavlja primjer kako suvremeni udžbenik treba biti osmišljen i oblikovan: sadržajno temeljit i znanstveno utemeljen, didaktički promišljen, metodološki dosljedan te grafički i urednički prilagođen potrebama današnjih studenata i nastavnika. To priznanje dodatno potvrđuje da knjiga prof. dr. sc. Marka Rogošića nadilazi okvire klasičnog nastavnog priručnika i postavlja mjerilo za buduća sveučilišna izdanja iz područja kemijskog inženjerstva i kemije.



NOVO!!

Marko Rogošić

KEMIJSKO-INŽENJERSKA TERMODINAMIKA

Cijena udžbenika je **80 € (PDV uključen)**.

Narudžbe se primaju elektroničkom poštom (kui@hdk.hr)

Studenti ostvaruju 50 % popusta uz predodjenje indeksa, a članovi Društva 20 %