

UNIVERZITET U BEOGRADU

BOGOSAV M. VASILJEVIĆ · MILOŠ J. BANJAC

# MAPA ZA TERMODINAMIKU

---

Zadaci za samostalno rešavanje

Zadaci za auditorne vežbe

Ispitni testovi sa rešenjima

Ispitni zadaci

MAŠINSKI FAKULTET  
Beograd, 2013.



## **MAPA ZA TERMODINAMIKU**

- Zadaci za samostalno rešavanje
  - Zadaci za auditorne vežbe
  - Ispitni testovi sa rešenjima
    - Ispitni zadaci

Dr Bogosav M. Vasiljević  
Dr Miloš J. Banjac

**MAPA ZA TERMODINAMIKU**  
**- V izmenjeno i dopunjeno 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, dr Milorad Milovančević, red. prof.

Urednik:

Dr Aleksandar Obradović red. prof.  
Predsednik komisije za izdavačku delatnost  
Mašinskog fakulteta u Beogradu

Tiraž: 500 primeraka

Štampanje V izdanja odobrila:

Komisija za izdavačku delatnost  
Mašinskog fakulteta u Beogradu,

i

Dekan Mašinskog fakulteta u Beogradu  
br. odluke 229/13,  
od 7.2.2013. godine

Štampa: "Planeta print"

Ruzveltova 10, 11000 Beograd  
www.planeta-print.co.rs

Beograd, 2013. godine

ISBN 978-86-7083-782-9

---

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

**Vrednosti osnovnih matematičkih i fizičkih konstanti koje se koriste u termodinamici i prenosu toplote\***

Naziv	Oznaka	Vrednost
Broj $\pi$	$\pi$	3,141 592 653 589 793...
Broj $e$	$e$	2,718 281 828 459 045...
Standardno ubrzanje pri slobodnom padu (gravitaciono ubrzanje)	$g_n$	9,806 650 m/s <sup>2</sup>
Gravitaciona konstanta	$G$	$(6,672\ 59 \pm 0,000\ 85) \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2 \approx$ $\approx 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$
Brzina prostiranja elektromagnetskih talasa u vakuumu	$c$	299 792 458 m/s $\approx 3,00 \cdot 10^8$ m/s
Planckova (Planck) konstanta	$h$ $\hbar = h/(2\pi)$	$(6,626\ 075\ 5 \pm 0,000\ 004\ 0) \cdot 10^{-34} \text{ J s} \approx 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ $(1,054\ 572\ 66 \pm 0,000\ 000\ 63) \cdot 10^{-34} \text{ J s} \approx 1,055 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
Avogadrova (Avogadro) konstanta	$N_A$	$(6,022\ 136\ 7 \pm 0,000\ 003\ 6) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \approx$ $\approx 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Lošmitova (Loschmidt) konstanta	$n_0 = N_A / V_{m,0}$	$(2,686\ 763 \pm 0,000\ 023) \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3} \approx 2,69 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$
Molarna gasna konstanta	$R = p V_m / T$	$(8,314\ 510 \pm 0,000\ 070) \text{ J}/(\text{mol K}) \approx 8,315 \text{ J}/(\text{mol K})$
Molarna zapremina idealnog gasa pri ( $T_0 = 27315\text{K}$ i $p_0 = 101325\text{kPa}$ )	$V_{m,0} = R T_0 / p_0$	$(22,414\ 10 \pm 0,000\ 000\ 19) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol} \approx$ $\approx 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$
Bolcmanova (Boltzmann) konstanta	$k = R / N_A$	$(1,380\ 658 \pm 0,000\ 012) \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \approx 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Stefan-Bolcmanova (Stefan-Boltzmann) konstanta	$\sigma = \frac{\pi^2}{60} \cdot \frac{k^4}{\hbar^3 c^2}$	$(5,670\ 51 \pm 0,000\ 19) \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4) \approx$ $\approx 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$
Konstanta Vinovog (Wien) zakona pomeranja	$b = \lambda_m T$	$(2,897\ 756 \pm 0,000\ 024) \cdot 10^{-3} \text{ m K} \approx 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$
Prva konstanta zračenja	$c_1 = 2 \pi h c^2$	$(3,741\ 774\ 9 \pm 0,000\ 002\ 2) \cdot 10^{-16} \text{ W m}^2 \approx$ $\approx 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ W m}^2$
Druga konstanta zračenja	$c_2 = hc / k$	$(1,438\ 769 \pm 0,000\ 012) \cdot 10^{-2} \text{ m K} \approx 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ m K}$

\* Numeričke vrednosti osnovnih fizičkih konstanti preuzete su iz: *CODATA Bulletin* No.63 (1986)

## Sadržaj

<b>1. ZADACI ZA SAMOSTALNO REŠAVANJE</b> .....	<b>1</b>
1.1. Prvi zadatak .....	1
1.2. Drugi zadatak .....	3
1.3. Treći zadatak .....	4
1.4. Četvrti zadatak .....	5
1.5. Peti zadatak .....	9
1.6. Šesti zadatak .....	11
1.7. Sedmi zadatak .....	13
1.8. Osmi zadatak .....	15
<b>2. ZADACI ZA AUDITORNE VEŽBE</b> .....	<b>18</b>
2.1. Termomehaničke veličine stanja .....	18
2.2. Jednačina termomehaničkog stanja idealnog gasa .....	19
2.3. Poluidealni gasovi .....	22
2.4. Realni gasovi .....	22
2.5. Prvi princip termodinamike .....	23
2.6. Drugi princip termodinamike .....	26
2.7. Politropne promene stanja .....	28
2.8. Smeše idealnih i poluidealnih gasova. Voda (vodena para). Termomehaničke promene stanja vode (vodene pare) .....	32
2.9. Kružni procesi .....	34
2.10. Eksergija i eksergijski stepen korisnosti .....	41
2.11. Vlažni gasovi .....	42
2.12. Strujni procesi i hemijska termodinamika .....	45
2.13. Prenosenje količine toplote .....	46
<b>3. ISPITNI TESTOVI SA REŠENJIMA</b> .....	<b>49</b>
3.1. Test broj 1 .....	49
3.2. Test broj 2.....	52
3.3. Test broj 3 .....	55
3.4. Test broj 4 .....	58
3.5. Test broj 5 .....	61
3.6. Test broj 6 .....	63
3.7. Test broj 7 .....	67
3.8. Test broj 8 .....	71
3.9. Test broj 9 .....	74

<b>4. ISPITNI ZADACI</b>	<b>78</b>
4.1. Prvi princip termodinamike .....	78
4.2. Smeše idealnih i poluidealnih gasova .....	87
4.3. Drugi princip termodinamike .....	90
4.4. Kružni procesi .....	92
4.5. Eksergija .....	102
4.6. Vlažni gasovi .....	107
4.7. Prenosenje količine toplote .....	115
<b>Literatura</b> .....	<b>122</b>

# Predgovor

Ovaj pomoćni udžbenički materijal je namenjen, pre svega studentima Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, mada on može korisno da posluži i studentima drugih Tehničkih fakulteta i Viših tehničkih škola u zemlji, a koji u svom Nastavnom planu i programu imaju predmet **Tehnička termodinamika, Primenjena termodinamika** ili predmet pod nešto drugačijim nazivom, ali slične sadržine.

Radi efikasnijeg iskorišćenja radnog vremena, predviđenog Nastavnim planom i programom Mašinskog fakulteta, a pri obavljanju auditornih vežbi, zatim pri samostalnom rešavanju zadataka i njihovom pregledu, kao i radi upoznavanja studenata sa strukturom i težinom zadataka za pisani deo ispita iz predmeta **1001 TERMODINAMIKA I** i **1002 TERMODINAMIKA**, sačinjen je ovaj pomoćni udžbenički materijal.

Predstavu o materijalu daje Sadržaj.

Zadaci za samostalno rešavanje, kao i obavezni zadaci za auditorne vežbe sastavljeni su veoma pažljivo i većim delom su originalni, budući da su nastali kao rezultat višegodišnjeg pedagoškog iskustva autora. Tek ukoliko zadaci za samostalno rešavanje budu detaljno i s razumevanjem urađeni i usvojeni, a obavezni zadaci za auditorne vežbe uz to budu još praćeni teorijsko-stručnim komentarima i analizama od strane asistenata, tada će ovaj materijal dati svoj puni doprinos u shvatanju suštine Osnovnih termodinamičkih principa i odgovarajućih Termomehaničkih promena stanja, i time omogućiti dalju izgradnju i usavršavanje nastave iz ove oblasti.

Posebno napominjemo, da treće poglavlje ovog materijala sadrži originalne ispitne zadatke, koji su tokom nekoliko proteklih godina bili davani na pisanom delu ispita iz gore pomenutih predmeta. Uz svaki zadatak dat je i odgovarajući rezultat.

Svi nazivi i oznake fizičkih veličina, kao i njihove merne jedinice, iz ove oblasti, usklađeni su sa JUS-om i ISO-om 31, (delovi od 0 do 13, iz 1998. godine), s obzirom na to da će ubuduće oni, prema Odluci NNV MF, biti primenjivani u nastavno-naučnim delatnostima Mašinskog fakulteta u Beogradu.

Autori posebnu zahvalnost izražavaju recenzentima prof. dr Đorđu Kozicu i prof. dr Milovanu Studoviću, na dragocenim primedbama i vrlo korisnim stručnim savetima, kao i svima onima koji su na bilo koji način doprineli što preciznijem uobličavanju teksta.

Svesni smo činjenice, da ovaj materijal, ima sigurno nekih nedostataka i nedoslednosti, pa stoga molimo cenjene studente i kolege po struci, da sve korisne primedbe i savete koje budu imali dostave autorima, na čemu ćemo im biti posebno zahvalni.

U Beogradu, a povremeno i  
u dragačevskom selu Turici,  
septembar 1999. godine

Autori

## Predgovor 2. izdanju

Drugo ispravljeno i dopunjeno izdanje ovog pomoćnog udžbeničkog materijala pojavljuje se pod "novim" nazivom – Mapa za termodinamiku, koji je prvobitno i bio predložen od autora i prihvaćen od Komisije za izdavačku delatnost Mašinskog fakulteta u Beogradu.

Ovo izdanje se razlikuje od prethodnog ne samo po nazivu – Termodinamika, već i po sadržaju. Materijal je dopunjen sa novim poglavljem – Ispitni testovi sa rešenjima, datim u izvornom obliku, i sa nekoliko novih, originalnih ispitnih zadataka. Smatramo suvišnim naglašavati šta je u ovom materijalu originalno, kao i kakva je razlika ovog materijala od drugih, koji su se pojavljivali ili se još pojavljuju pod istim ili sličnim nazivima. Tu procenu ostavljamo korisnicima ove Mape.

Unapred zahvaljujemo svima koji bi nam ukazali na eventualne greške, kako bi ih ispravili u sledećem izdanju.

Beograd,  
septembar 2002. godine

Autori



## Predgovor 3. izdanju

I treće ispravljeno i dopunjeno izdanje ovog pomoćnog udžbeničkog materijala pojavljuje se pod nazivom *Mapa za termodinamiku*. Ovo izdanje, dopunjeno je sa tridesetak novih originalnih ispitnih zadataka.

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 radova, tako da elementarni rad, što ga okolna tela obave na termodinamičkom telu, promenom njegove zapremine, pri elementarnom delu promene  $\varpi$ , predstavlja pozitivnu veličinu ( $\delta w_{\varpi}^V > 0$ ), dok elementarni rad, što ga termodinamičko telo obavi na okolnim telima, promenom svoje zapremine, pri elementarnom delu promene  $\varpi$ , predstavlja negativnu veličinu ( $\delta w_{\varpi}^V < 0$ ). 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  $\delta Q_{\varpi} + \delta W_{\varpi}^t = dH$ .

Posebna pažnja je posvećena i upotrebi atributa “maseni” (ili “specifični”), “molarni”, “zapreminski” (ili “gustina”), “površinski” i “linijski”. Prvi atribut je dodavan fizičkoj veličini, dobijenoj kao količnik razmatrane veličine i mase, drugi – razmatrane fizičke veličine i količine, treći – razmatrane fizičke veličine i zapremine, četvrti – razmatrane fizičke veličine i površine, i peti – razmatrane fizičke veličine i dužine. Unapred zahvaljujemo svima, a posebno cenjenim studentima i kolegama po struci, da nam ukažu na eventualne greške, kako bi ih ispravili u sledećem izdanju.

Beograd,  
februar, 2008. godine

Autori

## Predgovor 4. izdanju

U četvrtom izdanju ovog pomoćnog udžbeničkog materijala dodato je samo nekoliko novih ispitnih zadataka i ispravljene uočene štamparske greške.

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

Beograd,  
septembar, 2009. godine

Autori

## Predgovor 5. izdanju

Peto izdanje *Mape za termodinamiku* dopunjeno je sa dvadesetak novih zadataka za auditorne vežbe, pripremljenih u skadu sa programima nastavnih predmeta Termodinamika B, Termodinamika M i Primenjena termodinamika. Izvršene su korekcije svih rešenja ispitnih zadataka, kako bi bila u skladu podacima novog Priručnika za termodinamiku u izdanju Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Takođe, iz istog razloga, izvršene su izmene tekstova pojedinih zadataka.

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

Beograd,  
februar, 2013. godine

Autori