

ZBIRKA TESTOVA IZ TERMODINAMIKE

Prof. dr Miloš J. Banjac

ZBIRKA TESTOVA IZ TERMODINAMIKE
- I izdanje -

Recenzenti:

Dr Mirko Komatina, red. prof
Dr Vladimir Stevanović, 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 Vladimir Popović, red. prof.

Urednik:

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

Tiraž: 300 primeraka

Štampanje I izdanja odobrila:
Komisija za izdavačku delatnost
Mašinskog fakulteta u Beogradu,
i

Dekan Mašinskog fakulteta u Beogradu
Odlukom br. 05/2022
od 21. 03. 2022. godine

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

Beograd, 2022. godine

ISBN 978-86-6060-113-3

©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.

Predgovor

Ova zbirka testova namenjena svim studentima mašinske tehnike, a pre svega studentima osnovnih master akademskih studija Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, da im kao pomoćni udžbenik posluži za proveru znanja i lakšem savladavanju gradiva iz nastavnih predmeta Termodinamika B, Primenjena termodinamika i Termodinamika M.

Zadaci objavljeni u ovoj zbirci čine zadaci koji su kao autorski sastavljeni za potrebe provere teorijskog znanja studenata pri polaganju ispita iz navedenih predmeta. Veći deo ovih zadataka čine delimično prerađeni ili neprerađeni zadaci koji su već bili objavljeni u dopunjenim izdanjima Mape za termodinamiku. Manji deo čine potpuno novi zadaci napisani za potrebe ove zbirke. Budući da je Mapa za termodinamiku, kao zbirka nerešenih zadataka iz termodinamike (za auditorne vežbe, za samostalno rešavanje, za ispitne zadatke za praktičnu i teorijsku proveru znanja), pre svega bila prilagođena programima i načinu držanja nastave pre prelaska na tzv. Bolonjski sistem obrazovanja, njen sadržaj je delom postao prevaziđen, a delom postao i nepotreban. Zbog toga je od 2020. godine Mapa za termodinamiku prestala da se izdaje, čime se ukazala potreba da se neki njeni delovi, koju su u vidu dopuna naknadno dodavani, objave na ovaj način.

Tekstovi svih zadataka objavljeni u ovoj zbirci pažljivo su birani tako da predstavljaju tipične probleme tehničke termodinamike, prilagođene programu i nivou znanja studenata odgovarajućih nastavnih predmeta. Većina zadataka je koncipirana tako čine jednostavne termodinamičke probleme. Zbog toga za rešavanje ovih zadataka nisu dovoljna samo reproduktivna znanja, već su pored poznavanja i razumevanja naučnih principa potrebne i veštine njihove primene na konkretnim problemima. Originalnost i raznolikost ovih problema čine ovu zbirku jedinstvenim pomoćnim udžbenikom.

Ovu zbirku testova, sa velikim poštovanjem i zahvalnošću posvećujem mom profesoru termodinamike, pokojnom prof. dr Bogosavu Vasiljeviću.

Beograd,
mart, 2022. godine

Prof. dr Miloš Banjac

Sadržaj

1. TESTOVI IZ PREDMETA TEMODINAMIKA B.....	1
1.1. Prvi test (prvi deo gradiva) – prvi primer.....	1
1.2. Prvi test (prvi deo gradiva) – drugi primer.....	4
1.3. Prvi test (prvi deo gradiva) – treći primer.....	8
1.4. Prvi test (prvi deo gradiva) – četvrti primer.....	11
1.5. Prvi test (prvi deo gradiva) –peti primer.....	15
1.6. Drugi test (drugi deo gradiva) – prvi primer.....	20
1.7. Drugi test (drugi deo gradiva) – drugi primer.....	24
1.8. Drugi test (drugi deo gradiva) – treći primer.....	27
1.9. Drugi test (drugi deo gradiva) – četvrti primer.....	31
1.10. Drugi test (drugi deo gradiva) – peti primer.....	35
2. PRIMERI TESTOVA IZ PREDMETA PRIMENJENA TEMODINAMIKA I TERMODINAMIKA M.....	40
2.1. Prvi test (prvi deo gradiva) – prvi primer.....	40
2.2. Prvi test (prvi deo gradiva) – drugi primer.....	43
2.3. Prvi test (prvi deo gradiva) – treći primer.....	47
2.4. Drugi test (drugi deo gradiva) – prvi primer.....	61
2.5. Drugi test (drugi deo gradiva) – drugi primer.....	68
2.6. Drugi test (drugi deo gradiva) – treći primer.....	77
3. EKSERGIJA – DOPUNSKI PRIMERI TESTOVA IZ PREDMETA TEMODINAMIKA M.....	86
3.1. Eksergija – prvi primer.....	86
3.2. Eksergija – drugi primer.....	89
3.3. Eksergija – treći primer.....	92
3.4. Eksergija – četvrti primer.....	94

1. TESTOVI IZ PREDMETA TEMODINAMIKA B

1.1. Prvi test (prvi deo gradiva) – prvi primer

1.1.1. U opštem slučaju molarni toplotni kapacitet radne supstancije (termodinamičkog radnog tela) zavisi od:

a) _____

b) _____

c) _____.

1.1.2. Napisati Gibsovo pravila faza, te odrediti broj stepeni slobode za slučaj jednokomponentnog, trofaznog, zatvorenog i nepokretnog termodinamičkog (termomehaničkog) sistema.

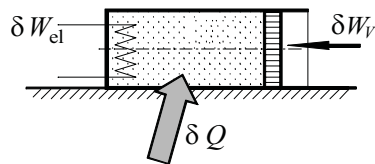
1.1.3. Ako se toplotni kapacitet nekog poluidealnog gasa pri stalnom pritisku menja u skladu sa izrazom: $c_p = A + B\vartheta$ ($A = \text{idem}, B = \text{idem}$), napisati u funkciji početne ϑ_1 i krajnje temperature gasa ϑ_2 , izraz za izračunavanje:

- srednjeg specifičnog toplotnog kapaciteta ovog gasa pri stalnom pritisku,
- promene specifične entalpije.

$$c_p \Big|_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} =$$

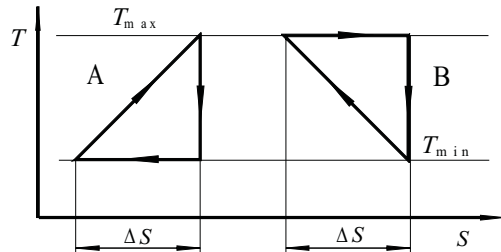
$$h_2 - h_1 =$$

1.1.4. Napisati Prvi zakon termodinamike (bilans energije) u diferencijalnom i konačnom obliku za zatvoreni i makroskopski nepokretan termodinamički (termomehanički) sistem prikazan na slici.

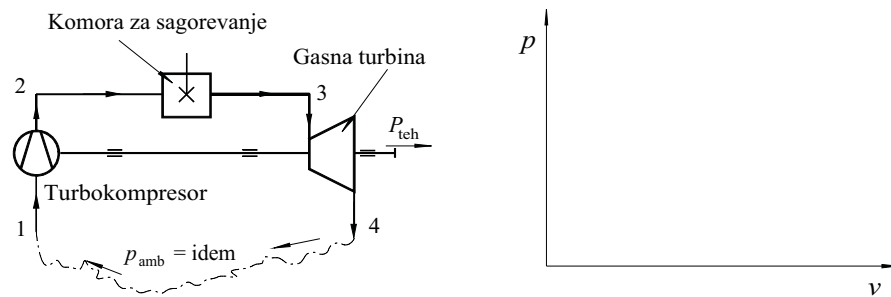


1.6. Drugi test (drugi deo gradiva) – prvi primer

- 1.6.1. Tokom obavljanja desnokretnih kružnih procesa A i B (vidi sliku), radni fluidi dostižu iste maksimalne, odnosno minimalne temperature. Polazeći osnovne definicije termodinamičkog stepena korisnosti η_t , pokazati u kom od ova dva procesa on ima veću vrednost.



- 1.6.2. Na slici je data šema bloka gasnoturbinskog postrojenja, otvorenog tipa, koje radi po idealnom desnokretnom Joule-ovom "kružnom" procesu. Prikazati u $p-v$ koordinatnom sistemu samo one promene stanja vazduha, odnosno produkata sagorevanja koji se zaista dešavaju u ovom postrojenju i napisati izraz za termodinamički stepen korisnosti ovog "kružnog" procesa u funkciji vrednosti karakterističnih temperatura.



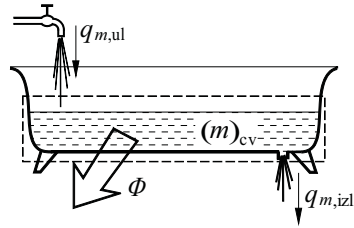
- 1.6.3. Napisati izraz kojim definiše stepen suvoće vlažne pare:
- preko mase zasićene pare i mase zasićene tečnosti,
 - preko specifičnih entropija vlažne pare, zasićene pare i zasićene tečnosti.

2. PRIMERI TESTOVA IZ PREDMETA PRIMENJENA TERMODINAMIKA I TERMODINAMIKA M

2.1. Prvi test (prvi deo gradiva) – prvi primer

- 2.1.1. Za ustaljeni (stacionarni) proces punjenja nezapušene i toplotno neizolovane kade toplom vodom, napisan je bilans supstancije (kontrolna zapremina označena isprekidanim linijama). Napisati odgovarajuće izraze za Prvi i Drugi zakon termodinamike kojim se za ovu kontrolnu zapreminu opisuje bilans energije, odnosno formalni bilans entropije.

$$q_{m,ul} = q_{m,izl}$$

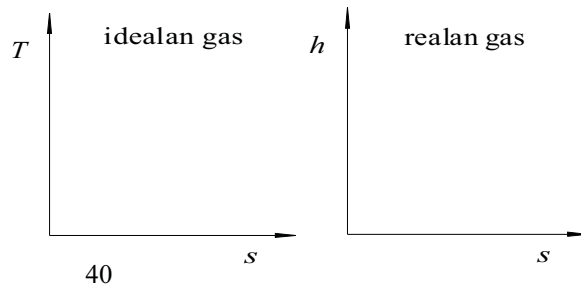


- 2.1.2. Skicirati u $T-l$ (temperatura - dužina) koordinatnom sistemu promenu temperature fluidnih tokova koji protiču kroz rekuperativni predajnik toplote „sa jednim prolazom fluida“, pri čemu jedan od njih:

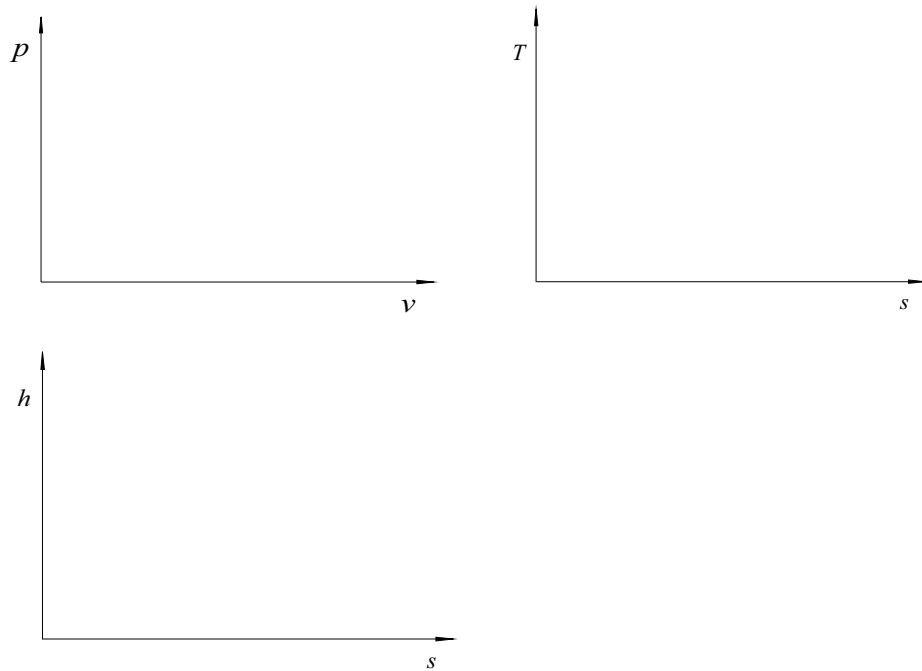
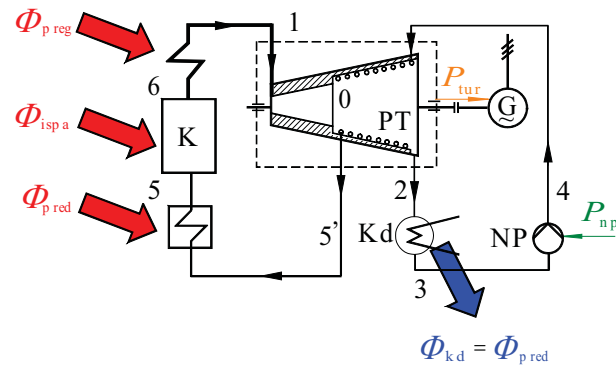
- biva potpuno kondenzovan,
- potpuno isparava.

Na skicama jasno obeležiti tačke koje predstavljaju temperature fluida na ulazu i temperature fluida na izlazu iz predajnika toplote. Posebno, napisati izraz za srednju logaritamsku razliku temperatura ova dva fluidna toka u funkciji temperatura fluida.

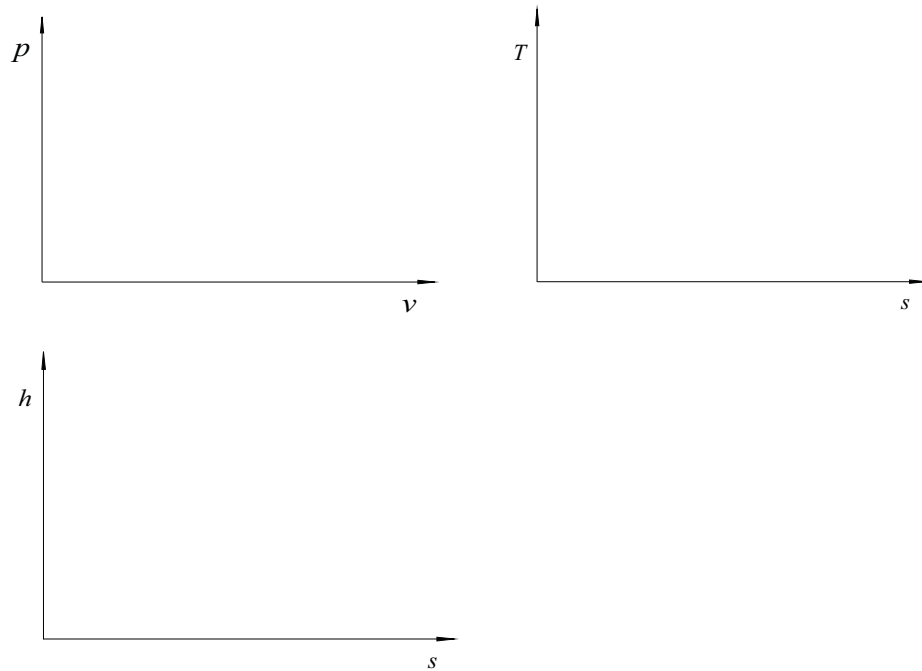
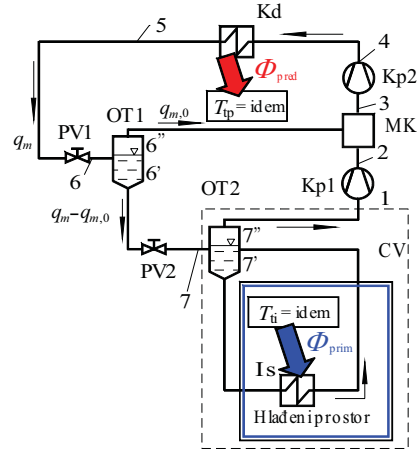
- 2.1.3. Napisati izraze koji preko veličina stanja određuju stepen dobrote (unutrašnji stepen korisnosti) adijatermnog (adijabatskog) neravnotežnog (nekvazistatičkog) sabijanja nekog idealnog gasa, odnosno pregrejane pare nekog realnog fluida. Skicirati odgovarajuće procese u $T-s$, odnosno $h-s$ koordinatnom sistemu.



2.3.9. Za parnoturbinsko postrojenje prikazano na slici, koje radi po modifikovanom Rankin-Klauzijusovom prosecu, skicirati u $p-v$, $T-s$ i $h-s$ koordinatnom sistemu kružni proces koji za slučaj ustaljenih uslova obavlja voda, vodena para, te u funkciji odgovarajućih veličina stanja u karakterističnim stanjima, napisati izraz za termodinamički stepen korisnosti ovog postrojenja.

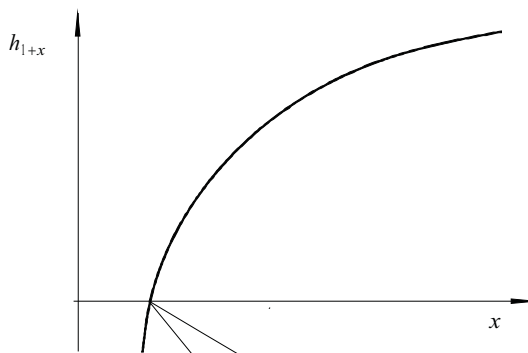


- 2.3.15. Za levokretno parno kompresorsko rashladno postrojenje prikazano na slici, skicirati u $p-v$, $T-s$ i $h-s$ koordinatnom sistemu kružni proces koji za slučaj ustaljenih uslova obavlja rashladni fluid, te u funkciji odgovarajućih veličina stanja u karakterističnim stanjima, napisati izraz za koeficijent hlađenja ovog postrojenja.

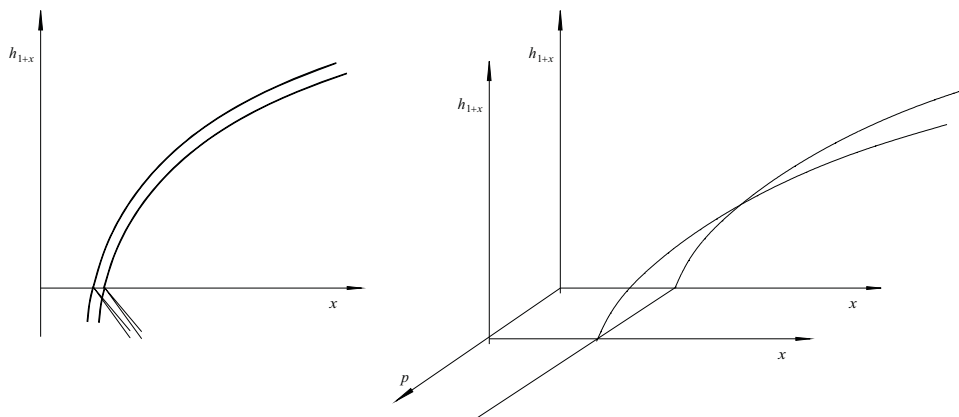


2.4. Drugi test (drugi deo gradiva) – prvi primer

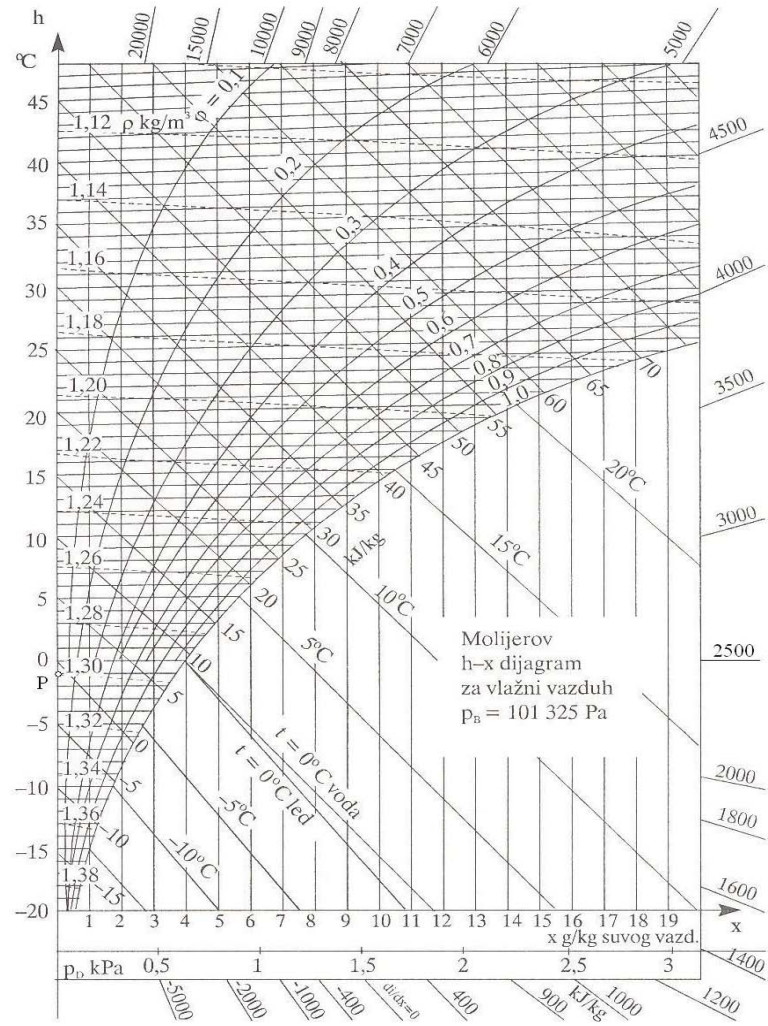
- 2.4.1. Napisati izraz za određivanje entalpije vlažnog vazduha h_{1+x} u području susnežne magle (trofaznom području). Obeležiti to stanje u kosouglomlol Molijerovom $h_{1+x} - x$ dijagramu i označiti apsolutne vlažnosti x_p , x_t i x_{ξ} vazduha u tom stanju.



- 2.4.2. Prikazati u dvodimenzionalnom kosouglomlol Molijerovom $h_{1+x} - x$, odnosno trodimenzionalnom $h_{1+x} - x - p$ dijagramu za vlažan vazduh proces adijabatskog prigušenja nezasićenog vlažnog vazduha, te napisati osnovne relacije koje opisuju ovaj proces.

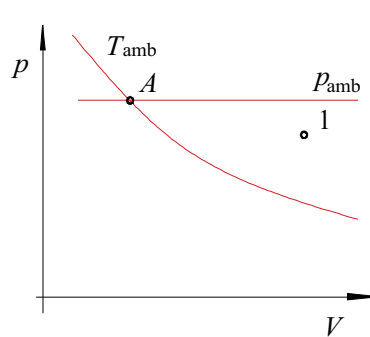
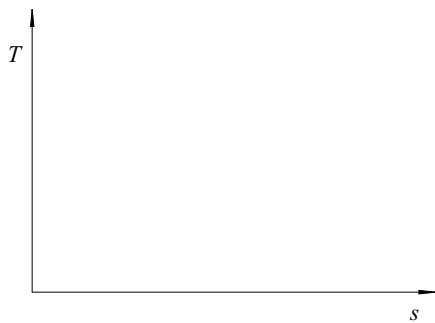
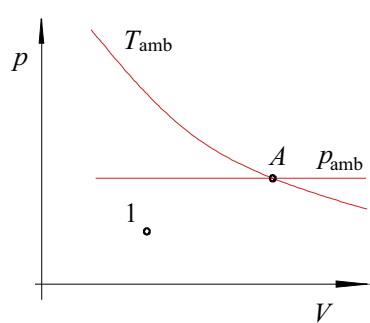
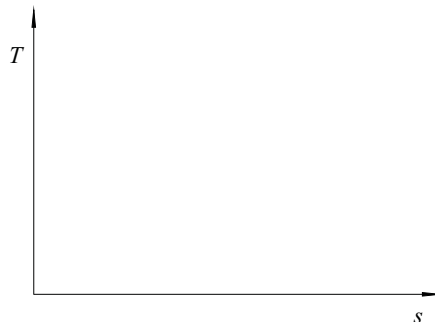
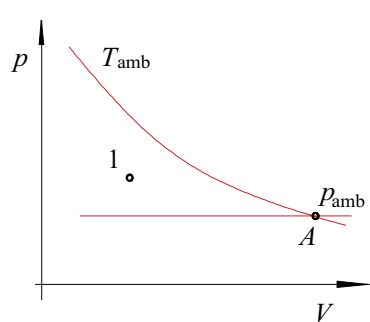


2.4.3. Koristeći Molijerov dijagram za vlažan vazduh, odrediti temperaturu, temperaturu tačke rose, specifičnu entalpiju i apsolutnu i relativnu vlažnost vazduha, stanja definisanog temperaturom suvog $\vartheta_{st} = 14^{\circ}\text{C}$ i temperaturom vlažnog termometra $\vartheta_{vt} = 6^{\circ}\text{C}$.



3.3. Eksergija – treći primer

3.3.1. Za vazduh stanja označenog na slici brojem 1, koji se nalazi u zatvorenom termodinamičkom sistemu, okružen okolnim vazduhom stanja označenog slovom A , šrafirati $p-V$ i $T-s$ koordinatnim sistemima površinu koja je proporcionalna njegovoj eksergiji.



Literatura:

- [1] Vasiljević, B., Banjac, M.: Termodinamika, zadaci za samostalno rešavanje, zadaci za auditorne vežbe, ispitni zadaci, ISBN: 86-7083-365-4 Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2000.
- [2] Vasiljević, B., Banjac, M.: Mapa za termodinamiku, ISBN 978-86-6060-034-1, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2000.
- [3] Афанасьев, В. Н., С. И. Исаев и др.: *Задачник по технической термодинамике и теории теплообмена*, Высшая школа, Москва, 1986.
- [4] Cengel, Y., Boles, M: Thermodynamics: An Engineering Approach, McGraw-Hill Education, ISBN-10: 9780073398174, 2014.
- [5] Turns, R. S: Thermodynamics (Concepts and Applications), Cambridge University Press, ISBN-10 : 0521850428, 2006.
- [6] Moran, M., Shapiro, H., Boettner, D., Bailey, M.: Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 9th Edition, ISBN: 978-1-119-39138-8, 2018.