

Radivoje M. Topić

# PROJEKTOVANJE POSTROJENJA I PROCESNIH I ENERGETSKIH SISTEMA



---

MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU



**MAŠINSKI FAKULTET  
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

**Prof. dr Radivoje M. Topić**

**PROJEKTOVANJE POSTROJENJA  
I PROCESNIH I ENERGETSKIH  
SISTEMA**

Beograd 2013.

Prof.dr Radivoj M. Topić

PROJEKTOVANJE POSTROJENJA I PROCESNIH I ENERGETSKIH SISTEMA

I izdanje

*Izdavač:*

UNIVERZITET U BEOGRADU  
MAŠINSKI FAKULTET  
Kraljice Marije br. 16, 11000 Beograd

*Za izdavača:*

Dekan, prof. dr Milorad Milovančević

*Urednik:*

Prof. dr Aleksandar Obradović

*Recenzenti:*

Prof. dr Martin Bogner  
Prof. dr Bogosav Vasiljević

*Tehnički urednik:*

Goran Janjić, dipl. inž. maš.

*Korice:*

Aleksandra Dolović

*Ilustracije:*

Aleksandra Aleksić

*Štampa i povež:*

„Planeta print“, Ruzveltova br. 10  
11 000 Beograd

*Odobreno za štampu:*

Odlukom dekana Mašinskog fakulteta u Beogradu  
br. 242/13 od 20. 06. 2013.

*Tiraž:*

100 primeraka

ISBN 978-86-7083-814-7

---

---

# SADRŽAJ

---

---

<b>Predgovor</b> .....	9
<b>Glava I • UVODNE NAPOMENE</b> .....	11
1.1. TEHNOLOŠKA REŠENJA, PROJEKTOVANJE I KONSTRUISANJE .....	11
<b>Glava II • OBJEKTI SA ZAŠTIĆENIM PROSTOROM</b> .....	15
2.1. PREGLED KARAKTERISTIČNIH REŠENJA .....	15
2.2. NAČINI I SISTEMI ZA OBEZBEĐENJA MIKROKLIME U UŽEM SMISLU .....	17
2.3. OSNOVNI NAČINI OBEZBEĐENJA MIKROKLIME .....	18
2.4. OSNOVNI SISTEMI ZA OBEZBEĐENJE MIKROKLIME .....	18
2.5. DEFINISANJE RADNIH USLOVA OBJEKATA SA ZAŠTIĆENIM PROSTOROM I PRORAČUN .....	21
2.5.1. Bilansiranje i definisanje energetskog režima objekta sa zaštićenim prostorom .....	21
2.6. TERMOTEHNIČKI PRORAČUN I DEFINISANJE MATEMATIČKOG MODELA .....	23
2.7. DEFINISANJE I IZRADA PROGRAMA ZA OPTIMIZACIJU OBJEKATA SA ZAŠTIĆENIM PROSTOROM .....	24
<b>Glava III • PROJEKTOVANJE UREĐAJA I POSTROJENJA ZA SUŠENJE</b> .....	27
3.1. PRORAČUN PNEUMATSKO-DOBOŠASTIH I DOBOŠASTIH SUŠARA .....	27
3.1.1. Prenos toplote u komori za sušenje .....	27
3.1.2. Upoređivanje različitih ispuna sa aspekta prenosa toplote .....	29
3.1.3. Analiza rada postrojenja AVM-04 .....	31
3.2. ODREĐIVANJE KONSTRUKTIVNIH PARAMETERA PNEUMATSKO- DOBOŠASTIH SUŠARA .....	31
3.2.1. Određivanje i promena temperature duž komore za sušenje .....	32
3.2.2. Toplotni bilans i maseni protok apsolutno suvog agensa sušenja .....	33
3.2.3. Poluprečnik bubnja komore za sušenje – $R$ .....	34
3.2.4. Gustina agensa sušenja .....	34
3.2.5. Definisanje visine padanja (preko ugla sipanja, prečnika bubnja i širine lopatica) .....	35
3.2.6. Srednja brzina strujanja agensa sušenja .....	35
3.2.7. Broj obrtaja komore za sušenje .....	37
3.2.8. Brzina kretanja materijala kroz komoru za sušenje (duž bubnja) .....	37
3.2.9. Opterećenje komore za sušenje ili poprečnog preseka materijalom ...	40
3.2.10. Pojmovi vezani za količinu materijala u komori za sušenje .....	42
3.2.11. Kriterijum prohodnosti ( $I$ ) .....	43

3.3. KONSTRUKTIVNE DIMENZIJE VIŠEPROLAZNIH BUBNJEVA .....	45
3.4. METODE ODREĐIVANJA REŽIMA SUŠENJA.....	47
<b>Glava IV • KORIŠĆENJE SUNČEVE ENERGIJE ZA SUŠENJE</b>	
<b>I DRUGE NAMENE</b> .....	53
4.1. KARAKTERISTIKE SOLARNE ENERGIJE .....	53
4.1.1. Korišćenje Sunčeve energije za sušenje .....	53
4.1.2. Rešenja za sušenje korišćenjem solarne energije .....	54
4.1.2.1. Prijemnici solarne energije .....	54
4.1.3. Vrste solarnih sušara .....	56
4.1.4. Karakteristike i prikaz koncepcije rešenja pokretne, univerzalne, ekološke, komorne solarne sušare za sušenje bioloških materijala.....	62
4.1.5. Bilansiranje postrojenja za sušenje i matematički modeli .....	65
4.1.6. Matematički modeli procesa sušenja u rešenjima za korišćenje solarne energije .....	67
4.1.7. Matematički model procesa sušenja u solarnoj sušari .....	71
4.2. KORIŠĆENJE SUNČEVE ENERGIJE ZA PROCESSE DESALINIZACIJE I DESTILACIJE VODE .....	73
4.3. KORIŠĆENJE SUNČEVE ENERGIJE ZA PROCES TERMIČKE OBRADE BETONA.....	75
4.4. DOBIJANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE KORIŠĆENJEM SUNČEVE ENERGIJE .....	75
4.4.1. Direktno dobijanje električne energije korišćenjem Sunčeve energije ..	75
4.4.1.1. PV moduli za korišćenje Sunčeve energije .....	76
4.4.1.2. Karakteristike PV modula za korišćenje Sunčeve energije .....	77
4.4.1.3. PV sistemi za korišćenje Sunčeve energije i tipovi .....	80
4.4.2. Indirektno dobijanje električne energije korišćenjem Sunčeve energije.....	87
4.4.3. Kombinovanje sistema za korišćenje Sunčeve energije sa sistemima na bazi indirektnih oblika Sunčeve energije i drugim sistemima .....	92
4.4.4. Uskladištenje Sunčeve energije .....	93
4.4.4.1. Uskladištenje Sunčeve energije zagrevanjem .....	94
4.4.4.2. Uskladištenje Sunčeve energije korišćenjem latentne toplote .....	96
4.4.4.3. Ostale metode uskladištenja Sunčeve energije .....	96
4.4.4.4. Postojeći sistemi za skladištenje, akumulaciju energije .....	97
<b>Glava V • ENERGIJA VETRA</b> .....	99
5.1. TEORIJA VETROMOTORA, KOEFICIJENT ISKORIŠĆENJA ENERGIJE VETRA .....	99
5.2. AERODINAMIČKE KARAKTERISTIKE VETROMOTORA .....	101
5.3. SISTEMI ZA REGULISANJE BRZINE OBR TANJA KOLA I SNAGE VETROMOTORA I AUTOMATSKU ORIJENTACIJU KOLA PRI PROMENI PRAVCA BRZINE VETRA .....	103
5.4. IZBOR REŠENJA I PRORAČUN SNAGE VETROMOTORA.....	105

5.4.1. Vjebulova raspodela i njen značaj za analizu lokacije i projektovanje vetromotora.....	107
5.5. OSNOVNI DELOVI VETROELEKTRANA (POSTROJENJA) .....	108
5.5.1. Kolo.....	110
5.5.2. Vratilo i prenosnik .....	111
5.5.3. Električni generator.....	111
5.5.4. Sistemi za regulaciju.....	113
5.5.5. Stub.....	113
5.5.6. Temelj .....	114
5.5.7. Priklučivanje vetroelektrana na elektroenergetski sistem.....	115
5.5.8. Havarije.....	116
5.5.9. Zauzimanje prostora .....	116
5.5.10. Izgradnja vetroelektrana s obzirom na uslove u prostoru.....	117
<b>Glava VI • PROJEKTOVANJE ENERGETSKIH POSTROJENJA ZA KORIŠĆENJE BIOGASA .....</b>	<b>119</b>
6.1. PRINCIP KONSTRUISANJA DIGESTORA.....	119
6.1.1. Definisane debljine zida digestorske posude .....	121
6.1.2. Dimenzionisanje pokretne kupole.....	122
6.2. ZAGREVANJE SUPSTRATA .....	122
6.3. DIMENZIONISANJE CEVNIH GREJAČA .....	126
6.4. IZOLACIJA DIGESTORSKE POSUDE .....	127
<b>Glava VII • PROJEKTOVANJE ENERGETSKIH POSTROJENJA ZA KORIŠĆENJE BIOMASE .....</b>	<b>129</b>
7.1. OSNOVNI PRINCIPI ENERGETSKE VALORIZACIJE .....	129
7.2. BRIKETIRANJE I PELETIRANJE .....	130
7.3. KRATAK PRIKAZ KONCEPCIJE REŠENJA POSTROJENJA ZA VISOKOTEMPERATURNI SUŠENJE STRUGOTINE .....	132
7.4. PRIKAZ KONCEPCIJE POSTROJENJA ZA VISOKOTEMPERATURNI SUŠENJE STRUGOTINE I TOK PROCESA.....	137
<b>Glava VIII • KORIŠĆENJE TOPLOTNE PUMPE U PROCESIMA SUŠENJA ....</b>	<b>139</b>
8.1. UVODNE NAPOMENE .....	139
8.2. OSNOVE TOPLOTNIH PUMPI.....	140
8.3. PRINCIP RADA SUŠARE SA TOPLOTNOM PUMPOM .....	142
8.4. PREDNOSTI I NEDOSTACI PROCESA SUŠENJA SA TOPLOTNOM PUMPOM .....	143
8.5. ENERGETSKA EFIKASNOST .....	143
8.6. NAČIN SUŠENJA I KONFIGURACIJA SISTEMA ZA SUŠENJA.....	144
8.7. VIŠESTEPENE TOPLOTNE PUMPE U PROCESU SUŠENJA .....	145
8.8. REALNO VREME KONTROLE PROCESA SUŠENJA U OKRUŽENJU .....	146

8.9. USTALJENI I VREMENSKI PROMENJLJIVI RADNI REŽIMI.....	148
8.10. SUŠENJE SA KONSTANTIM PARAMETRIMA REŽIMA RADA.....	148
8.11. SUŠENJE SA PREKIDNIM REŽIMOM RADA, VREMENSKI ZAVISNO DOVOĐENJE ENERGIJE.....	148
8.12. KINETIKA SUŠENJA.....	149
8.12.1. Prekidni režim rada, vremenski zavisno dovođenje toplote .....	149
8.12.2. Kriva sušenja .....	150
8.12.3. Temperatura površi materijala, temperaturna kriva.....	150
8.12.4. Površinska vlažnost, krive sušenja.....	151
8.12.5. Vremenski promenljivi režimi sušenja .....	152
8.13. INDUSTRIJSKA PRIMENA.....	152
9.13.1. Sušara sa toplotnom pumpom za sušenje drveta .....	152
9.13.2. Sušara sa toplotnom pumpom u procesu proizvodnje hrane.....	153
8.14. SUŠARE SA TOPLOTNOM POMPOM I RAZLIČITIM NAČINIMA DOVOĐENJA TOPLOTE.....	154
8.14.1. Sušare sa fluidizovanim slojem i toplotnom pumpom .....	154
8.14.2. Infracrvena sušara sa toplotnom pumpom .....	155
8.14.3. Radio frekventna sušara sa toplotnom pumpom.....	157
8.14.4. Kombinovana rešenja za sušenje sa korišćenjem Sunčeve energije i toplotne pumpe i sistema za akumulaciju energije .....	158
8.15. SREDSTVA ZA HLAĐENJE .....	160
8.16. PRILAGODLJIVOST TOPLOTNE PUMPE U PROCESU SUŠENJA .....	161
8.17. BUDUĆI TRENDOM KORIŠĆENJA TOPLOTNE PUMPE U PROCESU SUŠENJA, RAD VIŠE SUŠARA.....	161
<b>Glava IX • SKLADIŠTENJE</b> .....	163
9.1. UVODNE NAPOMENE .....	163
9.2. PRORAČUN SISTEMA ZA AKTIVNU VENTILACIJU .....	166
<b>Glava X • DESOLINIZACIJA</b> .....	173
10.1. UVODNE NAPOMENE .....	173
10.2. SOLARNA DESALINIZACIJA.....	173
10.2.1. Faze prerade pitke vode.....	175
10.2.2. Metode desalinizacije .....	175
10.2.3. Načini desalinizacije .....	175
10.2.3.1. Destilacija.....	175
10.2.3.2. Membranski procesi .....	175
10.3. EKSPERIMENTALNE TEHNIKE .....	176
10.4. NOVE TEHNOLOGIJE .....	176
10.5. UTICAJ NA OKOLINU .....	178
10.6. POSTOJEĆA POSTROJENJA U SVETU .....	179



<b>LITERATURA</b> .....	181
<b>PRILOZI</b> .....	185
PRILOG 1 • PROJEKAT POSTROJENJA ZA SUŠENJE PESKA.....	185
PRILOG 2 • PRORAČUN PROIZVODNOSTI POSTROJENJA ZA SUŠENJE DRVETA.....	205
PRILOG 3 • TOPLOTNA PUMPA .....	227
PRILOG 4 • POJEDINAČNA REŠENJA SOLARNIH SUŠARA I TREND RAZVOJA.....	229
PRILOG 5 • SOLARNA PEĆ.....	254
PRILOG 6 • PROJEKTOVANJE POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU BIOGASA .....	256
PRILOG 7 • PROJEKTOVANJE DIGESTORSKE POSUDE I HIDRAULIČNOG CILINDRA POSTROJENJA ZA BIOGAS, NA OSNOVU PREPORUKA .....	269
PRILOG 8 • ENERGIJA VETRA .....	273



---

---

## PREDGOVOR

---

---

Inženjer danas mora da zna ne samo etape proizvodnje – od projektovanja do montaže opreme i njene eksploatacije, već i da vlada metodama elektronsko računarske tehnike i da ima jasne predstave o osnovnim pravcima razvoja nauke i tehnike.

Većina sistema za snabdevanja potrošača energijom se karakteriše različitim potrebama i neravnomernim opterećenjima ne samo u toku godine već i u toku dana i noći

Zbog rasta energetske potreba, sve više se postavlja pitanje energetske efikasnosti i zaštiti životne sredine i korišćenju sigurnih netradicionalnih, u prvom redu obnovljivih izvora energije.

U knjizi su dati kratak opis i karakteristike i metodi projektovanja, modeliranja i optimizacije postrojenja i procesnih i energetske sistema

Autor će smatrati da je ostvario svoj cilj, ako ova knjiga obezbedi studentima lakše izučavanje problematike vezane za nastavni program a inženjerima, projektantima i konstruktorima olakša rad u oblasti razvoja, korišćenja i eksploatacije postrojenja za sušenje i procesnih i energetske sistema.

Autor zahvaljuje uvažanim recenzentima na dragocenim i korisnim savetima i sugestijama.

Sve dobronamerne primedbe, uočene greške i sugestije autor će rado prihvatiti.

*Autor*