

Radivoje M. Topić

SPECIJALNE TEHNIKE I TEHNOLOGIJE PROCESA SUŠENJA



MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU

**MAŠINSKI FAKULTET
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Prof. dr Radivoje M. Topić

**SPECIJALNE TEHNIKE I
TEHNOLOGIJE PROCESA
SUŠENJA**

Beograd 2013.

Prof.dr Radivoj M. Topić

SPECIJALNE TEHNIKE I TEHNOLOGIJE PROCESA SUŠENJA
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

Štampa i povez:

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

Odobreno za štampu:

Odlukom dekana Mašinskog fakulteta u Beogradu
br. 240/13 od 20. 06. 2013.

Tiraž:

100 primeraka

SADRŽAJ

Predgovor	7
Glava I • NAČINI IZDVAJANJA VLAGE	9
1.1. NAČINI IZDVAJANJA VLAGE I KLASIFIKACIJA NAČINA TERMIČKOG SUŠENJA PREMA ENERGETSKIM KARAKTERISTIKAMA	9
Glava II • TERMORADIJACIONO SUŠENJE	15
2.1. UVODNE NAPOMENE	15
2.2. TERMORADIJACIONE SUŠARE SA ELEKTRIČNIM I GASNIM ZAGREVANJEM	18
2.2.1. Prednosti, nedostaci, oblast primene i klasifikacija termoradijacionih sušara	18
2.3. TERMORADIJACIONE SUŠARE S ELEKTRIČNIM ZAGREVANJEM	22
2.4. TERMORADIJACIONE SUŠARE SA GASOM KAO IZVOROM TOPLOTE ...	28
2.5. METODA TOPLOTNOG PRORAČUNA TERMORADIJACIONIH SUŠARA ..	32
2.6. PRENOSIVA INFRACRVENA EKOLOŠKA UNIVERZALNA SUŠARA NA BAZI ELEKTRIČNE ENERGIJE KAO IZVORA TOPLOTE	40
2.7. INFRACRVENA EKOLOŠKA UNIVERZALNA SUŠARA	53
Glava III • KONTAKTNO SUŠENJE MATERIJALA	55
3.1. KONTAKTNO SUŠENJE MATERIJALA GREJNOM POVRŠI	55
3.2. PARAMETRI KINETIKE SUŠENJA MATERIJALA U KONTAKTNIM SUŠARAMA	67
3.2.1. Nepokretni sloj	69
3.2.2. Sloj koji se meša	69
3.3. SUŠENJE MATERIJALA U TEČNIM SREDINAMA	71
3.4. KONTAKTNO SUŠENJE SA NAGLOM PROMENOM PRITISKA	75
Glava IV • MOLEKULARNO SUŠENJE (SUŠENJE MATERIJALA SUBLIMACIJOM)	77
4.1. UVODNE NAPOMENE	77
4.2. MEHANIZAM I ŠEMA SUBLIMACIONOG SUŠENJA MATERIJALA	78
4.3. TOPLOTNI PRORAČUN OSNOVNIH APARATA SUBLIMACIONIH SUŠARA	80
4.4. VAKUUM SUŠARE	84
4.4.1. Normalni vakuum	85
4.4.2. Visoki vakuum	87

Glava V • SUŠENJE U ELEKTRIČNOM POLJU STRUJE VISOKE I SUPERVISOKE FREKVENCije	91
5.1. UVODNE NAPOMENE	91
5.2. POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE I UTICAJ VLAŽNOSTI I FREKVENCije ELEKTRIČNOG POLJA NA INTENZITET SUŠENJA STRUJOM VISOKE FREKVENCije	92
5.3. GENERATORI ZA SUŠENJE STRUJOM VISOKE FREKVENCije I ŠEME VISOKOFREKVENTNIH SUŠARA.....	97
5.4. KOMBINOVANI NAČINI SUŠENJA MATERIJALA	105
Glava VI • SUŠENJE U AKUSTIČNOM, ULTRAZVUČNOM POLJU	109
6.1. UVODNE NAPOMENE	109
Glava VII • SUŠENJE PROCESOM OSMOZE	111
7.1. TOK PROCESA I REŠENJE ZA SUŠENJE PROCESOM OSMOZE	111
Glava VIII • KORIŠĆENJE SUNČEVE ENERGIJE ZA SUŠENJE	115
8.1. SOLARNE SUŠARE, KLASIFIKACIJA SOLARNIH SUŠARA, PRINCIPI RADA I KARAKTERISTIKE	115
8.1.1. Vrste solarnih sušara, varijante projektovanja rešenja.....	116
8.1.1.1. <i>Sušare sa prinudnim strujanjem agensa sušenja, aktivne sušare</i>	117
8.1.1.2. <i>Sušare sa prirodnim strujanjem agensa sušenja, pasivne sušare</i>	118
8.1.2. Farma solarnih sušara	123
8.1.3. Prednosti solarnih sušara	123
8.1.4. Nedostaci solarnih sušara	124
8.1.5. Uporedjenje sa klasičnim konvektivnim sušarama	124
8.1.6. Izbor prave tehnologije	124
8.1.7. Rešenja solarnih sušara malog kapaciteta.....	128
Glava IX • KORIŠĆENJE TOPLOTNE PUMPE U PROCESIMA SUŠENJA	141
9.1. OSNOVE PROCESA TOPLOTNE PUMPE.....	141
9.2. PRINCIP RADA SUŠARE SA TOPLOTNOM PUMPOM	142
9.3. PROCES SUŠENJA I KONFIGURACIJA REŠENJA SUŠARE SA TOPLOTNOM PUMPOM	143
9.4. VIŠESTEPENE TOPLOTNE PUMPE U PROCESU SUŠENJA	144
9.5. KOMBINOVANJE TOPLOTNE PUMPE SA RAZLIČITIM TIPOVIMA SUŠARA SA ASPEKTA VRSTE PROCESA SUŠENJA	145
Glava X • INDIREKTNO SUŠENJE	149
10.1. UVODNE NAPOMENE	149
10.2. KLASIFIKACIJA I IZBOR KRITERIJUMA.....	150

10.2.1. Tipovi indirektnih sušara	152
10.2.1.1. Sušare sa tavama sa periodičnim režimom rada.....	152
10.2.1.2. Indirektno-kontaktne rotacione sušare.....	153
10.2.1.3. Rotacione vakuum sušare sa periodičnim režimom rada.....	154
10.2.1.4. Vibracione sušare	155
10.2.1.5. Ostali tipovi indirektnih sušara	157
10.3. PROJEKTOVANJE I MODELIRANJE INDIREKTNIH SUŠARA	157
Glava XI • SUŠENJE VOĆA I POVRĆA KORIŠĆENJEM SOLARNE ENERGIJE	165
11.1. SUŠENJE VOĆA KORIŠĆENJEM SOLARNE ENERGIJE.....	165
11.1.1. Operacije prethodne pripreme voća za sušenje	168
11.1.2. Sušenje pripremljenog voća.....	168
11.1.3. Određivanje vlažnosti voća	170
11.1.4. Kondicioniranje voća	171
11.2. SUŠENJE POVRĆA KORIŠĆENJEM SOLARNE ENERGIJE.....	171
11.2.1. Operacije prethodne pripreme povrća za sušenje	171
11.2.2. Hlađenje i sušenje pripremljenog povrća	171
11.2.3. Određivanje vlažnosti povrća	171
11.3. PAKOVANJE I USKLADIŠTENJE OSUŠENOG VOĆA I POVRĆA.....	172
Glava XII • SPECIJALNE TEHNOLOGIJE PROCESA SUŠENJA I NOVA REŠENJA	173
12.1. UVODNE NAPOMENE I KARAKTERISTIČNA REŠENJA	173
Literatura.....	181
Prilozi.....	185

PREDGOVOR

Tehnički načini ostvarivanja različitih metoda sušenja su veoma raznovrsni, i njih treba proučavati vezano za konstrukciona rešenja postrojenja za sušenje.

Najširu primenu ima termičko sušenje, pri kojem se vlaga iz materijala na račun dovedene toplotne energije prevodi u gasovito stanje i u obliku pare se odstranjuje iz materijala u okolinu, komoru za sušenje.

U suštini sve pojave koje se odvijaju na Zemlji, a to znači i proces sušenja protiču pod dejstvom u većoj ili manjoj meri različitih polja.

Savršeno je jasno da na objekat sušenja (materijal koji se suši) uvek deluje gravitaciono polje, čiji uticaj može biti pozitivan (naprimer, pri premeštanju materijala u komori šahtne sušare odozgo na dole) ili čiji uticaj se mora savladati, naprimer pri sušenju u lebdećem stanju.

Međutim proces sušenja se može znatno ubrzati ako se koristi energija odgovarajućeg polja i naročito promenljivog (impulsnog) polja.

Pod dejstvom elektromagnetnog polja se odvija termoradijaciono sušenje i sušenje u polju struje visoke i super visoke frekvencije.

Sušenje korišćenjem Sunčeve energije se može takođe smatrati kao sušenje pod dejstvom elektromagnetnog polja, pošto Sunčevo zračenje predstavlja deo spektra elektromagnetnog zračenja.

Neka istraživanja su pokazala da se ubrzanje procesa sušenja može postići na račun dejstva nehomogenog magnetnog polja.

Veći interes predstavlja dejstvo magnetnog polja na formiranje kristala pri zamrzavanju pre procesa sušenja sublimacijom.

Za razliku od kovektivnog načina sušenja u primeni je i kontaktno sušenje i sušenje u tečnim sredinama, sušenje pri pritisku u komori za sušenje nižem od atmosferskog (sublimaciono i vakuum sušenje), sušenje procesom osmoze, ultrazvukom, u polju struje visoke i super visoke frekvencije i drugi načini.

U knjizi su prikazane specijalne tehnolgoije i tehnike procesa sušenja, kroz teorijska razmatranja, prikaz rešenja koja se ne baziraju na konvektivnom načinu sušenja, prikaz istraživanja i najnovijih rešenja u ovoj oblasti i inženjerske proračune.

Autor se nada da će ova knjiga obezbediti studentima lakše izučavanje materije vezane za nastavni program i doprineti lakšem rešavanju pitanja i problema od strane inženjera i projektanata iz ove oblasti u praksi.

Autor zahvaljuje uvaženim recenzentima na dragocenim i korisnim savetima i sugestijama. Sve dobronamerne primedbe, uočene greške i sugestije autor će rado prihvatiti.

Autor