SADRŽAJ

PREDGOVOR

Glava I	**FIZIČKO HEMIJSKI OSNOVI PROCESA SUŠENJA**	**8**
1.1,	VLAŽAN GAS (VAZDUH)	**8**
1.2.	VLAŽAN MATERIJAL	**35**
1.3.	STATIKA PROCESA SUŠENA	**48**
1.4.	KINETIKA PROCESA SUŠENJA	**52**
1.5.	SVOJSTVA DRVETA SA ASPEKTA PROCESA SUŠENJA	**56**
Glava II	**PRENOŠENJE TOPLOTE U VLAŽNIM MATERIJALIMA**	**62**
2.1.	PRENOŠENJE TOPLOTE U VLAŽNIM MATERIJALIMA	**62**
Glava III	**PRENOŠENJE VLAGE U VLAŽNIM MATERIJALIMA**	**70**
3.1.	UVODNE NAPOMENE	**70**
3.2.	TERMODIFUZIJA U GASOVIMA I RASTVORIMA	**70**
3.3.	TERMODIFUZIJA VLAGE U KOLOIDNIM MATERIJALIMA	**71**
3.4.	TERMOVLAGOPROVODNOST U KAPILARNO POROZNIM MATERIJALIMA	**74**
3.5.	TERMOVLAGOPROVODNOST U KOLOIDNO KAPILARNO POROZNIM MATERIJALIMA	**74**
3.6.	OSNOVNE ZAKONITOSTI PRENOŠENJA TOPLOTE I MATERIJE	**75**
3.7.	PRENOS TOPLOTE I MATERIJE U PROCESU SUŠENJA	**77**
Glava IV	**KRATAK PREGLED POSTROJENJA ZA SUŠENJE I OSNOVE INŽENJERSKOG PRORAČUNA**	**92**
4.1.	KLASIFIKACIJA I KRATAK PREGLED POSTROJENJA ZA SUŠENJE	**92**
4.2.	OSNOVI PRORAČUNA POSTROJENJA ZA SUŠENJE	**95**
Glava V	**NAČINI IZDVAJANJA VLAGE**	**102**
5.1.	NAČINI IZDVAJANJA VLAGE I KLASIFIKACIJA NAČINA TERMIČKOG SUŠENJA PREMA ENERGETSKIM KARAKTERISTIKAMA	**102**
Glava VI	**KONVEKTIVNO SUŠENJE**	**109**
6.1.	OSNOVNI NAČINI TERMIČKOG SUŠENJA	**109**

6.2.	PRENOS TOPLOTE I MATERIJE U PROCESU SUŠENJA DRVETA SA ASPEKTA KVALITETA	**113**
6.3.	NAČINI I REŠENJA ZA KONVEKTIVNO SUŠENJE DRVETA	**117**
Glava VII	**TERMORADIJACIONO SUŠENJE**	**140**
7.1.	UVODNE NAPOMENE	**140**
7.2.	TERMORADIJACIONE SUŠARE S ELEKTRIČNIM I GASNIM ZAGREVANJEM	**143**
7.3.	TERMORADIJACIONE SUŠARE S ELEKTRIČNIM ZAGREVANJEM	**148**
7.4.	TERMORADIJACIONE SUŠARE S GASOM KAO IZVOROM TOPLOTE	**152**
7.5	METODA TOPLOTNOG PRORAČUNA TERMORADIJACIONIH SUŠARA	**157**
Glava VIII	**KONTAKTNO SUŠENJE MATERIJALA**	**166**
8.1.	KONTAKTNO SUŠENJE MATERIJALA GREJNOM POVRŠI	**166**
8.2.	PARAMETRI KINETIKE SUŠENJA MATERIJALA U KONTAKTNIM SUŠARAMA	**171**
8.3.	SUŠENJE MATERIJALA U TEČNIM SREDINAMA	**173**
Glava IX	**MOLEKULARNO SUŠENJE (SUŠENJE MATERIJALA SUBLIMACIJOM**)	**178**
9.1.	UVODNE NAPOMENE	**178**
9.2.	MEHANIZAM I ŠEMA SUBLIMACIONOG SUŠENJA MATERIJALA	**179**
9.3.	TOPLOTNI PRORAČUN OSNOVNIH APARATA SUBLIMACIONIH SUŠARA	**180**
9.4.	VAKUUM SUŠARE	**185**
Glava X	**SUŠENJE U ELEKTRIČNOM POLJU STRUJE VISOKE I SUPERVISOKE FREKVENCIJE**	**190**
10.1.	UVODNE NAPOMENE	**190**
10.2.	POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE I UTICAJ VLAŽNOSTI I FREKVENCIJE ELEKTRIČNOG POLJA NA INTENZITET SUŠENJA STRUJOM VISOKE FREKVENCIJE	**194**
10.3.	GENERATORI ZA SUŠENJE STRUJOM VISOKE FREKVENCIJE I ŠEME VISOKOFREKVENTNIH SUŠARA	**199**
10.4.	KOMBINOVANI NAČINI SUŠENJA MATERIJALA	**205**
Glava XI	**SUŠENJE U AKUSTIČNOM, ULTRAZVUČNOM POLJU**	**217**
11.1.	UVODNE NAPOMENE	**217**
Glava XII	**SUŠENJE PREGREJANOM VODENOM PAROM**	**219**
12.1.	OSNOVE SUŠENJA PREGREJANOM VODENOM PAROM	**219**

Glava XIII	**HEMIJSKO SUŠENJE**	**221**
13.1.	OSNOVE HEMIJSKOG SUŠENJA	**221**
Glava XIV	**KORIŠĆENJE SUNČEVE ENERGIJE ZA SUŠENJE**	**222**
14.1.	SOLARNE SUŠARE, KLASIFIKACIJA SOLARNIH SUŠARA, PRINCIPI RADA I KARAKTERISTIKE	**222**
14.2.	SUŠENJE DRVENE GRAĐE SUNČEVOM ENERGIJOM	**230**
Glava XV	**KORIŠĆENJE TOPLOTNE PUMPE U PROCESIMA SUŠENJA**	**239**
15.1.	OSNOVE PROCESA TOPLOTNE PUMPE	**239**
15.2.	PRINCIP RADA SUŠARE S TOPLOTNOM PUMPOM	**240**
15.3.	PROCES SUŠENJA I KONFIGURACIJA REŠENJA SUŠARE S TOPLOTNOM PUMPOM	**242**
15.4	VIŠESTEPENE TOPLOTNE PUMPE U PROCESU SUŠENJA	**242**
15.5.	KOMBINOVANJE TOPLOTNE PUMPE SA RAZLIČITIM TIPOVIMA SUŠARA SA ASPEKTA VRSTE PROCESA SUŠENJA	**243**
15.6.	RAZLIČITOST PROCESA SUŠENJA I REŠENJA KONDENZACIONIH SUŠARA I SUŠARA S TOPLOTNOM PUMPOM	**250**
Glava XVI	**INDIREKTNO SUŠENJE**	
16.1.	UVODNE NAPOMENE	**256**
Glava XVII	**SPECIJALNE TEHNOLOGIJE PROCESA SUŠENJA I NOVA REŠENJA**	**258**
17.1.	UVODNE NAPOMENE I KARAKTERISTIČNA REŠENJA	**258**
Glava XVIII	**KOMBINOVANI NAČINI VAKUUM SUŠENJA DRVETA**	**261**
18.1.	VAKUUM SUŠENJE I SUŠENJE DRVETA POD PRITISKOM	**261**
Glava XIX	**SUŠENJE PAPIRA I FURNIRA**	**277**
19.1.	OPŠTE NAPOMENE	**277**
19.2.	SUŠENJE PAPIRA	**277**
19.3.	TIPOVI SUŠARA	**279**
19.4.	SUŠENJE PULPE	**284**
19.5	SUŠENJE FURNIRA	**287**
Glava XX	**SUŠENJE BIOMASE OD DRVETA RAZLIČITIH OBLIKA I NAMENE**	**289**
20.1.	UVODNE NAPOMENE	**289**
20.2.	NAČINI I REŠENJA ZA SUŠENJE	**291**
LITERATURA		**307**

PRILOZI **310**
PRILOG 1 REŠENJA SOLARNIH SUŠARA **310**
PRILOG 2 STANDARD ISPM 15 **343**

PREDGOVOR

Tehnički načini ostvarivanja različitih načina 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. U knjizi je obrađen vlažan vazduh i vlažan materijal, statika i kinetika procesa sušenja. Obrađeni su takođe i načini izdvajanja vlage. Dat je kratak pregled načina termičkog sušenja i kratak pregled termičkog proračuna.

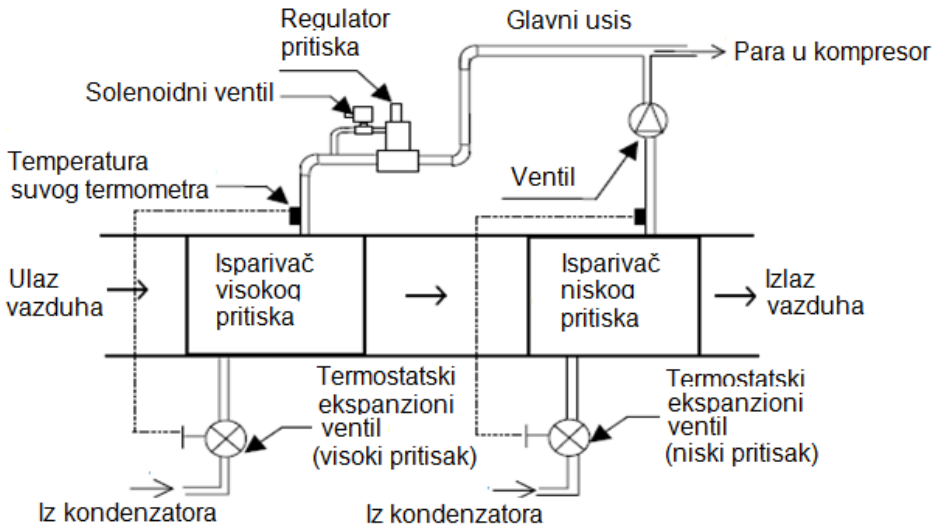
Za razliku od kovektivnog načina sušenja, koje je prikazano u knjizi, u primeni je i kontaktno sušenje i sušenje u tečnim sredinama, sušenje pri pritisku u komori za sušenje nižem od atmosferskog (sublimaciono i vakuum sušenje), sušenje procesom osmoze, ultrazvukom, u polju struje visoke i super visoke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

U knjizi su takođe prikazane specijalne tehnologije i tehnike procesa sušenja, kroz teorijska razmatranja procesa prenosa toplote i mase materije, prikaz rešenja koja se ne baziraju na konvektivnom načinu sušenja, prikaz istraživanja i najnovijih rešenja u ovoj oblasti i inženjerskih proračuna. Objašnjena je različitost kondenzacionih sušara i sušara sa toplotnom pumpom. Dat je takođe i prikaz sušenja biomase i sušenja papira i pulpe. U prilozima je dat pregled rešenja solarnih sušara za sušenje drveta i data je linija za dobijanje peleta.

Autor se nada da će ova knjiga doprineti lakšem rešavanju pitanja i problema od strane istraživača i inženjera i projektanata iz ove oblasti u praksi.

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

Autor



Sl.15.5.Sušara sa dvostepenom toplotnom pumpom

15.5. KOMBINOVANJE TOPLOTNE PUMPE SA RAZLIČITIM TIPOVIMA SUŠARA SA ASPEKTA VRSTE PROCESA SUŠENJA

Na sl.15.6., prikazana je sušara sa toplotnom pumpom i mogućnošću kontrole boje proizvoda.

Na sl.15.7., prikazana je sušara sa toplotnom pumpom sa sistemom za regulisanje.

Sušara sa toplotnom pumpom za sušenje drveta prikazana je na sl.15.8..

Na sl. 15.9. prikazan je sistem sušare sa fluidizovanim slojem i toplotnom pumpom.

Sistem za sušenje koji obuhvata infracrvenu sušaru sa toplotnom pumpom je prikazan na sl.15.10..

Na sl.15.11., prikazan je tok agensa sušenja u komori za sušenje sušare sa toplotnom pumpom.

Radi se o unakrsnom toku agensa sušenja i materijala u komori za sušenje.

Agens sušenja se prvo vodi kroz kanale a zatim se uvodi i normalno ispušta na tacne u kojima se nalazi materijal koji se suši.

Ukupni troškovi sastoje se od dve vrste osnovnih troškova:

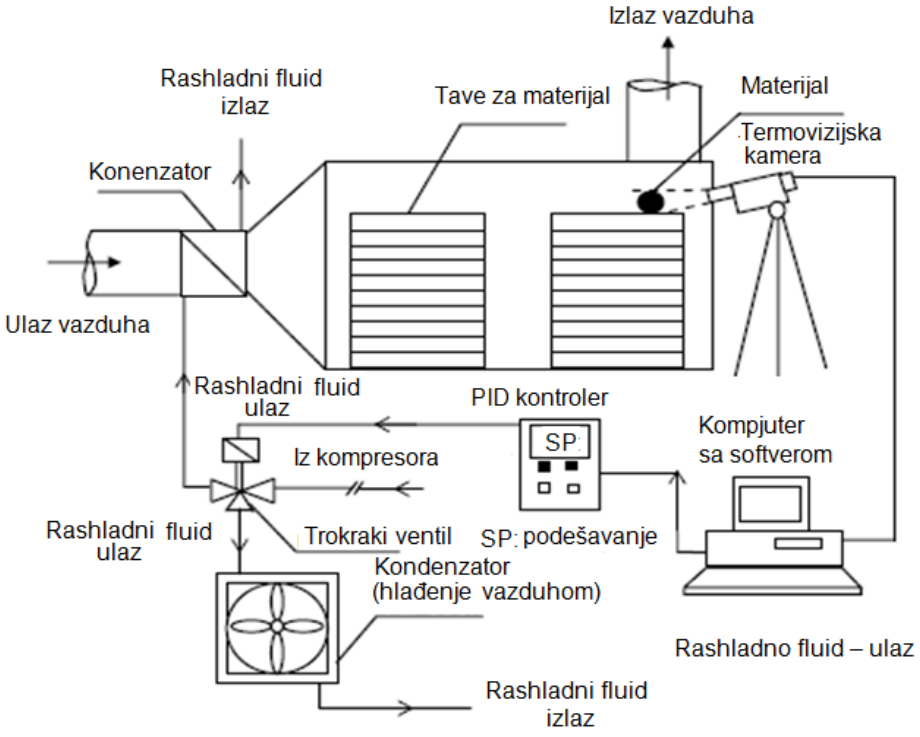
1. Fiksni troškovi, vezani za kapacitet vlage izdvojene iz proizvoda u toku godine i sistem za snabdevanje električnom energijom.
2. Varijabilni troškovi, koji se progresivno povećavaju sa radom postrojenja.

Glavni deo ovih troškova je energija koja se koristi i troškovi održavanja.

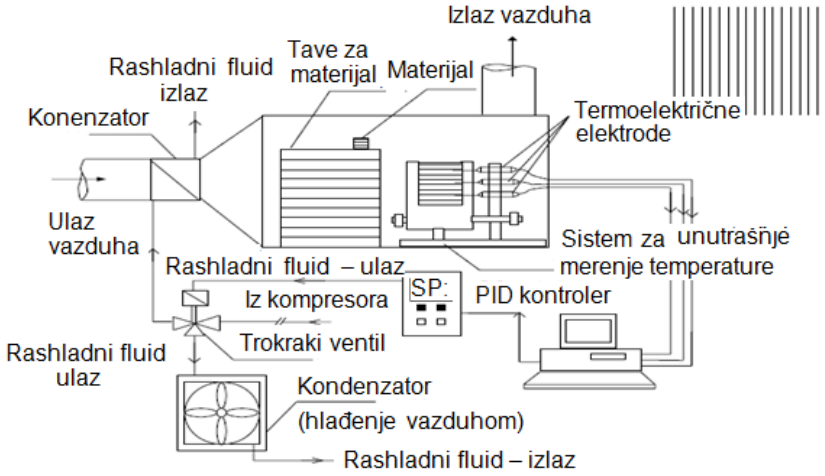
Stvarni troškovi zavise od troškova energije i efikasnosti procesa sušenja.

Na sl. 15.12., prikazano je rešenje radiofrekventnog sušenja sa toplotnom pumpom.

Za lokacije sa velikom Sunčevom ozračenošću korišćenje ovakvih kombinovanih rešenja sušara, sl. 15.13., može da obezbedi veću energijsku efikasnost ukupnog sistema za sušenje.



Sl. 15.6. Sušara sa toplotnom pumpom i mogućnošću kontrole boje proizvoda



Sl. 15.7. Sušara sa toplotnom pumpom sa sistemom za regulisanje