

UDK: 631.536

Originalni naučni rad
Original scientific paper

TIPOVI, KLASIFIKACIJA I SELEKCIJA SUŠARA U AGROINDUSTRIJI

Ivan Zlatanović*

Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Institut za poljoprivrednu tehniku,
Beograd - Zemun

Sažetak: Sušenje je jedna od osnovnih metoda konzervisanja namirnica u agro-industriji i predstavlja složen i energetski zahtevan proces. Istraživanja u oblasti prirodnih i tehničkih nauka su poslednjih godina fokusirana na procese optimizacije energetski zahtevnih industrijskih sistema u cilju održivog razvoja i osavremenjavanja različitih tehnologija. Veliki broj istraživača se bavi problematikom sušenja u agro-industriji o čemu svedoči i zavidan broj publikacija sa ovom tematikom. Ovim radom učinjen je jedan osvrt na dostupnu literaturu i istraživanja velikog broja autora sa tendencijom da pruži jedan sveobuhvatan uvid na složenost samog procesa sušenja, trendove razvoja opreme i tehnologija, kao i načina pravilnog izbora odgovarajuće tehnologije u zavisnosti od konkretne sirovine koja se suši.

Ključne reči: sušenje, oprema, klasifikacija sušara, selekcija sušara, tipovi sušara.

UVOD

U novijoj istoriji čovečanstva, naročito u poslednjih stotina godina, promene u biosferi nisu nezapažene i zanemarljive, već naprotiv alarmantne. Neprestani razvoj nauke i tehnologije, spregnut sa dinamičnim načinom života u modernom društvu, doveo je do kritičnih granica prirodne resurse narušavajući njihov globalni ekološki balans. Zahtevi modernog društva su bili i nastavljaju da budu potkrepljeni postojećim zalihama fosilnih goriva na Zemlji, međutim, te zalihe su ograničene i njihovo potpuno iscrpljenje je neizbežno. Istraživanja u oblasti prirodnih i tehničkih nauka poslednjih godina fokusirana su na rešavanje ovog problema. Traže se rešenja koja će vratiti harmoniju i ekološki balans u savremeno društvo bez drastičnih uticaja na kvalitet života i bitnije sociološke promene.

* Kontakt autor: Ivan Zlatanović, Nemanjina 6, 11080 Beograd-Zemun,
E-mail: ivan@agrif.bg.ac.rs

Sušenje, kao jedna od najvažnijih metoda konzervisanja namirnica u agro-industriji, bitno utiče na okolinu u ekološkom smislu. Delimično ili potpuno izdvajanje vode iz bioloških materijala je kompleksan proces koji troši veliku količinu energije. Uticajni faktori kao što su vremenski interval trajanja procesa sušenja, kvalitet proizvoda, toplotna osetljivost biološkog materijala koji se suši, itd., uslovljavaju režime sušenja koji su često kompromis između ovih faktora.

Ovim radom se čini osvrt na literaturu i istraživanja u cilju promocije pojedinih tehnologija sušenja i sagledavanja celokupne problematike u vezi sa sušenjem u agroindustriji. Osavremenjavanje postupaka i procesa sušenja u tehnološkom i tehničkom smislu obećava ekonomski i ekološki benefit i veliki broj istraživanja se bavi ovom problematikom.

MATERIJAL I METODE RADA

Pregled literature je izvršen prema nekoliko kriterijuma kojima se objedinjuju i analiziraju publikacije, a to su razmatranja:

- 1) osnovnih principa i teorija sušenja;
- 2) raznolikosti opreme i sistema za sušenje;
- 3) izbora odgovarajuće tehnologije sušenja;
- 4) načina pravilne selekcije sistema za sušenje;
- 5) dostupnih tipova sušenja i tehnologija.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Osnove sušenja i oprema za sušenje

O teoriji i osnovnim principima sušenja govorili su mnogi autori u različitim knjigama [1-7]. Pored upoznavanja sa fizičko-hemijskim pojmovima u vezi sa dehidratacijom hrane i psihrometrijom, različiti komercijalni sistemi za sušenje se mogu klasifikovati u četiri generacije [7]:

- 1) Sušare za sušenje čvrstih sirovina (ormari za sušenje, slojevito sušenje);
- 2) Sušare za mulj i kaše (sprej sušare i bubanj sušare);
- 3) Sublimacijske sušare i sistemi za osmotsku dehidrataciju;
- 4) Sušare koje primenjuju specifične tehnike sušenja (fluidizacija, korišćenje dielektričnog grejanja, vakumsko sušenje itd.)

Pored temeljnih teorijskih analiza i diskusija o načinima klasifikacije, selekcije i projektovanja sušara [6], u literaturi se govori i o različitim aspektima eksperimentalnog rada koji je u vezi sa sušenjem. Tako se, na primer, ističe da su opšti ciljevi eksperimenata sušenja [8]: izbor odgovarajuće opreme za sušenje, uspostavljanje zadatih zahteva, ispitivanje efikasnosti i kapaciteta postojeće opreme za sušenje, ispitivanje efekata sušenja na finalni proizvod, kao i analiza mehanizma za sušenje. Različite eksperimentalne tehnike sprovedene su radi određivanja odgovarajućih parametara sušenja, kao što su: određivanje optimalnog sadržaja vlage, uspostavljanje karakterističnih ravnotežnih stanja u procesima sorpcije i desorpcije, određivanje

toplotne provodljivosti, efektivne difuzivnosti itd. U industriji prerade hrane, istraživanja se fokusiraju na važne faktore kao što su ciljevi sušenja hrane, utvrđivanje zaostalog sadržaj vlage radi produženog skladištenja, praćenje određenih svojstva hrane, optimizacija odgovarajuće tehnike sušenja, istraživanja sorti koje su pogodne za sušare i istraživanja u cilju umanjenja negativnih promena kvaliteta osušenog proizvoda [6].

Raznolikost opreme i sistema za sušenje koja se koristi u agroindustriji varira od sirovine do sirovine. U literaturi se opisuju različite vrste opreme za sušenje koja se koristi za sušenje poljoprivrednih proizvoda [6], počev od kompleksnih sistema za sušenje zrnevlja, pa sve do različitih principa funkcionisanja sušara za voće i povrće. Istraživanjem i prikupljanjem neophodnih informacija za izbor i projektovanje sistema za sušenje je kompleksan i važan posao [9]. To potvrđuju i podaci prikupljeni pregledom komercijalne prakse sušenja u delovima Evrope, Afrike i Azije, i analizu različitih tipova sušara, faktora koji utiču na izbor, sušenje različitih vrsta voća i povrća, pripremnih procesa, kontrole kvaliteta i ekonomije dehidracije [10].

Klasifikacija sušara

U savremenoj industrijskoj proizvodnji može se sa sigurnošću tvrditi da ne postoji proizvod čija osnovna sirovina u nekoj svojoj fazi nije prošla kroz nekakav proces sušenja. Troškovi transporta energenta u većim sistemima nisu zanemarljivi i direktno zavise od sadržaja vlage u materijalu koji se suši. Dosta pažnje u literaturi se poklanja i metodama uštede energije [11]. Kod sistema masovne proizvodnje čak i minimalna ušteda na lokalnom nivou dugoročno gledano može akumulirati značajna sredstva. Izbor adekvatne tehnologije sušenja u pojedinim granama industrije, kao na primer u agroindustriji, veoma je delikatan i osetljiv naročito po pitanju očuvanja kvaliteta proizvoda. Iskakanjem iz okvira tačno propisanih vremensko-temperaturskih koordinata u procesu sušenja može se izazvati degradacija kvaliteta osušenog proizvoda što se može donekle eliminisati u recirkulacionim tipovima sušara. Takođe, industrija proizvodnje hrane zahteva primenu kontinualnih tehnologija sušenja.

Veliki broj autora sprovodi istraživanja sa ciljem da se precizno utvrdi šta i na koji način treba sušiti [6]. U Tabeli 1 je predstavljena mogućnost primene pojedinih tipova sušara u zavisnosti od mehaničkih karakteristika i oblika materijala sirovine koja se suši, dok Tabela 2 prikazuje i klasifikuje mogućnosti primene pojedinih tipova sušara u zavisnosti od ukupnog vremena zadržavanja sirovine u samom procesu sušenja. Načini klasifikacije tipova sušara koji se mogu sresti u literaturi variraju od autora do autora, međutim, mogu se primetiti tri zajednička principa - načela na kojima se ove klasifikacije baziraju [2, 12], a to su:

- 1) Način dovođenja toplote materijalu koji se suši;
- 2) Režim sušenja u smislu odabranih parametara temperature sušenja (visoka ili niska) i pritiska sušenja (vakuumski ili atmosferski);
- 3) Način na koji se materijal u sušari tretira.

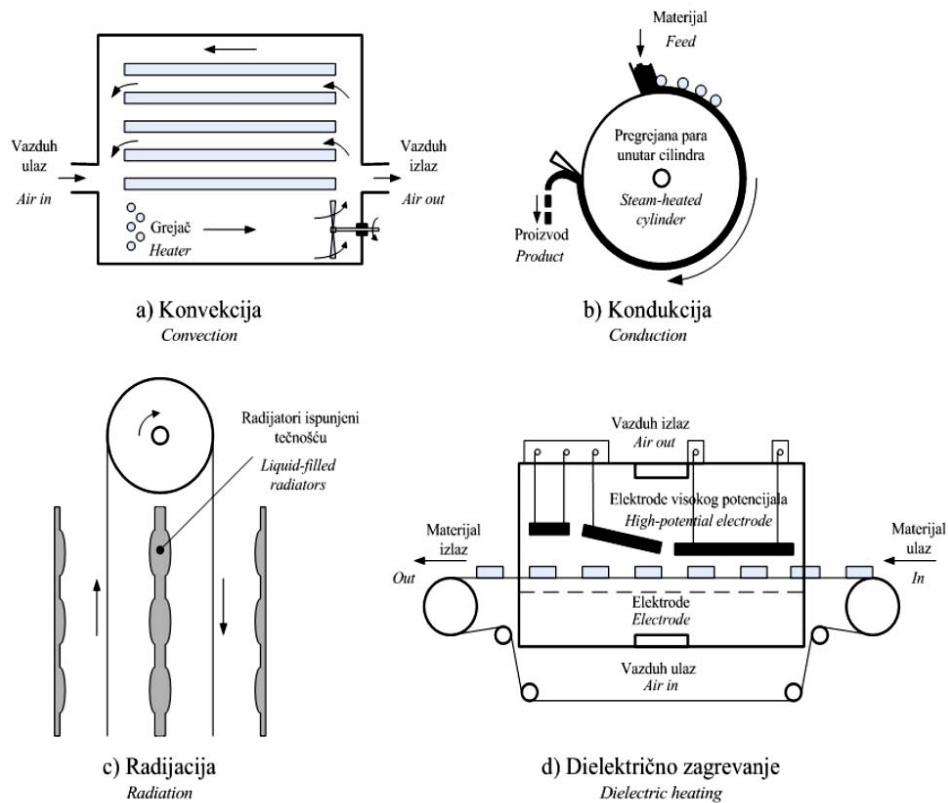
U skladu sa ovim principima moguće je analizu produbiti, međutim dalje uvođenje podklasifikacija, nema nikakvog praktičnog značaja, tako da je dovoljno zadržati se na nivou analize navedena tri načela.

Tabela 2. Izbor tipa sušare u zavisnosti od vremena zadržavanja sirovine [6]
 Table 2. Solids' exposures to heat conditions [6]

Sušare Dryers	Tipično vreme zadržavanja sirovine u sušari Typical residence time within dryer				
	0-10	10-30	5-10	10-60	1-6
	(s)	(s)	(min)	(min)	(h)
Konvekcija Convection					
sa pokretnom trakom <i>belt conveyer dryer</i>				•	
sa pneumatskim transportom <i>flash dryer</i>	•				
sa fluidizovanim slojem <i>fluid bed dryer</i>				•	
sa rotirajućim bubnjem <i>rotary dryer</i>				•	
sa rasprskivanjem <i>spray dryer</i>		•			
sa tunelom (šaržna) <i>tray dryer (batch)</i>					•
sa tunelom (kontinualna) <i>tray dryer (continuous)</i>				•	
Kondukcija Conduction					
sa bubnjevima <i>drum dryer</i>		•			
rotaciona sa preg.vod.parom (u džepovima) <i>steam jacket rotary dryer</i>				•	
rotaciona sa preg.vod.parom (u cevima) <i>steam tube rotary dryer</i>				•	
sa tunelom (šaržna) <i>tray dryer (batch)</i>					•
sa tunelom (kontinualna) <i>tray dryer (continuous)</i>				•	

Dovođenje toplote materijalu koji se suši moguće je bilo kojim od mehanizama prenosa toplote: konvekcijom, kondukcijom ili radijacijom. Konvekcija je jedan od najčešćih načina pri čemu kao medijum za transport vlage koristi atmosferski vazduh (najčešće), inertni gas (azot, i slično.), direktni produkti sagorevanja ili pregrejana vodena para [6]. Ovakav način sušenja se još naziva i direktno sušenje. Indirektno sušenje koje se ostvaruje kondukcijom pogodno je za sušenje veoma vlažnih ili veoma tankih materijala i često se izvodi korišćenjem vakuumskih režima sušenja. Indirektno i direktno sušenje se često istovremeno primenjuju. Sušenje radijacijom se ostvaruje emitovanjem elektromagnetnih talasa na različitim talasnim dužinama, od vidljivog dela spektra pa do mikrotalasa. Ovakav način sušenja je izuzetno skup i retko kada se primenjuje kao jedini, već se kombinuje najčešće sa konvektivnim metodama sušenja.

Prema [12] kod zagrevanja materijala prilikom sušenja dominiraju četiri načina zagrevanja: konvektivno (Sl.1a), konduktivno (Sl.1b), radijaciono (Sl.1c) i dielektrično (Sl.1d).



Slika 1. Metode zagrevanja prilikom sušenja [12]
Figure 1. Heating methods in drying [12]

Većina sušara radi na pritiscima blizu atmosferskog što dosta pojednostavljuje konstrukciju sušare i performanse opreme koja se koristi. Međutim, u specijalnim slučajevima kada se, na primer, materijal mora sušiti bez prisustva kiseonika ili na niskim temperaturama, koristi se tzv. sušenje u vakuumu (na niskim temperaturama – sublimacijsko sušenje).

Način na koji će se materijal tretirati unutar same sušare bitno utiče na troškove sušenja. U Tabeli 3 uporedno su prikazani uobičajeni način tretiranja materijala, tip sušare i tip materijala koji se danas sreću u praksi.

Tabela 3. Usporedni prikaz tretmana materijala i uobičajenih tipova sušara [6]
 Table 3. Capacity and energy consumption for selected dryers[6]

Metoda <i>Method</i>	Tipična sušara <i>Typical dryer</i>	Tipičan materijal <i>Typical materials</i>
Bez tretiranja materijala <i>Material not conveyed</i>	Šaržno sušenje <i>Tray dryer</i>	Paste i granule <i>Pastes and granules</i>
Materijal se kreće pod dejstvom sile gravitacije <i>Material falls by gravity</i>	Rotaciona sušara <i>Rotary dryer</i>	Granule <i>Granules</i>
Materijal se pokreće i komeša mehanički <i>Material conveyed mechanically</i>	Sušara sa vijčanim elementima <i>Screw-conveyor, paddle</i>	Vlažne kaše i paste <i>Wet sludges, pastes</i>
Materijal se transportuje u kolicima <i>Transported on trucks</i>	Tunelska sušara <i>Tunnel dryer</i>	Razni materijali <i>Wide range of materials</i>
Materijal se unosi u listovima ili rolnama <i>Sheet-form or roll materials</i>	Cilindrične sušare <i>Cylinder dryers</i>	Papir, tekstil, pulpa <i>Paper, textiles, pulp</i>
Materijal se transportuje i komeša pokretnim trakama <i>Conveyed on bands</i>	Sušare sa pokretnim trakama <i>Band conveyor dryer</i>	Pelete, zrnasti materijali <i>Pellets, grains</i>
Materijal se transportuje vazduhom <i>Material suspended in air</i>	Sušare sa fluidizovanim slojem <i>Fluid bed</i>	Granule <i>Granules</i>
Kaše i rastvori raspršeni u vazduhu <i>Slurries or solutions atomized in air</i>	Sušare sa rasprskivanjem <i>Spray dryer</i>	Mleko, kafa, itd. <i>Mleko, kafa, etc.</i>

Selekcija sušara

Za pravilnu selekciju sušare potrebno je prethodno utvrditi nekoliko osnovnih činjenica - informacija, koje u stvari predstavljaju neophodne inpute za korektan proces selekcije.

Neke od najvažnijih su:

- Mod sušenja, tj. da li je sušenje šaržno ili kontinualno;
- Fizičke, hemijske i biohemijske osobine vlažnog materijala, kao i željene osobine osušenog materijala;
- Potrebna predpriprema materijala za sušenje i neophodni postupci koje je potrebno preduzeti po završetku procesa sušenja;
- Sadržaj vlage vlažnog i osušenog materijala;
- Kinetika sušenja;
- Parametri kvaliteta;
- Sagledavanje bezbedonosnih aspekata procesa sušenja (vatrootpornost, eksplozivnost i toksičnost procesa);
- Vrednost proizvoda;
- Nivo automatske regulacije procesa sušenja;
- Toksikološke osobine proizvoda;
- Kapacitet;

- Vrste i cene goriva, energenata ili električne energije;
- Uticaj na okolnu sredinu;
- Prostor za smeštaj postrojenja.

Veliki broj sprovedenih naučnih studija uticao je na to da u poslednje vreme budu razjašnjene mnoge nedoumice u vezi sa termodinamičkim pojavama i procesima koji se javljaju prilikom sušenja higroskopskih materijala, kinetikom sušenja, isparavanjem multikomponentnih mešavina iz poroznih tela, kao i termomehaničkim osobinama materijala i agenasa. Međutim, na mikroskopskom nivou gledano, postoje još mnogi problemi koji su i danas nedoumica pa je ujedno i veliki izazov upustiti se u njihovo rešavanje.

Poslednjih godina se pojavio veliki broj knjiga [13-16] koje se fokusiraju na jedan ili više aspekata sušenja. Upoređuju se savremene tehnologije sušenja sa konvencionalnim metodama [17] kako bi se pronašla alternativna rešenja za pojedinačne probleme sušenja određenih specifičnih materijala [18-20]. Detaljnije informacije o procesu dizajniranja sušara najčešće su industrijska tajna. Pojedina istraživanja [21, 22] su usmerena ka objedinjavanju i standardizaciji metodologije proizvodnje industrijskih sušara.

Pregled različitih tipova sušara

Indirektne sušare (u literaturi se mogu sresti pod nazivima: kontaktne, konduktivne) su prema [23] one sušare u kojima se medijum za zagrevanje (pregrejana para, topli gas, topli fluid, i slično) ne nalazi u direktnom kontaktu sa materijalom koji se suši, već posredno, preko preko grejane površine. Raspon temperatura sušenja kod ovakvih tipova sušara kreće se od -40°C (kod sublimacionog sušenja) do 300°C (kod sušara koje se greju direktno produktima sagorevanja). U istraživanjima [24-26] izdvajaju se četiri osnovne vrste indirektnih sušara: šaržna sušara sa policama (lesama), indirektna-kontaktna rotaciona sušara, šaržna rotaciona vakuumska sušara i sušara sa mešanjem.

Rotacione sušare su one sušare koje u svom sastavu imaju rotirajući valjak sa osom postavljenom pod malim uglom u odnosu na horizontalu, kojim se materijal transportuje, istovremeno meša, a i ujedno suši odgovarajućim agensom, direktno ili indirektno. U istraživanjima [27] i [6] se po prvi put detaljnije govori o različitim tipovima rotacionih sušara i tokovima materijala i agenasa unutar ovakvih sistema sušenja.

Sušare sa fluidizovanim slojem se pretežno koriste za sušenje vlažnih prahova (puđera) i čestica (granula) koje je moguće fluidizovati. U publikacijama mnogih autora se govori o važnosti poznavanja hidrodinamičkih osobina fluidizovanog sloja [28], kao što su poznavanje minimalnih brzina strujanja, dok pojedini autori [29] analiziraju osnovne prednosti i mane ovakvog tipa sušare.

Valjkaste sušare se koriste za sušenje tečnih organskih i neorganskih materija. Sa unutrašnje strane valjka struju para, topla voda ili ulje, a sa spoljašnje strane se suši tanki sloj tečnog ili pastastog materijala. U publikaciji [6] analizirano je sušenje različitih hemikalija na ovom tipu sušara, dok se u literaturi sreću i najraznovrsniji primeri primene kao na primer sušenje kaša: pirinčane [30], brašna [31], i sl., ili farmaceutskih proizvoda [32].

Sušare sa raspršivanjem materijala poseduju komoru u koju se ubacuje tečni materijal koji se suši u raspršenom stanju. Prema [33] raspršivanje je najvažnija

operacijom u procesu sušenja, dok [34] radi optimizaciju veličine raspršene kapi i distribucijom agensa i materijala. Kao nosioca toplotne energije [6] koristiti pregrejanu vodenu paru.

Sublimaciona sušara (vakuumska) je prema [35] isplativa za korišćenje jedino prilikom sušenja specifičnih materijala organskog porekla kao što je krvna plazma, hormonski rastvori, super provodljivi materijali, hirurški materijal za transplantaciju, ćelije zaražene bakterijama i virusima. Itekako postoji i opravdanost i prednost primene ovakvog načina sušenja i u prehrambenoj industriji [36], bez obzira što je ovakva tehnologija dominantna u farmaceutskoj industriji [37, 38].

Mikrotalasno i dielektrično sušenje se prvi put javljaju početkom dvadesetog veka. Upotreba elektromagnetnih talasa određene frekventnosti i talasne dužine predstavlja efikasan način za zagrevanje materijala. Nizom publikacija opravdava se upotreba mikrotalasa u industrijskoj proizvodnji [39], a uz pravilnu selekciju i dimenzionisanje opreme [40] ističu se i prednosti primene u prehrambenoj industriji [41, 42].

Solarno sušenje je jedan od najstarijih vidova sušenja i tehnologije iskorišćavanja ovakvog vida obnovljive energije konstantno se unapređuju. Sproveden je veliki broj istraživanja o opravdanosti investiranja u ovakve instalacije [43, 44], dok veliki broj autora obrađuje problematiku sušenja raznovrsnih materijala, prvenstveno prehrambenih proizvoda, kao što su: sušenje žitarica, kafe, grožđa, kikirikija i voća i povrća [45]; sušenje grožđa, oraha, duvana [46]; itd.

Sušenje u fluidizovanom sloju se uspešno primenjuje još od pedesetih godina dvadesetog veka. Geometrijskim, fizičkim i hidrodinamičkim karakteristikama ovih sušara bavili su se [47, 48]. Pojedini autori ističu prednosti ovakvog tipa sušenja specifičnih materijala kao što su: dehidracija soli [49], sušenje pigmenata [50] i slično..

Sušenje koncentrisanim mlazom agensa se koristi prvenstveno prilikom kontinualnos sušenja materijala koji se najčešće nalazi u vidu rolne (proizvodnja papira, fotografskih filmova, tekstila, tepiha i slično). Veliki broj autora se bavi istraživanjima prenosa toplote i mase kod ovakvog tipa sušenja: proučavanjem oblika mlaza [51, 52], određivanjem vrednosti Nusseltovog broja [53], utvrđivanjem optimalnog ugla pod kojim mlaz dospeva na materijal koji se suši [54].

Pneumatsko sušenje predstavlja najčešće primenjivan vid kontinualnog konvektivnog sušenja. Istovremeno odvijanje pneumatskog transporta čestica i njihovog sušenja je složen proces. Brojni autori se bave numeričkim simulacijama ovih procesa i to: određivanjem optimalne veličine transportovanih čestica [55, 56], softverskim uobličavanjem i modeliranjem [5], kao i eksperimentalnim i numeričkim analizama procesa prenošenja toplote i kinetike sušenja [57].

Konvejersko sušenje predstavlja vrstu sušenja kojom se može iskoristiti kod velikog broja materijala. Materijal se transportuje na pokretnoj traci i istovremeno se produdava vrućim vazduhom [6].

Infracrveno sušenje je najčešće primenjivan vid sušenja u industriji a ujedno i vid sušenja koji zahteva najveće količine energije. Prema istraživanju [58], Rusija je zemlja u kojoj postoji najviše ovakvih sušara, a prate je SAD i istočnoevropske zemlje. Teorijska istraživanja i eksperimentalni rad na temu korišćenja ovih sušara sprovedena su u industriji papira, kartona, tekstila i boja [59, 60], dok je u istraživanju [61] ukazano na prednosti i mane korišćenja u prehrambenoj industriji za sušenje namirnica.

Sušenje pregrejanom vodenom parom predstavlja jedan od najstarijih koncepta sušenja i javio se još u devetnaestom veku u doba parne mašine i industrijske revolucije.

U publikaciji [19] dat je detaljan pregled principa, prakse, industrijskih aplikacija, istraživanja i razvoja u vezi sa ovom tehnologijom.

Specijalne napredne tehnologije sušenja se javljaju usled zahteva za visokim kvalitetom proizvoda, povećanjem produktivnosti, olakšanom kontrolom, energetsom efikasnošću postrojenja za sušenje, smanjenja negativnog uticaja na prirodnu okolinu. Glavni trendovi uvođenja naprednih tehnologija su [62]:

- Korišćenje pregrejane pare kod direktnog sušenja;
- Korišćenje indirektnog konduktivnog zagrevanja;
- Primenu kombinovanih načina prenosa toplote;
- Primenu volumetrijskog zagrevanja pomoću mikrotalasa i radio talasa;
- Upotrebu dvostepenih sušara;
- Upotrebu specijalnih tehnologija sagorevanja;
- Dizajniranje fleksibilnih multiprocesnih sušara;

ZAKLJUČAK

Sprovedena istraživanja iz oblasti sušenja prehrambenih materijala, temeljne teorijske analize i diskusije o načinima klasifikacije, selekcije i projektovanju sušara, ukazuju na to da je sušenje i izbor opreme za sušenje ozbiljan proces koji zahteva još ozbiljniji pristup.

Na selekciju sušare utiču mnogobrojni parametri. Opravdanost zanemarivanja pojedinih parametara može postojati, ali je najčešće uslovljena spoljnim uticajima kao što su zahtevi tržišta i potrošača, raspoloživost energenata, smeštajni kapaciteti opreme za sušenje i slično.

Većinu sušara je moguće iskoristiti za sušenje raznovrsnih materijala bez obzira na određene specifičnosti, naravno u granicama njihovih konstruktivnih karakteristika, tako da je izbor prave sušare za određeni materijal veoma složen i delikatan posao.

LITERATURA

- [1] Williams-Gardner, A. 1971. Industrial Drying. CRC Press, Cleveland, OH.
- [2] Keey, R.B. 1978. Introduction to Industrial Drying Operations. Pergamon, NY.
- [3] Strumillo, C., Kudra, T. 1986. Drying: Principles, Applications and Design. Gordon and Breach, NY.
- [4] Marinos-Kouris, D., Maroulis, Z.B. 1995. Transport properties in the drying of solids. In: *Handbook of Industrial Drying*, Mujumdar, A.S. ed., Marcel Dekker, Inc., NY.
- [5] Pakowski, Z. 1996. DryPak v.3. Program for Psychometric and Drying Computation.
- [6] Mujumdar, A.S. 2006 Handbook of Industrial Drying, 3ed, Marcel Dekker, Inc., NY.
- [7] Vega-Mercado, H., Gongora-Nieto, M.M., Barbosa-Canovas, G.V. 2001. Advances in dehydration of foods. *J. Food Engng.*, 49.
- [8] Molnar, K. 1995. Experimental techniques in drying. In: *Handbook of Industrial Drying*, Mujumdar, A.S. ed., Marcel Dekker, Inc., NY.

- [9] Van't Land, C.M. 1991. Industrial Drying Equipment: Selection and Application. Marcel Dekker, NY.
- [10] Greensmith, M. 1998. Practical Dehydration. CRC Press, Boca Raton, FL.
- [11] Menon, A.S., Mujumdar, A.S. 1982. Energy saving in the drying of solids, *Indian Chem. Eng.*, 14(2): 8–13.
- [12] Keey, R.B. 1972. Drying: Principles and Practice. Pergamon, NY.
- [13] Van't Land, C.M. 1991. Industrial Drying Equipment, Marcel Dekker, NY.
- [14] Cook, E.M., Dumont, D. 1991. Process Drying Practice, McGraw-Hill, NY.
- [15] Vergnaud, J.M. 1992. Drying of Polymeric and Solid Materials, Springer-Verlag, London.
- [16] Keey, R.B. 1992. Drying of Loose and Particulate Materials, Hemisphere, NY.
- [17] Mujumdar, A.S. 1982. *Drying Technology – An International Journal*, Marcel Dekker, NY.
- [18] Mujumdar, A.S. 1987. Drying of Solids – Recent Int. Developments, Wiley Eastern Ltd, New Delhi.
- [19] Mujumdar, A.S. 1990. Drying of Solids, Sarita Prakashan, Nauchandi Grounds, India.
- [20] Mujumdar, A.S. 1992. Drying of Solids, Oxford/IBH, New Delhi, India, and Int. Publishers.
- [21] Houska, K., Valchar, J., Viktorin, Z. 1987. Computer aided design of dryers, in *Advances in Drying*, Vol.4 (A.S. Mujumdar, Ed.), Hemisphere, NY.
- [22] Genskow, L.R. (GuestEd.) 1994. Scale-up of Dryers, *Drying Technology*, 12: 1–2.
- [23] Hall, C.W. 1980. Dictionary of Drying. NY: Marcel Dekker.
- [24] Walsh J.J. 1992. Indirect Drying of Solids Particles. Minneapolis: Bepex Corporation.
- [25] Vetere, D., Morris, J. 1997. How a conduction dryer works and how to select one—part I. *Powder and Bulk Engineering*, 23–28.
- [26] Mujumdar, A.S. 2000. Classification and selection of industrial dryers. In: SDevahastin, ed. *Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying: Principles, Equipment and New Developments*. Brossard, Canada: Exergex Corporation, 23–36.
- [27] Baker, C.G.J. 1988. The design of flights in cascading rotary dryers, *Drying Technology*, 6(4); 631–653, 754.
- [28] Gupta, C.K., Sathiyamoorthy, D. 1999. Fluid Bed Technology in Material Processing, CRC Press, NY.
- [29] Mujumdar, A.S., Devahastin, S. 2003. Applications for fluidized bed drying, *Handbook of Fluidization and Fluid Systems* (Yang, W.C., Ed.), Marcel Dekker, NY, ch.18.
- [30] Daud, W.R.W., Armstrong, W.D. 1987. Pilot plant study of the drum dryer, in *Drying'87*, Mujumdar, A.S., Ed., Hemisphere Publishing Corporation, NY, p101.
- [31] Mercier, C. 1987. Comparative modifications of starch and starchy products by extrusion cooking and drum drying, in *Pasta and Extrusion Cooked Foods*, Mercier, C., Cantarelli, C., Eds., Elsevier Applied Science, London, p120.
- [32] Laurent, S., Couture, F., Roques, M. 1999. Vacuum drying of a multi component pharmaceutical product having different pseudopolymorphic forms, *Chem.Eng.Proc.*, 38-157.
- [33] Filkova I. 1984. Nozzle atomization in spray drying, *Advances in Drying*, Vol.3, (Ed. A.S.Mujumdar), Hemisphere/Springer-Verlag, NY, 181–216.
- [34] Masters, K. 1979. Spray Drying, Leonard Hill Books, London.
- [35] Mellor, J.D. 1978. Fundamentals of Freeze Drying. London: Academic Press.
- [36] King, C.J. 1971. Freeze Drying of Foods. Cleveland, OH: CRC Press.

- [37] Rey, L., May, J.C., (Eds.), 1999. Freeze Drying/Lyophilization of Pharmaceutical and Biological Products. NY: Marcel Dekker.
- [38] Pikal, M.J. 1992. Freeze drying. In: *Encyclopedia of Pharmaceutical Technology*, NY: Marcel Dekker, 6: 275–303.
- [39] Jones, P.L.J. 1987. Radio Frequency Processing in Europe. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 22 (3): 143–153.
- [40] Preston, M. 1971. Theory and Applications of Microwave Power in Industry, International Microwave Power Institute, Manassas, Virginia, 65–85.
- [41] Smith, F.J. 1979. Microwave hot air drying of pasta, onions and bacon. *Microwave Eng. Applications Newsletter*, 12(6): 6–12.
- [42] Schiffmann, R.F. 1973. Industrial Applications of Microwave Power for Foods The Applications of Microwaves to the Food Industry in the United States. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 8(2): 137–142.
- [43] Schoenau, G.J., Besant, R.W. 1976. Agriculture, Biomass, Wind, New Developments. In *Proceedings of the Sharing the Sun, Solar Technology in the Seventies* (K.W. Boer, Ed.), Winnipeg, Canada, 7: p33.
- [44] Vaughan, D.H., Lambert, A.J., 1980. An Integrated Shed Solar Collector for Peanut Drying. *Transactions of the ASAE*. 23 (1): 0218-0223.
- [45] Garg, H.P. 1982. Solar drying - Prospects and retrospects. In *Proceedings of the Third International Drying Symposium* (J.C.Ashworth,Ed.), Drying Research Limited, Wolverhampton, England. Vol. 1, pp. 353-369
- [46] Auer, W.W. 1980. Solar energy systems for agricultural and industrial process drying. *Drying '80* (A.S. Mujumdar, Ed.), Hemisphere, NY, Vol.1, p.280-293.
- [47] Szentmarjay, T., Szalay, A., Pallai, E. 1994. Scale-up aspects of the mechanically spouted bed dryer with inert particles, *Drying Technology*, 12 (12): p341.
- [48] Szalay, A., Pallai, E., Szentmarjay, T. 2001. Production of powder-like material from suspension by drying on inert particles, in *Handbook of Conveying and Handling of Particulate Solids*, A.LevyandH. Kalman(Eds.), Elsevier Science, Amsterdam, 10: 581–586.
- [49] Rabinovich, M.J. 1977. Thermal Processes in spouted beds, *Nauka Dumka*, Kiev.
- [50] Romankov, P.G., Rashkovskay, N.B. 1979. Drying in fluidized bed, *Chimiya*, Leningrad.
- [51] Korger, M., Krizek, F. 1972. *Verfahrenstechnik* (Mainz), 6: p223.
- [52] Baines, W.D., Keffer, J. 1980. Observations of effects of suction on a two-dimensional jet impinging on a porous surface. *Drying '80* (A.S. Mujumdar, Ed.), Hemisphere, NY, Vol.1, p.376-383.
- [53] Fechner, G., 1972. Measurements of average Nu on rotating drums subjected to single and multiple slot jet impingement. *Dr.Eng. dissertation*, Technical University, Munich.
- [54] AliKhan, M. 1980. The effect of placing a perforated plate just upstream of the impingement surface. *Ph.D.thesis*. University of Tokyo.
- [55] Silva, M.A., Correa, J.L.G. 1998. Using DryPak to simulate drying process, in *Drying'98 Proceedings of the 11th International Drying Symposium*, A: 303–310.
- [56] Rocha, S.C.S. 1988. Contribution to the Study of Pneumatic Drying: Simulation and Influence of Gas-Particle Heat Transfer Coefficient, *Ph.D.thesis*, Sao Paulo University, Sao Paulo.
- [57] Tolmač, D., Josimović, Lj., Prvulović, S., Dimitrijević, D. 2011. Experimental and Numerical Studies of Heat Transfer and Kinetic Drying of Convection Pneumatic Dryer. *FME Transactions* 39:139-144.

- [58] Hallstrom, B., Skjoldebrand, C., Tragardh, C. 1988. Heat Transfer and Food Products, Elsevier A lied Science, London.
- [59] Therien, N., Cote, B., Broadbent, A.D. 1991. Statistical analysis of a continuous infrared dryer. *Textile Research* 61: 193–202.
- [60] Kuang, H., Chen, R., Thibault, J., Grandjean, B.P.A. 1992. Theoretical and experimental investigation of paper drying using gas-fired IR dryer. In 'Drying '92, A.S.Mujumdar (Ed.) Elsevier, Amsterdam, p 941.
- [61] Sandu, C. 1986. Infrared radiative drying in food engineering: process analysis. *Biotech.Progress*, 2(3):109–119.
- [62] Mujumdar, A.S. 1991. Drying technologies of the future, *Drying Technology* 9 (2): 325–347.

TYPES, CLASIFICATION AND SELECTION OF DRYERS IN AGROINDUSTRY

Ivan Zlatanović

*University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Institute for Agriculture engineering,
Belgrade-Zemun, Republic of Serbia*

Abstract: Drying is one of the basic food processing operations in agro-industry that requires a great amount of energy for food conservation process. The large number of researchers in the domain of natural and technical sciences is focused on energy consumption optimization process in industrial systems in order to provide sustainable development and modern technologies implementation. This paper will provide a review of many publications that have drying of food materials as primary topic, in order to provide a global view of all the problems related to drying process, selection of adequate dryer for chosen drying material.

Key words: *drying, equipment, dryer classification and selection, dryer types*

Datum prijema rukopisa: 10.10.2012.
Paper submitted:
Datum prijema rukopisa sa ispravkama: 16.10.2012.
Paper revised:
Datum prihvatanja rada: 21.10.2012.
Paper accepted:

Saglashtc
autora