

HIDRAULIČKI ASPEKTI OSMOTSKE SUŠARE HIDRAULIC ASPECTS OF OSMOTIC DRYER

Dr Mirko BABIĆ*, dr Ljiljana BABIĆ*, dr Zuzana HLAVÁČOVÁ**, Ivan PAVKOV, dipl.ing*

*Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8, e-mail: mbab@polj.ns.ac.yu

**Slovak Agricultural University, 94976 Nitra, Tr. A.Hlinku 2, P.O. Box 40B, Slovakia

REZIME

U radu je razmotreno kombinovano postrojenje za sušenje voća i povrća originalnom tehnologijom Poljoprivrednog fakulteta iz Novog Sada. Strujanje osmotskog rastvora i zagrejanog vazduha kroz ovo postrojenje veoma je kompleksno. U radu je analiziran i definisan uticaj promene vlažnosti materijala koji se suši na promenu vlažnosti osmotskog rastvora (jed.5). Zbog promene vlažnosti menja se viskoznost rastvora (sl.4). Smanjenje viskoznosti rastvora pri izotermnom procesu osmotskog sušenja uslovljava povećanje protoka kroz pumpu i ceo uređaj. U ishlapljivaču, zbog ugušćivanja, viskoznost rastvora raste. U solarnom zagrejaču vazduha, zbog promena temperatura zagrejanog vazduha tokom dana menja se i njegova viskoznost, odnosno protok. Opšta karakteristika strujanja u osmotskoj sušari, ishlapljivaču, solarnom zagrejaču vazduha, pa i u konvektivnoj sušari je nestacionarnost, koja se mora uzimati u obzir. U radu su date i koncepcije postrojenja za osmotsko sušenje (sl.1) i postrojenja za ishlapljivanje (sl.2) za kombinovano sušenje do 1000 kg svežeg voća ili povrća na dan.

Ključne reči: osmotsko sušenje, sušeno voće, ishlapljivanje, sušara.

SUMMARY

The multiple plant for fruits and vegetables drying based on original post harvest technology introduces by Faculty of Agricultural is presented in this paper. The objective was osmotic and convective dryers design where complex flow of osmotic solution and hot air happened. The especially attention was paid on osmotic dryer, so the influence of sample moisture content changes versus solution concentrate changes is studied (equitation 5). Solution viscosity is changing because different level of moisture content in solution. Lower viscosity values will cause the increase of flow rate through pump and whole device. Evaporator, as a part of system will decrease the solution viscosity. On the other hand, the viscosity of air is also changeable through the day. All this different value of air and solution viscosities are non stationary in the time, and should be taking into consider. The principles of osmotic dryer (fig 1), evaporator (fig 2) and solar air heater operation are presented in this paper for 1000 kilos daily fruits and vegetables drying.

Ky words: osmotic drying, dried fruit, evaporating, dryer.

UVOD

Originalna tehnologija sušenja voća i povrća, koja se razvija na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu, kombinovana je od osmotskog i konvektivnog sušenja. Osmotsko sušenje voća realizuje se u rastvoru šećera u vodi. Osmotsko sušenje povrća planirano je da se obavlja u rastvoru soli u vodi (Enachescu Dauthy Mircea, 1995). Konvektivno sušenje obavlja se zagrejanom vazduhom u sloju. U prvoj etapi razvoja koncipiran je model manje proizvodnje do 1000 kg voća ili povrća na dan. Ovaj model namenjen je poljoprivrednicima (voćarima) ili drugim preduzimačima u ruralnim sredinama, kao dopuna ili kao osnovni posao za nekoliko osoba. Dakle, reče je o takozvanom „porodičnom biznisu“. Model veće proizvodnje je koncipiran za preko 2000 kg voća ili povrća na dan namenjen je kao osnovna tehnologija za manja ili srednja preduzeća. Modelu manje proizvodnje može se pripisati i naziv inkubatorski model (IM), dok se model veće proizvodnje može nazvati i poslovni model (PM). Za sada je u istraživanjima mnogo veća pažnja posvećena IM modelu.

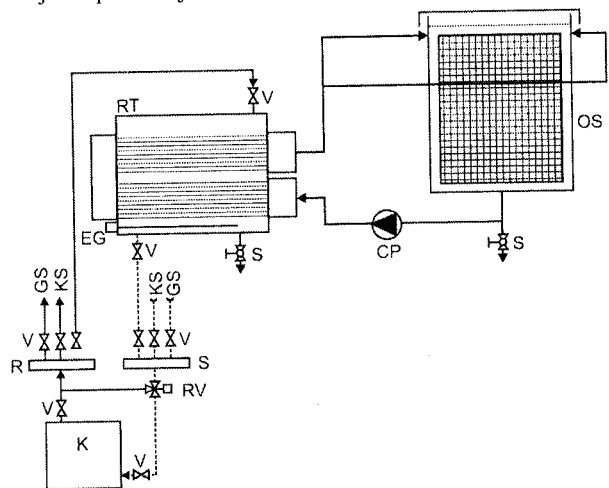
Dosadašnji rezultati i analize ukazuju da je za ovaj model povoljnije da se tehnički odredi kao diskontinualni model (Babić Ljiljana i sar, 2003). I drugi autori preporučuju za manje obime proizvodnje diskontinualne procese (Lombard Gerda at all, 2004 i Sousa P. H. M at all, 2003). Uzimajući u obzir koncept korišćenja solarne energije, kao osnove za toplotne potrebe tehnologije, diskontinualni procesi još više dobijaju na značaju. Naime, prirodna diskontinualnost dozračivanja solarne energije (dan – noć) utiče na to, da se što je moguće više, tokom dana, koristi raspoloživa energija. Ova energija se koristi da se obavi tehnološka operacija uparavanja osmotskog rastvora (Babić M. i sar, 2005-1). Razvoj modela proizvodnje PM će u svojoj osnovi imati

kontinualnost ili bar kvazikontinualnost u domenu konvektivnog sušenja. Korisna polazišta za ovu tehnologiju data su od strane Stefanovića i Uroševića (1995). Predviđeno je korišćenje trakastih ili kontejnerskih (tunelskih) sušara. Kod IM modela diskontinualno je osmotsko i konvektivno sušenje. Potrebno je razmotriti specifičnosti strujanja fluida u ovom modelu kombinovane tehnologije. To je cilj ovog rada.

MATERIJAL I METOD

Osmotsko sušenje obavlja se u uređajima kapaciteta 20 i 40 kg. Voće je smešteno u posudu OS (sl. 1). Rastvor, koji je u razmenjivaču toplote RT zagrejan na tehnološku temperaturu, cirkuliše kroz postrojenje zahvaljujući cirkulacionoj pumpi CP. Zagrevanje rastvora se ostvaruje korišćenjem tople vode iz kotla, koji koristi biomasu. Predviđeno je korišćenje i električnog grejača s obzirom da se radi o veoma malim potrebama toplotne energije, koje su neophodne za održavanje zadate temperature rastvora. Proces je diskontinualan i traje određeno vreme, koje je uslovljavano voćnom vrstom i granulacijom (krupnoćom) čestica – komadića materijala koji se suši. Sopstveni originalni koncept predviđa da osmotski proces traje najviše do 4 h. U toku tog perioda snižava se vlažnost voća i povrća. Vлага prelazi u rastvor tako da dolazi do njegovog „ovlažavanja“. Vlažnost voća i povrća se snižava, a vlažnost rastvora raste. Iz ovoga proizilazi da je proces nestacionaran. Poznato je da viskoznost šećerenog sirupa značajno zavisi od temperature, ali od koncentracije šećera u vodi (Šušić S. i sar, 1980). Slično je i sa rastvorom soli u vodi. S obzirom da je osmotsko sušenje, u sopstvenoj tehnologiji, bazirano na izotermnoj promeni stanja rastvora, veoma je značajna promena viskoznosti koja će uticati na promenu otpora strujanja. Dakle, kinetika sušenja direktno uslovljava promenu viskoznosti

rastvora. Potrebno je utvrditi ovu korelaciju. Brzina osmotskog sušenja opada tokom vremena. Na to utiče smanjenje vlažnosti materijala i povećanje vlažnosti osmotskog rastvora.



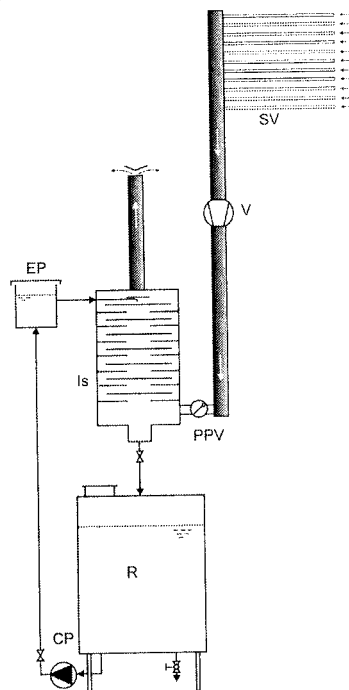
Sl. 1. Šematski prikaz postrojenja za osmotsko sušenje (OS – osmotska sušara, CP – cirkulaciona pumpa, RT – razmenjivač toplote (zagrejač rastvora), K – kotao, EG – električni grejač (alternativna upotreba), GS – grejni sistem, KS – konvektivna sušara, V – ventili, S – slavine, R – razdelnik, S – sabirnik)

Fig 1. Osmotic dryer plant schematic view (OS – osmotic dryer, CP – circulation pump, K – boiler, EG – electrical heater (alternative using), GS – heating system, KS – convective dryer, V – valves, S – discharge cock, R – distributor, S – collector)

Nakon svake šarže koncentracija osmotskog rastvora može se dovesti na početnu dodavanjem određene količine šećera (ili soli). Druga tehnološka opcija je pretakanja svake iskorišćene šarže u odgovarajući rezervoar. U oba slučaja tokom određenog vremena sakupiće se određena količina rastvora u kome je manje koncentracije šećera od one koja je zadata za početak sušenja šarže u osmotskoj sušari. Potrebno je ugustiti ovaj rastvor do koncentracije koja se koristi u osmotskoj sušari. Da bi se to postiglo mora se iz rastvora odvesti ona vlaga koja je dospela u njega iz materijala koji se suši (Babić M. i sar, 2005-I). Autori tehnologije odlučili su se da se odvođenje vlage iz osmotskog rastvora ("sušenje rastvora") obavi korišćenjem solarne energije. S obzirom da se za potrebe konvektivne sušare razvija jeftin solarni zagrejač vazduha, odlučeno je da se isti primeni i za potrebe ugušćivanja rastvora. S obzirom da je apsorbirana solarana energija nižeg potencijala, opredelenje je da se koristi polukoncentrisani solarni kolektor, a da se uparavanje osmotskog rastvora realizuje ishlapljivanjem (Babić M. i sar, 2005-II). Predviđene su dve metode ishlapljivanja koje će se realizovati i ispitati tokom 2006. Značaj ovog koncepta je i u tome što se uparavanje rastvora obavlja diskontinualno, a učinak se projektuje tako da se obezbedi ugušćivanje 24 časovne količine rastvora tokom 4-6 h u vreme najintenzivnijeg zračenja Sunca. Koncept diskontinualnog uparavanja osmotskog rastvora prikazan je šematski (sl. 2)

Ishlavljanje će biti realizovano na dva načina. Ispitaće se pogodnost ishlavljanja u tankom filmu (tanjiri i ispuna) i barbotazni tip ishlavljanja. Ishlavljanje se koristi i zbog toga da se obezbedi nisko temperaturni režim tretmana osmotskog rastvora, koji, pored šećera, sadrži i druge vrste organskih materija. Cilj je da se sirup regeneriše više puta kako bi se smanjila potrošnja šećera. Kada količine drugih suvih materija u rastvoru dostignu visok nivo regenerisanje će se prekinuti, a sirup može biti upotrebljen za različite namene. Zbog koncentrisanja aromatičnih i drugih prirodnih sastojaka on se može koristiti u proizvod-

nji džemova, sokova, alkoholnih pića i dr. Navedene činjenice opredeljuju da se i u ovoj etapi tehnologije mora poštovati nisko-temperaturni režim. Temperature sirupa ne treba da prelaze cca 50°C. Zbog ishlapljivanja (promena faze bez ključanja) koje snižava temperaturu rastvora, korišćeni vazduh iz solarnog kolektora može imati nešto višu temperaturu. Dakle, niskopotencijalna solarna energija zadovoljava potrebe procesa koji se želi ostvariti. Značajno pitanje je i određivanje specifičnog otpora strujanja vazduha kroz fleksibilne plastične cevi. Ovo je potrebno radi dimenzionisanja ventilatora.



Sl. 2. Postrojenje za diskontinualno uparavanje osmotskog rastvora

(R – rezervoar, CP – cirkulaciona pumpa, EP – ekspanzionna posuda, Is – ishlapljivač, PPV – protivpovratni ventil, V – ventilator, SV – solarni zagrejač vazduha)

Fig 2. Discontinue evaporation plant of osmotic solution (R – tank, CP – circulation pump, EP – expansion tank, Is – evaporator, PPV – counterflow valve, V – fan, SV – solar air heater)

Metodom analize i sinteze razmatraju se problemi hidrauličkih aspekata strujanja u postrojenju za kombinovano sušenje voća i povrća.

REZULTATI I DISKUSIJA

Kinetika ovlažavanja osmotskog rastvora je komplementna kinetici osmotskog sušenja. Povećanje vlažnosti rastvora posledica je sušenja voća, zbog prelaza vlage iz voća u rastvor. Količina vlage koja se odvodi iz voća u rastvor se izražava poznatom bilansnom jednačinom:

$$\Delta W = m_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{1 - \omega_1} \quad (1)$$

gde je ΔW (kg) – količina odvedene vlage iz voća, m_1 (kg) – masa voća na početku osmotskog sušenja, ω_1 (kg/kg) – vlažnost (na vlažnu bazu) voća pre sušenja i ω_2 (kg/kg) – vlažnost (na vlažnu bazu) voća na kraju sušenja.

Odvedena vlaga iz voća prešla je u rastvor te se vlažnost rastvora povećala. To se može izraziti sledećom jednačinom:

$$\Delta W_r = m_{r1} \frac{\omega_{r2} - \omega_{r1}}{1 - \omega_{r2}} \quad (2)$$

gde je ΔW_r (kg) – količina dovedene vlage u osmotski rastvor, m_{r1} (kg) – masa rastvora na početku osmotskog sušenja, ω_{r1} (kg/kg) – vlažnost rastvora (na vlažnu bazu) na početku sušenja i ω_{r2} (kg/kg) – vlažnost rastvora (na vlažnu bazu) na kraju sušenja.

Zbog jednakosti mase vlage koja se odvodi iz voća i one koja prelazi u rastvor važi:

$$\Delta W = \Delta W_r \text{ ili} \\ m_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{1 - \omega_1} = m_{r1} \frac{\omega_{r2} - \omega_{r1}}{1 - \omega_{r2}} \quad (3)$$

Eksplisnim izražavanjem vlažnosti rastvora na kraju sušenja dobija se:

$$\omega_{r2} = \frac{m_{r1}\omega_{r1} + m_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{1 - \omega_1}}{m_{r1} + m_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{1 - \omega_1}} \quad (4)$$

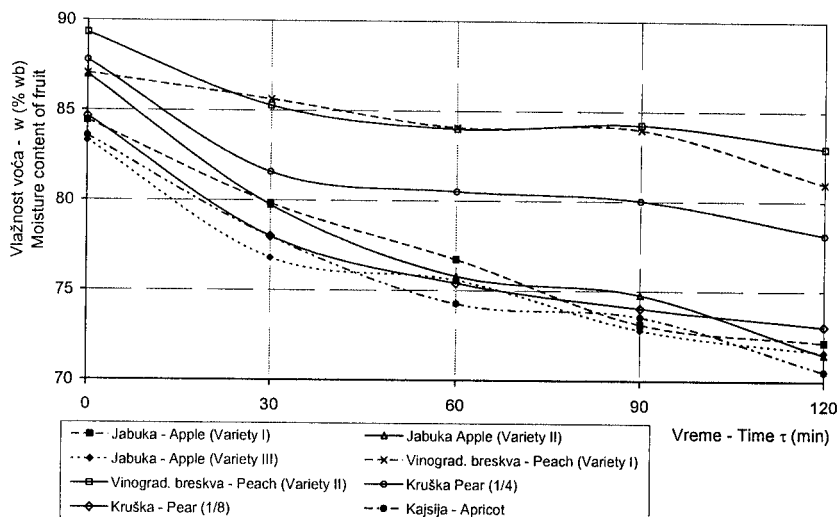
Ovaj izraz može se transformisati za određivanje vlažnosti (na vlažnu bazu) u bilo kom vremenskom trenutku tokom osmotskog sušenja. Tada izraz glasi:

$$\omega_r = \frac{m_{r1}\omega_{r1} + m_1 \frac{\omega_1 - \omega}{1 - \omega_1}}{m_{r1} + m_1 \frac{\omega_1 - \omega}{1 - \omega_1}} \quad (5)$$

gde su: ω_r , ω (kg/kg) – vlažnosti (na vlažnu bazu) osmotskog rastvora i voća, respektivno, u bilo kom trenutku tokom procesa osmotskog sušenja.

Jednačina (jed.5) može poslužiti za povezivanje kinetike sušenja voća i kinetike ovlaživanja rastvora.

Tokom 2005, obavljen je određeni broj ponavljanja merenja promene vlažnosti tokom osmotskog sušenja na sopstvenom uređaju. Na slici (sl. 3) prikazane su tipične krive za različite voćne vrste i za različite geometrije pripreme. Jabuke su ljuštene, seckane u kriške koje su bile osmina ploda, isecana im je semena loža, a potom su seckane na tri do četiri komadića. Korišćene su jabuke sorti Zlatni delišes, Mucu i Greni smit. Kruške (Vilijam) su seckane u kriške, kao četvrtina ili osmina celog ploda, a potom je isecana semena loža. Vinogradarske breskve (San lend i Slobodan Lazić) i kajsije (Novosadska rodna) su pripremane kao polutke.



Sl. 3. Tipične krive promene vlažnosti voća tokom vremena pri osmotskom sušenju

Fig 3. Typical change moisture curve of fruit osmotic drying

Sa dovoljnim brojem ponavljanja eksperimenta i regresionom analizom doznaje se funkcija:

$$\omega = \omega(\tau) \quad (6)$$

Zamenom ove funkcije u izraz (j.5) dobija se jednačina kinetike ovlaživanja osmotskog rastvora:

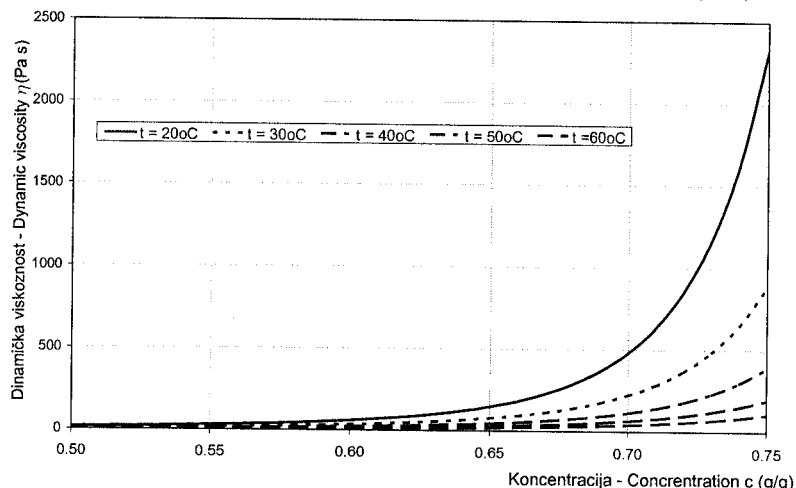
$$\omega_r(\tau) = \frac{m_{r1}\omega_{r1} + m_1 \frac{\omega_1 - \omega(\tau)}{1 - \omega_1}}{m_{r1} + m_1 \frac{\omega_1 - \omega(\tau)}{1 - \omega_1}} \quad (7)$$

Izraz (j.5) može korisno poslužiti za indirektno merenje vlažnosti materijala na osnovu merenja vlažnosti rastvora.

Vlažnost rastvora i koncentracija šećera u rastvoru su u direktnoj vezi:

$$\omega + c = 1$$

gde je c (kg/kg) koncentracija šećera izražena na ukupnu masu. Na osnovu literature (Šušić i sar, 1984) određene su funkcije uticaja koncentracije šećera u rastvoru na dinamičku viskoznoost rastvora. Ova zavisnost u grafičkom obliku data je na slici (sl. 4).



Sl. 4. Uticaj koncentracije šećera na dinamičku viskoznoost u rastvoru voda-šećer (Šušić, S, i sar, 1980)

Fig 4. Sugar concentrate influence on dynamical viscosity in solution water-sugar (Šušić, S, i sar, 1980)

Promena viskoznoosti rastvora tokom osmotskog sušenja odražava se na promenu strujanja (cirkulaciju) rastvora. Zbog smanjenja viskoznoosti raste Rejnoldsov broj (Re), pa kod laminarnog strujanja u cevima dolazi do značajnog smanjenja koeficijenta otpora (λ) jer je (Voronjec K. i Obradović N, 1978):

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (8)$$

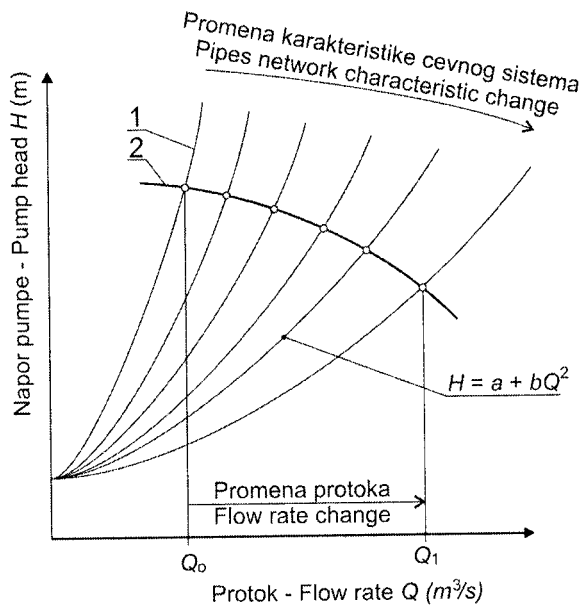
Slično je i sa koeficijentom lokalnog otpora, koji takođe opada. Strujanje šećernog sirupa u postojećoj osmotskoj sušari je laminarno. U slučaju da se pojavi režim turbulentnog strujanja, promena koeficijenta trenja pri strujanju kroz cevi je neznatna. Smanjenje koeficijenta otpora utiče na promenu karakteristike strujanja kroz postrojenje za osmotsko sušenje (cevni sistem). Karakteristika cevno sistema je (Voronjec K. i Obradović N, 1978):

$$H = a + bQ^2 \quad (9)$$

ZAKLJUČAK

gde u H (m) napor pumpe, Q (m^3/h) protok, a a i b koeficijenti zavisi od cevnog sistema. Koeficijent b direktno zavisi od koeficijenata trenja u cevima. On se smanjuje sa smanjenjem koeficijenata trenja. Zbog ove pojave doći će do nelinearnog povećanja protoka tokom vremena zbog smanjenja napora cirkulacione pumpe (sl. 5). Ovaj porast protoka u osmotskoj sušari tokom period sušenja jedne šarže je povoljan. Naime, zbog smanjenja osmotskog pritiska, koji je posledica smanjenja koncentracione razlike fluks vlage ka rastvoru se smanjuje tokom vremena. To je "usporavanje" sušenja. Ali, zbog porasta brzine kretanja rastvora intenziviraće se razmena vlage.

U slučaju ishlapljivača ne postoji ova prednost. Tokom ove pojave raste koncentracija šećera u rastvoru, a samim tim i njegova viskoznost. Efekt na promenu protoka biće suprotan, odnosno, on će se smanjivati. To se mora uzeti u obzir pri analizi kinetike ishlapljivanja.



Sl. 5. Promena karakteristike cevne mreže utiče na porast protoka rastvora u osmotskoj sušari

Fig 5. Pipes network characteristic change affect on increasing solution flow in dryer

Hydraulički parametri vazdušnog solarnog kolektora moraju da se ispitaju radi pravilnog izbora ventilatora. Pri tome treba odrediti koeficijent otpora strujanja za fleksibilnu plastičnu cev NO 32, kakva će biti upotrebljena u originalnoj konstrukciji kolektora. U skladu sa toplotnim bilansom ishlapljivanja i konvektivnog sušenja, sa jedne strane, i efikasnosti prijema toplote u solarnom kolektoru, biće određeni potrebni protoci zagrejanog vazduha. I ovde je izražena nestacionarnost procesa zbog promena temperatura zagrejanog vazduha tokom dana.

Racionalno i ravnomerno usmeravanje vazduha preko lesa ili kroz njih u konvektivnoj sušari je važan uslov ravnomernog sušenja. Pored toga, s obzirom da je projektovana i izgrađena sušara sa recirkulacijom fluida za sušenje (Babić Ljiljana i Babić M, 2000), mora se voditi računa o optimalnom upravljanju sušarom. Ovde je reč o optimalnosti na bazi kriterijuma minimalnog utroška toplotne energije, uz postojeća ograničenja temperature, koja su posledica zahteva za očuvanjem kvaliteta proizvoda. Drugo ograničenje u optimiziranju je potreba sušenja šarže za 24 h.

Postrojenje za kombinovano sušenje voća originalnom tehnologijom Poljoprivrednog fakulteta je veoma kompleksno sa aspekta strujanja osmotskog rastvora i zagrejanog vazduha. Diskontinualni model (IM), koji je analiziran u radu se karakteriše nestacionarnošću strujnih parametara. Analizom bilansa vlage u osmotskoj sušari definisana je korelacija između vlažnosti materijala koji se suši i vlažnosti osmotskog rastvora (jed.7). Tokom osmotskog sušenja viskoznost rastvora opada što utiče na povećanje protoka. U ishlapljivaču viskoznost osmotskog rastvora raste tokom vremena, što utiče na značajno smanjenje protoka. Specifična i originalna konstrukcija solarnog zagrejača vazduha zahteva posebno ispitivanje koeficijenta otpora strujanja primenjenih cevi.

NAPOMENA: Rezultati istraživačkog rada nastali su zahvaljujući finansiranju Ministarstva nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, projekta evidencionog broja 06889 pod nazivom "RAZVOJ OSMOTSKE SUŠARE ZA VOĆE I POVRĆE" u okviru Projekata tehnološkog razvoja u oblasti biotehnologija, za period 2005-2007 i sufinansiranju od strane Pokrajinskog sekretarijata za nauku i tehnološki razvoj APV, ugovor br: 114-00627/2005-01 za realizaciju projekta "RAZVOJ OSMOTSKE SUŠARE ZA VOĆE I POVRĆE".

LITERATURA

- [1] Babić Ljiljana, Babić M, Pavkov I: Kombinovano osmotsko i konvektivno sušenje kajsije, PTEP - časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi, 7(2003)1-2, s.1-3.
- [2] Babić Ljiljana, Babić M, Pavkov I: Nova tehnologija pripreme i sušenja kajsije, Savremena poljoprivredna tehnika, 29(2003)4, s.179-184.
- [3] Babić Ljiljana, Babić M: Sušenje i skladištenje, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2000, s.306.
- [4] Babić M, Babić Ljiljana, Matić - Kekić Snežana, Pavkov I, Karadžić B: Održivi energetska model proizvodnje sušenog voća kombinovanom tehnologijom, PTEP - časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi, 9(2005)5, s.109-111.
- [5] Babić M, Babić Ljiljana, Pavkov I: Energetska i maseni bilans kombinovanog sušenja voća, PTEP - časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi 9(2005)3-4, s.54-56.
- [6] Enachescu Dauthy Mircea: Fruit and Vegetable Processing, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Agricultural Services Bulletin No.119, Rome, 1995, p.240.
- [7] Lombard Gerda at all: Researchers combine drying technologies in pursuit of shelf-stable fruit products, Council for Scientific and Industrial Research, article, South Africa, 2004.
- [8] Sousa P. H. M, Maia G. A, Souza Filho M. M, Figueiredo R. W, Souza A. C. R: Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa, Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 25, n. 3, 2003, p. 414-416.
- [9] Stefanović M, Urošević M: Praktična primena osmotskog sušenja poljoprivrednih proizvoda, Revija "Agronomska saznanja", 5 (1995)1, s.2-7.
- [10] Šušić S. i sar: Priručnik za industriju šećera, I deo, Poslovna zajednica industrije šećera Jugoslavije, 1980.
- [11] Voronjec K, Obradović N: Mehanika fluida, Građevinska knjiga, Beograd, 1979, s.335.

Primljeno: 6.04.2006.

Prihvaćeno: 6.04.2006.