

## ENERGETSKI I MASENI BILANS KOMBINOVANOG SUŠENJA VOĆA ENERGETIC AND MASS BALANCE OF COMBINE FRUITS DRYING

Dr Mirko BABIĆ, dr Ljiljana BABIĆ, Ivan PAVKOV, dipl.ing.  
Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8,  
E-mail: [mbab@polj.ns.ac.yu](mailto:mbab@polj.ns.ac.yu)

### REZIME

Poljoprivredni fakultet iz Novog Sada razvija novu tehnologiju sušenja voća. U prvoj etapi obavlja se osmotsko, a drugoj konvektivno sušenje. Kombinovano sušenje zahteva analizu masenog i energetskog bilansa. Vлага, koja se odvodi iz voća tokom osmotskog sušenja, prelazi u rastvor. U ovoj etapi potrebna ja manja količina toplote za održavanje zahtevane temperature rastvora. Ova vлага se odvodi uparavanjem iz rastvora. Originalni koncept je zasnovan na principu korišćenja solarne energije za potrebe uparavanja rastvora. Uparavanje (koncentrovanje rastvora) obavlja se zagrejanim vazduhom. Tokom konvektivnog sušenja odvodi se oko 50% vlage. Za ovo sušenje potrebna je određena količina toplote. Osnovni energetski izvor je solarna energije dopunjena energijom na bazi sagorevanja biomase. Originalna kombinovana tehnologija zasnovana je na obnovljivim izvorima energije. Ova tehnologija može se smatrati energetski održivom i ekonomski opravdanom.

**Ključne reči:** Maseni bilans, energetski bilans, kombinovano sušenje, osmotsko sušenje.

### SUMMARY

Faculty of Agriculture in Novi Sad has developed new technology for fruits drying. The technology consist of osmotic and convective drying. Both processes are demanded mass and energy balance analyse. The moisture migrates from fruits to solution during osmotic drying. Demand for energy is less in order to maintain appropriate solution temperature. Moisture removal from solution is done by evaporation. Original concept is based on solar energy using for this evaporation. During the convective drying about 50% of moisture is removed from the fruits, and this process needs heat energy too. Solar and biomass combustion heat energy are sources, so the new technology is based on renewable energy sources. This means energy sustainable and economic valid production.

**Key words:** Mass balance, Energy balance, Combine drying, Osmotic drying.

### UVOD

Promet sušenog voća u svetu je sve veći. Bez obzira na porast potrošnje sušenog voća, u tržišnoj utakmici pobeđivače oni koji proizvode kvalitetno i jeftino (Taweekul i Sringam, 2001). Postizanje vrhunskog kvaliteta osušenog voća zahteva izbor "prijateljske tehnologije" (Babić Ljiljana i dr, 2004). Za poslovni uspeh kvalitetne tehnologije mora se obezbediti ekonomična proizvodnja. Najveća stavaka u troškovima proizvodnje sušenog voća su troškovi energenata (Babić, M, i sar, 2004-1). Treba imati u vidu da je kod većine voćnih vrsta vlažnost veća od 80% (tab. 1). Ovu tabelu treba prihvatiti uslovno, jer je poznato da vlažnost voća zavisi od sorte i stadijuma zrelosti.

Табела 1. Vlažnost različitih vrsta voća (Enachescu Dauthy, 1996)

Table 1. Moisture content of different fruit (Enachescu Dauthy, 1996)

Voće - Fruit	Vlažnost Moisture content (%)
Jabuke - Apples	85
Breskve - Peaches	90
Kruške - Pears	82
Šljive - Plums	87
Maline - Raspberries	81
Jagode - Strawberries	90

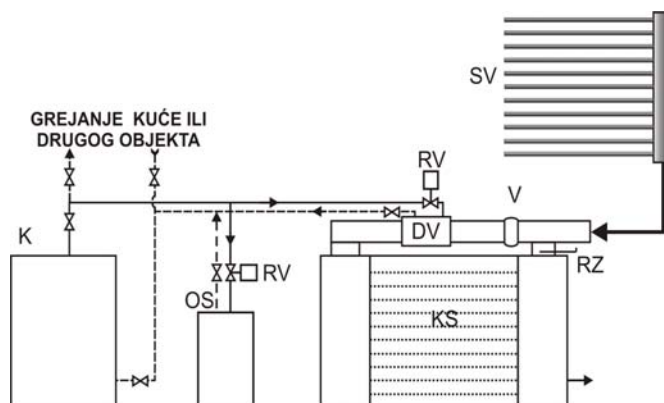
U cilju razvoja svih aspekata proizvodnje sušenog voća u domaćim uslovima, potrebno je istražiti mogućnosti energetski racionalne tehnologije i jeftinih izvora energije. Da bi se to postiglo potrebno je da se analizira energetski i materijalni bilans.

### MATERIJAL I METOD

Kombinovana tehnologija proizvodnje sušenog voća, pored niza prednosti u pogledu očuvanja kvaliteta, energetski je ra-

cionalna (Babić, Ljiljana i sar, 2003). Osmotsko sušenje, kao prva etapa, znatno smanjuje potrebnu količinu energije za potrebe konvektivnog sušenja u drugoj etapi. Međutim, vлага koja prelazi u rastvor šećera pri osmotskom sušenju takođe treba da se odvede. Za to je potrebna toplotna energija. Potrebe toplotne energije znanovane su na termotehničkoj analizi. Nakon te analize obavlja se sinteza ukupnih termoenergetskih potreba. Za bilansiranje energije u kombinovanom sušenju neophodno je bilansiranje mase.

Šema postrojenja u tehnologiji kombinovanog sušenja učinka 200 kg/dan (na bazi vlažne kajsije) prikazana je na slici (sl. 1).



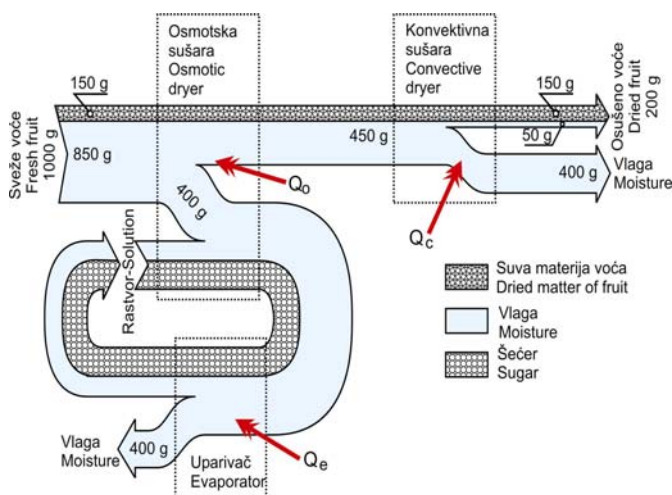
Sl. 1. Energetska šema tehnologije kombinovanog sušenja (Babić, M. i sar, 2004-II)

(K – kotao, SV – solarni zagrejač vazduha, KS – konvektivna sušara, OS – osmotska sušara, DV – dogrejač vazduha, V – ventilator, RV – regulacioni ventil i RZ - recirkulacioni zasun)  
Fig. 1. Combine drying technology energy sheme (K – boiler, SV – air solar heater, KS – convective dryer, OS – osmotic dryer, DV – air after-heater, V – fan, RV – regulation valve i RZ – recirculation slide valve)

Za ovaj tehnološki koncept potrebno je obezbediti toplotnu energiju za potrebe osmotskog sušenja i za potrebe konvektivnog sušenja. Pri analizi potrebnih količina i mogućih izvora toplotne energije treba imati u vidu činjenicu da se sušenje voća obavlja tokom leta i rane jeseni.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Analiza materijalnog bilansa zasnovana je na modelu voća vlažnosti 85% (u odnos na vlažnu bazu). Ovaj model je blizak većini domaćih voćnih vrsta. Na bazi iskustava u osmotskom sušenju kajsije, ali i drugih voćnih vrsta (Babić, Ljiljana, i sar, 2003), zatim preporuka drugih autora (Stefanović i Urošević, 1995; Sousa i sar, 2003; Grabowski i sar, 2002; Lombard Gerda, 2004) zaključuje se da je moguće duže ili kraće vreme osmotskog sušenja. Samim tim i efekti odvođenja vlage u ovoj etapi sušenja mogu biti različiti. Sopstvena iskustva pokazuju da je sušenje sa 85% na 75% vlažnosti prihvatljiva varijanta. Ako se takav slučaj analizira, sa aspekta masenog bilansa, dobija se da se u etapi osmotskog sušenja iz 1 kg svežeg voća odstranjuje 400 g vlage. Ako se konvektivno sušenje obavlja do vlažnosti 25% potrebno je u ovoj etapi odvesti još 400 g vlage. Prvih 400 g vlage iz voća prešlo je u rastvor šećera, a drugih 400 g u vazduh za sušenje. S obzirom da je cilj tehnologije da se obezbedi recirkulacija šećernog sirupa u osmotskom sušenju, potrebno je odstraniti vodu iz ovog rastvora. To je moguće različitim postupcima uparavanja. Maseni bilans sa aspekta transfera vlage prikazan je grafički na slici (sl. 2). Ovaj bilans, kao rezultat analize je osnova bilansiranja energije.



Sl. 2. Maseni bilans kombinovanog sušenja voća  
Fig. 2. Combine fruit drying mass balance

U slučaju konvektivnog sušenja potrebna količina toplotne energije  $Q_C$  proističe iz efikasnosti rada ovakve sušare (Babić Ljiljana i Babić, M, 2000). Ako se pretpostavi da konvektivna sušara ima recirkulaciju vazduha za sušenje, može se pretpostaviti da je specifična potrošnja toplotne energije oko 6.000 kJ/kg isparene vode (Babić, M. i sar, 2004). Prema tome, količina toplotne energije potrebna u etapi konvektivnog sušenja iznosi 12.000 kJ/kg osušenog voća. Potrebno je razmotriti potrebnu količinu toplotne energije u etapi osmotskog sušenja. U ovoj etapi određena manja količina toplotne energije potrebna je za održavanje zadate temperature rastvora. S obzirom na činjenicu da voće ima nižu temperaturu od temperature šećernog sirupa pre postavljanja u rastvor, određena količina toplote se mora dovesti kako bi se povisila temperatura voća. Pored toga, potrebno je nadoknaditi toplotne gubitke u okolinu osmotske sušare.

Ukupna potrebna količina toplotne energije u etapi osmotskog sušenja  $Q_O$  iznosi:

$$Q_O = m_V c_V (t_R - t_O) + Q_{GO} \quad (1)$$

gde je:  $m_V$  (kg) – masa svežeg voća u procesu osmotskog sušenja,  $c_V$  (kJ/kgK) – specifična toplota svežeg voća,  $t_R$  (°C) – temperatura rastvora,  $t_O$  (°C) – temperatura okolnog vazduha i  $Q_{GO}$  (kJ) – količina toplote koja pređe u okolinu. Pretpostavlja se da je temperatura svežeg voća približno jednaka temperaturi okolnog vazduha. Količina toplote koja pređe u okolinu je u toplotno izolovanom postrojenju mala. Ako se količina toplote  $Q_O$  izračuna i svede na jedinicu mase osušenog voća dobija se da je  $Q_O \approx 400$  kJ/kg suvog voća. Pri ovom proračunu uzeto je da je temperaturska razlika  $t_R - t_O = 20$  °C, a izolacioni omotač debljine 50 mm, površine od 2 m<sup>2</sup>, sa koeficijentom prolaza toplote  $k = 0,030$  W/m<sup>2</sup>K.

Vlaga, koja je prešla u šećerni sirup, potrebno je ispariti kako bi se on recirkulisao u procesu. To može da se obavi u isparivačima ili uparivačima. Polazeći od pretpostavke da je to praktično promena faze vlage (iz tečnog u gasovito fazno stanje) bez veće pogreške može se uzeti da je potrebna količina toplotne energije u ovoj operaciji jednaka:

$$Q_e = W_O r \quad (2)$$

gde je:  $W_O$  (kg) – količina vlage koja se odvodi iz voća u etapi osmotskog sušenja i  $r$  (kJ/kg) – toplota promene faze voda - vodena para. Toplotna promena faze vode isparavanjem, pri pritisku  $p = 1$  bar, iznosi  $r = 2257$  kJ/kg (Ražnjević, K, 1975). Ako se količina toplotne energije potrebna za uparavanje šećernog sirupa aproksimuje toplotom promene faze dobija se da je  $Q_e = 4500$  kJ/kg suvog voća. Ukupna količina toplotne energije u kombinovanoj tehnologiji je:

$$Q_K = Q_C + Q_O + Q_e = 16.900 \text{ kJ/kg suvog voća} \quad (3)$$

Ako bi se sušenje voća obavljalo samo konvektivnim sušenjem (klasični postupak) potrebno je oko 24.000 kJ/kg suvog voća. Dakle osmotsko sušenje donosi proračunsku uštedu od 30% u potrošnji toplotne energije. Ali, moguće je organizovati sušenje tako da se osmotsko sušenje, koje traje kratko u odnosu na konvektivno, obavi tokom dana. To znači da se uparavanje može zasnovati na korišćenju solarne energije. Eventualni uspeh u ovakvoj koncepciji doprineo bi tome da se najmanje 75% vlage iz voća može odvesti zahvaljujući korišćenju solarne energije. To je glavni cilj sopstevnih istraživanja u razvoju osmotske sušare u budućnosti. Ako se potvrde pretpostavke i analize tada će se za proizvodnju sušenog voća koristiti uglavnom solarna energija, uz dodatak energije od sagorevanja biomase iz voćarstva, čime se ostvaruje izuzetna prilika da se organizuje energetski održiva, a to znači i ekonomična, proizvodnja sušenog voća u domaćim uslovima.

Korišćenje solarne energije u domaćim uslovima često je trpelo neuspehe. Razlog tome je visoka specifična cena investicije. Autori ovog rada koncipirali su veoma jeftin solarni zagrevač vazduha, koji će biti istraživan u budućnosti (sl. 3). Preliminarni rezultati ispitivanja rada ovog zagrevača vazduha su ohrabrujući. Glavna prednost ovog rešenja su veoma niska investiciona ulaganja, koja neće značajno uticati na nivo investicije u novoj originalnoj tehnologiji kombinovanog sušenja. Cena energije u ovoj tehnologiji je praktično zanemarljiva i ona se svodi na troškove prikupljanja i usitnjavanja rezidbenih ostataka iz voćnjaka.



Sl. 3. Solarni zagrejač vazduha  
Fig. 3. Air solar heater

## ZAKLJUČAK

1. Tehnologija kombinovanog sušenja voća, koja se razvija na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu, je koncipirana tako da se u potpunosti sačuva kvalitet koji je sadržan u svežem voću.

2. Primena osmotskog sušenja smanjuje potrošnju toplotne energije u procesu sušenja za najmanje 30%.

3. Korišćenje solarne energije za potrebe konvektivnog sušenja i potrebe uparavanja šećernog sirupa doprinosi eliminisanju zavisnosti cene sušenog voća po ovoj tehnologiji od cene energenata.

4. Dalji razvoj tehnologije zahteva razvoj osmotske sušare zasnovane na korišćenju solarne energije za potrebe uparavanja šećernog sirupa i konvektivnog sušenja.

*NAPOMENA: Rezultati istraživačkog rada su nastali 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.*

## LITERATURA

- [1] Babić, Ljiljana, Babić, M.: Sušenje i skladištenje, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2000, s.306.
- [2] 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.

- [3] Babić, Ljiljana, Babić, M., Pavkov, I: Nova tehnologija pripreme i sušenja kajsije, Savremena poljoprivredna tehnika, 29(2003)4, s.179-184.
- [4] Babić, M., Babić, Ljiljana, Dejanović, A., Francuski, P., Brkić, M.: Program intenziviranja korišćenja biomase kao goriva u Vojvodini, PTEP - časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi 5(2001)1-2, s.57-61.
- [5] Babić M., Babić, Ljiljana, Pavkov I: Maseni i energetski bilansi sušenja kajsije, Savremena poljoprivredna tehnika, 30(2004)3-4, s.127-133.
- [6] Babić, M, Babić, Ljiljana, Pavkov, I: Energetski aspekt sušenja kajsije, 7. kongres voćara Srbije i Crne Gore, zbornik radova, 2004.
- [7] Bogert L. J, Briggs, G. M, Calloway H. Doris, W.B.Nutrition and Physical Fitness, 9th Edition by Saunders Company, Philadelphia PA ISBN 0-7216-1817-0,
- [8] Clark, J. P: Freeze drying gets boost from fruit for cereal, Food technology, vol. 57(2003)7, 102-103
- [9] 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.
- [10] Grabowski, S, Marccote, M, Poirier, M, Kudra, T: Drying characteristics of osmotically pretreated cranberries - energy and quality aspects, Food research and development centre and CANMET energy technology centre, Canada, project report, 083 TR-J, 2002. pp.21.
- [11] 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.
- [12] Ražnjević, K: Termodinamičke tablice, Školska knjiga, Zagreb, 1975.
- [13] Sousa, P. H. M, Maia, G. A, Souzafilho, 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,
- [14] Stefanović, M., Urošević, M: Praktična primena osmotskog sušenja poljoprivrednih proizvoda, Revija "Agronomska saznanja", 5 (1995)1, s.2-7.
- [15] Taweekul, K, Sringam, S: Present status of rural-based food processing industry, Rural-Based Food Processing Industry, Asian Productivity Organization, 2001, p.132-140.
- [16] Wais, Natalia, Santos, M. Victoria, Agnelli, Miriam E., Mascheroni. R. H: Combined drying methods: osmotic dehydration prior to drying. Quality changes in the final product, X ELAVIO, Latin American Operations Research Summer School, Montevideo, Uruguay, 2004.

Primljeno: 13.03.2005.

Prihvaćeno: 17.03.2005.