

## ODRŽIVI ENERGETSKI MODEL PROIZVODNJE SUŠENOG VOĆA KOMBINOVANOM TEHNOLOGIJOM

### ENERGY SUSTAINABLE MODEL OF DRIED FRUIT PRODUCTION BY COMBINED TECHNOLOGY

Dr Mirko BABIĆ, dr Ljiljana BABIĆ, dr Snežana MATIĆ – KEKIĆ, Ivan PAVKOV, dipl.ing, mr Branislav KARADŽIĆ  
Poljoprivredni fakultet, 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8,  
e - mail: mbab@polj.ns.ac.yu

#### REZIME

Na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu razvija se tehnologija kombinovanog sušenja voća. Postupak se sastoji od osmotskog i konvektivnog sušenja. Postavljena su dva osnovna cilja. Prvi cilj je proizvodnja kvalitetnog proizvoda, a drugi je niska cena proizvodnje. Jedan od glavnih zadataka je istraživanje održivog energetskog modela proizvodnje sušenog voća. Hipoteza istraživanja je da je moguć ekonomičan model proizvodnje sušenog voća na bazi korišćenja solarne energije i energije koja nastaje sagorevanjem biomase iz voćarstva. U radu će biti prezentovani tehnički model i rezultati bilansiranja energije na bazi pomenutih obnovljivih izvora.

**Ključne reči:** osmotsko sušenje, sušeno voće, obnovljivi energetski izvori.

#### SUMMARY

New combine technology for fruits drying have been develop on Faculty of Agriculture. That friendly procedure is consists of osmotic and convective drying. Two main study objectives were settled down. The first goal is dried products of high quality develop by non-aggressive processing and second is low prize of production. So, en energetically sustainable model for fruits drying have to be involved. The study hypothesis is that it is possible to design effective model for dried biomaterials production on the usage of solar energy and heat energy by combustion of orchard residues. Possible technical solution is presented in this paper, as well as the results of necessary energy calculation for two mentioned sources.

**Key words:** osmotic drying, dried fruit, renewable energy sources.

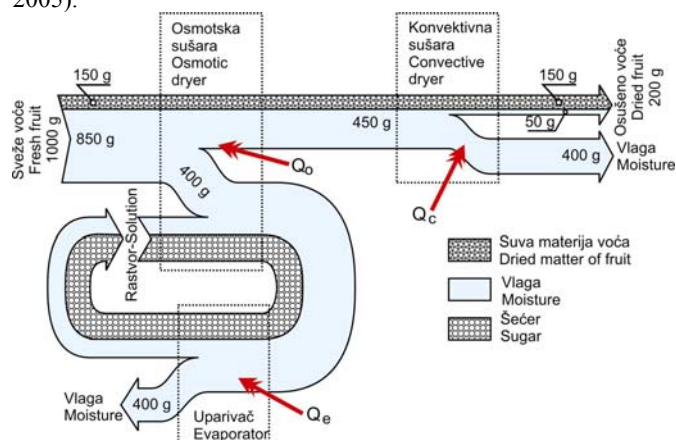
#### UVOD

Kao što se zna, tradicionalni model sušenja voća bio je u Srbiji zasnovan je na malim porodičnim sušarama za šljivu pre svega, ali i za kruške, a ponegde jabuke. Taj model bio je energetski održiv jer je počivao na biomasi kao energentu. Upotrebljavana je šumska biomasa. Model je imao mane u tehnološkom pogledu, jer je bio realizovan kao direktna sušara i bez adekvatnih tehnologija sprečavanja oksidacije voća. Promene u navikama potrošača, higijenski i zdravstveni razlozi su ovu tehnologiju eliminisali kao tehnologiju za tržište. Savremena proizvodnja sušenog voća zahteva "prijateljske tehnologije" (Babić, Ljiljana i sar, 2004,2005), ali i stabilanu i jeftinu energetsku podršku (Babić, M. i sar, 2004). Prethodni razlozi determinisali su razvojne ciljeve grupe istraživača sa Poljoprivrednog fakulteta iz Novog Sada. Osnovni cilj istraživanja je osvajanje "prijateljske tehnologije" u energetski održivom modelu proizvodnje. Kao odgovor na ovako postavljeni cilj koncipirana je kombinovana tehnologija sušenja voća uz podršku obnovljivih izvora energije. Istraživanje i razvoj energetskog sistema, zasnovanog na obnovljivim izvorima energije, mora se oslanjati na realnosti privrednog ambijenta i strukture okolne poljoprivrede. Postoji veliki broj raznolikih upotrebljivih tehničkih sistema koji mogu zadovoljiti potrebe navedene tehnologije, međutim, postavlja se pitanje koji od tih sistema obezbeđuje tržišnu prednost sa aspekta troškova investicije i eksploatacije.

#### MATERIJAL I METOD

Kombinovana tehnologija sušenja voća sastavljena je od osmotskog i konvektivnog sušenja. Osmotsko sušenje obavlja se u rastvoru šećera u vodi. Sušara sa lesama služi za konvektivno sušenje (Babić, Ljiljana i Babić, M, 2000). U obe etape sušenja potrebna je određena količina toplotne energije.

Analiza materijalnog bilansa zasnovana je na modelu voća vlažnosti 85% (u odnosu na vlažnu bazu). Ovaj model je blizak većini voćnih vrsta umereno kontinentalne klime (Enachescu Dauthy, Mircea, 1995). 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 et al, 2003; Grabowski et al, 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 (Wais, Natalia, Santos et al, 2004). Sopstvena iskustva pokazuju de je sušenje sa 85% na 75% vlažnosti prihvatljiva varijanta. Maseni bilans, za ovu varijantu, sa aspekta transfera vlage, prikazan je grafički na slici (sl. 1). Ovaj bilans, kao rezultat analize je osnova bilansiranja energije (Babić i sar, 2005).



Sl. 1. Maseni bilans kombinovanog sušenja voća (Babić M. i sar, 2005)

Fig. 1. Combined fruit drying mass balance (Babić M. et al, 2005)

U predloženoj kombinovanoj tehnologiji potrebno je dovesti toplotnu energiju u tri procesa. Najveća količina toplote dovodi se tokom konvektivnog sušenja ( $Q_C$ ). Drugo dovođenja toplote je neophodno za održavanje zadate temperature rastvora tokom osmotskog sušenja ( $Q_O$ ). Treća količina toplote potrebna je za uparavanje (ugušćivanje) rastvora šećera. Ova količina toplote treba da odvede vodu koja je iz voća dospela u rastvor. Ukupna količina toplotne energije u kombinovanoj tehnologiji je (Babić i sar, 2005):

$$Q_K = Q_C + Q_O + Q_e = 16.900 \text{ kJ/kg}_{\text{ suvog voća}}$$

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 sopstvenih istraživanja u razvoju osmotske sušare u budućnosti.

U ovom radu analiziraće se sopstvene koncepcije elemenata postrojenja i energetske sistem sa ciljem da se sintetizuje opšti model postrojenja koji će biti energetske racionalan i zadovoljiće zahteve energetske održivosti proizvodnje sušenog voća. Kriterijumi energetske održivosti su energetska autonomnost, harmonizacija sa Kjoto protokolom i niska konkurentna cena proizvoda. Ako se ima u vidu značajan udeo cene energenata u ovoj proizvodnji, onda je jasno da troškovi obezbeđenja toplotne energije za potrebe sušenja moraju biti niski, kako bi se ostvarila energetske održiva proizvodnja.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Osnovni energetske izvor kombinovane tehnologije je solarna energija. Dodatni izvor je energija iz biomase. Potrebno je projektovati jeftina i energetske efikasna postrojenja. Korišćenje solarne energije u domaćim uslovima često je trpelo neuspehe. Razlog tome je visoka specifična cena investicije. Autori ovog rada realizovali su veoma jeftin solarni zagrejač vazduha, koji je osnova za razvoj u budućnosti.

Kao što se sa slike vidi (sl. 2) on je izrađen od fleksibilnih orebrenih plastičnih cevi. Cena ovih cevi je manje od 0,5 €/m, za prečnik NO32 mm (spoljni prečnik je  $\Phi 33$  mm). Preliminarni rezultati testiranja rada ovog zagrejača 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.

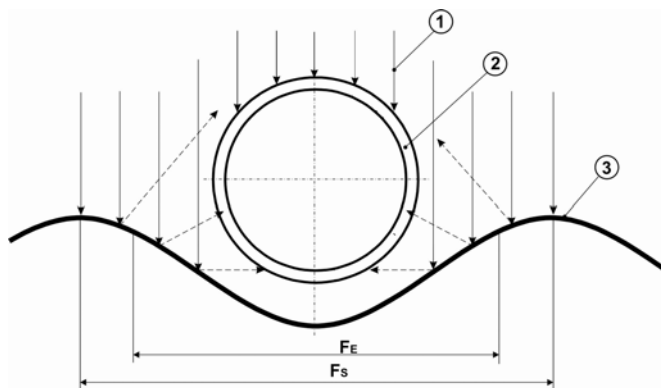
Sledeća etapa razvoja je modelovanje solarnog vazdušnog kolektora je iznalaženje načina da se projektuje energetske efikasniji prijem toplote energije. Koncentrisani prijemnik paraboličnog profila reflektujuće površine u čijoj žiži bi bila kolektorska cev kroz koju struji vazduh bi najbolje odgovarao zahtevu. Međutim, izrada takvog prijemnika bila bi, za sada, skupa. Analizirajući dostupne materijale na tržištu, koji se masovno koriste za prekrivanje (nadstrešnice, pomoćni objekti, šupe i sl) izabran je plastični talasasti prekrivač "Eval" ili talasasti prekrivač "Salonit". Ovi prekrivači koriste se kao reflektujuć, a fleksibilna orebrena plastična cev smešta se na način kako je to pokazano na slici (sl. 3). Odnos reflektujuće efektivne ( $F_E$ ) i ukupne površine ( $F_S$ ) definiše se kao koeficijent geometrijske efikasnosti ( $\eta_R$ ). Grafičkom analizom slučaja pomenutih cevi i "Eval" prekrivača dobijeno je:

$$\eta_R = \frac{F_E}{F_S} = 0,8 \text{ (80\%)}$$



Sl. 2. Solarni zagrejač vazduha  
Fig. 2. Air solar heater

Efikasnost apsorpcije dozačene energije zavisi od koeficijenta apsorpcije materijala cevi. Materijal cevi je PVC plastika, crne boje. Efektivnost prijema toplote je poboljšana zbog činjenice da je cev orebrena. Smeštanjem cevi u položaj prikazan na slici (sl. 3) obezbediće se viša temperatura zagrejanog vazduha zbog delimično koncentrisanih sunčevih zraka.

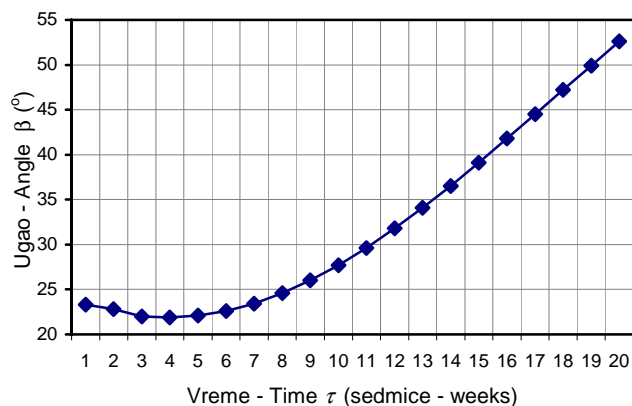


Sl. 3. Profil prijemnika Sunčevog zračenja  
(1 – Sunčevi zraci, 2 – orebrena cev i 3 – reflektujuća površina)  
Fig. 3. Solar radiation receiver profile  
(1-Solar ray, 2 – ribbed tube and 3 – reflection area)

Obavljena je i astronomska analiza položaja Sunca u odnosu na Novi Sad (geografska širina  $45^{\circ}20'$ ). Poznato je da bi efikasnost solarnog kolektora bila naveća ako bi se on stalno zakretao prema suncu. Takvi uređaji su razvijeni, ali oni su skupi. Sa druge strane, kada se ima u vidu cilj da pokriva ploča bude ujedno i nadstrešnica konvektivne sušare, tada se zakretanje ploče tokom dana odbacuje kao neekonomično. Međutim, moguće je tokom perioda sušenja povremeno zakrenuti ploči u skladu sa položajem sunca u zenitu. Cilj je da u tom momentu Sunčevi zraci budu normalni na ravan u kojoj se nalaze ose orebrenih cevi (osnovna ravan kolektora). Ako se to želi može se svakodnevno menjati ugao nagiba ove ravni, mada su u tom slučaju zakretanja veoma mala. Svrishodnije je jedanput nedeljno zakretati kolektor u skladu sa dijagramom zavisnosti ugla osnovne ravni kolektora u odnosu na horizontalu ( $\beta$ ) od vremena u periodu sušenja voća i povrća (Sl. 4). Na dijagramu je predstavljen period od 1. juna do 15. oktobra.

Ovako apsorbivana solarna energija obezbeđuje u sezonskom proseku više od 50% potreba za toplotnom energijom kombinovane tehnologije. Predviđa se korišćenje biomase kao energenta. U tu svrhu korišćiće se poznati modeli kotlovnih postrojenja za sagorevanje rezidbenih ostataka voćarstva i vinogradarstva ili bala slame soje i strnih žita.

Cena energije tokom perioda eksploatacije u ovoj tehnologiji veoma je niska i ona se svodi na troškove prikupljanja biomase.



Sl. 4. Ugao položaja osnovne ravni Sunčevog kolektora u odnosu na horizontalu tokom perioda sušenja

Fig. 4. Angle of basic solar collector surface position in regard horizontal level during drying period

## ZAKLJUČAK

Primena modela solarnog kolektora za zagrevanje vazduha za sušenje i uparavanje, koji je razmotren u radu, omogućiće značajno sniženje cene sušenja voća i povrća u originalnoj kombinovanoj tehnologiji, koja je razvijena na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu. Osnovni princip projektovanja solarnog zagrejača vazduha bio je zasnovan na postojećem modelu, koji je unapreden korišćenjem talasaste ploče u cilju postizanja delimičnog koncentrisanja Sunčevih zraka. Kompletni energetska model predviđa konvencionalno korišćenje biomase iz poljoprivrede kao dodatnog energenta.

*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: 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: Energetski aspekt sušenja kajsije, 7. kongres voćara Srbije i Crne Gore, zbornik radova, 2004.
- [6] Babić, M, Babić Ljiljana, Pavkov, I: Energetski i maseni bilans kombinovanog sušenja voća, PTEP - časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi 9(2005)3-4, s.54-56.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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,
- [11] Stefanović, M., Urošević, M: Praktična primena osmotskog sušenja poljoprivrednih proizvoda, Revija "Agronomska saznanja", 5 (1995)1, s.2-7.
- [12] 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: 14.11.2005.

Prihvaćeno: 14.11.2005.