

**UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET
INSTITUT ZA POLJOPRIVREDNU TEHNIKU
i
ZADRUŽNI SAVEZ SRBIJE**

18. Naučno stručni skup sa međunarodnim učešćem
AKTUELNI PROBLEMI MEHANIZACIJE POLJOPRIVREDE

*18th Scientific Conference
CURRENT PROBLEMS AND TENDENCIES
IN AGRICULTURAL ENGINEERING*

ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS

ISBN 978-86-7834-262-2

UDK 631 (059)

Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6
Zemun – Beograd, Republika Srbija
9.12.2016. godine

POTROŠNJA ENERGIJE PRI KONVEKTIVNOM SUŠENJU KOŠTIČAVOG VOĆA U KOMORNIM SUŠARAMA

Milovan Živković¹, Mirko Urošević¹, Vaso Komnenić²,
Miloš Pajić¹, Ivan Zlatanović¹

¹ *Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet Beograd-Zemun*

² *Visoka Poljoprivredna škola strukovnih studija Šabac u Šapcu*

SAŽETAK

Prenos vlage iz materijala zagrejanim agensom u okolinu pri kontaktu vlažnog materijala i agensa predstavlja proces konvektivnog sušenja. Sušenje plodova voća, kao vrste biljnih i termički osetljivih materijala, predstavlja veoma kompleksan termotehnički proces koji angažuje veliku količinu pre svega toplotne energije. Tehnički parametri sistema i termofizičke osobine materijala kvantitativno definišu energetske bilans procesa sušenja. U procesima sušenja pored toplotne energije angažuje se i drugi oblici, a najčešće električna. Vrste angažovane energije u postupku sušenja je pre svega uslovljena konstruktivnim rešenjima uređaja i načinom upravljanja procesom. U radu su dati pregledi rezultata eksperimentalnih ispitivanja utroška energije pri sušenju šljive prmenom tehničkih sistema koji po svojoj koncepciji koriste ekološki »čiste« oblike i obnovljive izvore energije. Dobijeni rezultati pokazuju utrošak pojedinih oblika energije, po jediničnoj količini osušenog proizvoda, što predstavlja specifičnu potrošnju.

Ključne reči: plodovi voća, sušenje, potrošnja energije, biljni materijal

ENERGY CONSUMPTION DURING CONVECTION DRYING OF STONE FRUITS IN CHAMBER DRIERS

Milovan Živković¹, Mirko Urošević¹, Vaso Komnenić²,
Miloš Pajić¹, Ivan Zlatanović¹

¹ *University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Belgrade, Serbia*

² *Agricultural High School, Šabac, Serbia*

ABSTRACT

The transfer of moisture from the material by heated agent to the surroundings during the contact of wet material and agent represents the process of convection drying. Drying of fruits as types of plant and thermally sensitive materials represents a very complex thermal-technical process that engages a high quantity of thermal energy in

¹ Kontakt autor: Milova Živković, e-mail: mzivko@agrif.bg.ac.rs

Napomena: Rad je deo istraživanja u okviru projekta TR 31051, finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

the first place. Technical parameters of the system and thermal-physical properties of the material define the energy balance of the drying process in terms of quantity. In addition to thermal energy, the drying process engages other forms of energy, most frequently electrical energy. The type of engaged energy during the drying process is conditioned by the structural design of the device and the process management method. This paper presents the results of experimental testing of energy consumption during plum drying by applying technical systems that based on their design use ecologically "clean" forms and renewable energy sources. The obtained results show the consumption of certain forms of energy per unit of quantity of the dried product, which represents specific consumption.

Key words: fruits, drying, energy consumption, plant material

UVOD

Stalno usavršavanje tehničko-tehnoloških postupaka, kojima se čuva voće potrebnog kvaliteta, daje mogućnost da se tokom cele godine plodovi voća koriste za ishranu. U praksi kao osnovni postupak čuvanja plodova primenjuje se termičko konzervisanje dehidracijom odnosno sušenje /1, 3/. Hemijski sastav koštičavog voća karakteriše veliko prisustvo vode koja omogućava odvijanje mnogih biotehničkih procesa i pojavu mikroorganizama, koji im ograničavaju postojanost u svežem stanju. Sušenje predstavlja veoma složen termofizički proces kretanja energije i materije kroz zapreminu sušenog materijala /2/.

Kvalitetan proces sušenja treba da omogući uklanjanje vlage iz plodova bez značajnije izmene nutritivnih vrednosti ploda /4, 6/. Smanjivanje količine vode na potrebnu vrednost sušenjem kao vrstom dehidracije, nastaju nepovoljni uslovi za razvoj izazivača kvara koga čine razne vrste mikroorganizama. Konzervisani plodovi sušenjem pored značajnog izvora energije koja je uvećana i do 3,5 puta, se po svojoj hranljivoj vrednosti, izjednačuje sa svežim voćem pre sušenja /5/ i sadrži gotovo sve materije koje se smatraju neophodnim za funkcionisanje ljudskog organizma.

Tehničkim rešenjima kojima se ostvaruje sušenje ima presudni uticaj na usavršavanje procesa, a imaju za cilj postizanje što boljeg kvaliteta i ekonomičnosti u voćarskoj proizvodnji /7/. Ako se čitav proces dovoljno mehanizuje i automatizuje /8/, što je slučaj kod agrarno razvijenih država, on postaje uprošćen tako da daje značajnu ekonomičnu proizvodnju sušenog voća.

Pored šljive kao standardnog voća za sušenje, kajsija takođe predstavlja pogodno koštičavo voće za tu vrstu konzervisanja. Plodovi kajsije namenjeni sušenju moraju pripadati odgovarajućem sortimentu kod koga plodovi imaju što više suve materije. Sušeni plodovi kajsije treba da poseduju prijatnu aromu, harmonični ukus i neizmenjenu boju, što zahteva adekvatnu pripremu plodova i kvalitetno sproveden proces sušenja. Domaća voćarska praksa ima skromna iskustva u sušenju kajsije i to uglavnom predstavlja novinu, što se pre svega odnosi na tehnološki deo koji čini adekvatnu pripremu plodova a ona se obavlja hemijskim tretmanima u odgovarajućim uređajima. Kada je ta oblast u pitanju, naša voćarska praksa se u najvećoj meri koristi inostranim iskustvima /5/. Ta iskustva ukazuju da proces sušenja plodova kajsije može biti zadovoljavajućeg

kvaliteta ako se ostvari sa sličnim režimom kao i za šljive, primenom istih tehničkih sistema. Proces konvektivnog sušenja se razlikuje u vremenu trajanja i dinamici odvođenja vlage što zahteva odgovarajuće režime sušenja definisani parametrima agensa.

MATERIJAL I METODE

U skladu sa definisanim programom, ostvarena su istraživanja procesa sušenja šljiva i kajsija eksperimentalnim putem. Eksperimentalno istraživanje je obuhvatilo procese sušenja šljive i kajsije na laboratorijskoj instalaciji za ispitivanja procesa sušenja i univerzalnoj prototipskoj sušari UVS-4² komornog tipa. Obavljana su ispitivanja potrošnje toplotne energije merenjem na osnovu vremenskog uključanja grejača, kao i merenjem preko potrošnje drveta. Potrošnja toplotne energije na osnovu entalpije i količine utrošenog vazduha nametnula je potrebu strujno tehničkih merenja tehnoloških parametra relevantnih za proces sušenja koštice voća. Posebno su analizirani: brzina sušenja, temperatura i protok zagrejanog vazduha, kao i specifična potrošnja energije.

Polazeći od činjenice da temperaturski režim predstavlja osnovne karakteristike procesa sušenja, eksperimentalna istraživanja sušenja šljive su koncipirana tako da obuhvate određeni broj merenja sa tri različita režima sušenja, prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Temperature agesa i vreme trajanja pojedinih faza
Table 1. Medium temperature and phases duration

FAZE <i>PHASE</i>	REŽIM SUŠENJA <i>DRYING REGIME</i>					
	I		II		III	
	Trajanje <i>Duration</i> [h]	Temper. agensa <i>Medium</i> <i>temperature</i> [°C]	Trajanje <i>Duration</i> [h]	Temper. agensa <i>Medium</i> <i>temperature</i> [°C]	Trajanje <i>Duration</i> [h]	Temper. agensa <i>Medium tempera-</i> <i>ture</i> [°C]
Predgrevanje <i>Preheating</i>	1	45	/	/	1	45
Prelazna faza <i>Transitional phase</i>	11	65	/	/	8	65
Pohladiavanje <i>Undercooling</i>	0,5	53	/	/	0,5	54
Intenzivno sušenje <i>Intensive drying</i>	7,5	73	20	73	10,5	73
Ukupno trajanje <i>Total duration</i>	20	-	20	-	20	-

Eksperimenti sušenja plodovima kajsije su obavljani sa stalnim režimom, tako da su tokom procesa sušenja temperatura i maseni protok agensa održavani na konstantnom nivou u meri koliko je bilo moguće postojećim instalacijama, obzirom na određene gubitke zbog izolacije i inertnost sistema.

² Prototipska sušara je originalni patent istraživačkog tima Instituta za poljoprivrednu tehniku poljoprivrednog fakulteta iz Zemuna u saradnji sa Institutom za proučavanje lekovitog bilja "Josif Pančić" iz Beograda.

Eksperimentalni uređaji

Laboratorijske univerzalne instalacije sa rasporedom termo parova sastoji se od sledećih funkcionalnih celina: elektromotor sa ventilatorom, "topli" kanal za pripremu vazduha, "hladni" kanal, merni kanal sa komorom za smeštaj materijala i odvodni kanal.

Kod merenja temperature vazduha i materijala korišćeni su termoparovi (Fe-Co) i živini termometri. Termoparovi su bili postavljeni na sledećim mestima kod eksperimentalnog uređaja: ispred ventilatora, na ulazu u komoru za sušenje, u materijalu (na 6 mesta) i iza komore (slika 1).

Utvrđivanje temperaturnih vrednosti u navedenim mestima (locirani termoparovi) ostvarena je uz pomoć računara HP 35731B povezanog preko akvizicione jedinice HP 3421A. Merene vrednosti istovremeno su prikazane na terminalu i zapisivane na papiru preko štampača.

Univerzalna prototipska komora sušare sastoji se od sledećih funkcionalnih celina: toplovodni kotao, razmenjivač toplote - zagrejač vazduha, aksijalni ventilatori za strujanje vazduha, komora za sušenje i sistem za regulisanje temperature vazduha.

Konstrukcija sušare smeštena je na pokretnu vučenu šasiju sa točkovima. Zidovi su izrađeni od pocinkovanog lima sa izolacijom od poliuretana debljine 30 mm.

Za obavljene ogleda na prototipskoj sušari, merenje temperaturnih vrednosti je ostvareno istim računarskim sistemom kao i kod laboratorijske sušare (računara HP 35731B povezanog preko akvizicione jedinice HP 3421A).

Svi dobijeni rezulta merenja po eksperimentima su obrađeni statističkom metodom "analiza greške merenja".

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Ostvareni rezultati merenja tokom eksperimenata predstavljaju relevantne parametre kojima se definiše potrošnja toplotne i električne enrgije u procesu sušenja šljiva, pri različitim režimima za oba tehnička rešenja sušara. Značajno je nepomenuti da potrošnja energije kod laboratorijske instalacije za obe vrste voća je u vidu električne energije koja se jednostavno transformiše i dobija se potrošnja toplotne energije.

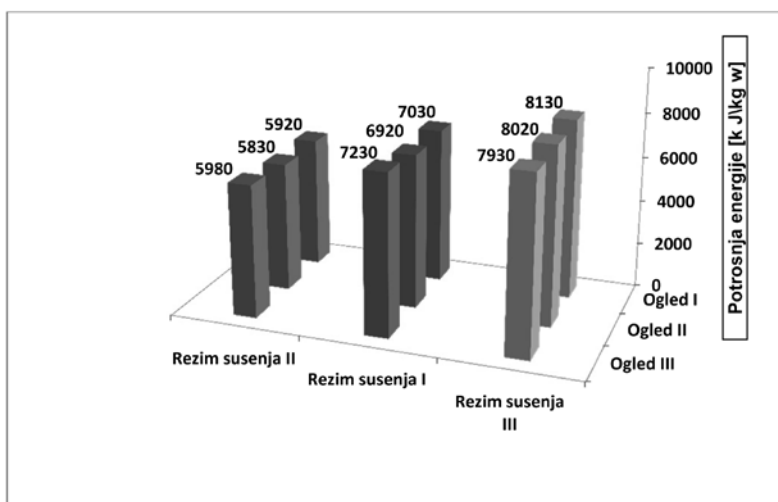
Specifična potrošnja toplotne energije

Racionalnost i ukupni ekonomski efekat kao i osnovni parametar koji definiše proces sušenje, je ukupna utrošena energija. Uspešnost svake tehnologije sušenja je najmanji utrošak energije i ostvarivanje potrebnog kvaliteta sušenih proizvoda.

Potrošnja energije je najpre određivana posredno, merenjem utroška ogrevnog drveta u toplovodnom kotlu, kod prototipske sušare, a na laboratorijskoj potrošnja električne energije utvrđena je na osnovu sistematski registrovanog vremenskog uključivanja segmenata predgrejača i dogrejača vazduha poznate snage. Drugi način utroška enegije je utvrđivan "računski", na osnovu promene entalpije vazduha pri zagrevanju u razmenjivaču toplote, kod prototipske sušare, odnosno na električnim grejačima, na laboratorijskoj instalaciji.

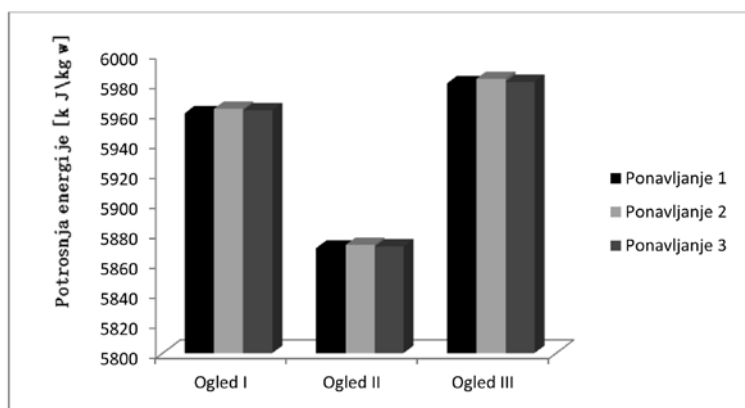
Potrošnja toplotne energije pri sušenju šljiva

Na osnovu promene entalpije određena je specifična potrošnja korisne energije, vlažnog vazduha kod eksperimenta sa plodovima šljive. Za obe vrste sušara prikazana je grafički (slike 1 i 2). Posmatranjem histograma (slika 1) uočava se značajna razlika u utrošku energije u pojedinim režimima sušenja. Međutim, razlike između eksperimenata za isti režim su neznatne i mogu se objasniti nepostojanjem identičnih uslova za sve eksperimente kao i greškama merenja tokom eksperimenta



Sl. 1. Potrošnja toplotne energije pri sušenju šljiva na laboratoriskoj sušari određene preko entalpije vazduha

Fig. 1. Energy consumption during plum drying by laboratory dryer specific enthalpy through the air



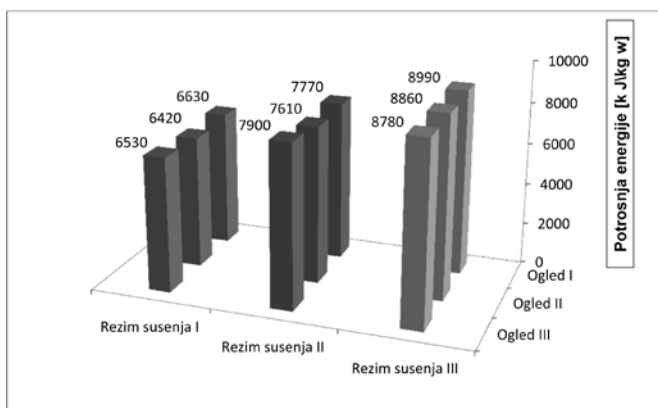
Sl. 2. Potrošnja toplotne energije pri sušenju šljive na prototipskoj sušari određena preko entalpije vazduha

Fig. 2. Energy consumption during plum drying the prototypical dryer specific enthalpy through the air

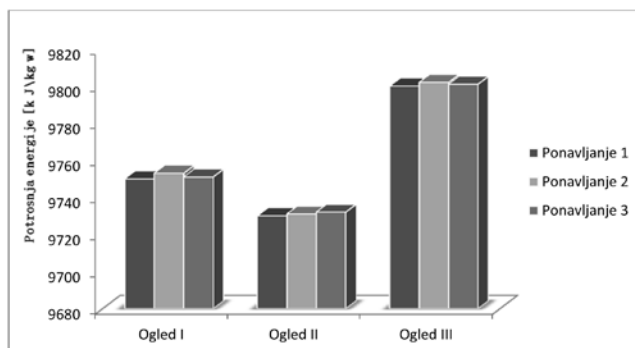
Nakon 16 časova sušenja, uporedna analiza eksperimenata prvog i drugog režima sušenja pokazuju da je utrošak energije približan i u proseku se kreće oko 6000 [kJ/kgw]. Analiza rezultata eksperimenata drugog i trećeg režima sušenja; oba procesa imaju isto trajanje, ali je potrošnja energije različita a razlika dostiže vrednosti i do 1200 [kJ/kgw], što se objašnjava činjenicom da su procesi sušenje ostvarivanom različitom dinamikom.

Specifična potrošnja energije, za eksperimente sa šljivom na prototipskoj sušari, određene na osnovu promene entalpije vazduha, prikazana je histogramom (sl.4), gde su uslovi približno isti drugom režimu sušenja, na laboratorijskoj sušari (sl. 3). Uпорednom analizom dijagrama uočava se razlika u utrošku energije, tako da je kod laboratorijske sušare, u proseku veća za oko 1000 [kJ/kg w].

Postojanje značajnih razlika specifične potrošnje toplotne energije za eksperimente kod različitih sušara pod približno istim uslovima se mogu objasniti činjenicom da je specifična potrošnja vazduha po kilogramu osušenih plodova kod laboratorijske sušare veća. Uzrok tome je svakako činjenica da je zapreminsko iskorišćenje komore za sušenje laboratorijske sušare znatno manje u odnosu na prototipsku tokom obavljanja eksperimenta.



Sl. 3. Stvarna potrošnja energije pri sušenju plodova šljive na laboratorijskoj sušari
 Fig. 3. The actual energy consumption in the drying plum the laboratory dryer



Sl. 4. Stvarna potrošnja energije pri sušenju plodova šljive na prototipskoj sušari
 Fig. 4. The actual energy consumption in the drying plum the prototypical dryer

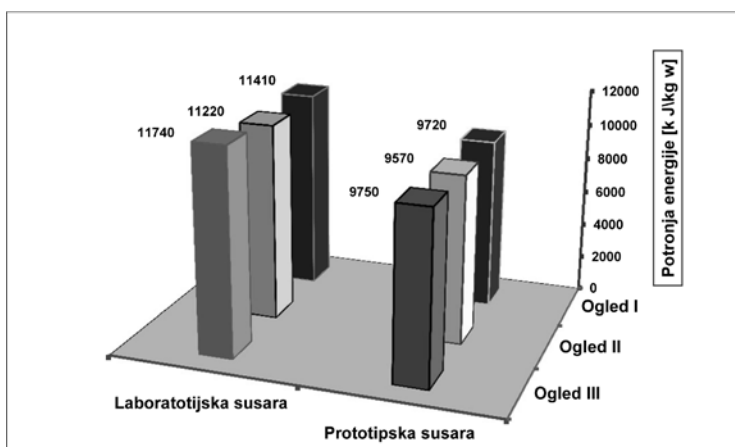
Rezultata prikazanim na slici 5 i 6 pokazuju da je kod laboratorijske sušare “stvarna” potrošnja energije, određena utroškom električne energije za zagrevanje vazduha, u odnosu na utrošak utvrđen preko entalpije vazduha za oko 10% veća. To se može objasniti činjenicom da je toplotna izolacija laboratorijske sušare, i pored kvalitetnog montiranja izolacionih obloga, ne sprečava u potpunosti toplotne gubitke o kojim se mora voditi računa prilikom utvrđivanja toplotnog bilansa.

Pri sušenju plodova šljive na prototipskoj sušari, eksperimentalno je utvrđena da potrošnja energije za pogon toplovodnog kotla se kretala i do 10000 [kJ/kg w]. Polazeći od činjenice da je toplotna moć drveta od 12000 [kJ/kg], može se zaključiti da postoje značajni gubici pri transformaciji i prenosu energije u uređajima za pripremu tople vode komorne sušare. Zatim, na povećanje ukupnih gubitaka u sušari uticala je nedovoljna izolacija poda i spojevi vrata komore za sušenje koji su posledica tehničkih nedostataka sišare.

Potrošnja toplotne energije pri sušenju kajsije

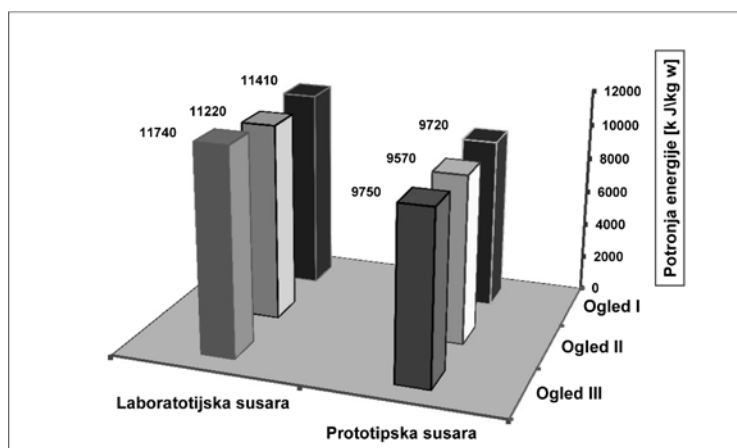
Razlike u procesima sušenja kajsije u odnosu na sušenje šljive se javljaju zbog različitih termofizičkih osobina i oblika sušenog materijala, nasipnoj masi, razlike u ostvarivanju relevantnog režima eksperimenata, dužine trajanja procesa i dr. Sve to utiče da potrošnja energije pri sušenju kajsije se razlikuje od potrošnje pri sušenju šljiva. Potrošnja energije dobijene na osnovu određivanja entalpije vazduha kod laboratorijske i prototipske sušare, pri sušenju kajsije prikazana je pomoću histograma (sl. 5).

Veća specifična potrošnja toplotne energije (sl. 6) pri sušenju na laboratorijskoj instalaciji u odnosu na komornu sušaru se objašnjava većom specifičnom potrošnjom vazduha. Veća potrošnja vazduha kod laboratorijske sušare je uslovljena prevashodno manjim stepenom iskorišćenja zapremine komore za sušenje i nešto većom brzinom njegovog protoka kroz komoru za sušenje.



Sl. 5. Potrošnja energije pri sušenju kajsija na oba tipa sušara definisane entalpijom vazduha za sušenje

Fig. 5. Energy consumption in the drying apricots on both types of dryers defined by the enthalpy of air for drying



Sl. 6. Stvarna potrošnja energije pri sušenju kajsija na laboratorijskoj i prototipskoj sušari
 Fig. 6. The actual energy consumption in the drying apricots laboratory and prototypical dryer

Dobijeni rezultati o specifičnoj potrošnji energije ukazuju da utrošak u procesu sušenja kajsija u odnosu na sušenje šljive je znatno veća. Uzrok tome je pre svega, termofizičke osobina plodova kajsije kao materijala. Pored toga u postupku pripreme plodova kajsija za sušenje, raspređuju se na površini lese sa manjom nasipnom gustoćom (tanji sloj) čime se dobija manje maseno opterećenje jedinične površine lesa odnosno površine za sušenje.

Eksperimenti ostvareni približno istim režimima pokazuju da odnos specifične potrošnje energije sušenja kajsija i šljiva, se kreće oko vrednosti 1,6. Prema literaturnim podacima ti odnosi se kreću i do 2,9 puta. Najveći uticaj na to ima režim sušenja, vrednost krajnje vlage sušenih materijala i trajanje procesa sušenja.

ZAKLJUČAK

Teorijska saznanja i praktična iskustva stečena tokom obavljenih eksperimentalnih ispitivanja ostvaren na dva različita tehnička sistema koja su specifični po svojoj koncepciji i načinu funkcionisanja, kao i korišćenju dve vrste plodova upućuju na nedvosmislene zaključke. Zaključcima se može konstatovati da:

- Termofizičke osobine i biološka svojstva plodova voća imaju presudni uticaj na definisanje procese sušenja kao i vreme njegovog trajanja.
- Parametri tehnološkog procesa sušenja definišu potrebne tehničke parametre sistema kojima se obavlja sušenje.
- Vremensko trajanje i režimi sušenja kojima se definiše dinamika procesa dehidracije su presudna za energetski bilans celog tehničkog sistema.
- Kvalitet i postupci pripreme plodova za sušenje ima značajan uticaj, pored kvaliteta i na potrošnju energije.
- Plodovi kajsije zahtevaju delikatu pripremu koja podrazumeva odgovarajući hemijski tretman. Za njihovo sušenje ostvaruje se veća specifična potrošnja energije.

- Komore objekata za sušenje pored dobrih termičkih svojstava u pogledu izolacije treba da imaju što veći stepen iskorešćenosti prostora.
- bi se istovremeno obezbedila racionalna potrošnja energije i kvalitet osušenih plodova, neophodna je adekvatna usklađenost odnosa između temperature agensa sušenja i vremena trajanja procesa.

LITERATURA

[1] Antonijević, D., Voronjec, D. 1992. Kretanje vlaga unutar materijala tokom procesa sušenja sa konduktivnim dovođenjem toplote, "Procesna tehnika", Beograd, br. 2 - 3, st. 318-321,

[2] Bogner, M., Vasiljević, B. 1986. Osnovi teorije i tehnike sušenja, Procesna tehnika 2 i 3, 77-85 i 69-78.

[3] Bu-Xuan Wang. 1987. Heat transfer Science and Technology, Hem. Pub. Cop., Washington,.

[4] Marković, V. 1995. Tehnologija sušenja, prerada i pakovanje suvih šljiva, Beograd.

[5] Živković, M. 1998. Određivanje optimalnih parametara tehničko-tehnoloških sistema za sušenje koštičavog voća, Doktorska disertacija, Beograd.

[6] Живковић, М., Коси, Ф. 2005. *Кинетика сушења коштичавог воћа*, IX DPT, Актуелни проблеми механизације пољопривреде, Пољопривредна техника, година XXX, број 3, стр. 71-79.

[7] **Živković, M.**, Zarić, V., Radojević, R. 2006. Analiza ekonomskih efekata sušenja voća korišćenjem različitih tehničkih rešenja, ПТЕП, часопис за процесну технику и енергетику у пољопривреди, Вол. 10; 1-2, Novi Sad, str. 26 - 28

[8] Živković, M., Ećim-Đurić, Olivera, Topisirović, G. 2011. Numerička simulacija matematičkog modela sušenja šljive. Savremena poljoprivredna tehnika, Vol. 37, br. 3., Novi Sad, p.p. 235 - 244.