

## Kinetika sušenja jabuke sorte Granny Smith u laboratorijskim uslovima

Dragana Paunović, Branislav Zlatković, Dušica Mirković

Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, 11080 Zemun-Beograd, Srbija  
E-mail: draganap@agrif.bg.ac.rs

Primljeno: 24. februara, 2011; prihvaćeno: 4. maja, 2011,

**Rezime.** Poslednjih decenija na svetskom tržištu postoji veliko interesovanje za sušene proizvode od jabuke (marketinški nazvane čips od jabuke). U ovom radu je izučavana kinetika sušenja jabuke sorte Granny Smith u laboratorijskom dehidratoru sa idejom da se uoči pri kojim sadržajima vlage dolazi do postizanja maksimalne brzine isparavanja i pri kojoj vlažnosti kolotovi jabuke počinju da menjaju boju i geometrijski oblik. Primljena su dva temperaturna režima sušenja: šaržni (konstantna temperatura vazduha od 70 °C u trajanju od 8 h) i simulirani kontinualni (temperatura vazduha od 70 °C u trajanju od 3 h i temperatura vazduha od 50 °C u trajanju od 5 h). Količina isparene vode je izražena u relativnim i apsolutnim jedinicama mere.

Cilj ovog rada je da se optimizuje tehnološki postupak sušenja kolotova jabuke tako da se, sa aspekta oksidacije polifenolnih jedinjenja, pronađe adekvatni temperaturni režim koji omogućava da gotov proizvod ne sadrži aditive, a da je tehnološki i organoleptički prihvatljiv.

Rezultati su pokazali da se pri simuliranom kontinuelnom načinu sušenja postiže manja maksimalna brzina, sušenje je ravnomernije i da se na taj način tehnološki postupak vrši sa manjim temperaturnim stresom za biljno tkivo što rezultira mnogo boljim kvalitetom gotovog proizvoda.

**Ključne reči:** jabuka, sorta Granny Smith, sušenje, kinetika sušenja

### Uvod

Veoma povoljni agroekološki uslovi našeg podneblja omogućavaju uspešnu proizvodnju kvalitetnih plodova različitih sorti jabuke. Sorta Granny Smith je stara australijska sorta, otkrivena oko 1868. godine, a u našu zemlju (Institut za voćarstvo u Čačku) uneta je sredinom sedamdesetih godina XX veka (Mišić, 1994).

Plod sadrži 3,0% glukoze, 5,1% fruktoze, 1,2% saharoze, 0,94% ukupnih kiselina (Mišić, 1994), pektin, tanin, vitamin C, mineralne materije i značajnu količinu karotenoida, amino kiselina i druge biološki vredne supstance (Veličković, 2006). Na osnovu sadr-

žaja fenolnih jedinjenja, antioksidanata i antiproliferativnih aktivnosti analizirani metodama spektrofotometrije, HPLC, DPPH, ESR, potvrđeno je da je jabuka sorte Granny Smith vredan izvor antioksidanasa i antikancerogenih nutrijenata (Savatović et al., 2008).

Konzervisanje namirnica sušenjem je jedan od najstarijih načina očuvanja namirnica u tehnološkom, mikrobiološkom i nutritivnom smislu (Niketić-Aleksić, 1994). Srbija ima značajne mogućnosti za industrijsko sušenje voća i povrća.

Cilj ovog rada je da proces optimizacije sušenja jabuke počne modeliranjem procesa u laboratorijskim uslovima, i to utvrđivanjem brzine gubitka vode iz ko-

lutova jabuke, ali ne samo u funkciji vremena (takva analiza može da ukazuje samo na rad sušare), već kako se menja brzina isparavanja vode u relativnim i apsolutnim jedinicama mere (u % i kg) u zavisnosti od trenutne vlažnosti jabuke, kao što je ispitano za malinu u radu Paunović *et al.* (2006).

## Materijal i metode

U eksperimentu su korišćene jabuke sorte Granny Smith nabavljene preko Instituta za voćarstvo i vinogradarstvo Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu. Jabuke nisu ljuštene, sečene su na kolutove debljine 6 mm, zadržana je semena loža, a semenke su mehanički odstranjene. Konvektivni način sušenja (sušenje strujanjem zagrejanog vazduha u kontrolisanim i podešenim uslovima) je izvršen u laboratorijskoj sušnici Stöckli (Sl. 1). Dehidrator raspolaže sopstvenim termostatom koji kontroliše rad grejača od 600 W i održava zadatu temperaturu vazduha.

Kolutovi su ređani na 3 lese laboratorijskog dehidratora, po 500 g na svaku lesu. Kinetika sušenja je praćena kroz dva temperaturna režima:

uzorak A – 8 h na temperaturi od 70 °C

uzorak B – 3 h na temperaturi od 70 °C i 5 h na temperaturi od 50 °C



Sl. 1. Laboratorijski dehidrator Stöckli sa tri lese  
*Laboratory dehydrator Stöckli with three mesh trays*

Na svakih 60 min uziman je uzorak jabuke (svaki uzorak je izabran metodom slučajnog uzorkovanja pri čemu je u cilju smanjenja eksperimentalne greške sa svake lese uzimana određena količina uzorka). Gravimetrijskom metodom određen je sadržaj vlage u svakom uzorku, pri čemu je merena:

$m_1$  - masa praznog vegeglasta (posudica za merenje sa brušenim poklopcem);

$m_2$  - masa vegeglasta sa vlažnim uzorkom;

$m_3$  - masa vegeglasta sa uzorkom nakon sušenja u sušnici na 105 °C do konstantne mase.

Sadržaj vlage (vlažnost) je izražavan kao udeo vlage u vlažnim kolutovima jabuke ( $w$ ) i udeo vlage u gramima koju vezuje 1 g suve materije uzorka ( $u$ ). Ove vrednosti su računane preko relacija:

$$w = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \times 100; \quad u = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \quad \text{ili} \quad u = \frac{w}{100 - w}$$

gde je:  $w$  - udeo vlage u vlažnim kolutovima jabuke (%);  $u$  - količina vlage koju veže 1 g suve materije jabuke (g/g).

Eksperiment je izveden tako da se prati brzina sušenja kolutova jabuke i da se izrazi kao brzina promene udela vlage u vlažnom materijalu u zavisnosti od trenutne vlažnosti ( $\frac{dw}{d\tau}$ ;  $w$ ).

## Rezultati i diskusija

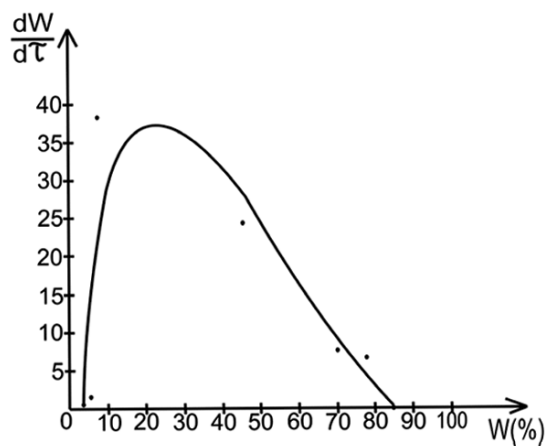
Rezultati određivanja sadržaja vode u jabuci tokom sušenja na oba temperaturna režima i brzina isparavanja vode iz kolutava jabuke [smanjenje vlažnosti materijala tokom vremena ( $\Delta w/\Delta t$ )] prikazani su u tabeli 1.

Na osnovu ovih rezultata dati su grafici zavisnosti brzine sušenja od trenutne vlažnosti jabuke pri različitim temperaturnim režimima (Graf. 1 i 2).

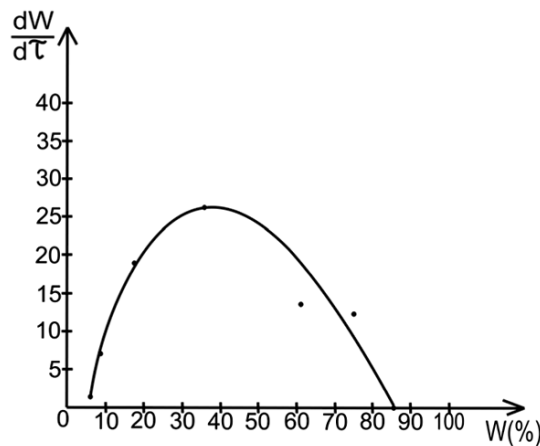
Očigledno je da se pri drugom načinu sušenja postiže manja maksimalna brzina sušenja. Samim tim je i smanjenje brzine nakon postizanja maksimuma umećenije (ravnomernije sušenje). Na taj način sušenje se vrši sa manjim temperaturnim stresom za biljno tkivo što rezultira mnogo boljim kvalitetom gotovog proizvoda. Brzina sušenja raste i dostiže maksimum pri sadržaju vlage 8,5% u uzorku A i 35,9% u uzorku B, nakon čega brzina sušenja opada.

Tab. 1. Sadržaj vlage u kolutovima jabuke ( $w$ ) i brzina isparavanja vode tokom sušenja ( $\Delta w/\Delta \tau$ ) na oba temperaturna režima  
*Humidity content in apple slices ( $w$ ) and speed of water evaporation ( $\Delta w/\Delta \tau$ ) during drying on both temperature regime*

Vreme/Time (h)	Uzorak A/Sample A		Uzorak B/Sample B	
	$w$ (%)	$\Delta w/\Delta \tau$ (%/h)	$w$ (%)	$\Delta w/\Delta \tau$ (%/h)
0	85,0	0	86,8	0
1	77,9	7,1	74,6	12,2
2	70,4	7,5	61,1	13,5
3	45,9	24,5	35,9	25,2
4	8,5	37,4	17,6	18,3
5	6,2	2,3	16,5	1,1
6	6,1	0,1	9,5	7,0
7	5,2	0,9	9,0	0,5
8	4,8	0,4	7,6	1,4



Graf. 1. Promena brzine sušenja u zavisnosti od trenutne vlažnosti jabuke (8 h, 70 °C)  
*Changes in speed of drying depending of apple humidity (8 h, 70 °C)*



Graf. 2. Promena brzine sušenja u zavisnosti od trenutne vlažnosti jabuke (3 h, 70 °C i 5 h, 50 °C)  
*Changes in speed of drying depending of apple humidity (3 h, 70 °C and 5 h, 50 °C)*

Značajno je utvrditi i stvarni gubitak vlage iz kolutova jabuke prema sledećoj formuli:

$$W = G \left(1 - \frac{C_1}{C_2}\right)$$

gde je  $W$  - količina isparene vlage ( $kg$ );  $G$  - početna količina voća ( $kg$ );  $C_1$  - sadržaj suve materije u svežem uzorku (%);  $C_2$  - sadržaj suve materije u uzorku nakon sušenja (%).

Sveža jabuka je imala 15,0% ukupne suve materije u uzorku A i 13,2% ukupne suve materije u uzorku B. Sušena jabuka je imala 95,2% ukupne suve materije u uzorku A i 92,4% ukupne suve materije u uzorku B. Iz 100  $kg$  plodova isparilo je 84,243  $kg$  vode tokom prvog temperaturnog režima i 85,714  $kg$  tokom drugog temperaturnog režima.

$$\text{Uzorak A} \quad W = 100 \times \left(1 - \frac{15,0}{95,2}\right) = 84,243 \text{ kg}$$

$$\text{Uzorak B} \quad W = 100 \times \left(1 - \frac{13,2}{92,4}\right) = 85,714 \text{ kg}$$

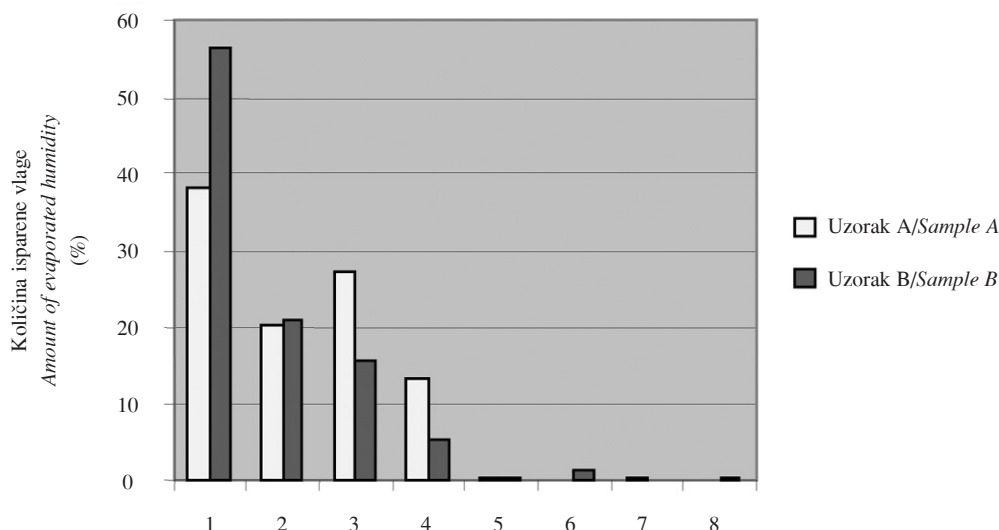
Kako je sušenje trajalo 8 sati, to znači da prosečan gubitak vlage svakog sata iznosio oko 10,53  $kg$  u uzorku A i 10,71  $kg$  u uzorku B. Kako bi se izvršila procentualna raspodela ove isparene količine vlage tokom vremena, njen sadržaj se izražava u odnosu na suhu materiju. U tabeli 2 su prikazani podaci za preračunate vrednosti sadržaja vlage u odnosu na suhu materiju ( $u$ ) i količine isparene vlage u  $kg$  tokom svakog sata sušenja (uz početnu pretpostavku da je u sušari bilo 100  $kg$  jabuke).

Tab. 2. Sadržaj (udeo) vlage u odnosu na suhu materiju i masa isparene vlage iz 100 kg jabuka tokom sušenja u laboratorijskim uslovima  
*Amount of humidity related to dry matter content and mass of evaporated humidity from 100 kg of apple in laboratory conditions*

Vreme Time (h)	Uzorak A/Sample A		Uzorak B/Sample B	
	Vlažnost Humidity (g g <sup>-1</sup> )	Isparena vlaga W Evaporated humidity (kg)	Vlažnost Humidity (g g <sup>-1</sup> )	Isparena vlaga W Evaporated humidity (kg)
0	5,6667	0	6,5757	0
1	5,1933	32,13	5,6515	48,03
2	4,6933	17,19	4,6288	18,04
3	3,0600	22,95	2,7197	13,34
4	0,5667	11,34	1,3333	4,57
5	0,4133	0,4	1,2500	0,21
6	0,4067	0,01	0,7197	1,22
7	0,3467	0,16	0,6818	0,08
8	0,3200	0,06	0,5757	0,22
Σ	–	84,24	–	85,71

Ovakav odnos pokazuje da se u uslovima konvektivnog sušenja najveća količina slobodne vode gubi u prva tri sata sušenja, a tokom nastavka tehnološkog postupka ta količina se znatno smanjuje (Graf. 3). Nakon prvog sata sušenja isparilo je 38,14% slobodne vode u uzorku A i 56,03% slobodne vode u uzorku B. Nakon drugog sata sušenja gubitak slobodne vode u odnosu na ukupno isparenu vodu je iznosio 20,41% u uzorku A i 21,05% u uzorku B. Nakon trećeg sata sušenja isparilo je 27,24% slobodne vode u uzorku A i 15,56% slobodne vode u uzorku B. Nakon

četvrtog sata isparilo je 13,46% slobodne vode u uzorku A i 5,33% slobodne vode u uzorku B. Nakon petog sata isparilo je 0,47% slobodne vode u uzorku A i 0,25% slobodne vode u uzorku B. Nakon šestog sata isparilo je 0,01% slobodne vode u uzorku A i 1,42% slobodne vode u uzorku B. Nakon sedmog sata isparilo je 0,19% slobodne vode u uzorku A i 0,09% slobodne vode u uzorku B. Nakon poslednjeg, osmog sata sušenja isparilo je 0,07% slobodne vode u uzorku A i 0,26% slobodne vode u uzorku B. Tokom prva tri sata sušenja ukupno je isparilo 85,79% slobodne vode u



Graf. 3. Količina isparene vlage tokom 8 h sušenja na oba temperaturna režima  
*Amount of evaporated humidity during 8 h drying on both temperature regime*

uzorku A i 92,65% slobodne vode u uzorku B. Kako su prva tri sata sušenja kod oba režima izvedena na istoj temperaturi, a kako je gubitak vlage veći kod uzorka B, izvodi se zaključak da je to zbog većeg početnog sadržaja vlage, tj. manjeg sadržaja suve materije u uzorku B. Na grafikonu 2. je prikazana količina isparene vlage tokom 8h sušenja na oba temperaturna režima.

Na slikama 3. i 4. prikazane su promene boje i geometrije kolutova jabuke tokom sušenja. Uzorak A je počeo da tamni i ivice su počele da se povijaju pri sadržaju vlage od 45,9%, a tokom daljeg sušenja uzorak je još više tamneo (potpuna oksidacija polifenola) i ivice su se potpuno povile. Uzorak B je počeo da tamni i ivice su počele da se povijaju pri sadržaju vlage od 35,9%, a tokom daljeg sušenja (temperatura je smanjena na 50 °C) uzorak je neznatno tamneo i ivice su se mnogo manje povijale nego kod uzorka A.

Kinetiku potamnivanja jabuke sorte Granny Smith i uticaj vlažnosti materijala na reakciju tamnjenja proučavali su Voegel-Turenne *et al.* (1999) prateći

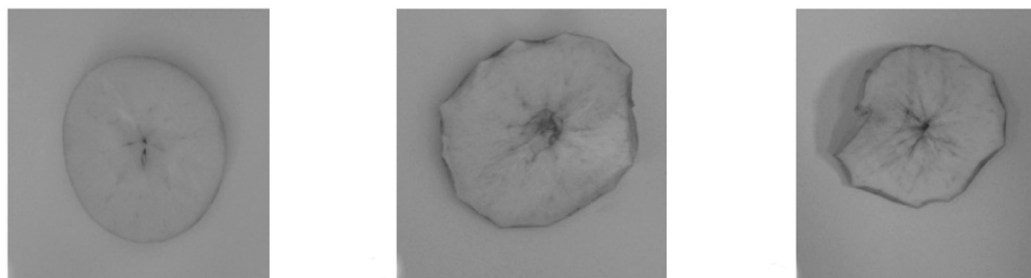
tamnjenje jabuke (sečene u oblike paralelopipeda dimenzija 0,5 x 1 x 1 cm) na temperaturama od 40 °C–90 °C. Zaključili su da je kritična temperatura za tamnjenje jabuke od 55 °C–72 °C (što je u skladu sa zaključcima u ovom radu) i da se period indukcije (početni period kada nema tamnjenja) smanjuje povećanjem temperature.

## Zaključak

Konvektivno sušena jabuka može da pruži zadovoljavajući kvalitet. Iz priloženog se može zaključiti da je drugi temperaturni režim, koji simulira konvektivni istostrujni tok sušenja (3 h na 70 °C i 5 h na 50 °C), mnogo prihvatljiviji sa stanovišta izgleda gotovog proizvoda. Jabuka sušena na ovom temperaturnom režimu manje je tamnela i imala manje povijene ivice od jabuke sušene na temperaturi od 70 °C u trajanju od 8 h. Jabuka je počela da tamni i menja geometrijski oblik pri sadržaju vlage od 45,9% pri prvom temperatur-



Slika 3. a) Uzorak jabuke neposredno pre sušenja; b) nakon 3 h sušenja na 70 °C; c) nakon 8 h sušenja na 70 °C  
a) Apple sample before drying; b) after 3 h drying on 70 °C; c) after 8 h drying on 70 °C



Slika 4. a) Uzorak jabuke neposredno pre sušenja; b) nakon 3 h sušenja na 70 °C; c) nakon 8 h sušenja (3 h na 70 °C i 5 h na 50 °C)  
a) Apple sample before drying; b) after 3 h drying on 70 °C; c) after 8 h drying (3 h on 70 °C and 5 h on 50 °C)

nom režimu, i pri sadržaju vlage od 35,9% u drugom temperaturnom režimu. Najveći deo slobodne vode ispario je u prva 3 sata sušenja tokom oba temperaturna režima. Prateći kinetiku sušenja kolutova jabuke zaključuje se da je brzina sušenja rasla i dostigla maksimum pri sadržaju vlage 8,5% pri prvom temperaturnom režimu i 35,9% pri drugom temperaturnom režimu, nakon čega je brzina sušenja počela da opada. Očigledno je da se pri drugom načinu sušenja postigla manja maksimalna brzina sušenja, samim tim je i smanjenje brzine nakon postizanja maksimuma umećenije (ravnomernije sušenje). Na taj način sušenje se vrši sa manjim temperaturnim stresom za biljno tkivo što rezultira mnogo boljim kvalitetom gotovog proizvoda.

## Literatura

- Mišić P. (1994): Jabuka. Nolit, Beograd.
- Niketić-Aleksić G. (1994): Tehnologija voća i povrća. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd–Zemun.
- Paunović D., Zlatković B., Janković M., Mašović S. (2006): Kinetika sušenja malina u laboratorijskim uslovima. *Voćarstvo*, 40, 156: 389–396.
- Savatović S.M., Četković G.S., Đilas S.M., Tumbas V.T., Čanadonović-Brunet J.M., Četojević-Simin D.D., Mandić A.I. (2008): Antioxidant and antiproliferative activity of Granny Smith apple pomace. *Acta Periodica Technologica*, 39: 201–212.
- Veličković M. (2006): *Voćarstvo*. Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- Voegel-Turenne C., Mahfouz M., Allaf K. (1999): Three models for determining the induction time in the browning kinetics of the Granny Smith apple under static conditions. *Journal of Food Engineering*, 41: 133–139.

**THE KINETICS OF THE APPLE CV. GRANNY SMITH DRYING IN LABORATORY CONDITIONS****Dragana Paunović, Branislav Zlatković, Dušica Mirković**

*University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, 11080, Zemun-Belgrade, Serbia  
E-mail: draganap@agrif.bg.ac.rs*

**Abstract**

In the last decade on the world market there is a great interest in dried apple products (publicity-called apple chips). The subject of this paper is the kinetics of the apple cv Granny Smith drying in laboratory dehydrator with the idea of pinpointing at which level of humidity comes to achieving a maximum speed of evaporation and at which level of humidity apple slices are beginning to change in color and geometric shape. The experiment included two temperature regimes of drying, batch process (constant air temperature of 70°C for a period of 8h) and simulated continual process (the air temperature of 70°C for a period of 3 h and the air temperature of 50°C for a period of 5 h). The amount of evaporated water is expressed in relative and absolute units of measure.

The purpose of this paper is to optimize the technological process of drying apple slices and in terms of oxidation of polyphenolic compounds to find an adequate temperature treatment which will provide that the final product contains no additives and to be technologically and organoleptically acceptable.

The results showed that in simulated continual process of drying the lower maximum speed of drying is achieved, drying is more evenly and in this way the technological process is finished with a smaller temperature stress for plant tissue, resulting in a much better quality of the final product.

**Key words:** apple, cv Granny Smith, drying process, the kinetics of the drying process