

PRIKAZIVANJE KINETIKE SUŠENJA ŠLJIVE RAZLIČITIM VARIJANTAMA KRIVIH SUŠENJA

Kandić Miodrag¹, Mitrović Olga¹, Popović Branko¹

Izvod: U ovom radu prikazani su eksperimentalni rezultati ispitivanja kinetike sušenja plodova šljive sorte Čačanska rodna. Parametri agensa sušenja su održavani konstantnim u toku trajanja procesa sušenja. Ispitivanja kinetike sušenja šljive vršena su za različite karakteristike svežih plodova (masa plodova, sadržaj suve materije plodova, sadržaj koštice u plodovima), koje utiču na vreme sušenja, ponašanje plodova u toku procesa sušenja i kvalitet suve šljive. Usvojeni metod ispitivanja kinetike procesa sušenja omogućava stalno praćenje promena masa i vlažnosti plodova na svakoj lesi u toku procesa sušenja. Konstatovano je da kinetika procesa sušenja plodova sorte Čačanska rodna, pri konstantnim parametrima agensa sušenja, zavisi od karakteristika svežih plodova.

Ključne reči: Sorta Čačanska Rodna, karakteristike plodova, krive sušenja, kinetika sušenja.

Uvod

Cilj savremene proizvodnje sušene šljive je dobijanje finalnog proizvoda vrhunskog kvaliteta od sorti pogodnih za sušenje po poboljšanim tehnološkim postupcima, a u skladu sa zahtevima tržišta. Kod izbora sorti za sušenje mora da se vodi računa o tehnološkim svojstvima svežih plodova, kako bi se dobili sušeni plodovi visokog kvaliteta, koji imaju odgovarajući izgled, boju, konzistenciju, ukus i miris. Svaka od tehnoloških osobina svežih plodova utiče više ili manje na kvalitet sušene šljive i ako samo jedna od tih osobina ne zadovoljava, to će uslediti pogoršanje kvaliteta sušene šljive (Mitrović i sar., 2007).

Najzastupljeniji i najrasprostranjeniji način sušenja šljiva je konvektivno sušenje, koji se i danas u Srbiji najviše primenjuje i kod kojeg se isparavanje vode vrši pomoću zagrejanog vazduha. Proces konvektivnog sušenja je simultani proces prenosa toplote i mase. Šljiva je prirodni biološki materijal u kojem su prisutni razni oblici veze vlage i materijala. Zato je to složen termodifuzioni proces u kome uklanjanje vlage u toku procesa sušenja dovodi do promena u strukturi i drugih fizičko-hemijskih osobina materijala, od kojih zavisi i kvalitet osušenih plodova. To znači da tehnologija sušenja plodova šljiva uopšte nije jednostavna, već vrlo složena i kompleksna, odnosno ne znači da se svakim postupkom konvektivnog sušenja mogu dobiti kvalitetno osušeni plodovi. Zato izbor odgovarajućeg tehnološkog postupka, tj definisanje tehnologije konvektivnog sušenja predstavlja rezultat kompleksnih istraživanja (Kandić i sar., 2007).

¹ Institut za voćarstvo - Čačak, Kralja Petra I 9, Čačak, Srbija (kandicm@ftn.kg.ac.rs)

Ispitivanja kinetike procesa sušenja šljive, kako u svetu tako i u našoj zemlji, obavljaju se u eksperimentalnim laboratorijskim ili poluindustrijskim („pilot”) uređajima (Barbanti et al., 1994; Newman et al., 1996; Sabarez et al., 1997; Di Mateo et al., 2002; Di Mateo et al., 2003; Goyal et al., 2007; Kandić i sar., 2007; Kandić i sar., 2009; Mitrović et al., 2013).

Cilj ovog rada bio je da prikaže i uporedi različite varijante krivih sušenja za ispitivanje kinetike procesa konvektivnog sušenja šljiva, radi izbora najpogodnije varijante krive sušenja za prikazivanje i analiziranje kinetike procesa sušenja.

Materijal i metode rada

Kao materijal za sušenje u eksperimentima su korišćeni plodovi šljive sorte Čačanska rodna sa lokaliteta Preljinsko brdo kod Čačka, brani u stadijumu tehnološke zrelosti za sušenje u toku jedne godišnje sezone. Sorta šljive Čačanska rodna je sorta stvorena u Institutu za voćarstvo – Čačak i ispitivana kao sorta šljive kombinovanih svojstava koja ima višenamensku primenu (Mitrović i sar., 2007).

U ovom radu prikazana su ispitivanja vršena na eksperimentalnoj sušari za ispitivanje kinetike procesa konvektivnog sušenja (Kandić i sar., 2007). Najvažniji segment ovog uređaja predstavlja komora sušare sa lesama. Na prednjoj strani komore su vrata sa staklom, koje omogućava da se tokom ispitivanja mogu vizuelno pratiti promene na plodovima. Plodovi šljive stavljeni su na svaku lesu u jednom sloju, a lese sa plodovima stavljenе su u komoru za sušenje jedna iznad druge šaržno, na početku procesa sušenja. Kroz postavljene lese sa plodovima vertikalno prostrujava zagrejan vazduh definisanih karakteristika (Kandić i sar., 2009).

Ispitivanja su obuhvatala merenja i određivanja osnovnih parametara plodova pre sušenja: merenje mase plodova i mase koštica u plodovima, određivanje masenog udela koštice u plodovima izračunavanjem na osnovu mase plodova i mase koštica i merenje početnog sadržaja (maseni udeo) suve materije u svežim plodovima. U svim eksperimentima ukupna masa svežih plodova na svakoj od lesa imala je približno istu vrednost: cca 3.500 g. Ukupna količina – neto masa svežih plodova šljive na svih 6 lesa iznosila je oko 21 kg, što predstavlja kapacitet ove eksperimentalne sušare.

Eksperimenti se obavljaju tako što se na lese stavljaju plodovi šljive istih ili različitih karakteristika, a ispitivanja se vrše tako da se u sistemu uvek nalazi svih 6 punih lesa sa ispitivanim plodovima šljive, postavljenih jedna iznad druge. Svaka pojedinačna lesa sa plodovima predstavlja jedan pojedinačan eksperiment. Šest lesa sa plodovima predstavljaju 6 pojedinačnih eksperimenata, ali istovremeno predstavljaju i jedan zbirni eksperiment za ispitivanje celog sistema, kao višeslojnog modela za simultano praćenje 6 pojedinačnih eksperimenata. Na nekim lesama (u nekim pojedinačnim eksperimentima) stavljeni su plodovi šljive istih polaznih karakteristika, a na drugim lesama (u drugim pojedinačnim eksperimentima) stavljeni su plodovi šljive iste ove sorte različitih polaznih karakteristika.

Radi praćenja kinetike procesa u toku sušenja u svim eksperimentima, u precizno utvrđenim vremenskim intervalima od po 1h, merene su sukcesivno (jedna po jedna) ukupne mase plodova na svakoj lesi i beleženo vreme trajanja procesa sušenja do tog momenta. Sušenje u svim eksperimentima obavljano je na istoj konstantnoj temperaturi

sušenja od 90 °C, a to je ulazna temperatura zagrejanog vazduha pre prolaska kroz lese sa plodovima šljiva.

Rezultati istraživanja i diskusija

Osnovni način prikazivanja rezultata ispitivanja kinetike procesa sušenja za svaki pojedinačan eksperiment predstavljaju pojedinačne eksperimentalne tabele. U ovim tabelama prikazuju se eksperimentalni podaci neposredno dobijeni merenjima, kao i vrednosti izračunate korišćenjem ovih podataka i primenom matematičkih formula za veličine koje karakterišu kinetiku sušenja, odnosno koje definišu krive sušenja. Na osnovu ovih pojedinačnih eksperimentalnih tabela vrši se grafičko prikazivanje pojedinačnih krivih sušenja za svaki pojedinačan eksperiment.

Rezultati istraživanja pojedinačnog eksperimenta na lesi br. 1 prikazani su u tabeli 1. U gornjem delu ove tabele, uz oznaku broja lese na kojoj se nalaze plodovi, prikazane su osnovne izmerene eksperimentalne veličine (osnovni polazni podaci za proračune) i osnovne izračunate eksperimentalne veličine, koje zajedno predstavljaju osnovne eksperimentalne karakteristike svežih plodova:

- M_P [g] – Prosečna masa svežeg pojedinačnog ploda na određenoj lesi na početku sušenja, predstavlja polazni eksperimentalni podatak;
- M_{T_0} [g] – Ukupna masa svežih plodova na određenoj lesi na početku sušenja sa masom lese (bruto masa), predstavlja polazni eksperimentalni podatak;
- M_L [g] – Masa određene lese (masa tare), predstavlja polazni eksperimentalni podatak;
- M_0 [g] – Ukupna masa svežih plodova na određenoj lesi na početku sušenja (neto masa), izračunava se iz formule: M_0 [g] = M_{T_0} [g] – M_L [g] (01);
- G_{K_0} [kg / kg] – Prosečan maseni udeo koštice (endokarp) u svežem pojedinačnom plodu na određenoj lesi na početku sušenja, predstavlja polazni eksperimentalni podatak;
- M_K [g] – Ukupna masa koštica plodova na određenoj lesi (konstantna je u toku procesa sušenja), izračunava se iz formule: M_K [g] = G_{K_0} [kg / kg] · M_0 [g] (02);
- M_{M_0} [g] – Ukupna masa jestivog dea (egzokarp – pokožica i mezokarp – meso) svežih plodova na određenoj lesi na početku sušenja, izračunava se iz formule: M_{M_0} [g] = M_0 [g] – M_K [g] (03)
- G_{SM_0} [kg SM / kg] – Prosečan udeo (sadržaj) suve materije u jestivom delu svežeg pojedinačnog ploda na određenoj lesi na početku sušenja, predstavlja polazni eksperimentalni podatak;
- M_{Msm} [g] – Ukupna masa suve materije u jestivom delu plodova na određenoj lesi (konstantna je sve vreme u toku procesa sušenja), izračunava se iz formule: M_{Msm} [g] = G_{SM_0} [kg SM / kg] · M_{M_0} [g] (04);
- W_0 [kg W / kg] – Sadržaj vlage na vlažnu osnovu u jestivom delu plodova na određenoj lesi na početku sušenja, izračunava se iz formule: W_0 [kg W / kg] = $1 - G_{SM_0}$ [kg SM / kg] (05);
- U_0 [kg W / kg SM] – Sadržaj vlage na suhu osnovu u jestivom delu plodova na određenoj lesi na početku sušenja, izračunava se iz formule: U_0 [kg W / kg SM] = $1 / G_{SM_0}$ [kg SM / kg] – 1 (06).

Tabela 1. Eksperimentalni rezultati za eksperiment br. 1
 Table 1. Experimental results for the experiment no. 1

Broj Lese Number of Trays	M_P [g]	τ_0 [h]	M_{T0} [g]	M_L [g]	M_0 [g]	G_{K0} [kg/kg]	M_K [g]	M_{M0} [g]
1	44,6	0	4.492	989	3.503	0,0323	113	3.390
G_{SM0} [kg/kg]	M_{Msm} [g]	W_0 [kg/kg]	U_0 [kg/kg]	G_{SMzz} [kg/kg]	$M_{Msm75\%}$ [g]	$M_{sm75\%}$ [g]	$M_{Tsm75\%}$ [g]	Tehnol. Param. Tehnol. Param. T~90°C
0,242	820	0,758	3,132	0,750	1.094	1.207	2.196	
τ [h]	M_T [g]	M [g]	M_M [g]	G_{SM} [kg/kg]	M_{MW} [g]	W [kg/kg]	U [kg/kg]	$MR=U/U_0$ [1]
0	4.492	3.503	3.390	0,2420	2.570	0,7580	3,1322	1,0000
1	4.214	3.225	3.112	0,2636	2.292	0,7364	2,7933	0,8918
2	3.678	2.689	2.576	0,3185	1.756	0,6815	2,1400	0,6832
3	3.370	2.381	2.268	0,3617	1.448	0,6383	1,7645	0,5633
4	3.016	2.027	1.914	0,4286	1.094	0,5714	1,3330	0,4256
5	2.777	1.788	1.675	0,4898	855	0,5102	1,0416	0,3326
6	2.588	1.599	1.486	0,5521	666	0,4479	0,8113	0,2590
7	2.449	1.460	1.347	0,6091	527	0,3909	0,6418	0,2049
8	2.331	1.342	1.229	0,6676	409	0,3324	0,4980	0,1590
9	2.252	1.263	1.150	0,7134	330	0,2866	0,4017	0,1282
10	2.205	1.216	1.103	0,7438	283	0,2562	0,3444	0,1099

Osim tih veličina u ovom delu tabele, uz podatak o temperaturi procesa sušenja, kao tehnološkom parametru, koja je bila konstantna i iznosila 90 °C, navedene su i određene izračunate završne veličine – mase za određivanje završetka procesa sušenja,

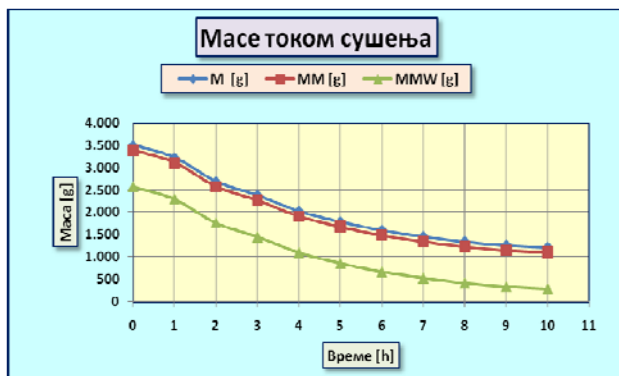
U drugom delu tabele 1 prikazane su veličine koje karakterišu kinetiku sušenja plodova na određenoj lesi. Ove veličine dobijene su proračunom iz formula u kojima su osnovne eksperimentalne karakteristike svežih plodova šljive, kao i izmerene veličine – mase plodova, merenih u određenim vremenskim intervalima tokom procesa sušenja.

- τ [h] – Vremena tokom procesa sušenja plodova na određenim lesama, predstavljaju polazne eksperimentalne podatke;

- M_T [g] – Ukupne mase plodova na određenoj lesi sa masom lese merene tokom procesa sušenja (bruto masa), predstavljaju polazne eksperimentalne podatke;
- M [g] – Ukupne mase plodova na određenoj lesi tokom procesa sušenja (neto masa), izračunavaju se iz formule: M [g] = M_T [g] – M_L [g] (07);
- M_M [g] – Ukupne mase jestivog dela plodova na određenoj lesi tokom procesa sušenja, izračunavaju se iz formule: M_M [g] = M [g] – M_K [g] (08);
- G_{SM} [kg SM / kg] – Udeli (sadržaji) suve materije u jestivom delu plodova na određenoj lesi tokom procesa sušenja, izračunavaju se iz formule: G_{SM} [kg SM / kg] = M_{Msm} [g] / M_M [g] (09);
- M_{MW} [g] – Ukupne mase vode u jestivom delu plodova na određenoj lesi tokom sušenja, izračunavaju se iz formule: M_{MW} [g] = M_M [g] – M_{Msm} [g] (10);
- W [kg W / kg] – Sadržaji vlage na vlažnu osnovu u jestivom delu plodova na određenoj lesi tokom procesa sušenja, izračunavaju se iz formule: W [kg W / kg] = $1 - G_{SM}$ [kg SM / kg] (11);
- U [kg W / kg SM] – Sadržaji vlage na suhu osnovu u jestivom delu plodova na određenoj lesi tokom procesa sušenja, izračunavaju se iz formule: U [kg W / kg SM] = $1 / G_{SM}$ [kg SM / kg] – 1 (12);
- $MR = U / U_0$ [1] – Bezdimenzioni odnosi sadržaja vlage (‘vlaga’) na suhu osnovu u jestivom delu plodova na određenoj lesi tokom procesa sušenja.

Analogno prikazuju se i eksperimentalne tabele za rezultate ispitivanja kinetike sušenja ostalih 5 pojedinačnih eksperimenta na ostalim lesama. Veličine prikazane u drugom delu tabele 1 omogućavaju grafički način prikazivanja eksperimentalnih rezultata, odnosno definišu **krive sušenja** plodova šljive na određenoj lesi.

Na grafiku 1 prikazane su 3 različite krive sušenja koje predstavljaju **promene mase tokom sušenja** i to: Ukupne mase plodova na određenoj lesi tokom procesa sušenja (neto masa); Ukupne mase jestivog dela plodova na određenoj lesi tokom procesa sušenja; Ukupne mase vode u jestivom delu plodova na određenoj lesi tokom procesa sušenja.

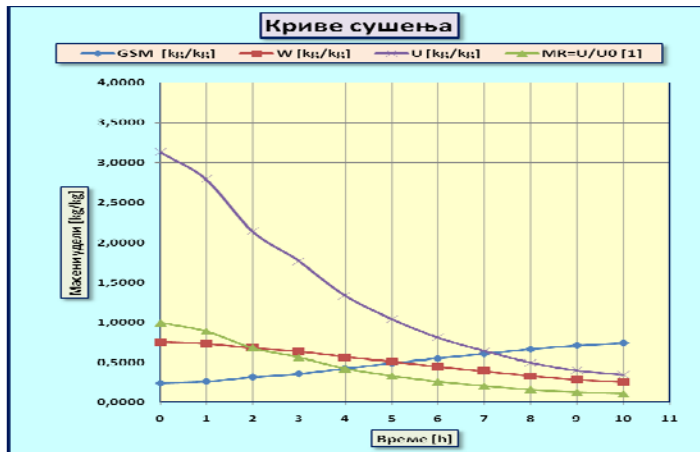


Graf. 1: Mase tokom sušenja za eksperiment br. 1
 Graph. 1. Masses during the drying experiment no. 1

Na grafiku 2 prikazane su 4 različite krive sušenja koje predstavljaju **promene sadržaja vlaga i suve materije u plodovima tokom sušenja** i to: Udeli (sadržaji) suve materije u jestivom delu plodova na određenoj lesi tokom procesa sušenja; Sadržaji vlage na vlažnu osnovu u jestivom delu plodova na određenoj lesi tokom procesa sušenja; Sadržaji vlage na suhu osnovu u jestivom delu plodova na određenoj lesi tokom procesa sušenja; Bezdimezionni odnosi sadržaja vlage (‘vlaga’) na suhu osnovu u jestivom delu plodova na određenoj lesi tokom procesa sušenja.

Analogno, prikazuju se grafički sve ove krive sušenja i za rezultate ispitivanja kinetike sušenja ostalih 5 pojedinačnih eksperimenata na ostalim lesama.

Analiziranje veličina prikazanih za pojedinačne eksperimente pokazuje da se sve mase (ukupne mase, ukupne mase jestivog dela, ukupne mase vode u jestivom delu) plodova na lesama tokom sušenja menjaju (smanjuju) na isti način i za iste vrednosti (krive promene masa su paralelne na graficima), a da se udeli (sadržaji) suve materije u jestivom delu plodova i sadržaji vlage na vlažnu osnovu u jestivom delu plodova menjaju na suprotan način (zbir im je po definiciji uvek jednak 1), ali takođe za iste vrednosti (krive njihovih promena su na neki način obrnuto-simetrične). Pokazuje takođe, da su jednake vrednosti promena svih masa plodova na lesama (ukupnih masa, ukupnih masa jestivog dela, ukupnih masa vode u jestivom delu) tokom sušenja, kao i da su vrednosti promena udela (sadržaja) suve materije u jestivom delu plodova jednake vrednostima promena sadržaja vlage na vlažnu osnovu u jestivom delu plodova (krive brzine svih ovih promena na graficima bi se potpuno poklapale).



Graf. 2: Sadržaji vlaga i suve materije u plodovima tokom sušenja za eksperiment br. 1
 Graph. 2. Moisture contents and dry matter in fruits during drying of the experiment no. 1

Konstatovano je zato da je za kinetiku procesa sušenja, dovoljno i celishodno prikazivati sledeće 4 veličine tokom procesa sušenja: ukupne mase plodova, udele (sadržaje) suve materije u jestivom delu plodova, sadržaje vlage na suhu osnovu u jestivom delu plodova i bezdimezione odnose sadržaja vlage na suhu osnovu u

jestivom delu plodova. To je u skladu sa prikazivanjima krivih sušenja i drugih autora (Barbanti et al., 1994; Newman et al., 1996; Sabarez et al., 1997; Di Mateo et al., 2002; Di Mateo et al., 2003; Goyal et al., 2007), koji takođe prikazuju krive sušenja za neku od ovde navedene 4 veličine, mada ima autora koji prikazuju i krive sušenja za sadržaje vlage na vlažnu osnovu u jestivom delu plodova. Analiziranjem grafika 1 i 2 konstatovano je da se promene tokom procesa sušenja na ovim graficima ipak najbolje uočavaju kod sadržaja vlage na suhu osnovu u jestivom delu plodova i kod bezdimenzionog odnosa sadržaja vlage na suhu osnovu.

Rezultati kinetike sušenja iz pojedinačnih eksperimentalnih tabela mogu se grupisati u zbirne uporedne tabele za kinetiku procesa sušenja za zbirni eksperiment celog sistema. Pošto je konstatovano da je veličina sadržaj vlage na suhu osnovu u jestivom delu plodova najadekvatnija za prikazivanje kinetika procesa sušenja, u tabeli 2 prikazani su uporedni rezultati kinetike procesa sušenja za zbirni eksperiment celog sistema za ovu veličinu.

U prvoj koloni tabele 2 navedena su vremena tokom procesa sušenja. U ostalih 6 kolona prikazani su uporedni rezultati za osnovne karakteristike plodova i parametre kinetike procesa sušenja plodova na svakoj od 6 lesa. Ove uporedne vrednosti ovde su zbirno prikazane iz 6 pojedinačnih tabela, kao što je tabela 1 za eksperiment br. 1, za svih 6 pojedinačnih eksperimenata.

U gornjem delu tabele 2 prikazane su 4 osnovne karakteristike plodova na svih 6 lesa. Prve tri veličine predstavljaju polazne eksperimentalne podatke a to su: Prosečna masa svežeg pojedinačnog ploda na određenoj lesi na početku sušenja; Prosečan maseni udeo koštice u svežem pojedinačnom plodu na određenoj lesi na početku sušenja; Prosečan udeo (sadržaj) suve materije u jestivom delu svežeg pojedinačnog ploda na određenoj lesi na početku sušenja. Četvrta veličina predstavlja izračunatu veličinu na kraju sušenja: Završni konačan udeo (sadržaj) suve materije u jestivom delu plodova na određenoj lesi na kraju sušenja. U drugom delu ove tabele prikazani su uporedni rezultati kinetike procesa sušenja za sadržaj vlage na suhu osnovu u jestivom delu plodova tokom procesa sušenja na svih 6 lesa, tj za svih 6 pojedinačnih eksperimenata. Analogno, mogu se prikazati i uporedni rezultati kinetike procesa sušenja za ostale veličine koje takođe prikazuju uporedne rezultate kinetike procesa sušenja.

Uporedni rezultati kinetike procesa sušenja za zbirni eksperiment celog sistema mogu se mnogo bolje analizirati ako ih prikažemo grafički.

Tabela 2: Uporedni rezultati kinetike procesa sušenja plodova na lesama
Table 2. Comparative results kinetics of drying fruit in the trays

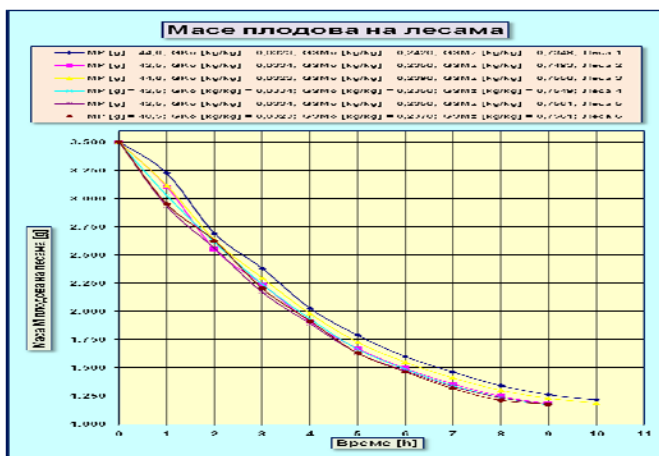
	M_P [g]	M_P [g]	M_P[g]	M_P [g]	M_P [g]	M_P [g]
	44,6	42,5	44,6;	42,5	42,5	40,5
	G_{Ko}	G_{Ko}	G_{Ko}	G_{Ko}	G_{Ko}	G_{Ko}
	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]
	0,0323	0,0334	0,0323	0,0334	0,0334	0,0323
	G_{SMo}	G_{SMo}	G_{SMo}	G_{SMo}	G_{SMo}	G_{SMo}
	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]
	0,2420	0,2350	0,2390	0,2350	0,2350	0,2370
	G_{SMz}	G_{SMz}	G_{SMz}	G_{SMz}	G_{SMz}	G_{SMz}
	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]
	0,7348	0,7483	0,7556	0,7549	0,7561	0,7561
	Les 1	Les 2	Les 3	Les 4	Les 5	Les 6
	<i>Trays 1</i>	<i>Trays 2</i>	<i>Trays 3</i>	<i>Trays 4</i>	<i>Trays 5</i>	<i>Trays 6</i>
τ [h]	Sadržaji vlage na suhu osnovu u plodovima na lesama tokom sušenja U [kg W/kg SM] <i>Moisture content on a dry basis of the fruits of the trays during drying</i>					
0	3,1322	3,2553	3,1841	3,2553	3,2553	3,2194
1	2,7933	2,7575	2,7121	2,6682	2,5400	2,5338
2	2,1400	2,0573	2,1127	2,1415	2,0699	2,1256
3	1,7645	1,6701	1,6975	1,6766	1,5821	1,6005
4	1,3330	1,2490	1,3058	1,2860	1,2289	1,2409
5	1,0416	0,9511	0,9932	0,9483	0,9008	0,8875
6	0,8113	0,7311	0,7769	0,7278	0,7034	0,6797
7	0,6418	0,5588	0,6027	0,5438	0,5262	0,4955
8	0,4980	0,4206	0,4668	0,4103	0,4055	0,3661
9	0,4017	0,3363	0,3790	0,3246	0,3225	0,3225
10	0,3444		0,3234			

Uporedni rezultati kinetike procesa sušenja za zbirni eksperiment celog sistema, na osnovu rezultata prikazanih u uporednoj tabeli 2, prikazani su grafički kao snop krivih sušenja svih pojedinačnih eksperimenata na **graficima 3-6** za navedene 4 veličine za prikazivanje krivih sušenja:

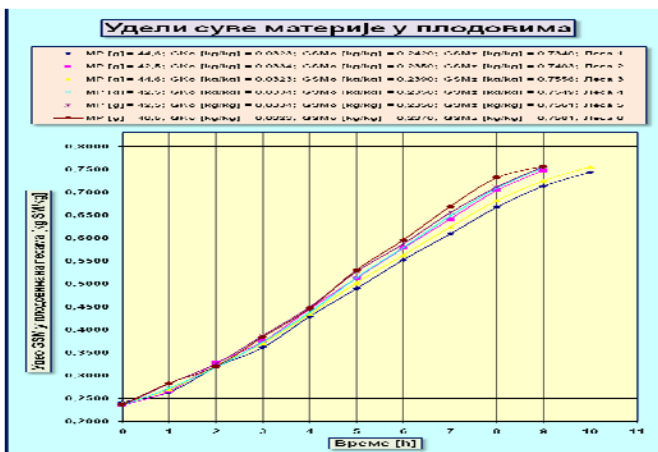
- Graf. 3: Uporedne krive sušenja za Mase plodova na lesama
- Graf. 4: Uporedne krive sušenja za Udele suve materije u plodovima
- Graf. 5: Uporedne krive sušenja za Sadržaje vlage na suhu osnovu
- Graf. 6: Uporedne krive sušenja za Bezdimez. odnos sadržaja vlage

Analizom uporednih krivih sušenja prikazanih na na **graficima 3-6** mogu se izvesti sledeće konstatacije:

- Krive sušenja za pojedinačne eksperimente u okviru jednog sistemskog eksperimenta nalaze se u okviru jednog snopa, što znači da se proces sušenja u celini odvija ravnomerno na svim lesama;
- Period sušenja u prvih dva sata predstavlja početni nestacionaran **period neravnomernog** sušenja i tada postoji „rasipanje“ krivih u snopu, odnosno tada sušenje nije ravnomerno na svim lesama;
- Period sušenja od drugog do četvrtog sata predstavlja uravnotežavajući **period približno ravnomernog** sušenja;
- Period sušenja od četvrtog do osmog sata predstavlja **period ravnomernog** sušenja, u tom periodu ne postoji „rasipanje“ krivih u snopu i proces sušenja odvija se ravnomerno na svim lesama;
- Period sušenja od osmog do desetog sata predstavlja **završni period** sušenja i u tom periodu postoji određena neravnomernost sušenja na lesama samo ako se proces sušenja ne završava u isto vreme na svim lesama (što je posledica različitenih polaznih karakteristika plodova na lesama).

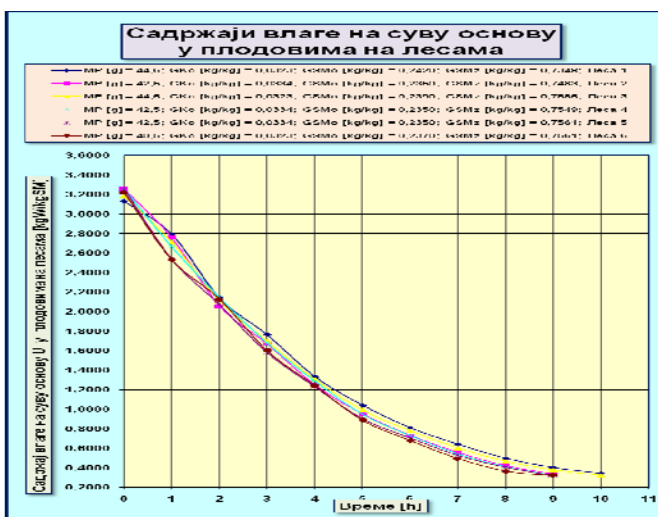


Graf. 3: Uporedne krive sušenja za mase plodova na lesama
 Graph. 3. Comparative curves for drying fruit weight on trays



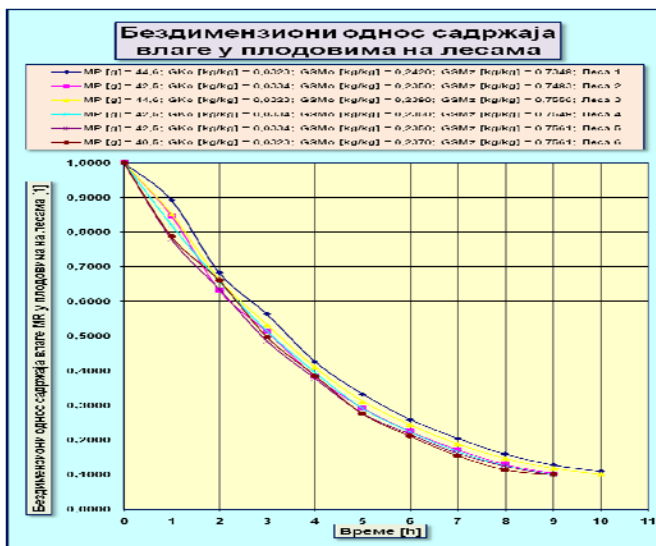
Graf. 4: Uporedne krive sušenja za sadržaje (udele) suve materije u plodovima na lesama

Graph. 4. Comparative curves for drying contents (equities) of dry matter in the fruits of the trays



Graf. 5: Uporedne krive sušenja za sadržaje vlage na suhu osnovu u plodovima na lesama

Graph. 5. Comparative curves for drying moisture content on a dry basis of the fruits of the trays



Graf. 6: Uporedne krive sušenja za bezdimenzioni odnos vlaga u plodovima na lesama
 Graph. 6. Comparison of drying curves for the dimensionless ratio of moisture in the fruits of the trays

Zaključak

Na osnovu prikazanih rezultata zaključeno je da je kinetiku procesa sušenja, odnosno krive sušenja plodova šljive celishodno grafički prikazivati sa sledeće 4 veličine: ukupna masa plodova, udeo (sadržaj) suve materije u jestivom delu plodova, sadržaj vlage na suhu osnovu u jestivom delu plodova i bezdimenzioni odnos sadržaja vlage na suhu osnovu u jestivom delu plodova. Uporedni rezultati kinetike procesa sušenja za zbirni eksperiment celog sistema mogu se mnogo bolje analizirati upravo ako ih prikazemo grafički. Promene tokom procesa sušenja na ovim graficima najbolje se uočavaju kod veličine sadržaj vlage na suhu osnovu u jestivom delu plodova i kod veličine bezdimenzioni odnos sadržaja vlage na suhu osnovu. Kao najadekvatnija veličina za uporedno prikazivanje kinetike procesa sušenja zbirnog eksperimenta koji predstavlja sistem od 6 pojedinačnih eksperimenta odabran je sadržaj vlage na suhu osnovu u jestivom delu plodova.

Za prikazane pojedinačne eksperimente u okviru zbirnog eksperimenta celog sistema može se zaključiti da su krive sušenja za pojedinačne eksperimente u okviru jednog sistemskog eksperimenta istog oblika i da se sve nalaze u okviru jednog snopa, odnosno pokazuju odlično slaganje, što znači da se proces sušenja u celini odvija u suštini ravnomerno na svim lesama.

Napomena

Istraživanja u ovom radu deo su projekta ev. Br. 31093, koji je finansijski podržalo Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije.

Literatura

- Barbanti D., Mastrocola D., Severini C. (1994): Air drying of plums. A Comparison among twelve cultivars. *Sciences des Aliments* 14, 61-73.
- Di Matteo M., Cinquanta L., Galiero G., Crescitelli S. (2002): Physical pretreatment of plums (*Prunus domestica*). Part. 1. Modelling the kinetics of drying. *Food Chemistry* 79, 227-232.
- Di Matteo M., Cinquanta L., Galiero G., Crescitelli S. (2003): A mathematical model of mass transfer in spherical geometry: plum (*Prunus domestica*) drying. *Journal of Food Engineering* 58, 183-192.
- Goyal R.K., Kingsly A.R.P., Manikantan M.R., Ilyas S.M. (2007): Mathematical modelling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. *Journal of Food Engineering* 79, 176-180.
- Kandić M., Mitrović O., Gavrilović-Damnjanović J., Popović B. (2007): Ispitivanje kinetike procesa sušenja šljive. *Voćarstvo* 41, 160, 179-186.
- Kandić M., Mitrović O., Gavrilović-Damnjanović J., Popović B. (2009): Primena prosturnog modela za ispitivanje kinetike procesa sušenja šljive. *Zbornik radova XIV savetovanja o biotehnologiji sa međunarodnim učešćem, Čačak*, 14, 15: 423-430.
- Mitrović O., Kandić M., Gavrilović-Damnjanović J., Popović B. (2007): Faktori koji utiču na kvalitet sušene šljive sorte Čačanska rodna. *Voćarstvo*, 41, 160: 173-178.
- Mitrović O., Nedović V., Zlatković B., Kandić M., Popović B., Miletić N., Lepasović A. (2013): Impact on drying time made by characteristics of fresh plum fruits of the Čačanska rodna and Mildora cultivars. *Journal of mountain agriculture on the Balkans*, 16, 1: 66-82.
- Newman G., Price W., Woolf L. (1996): Factors influencing the drying of prunes. 1. Effects of temperature upon the kinetics of moisture loss during drying. *Food Chemistry* 57, 2, 241-244.
- Sabarez H., Price W., Back P., Woolf L. (1997): Modelling the kinetics of drying of d'Agen plums (*Prunus domestica*). *Food Chemistry* 60, 3, 371-382.

EXPAND DRYING KINETICS PLUM DIFFERENT VARIANTS OF DRYING CURVES

Kandić Miodrag¹, Mitrović Olga¹, Popović Branko¹

Abstract

This paper presents the experimental results of plum drying kinetics cv. ‘Čačanska Rodna’. Drying agents parameters were maintained constant the whole time for the duration (throughout) (of the) of the drying process. The study of kinetics of plum drying involved different characteristics of fresh fruits of plums (fruit weight , dry matter content, content of stone) which influence not only the duration of drying and fruit behavior over the process but and also the quality of prunes. The adopted method of examining the kinetics of drying allows continuous monitoring of changes in fruit weight and moisture content, on all trays, throughout drying. It was noted in the study that the drying kinetics of plum cultivar ‘Čačanska Rodna’ maintained at constant drying parameters depends on properties of fresh fruits.

Key words: Plum cultivar ‘Čačanska Rodna’, fruit properties, drying curve, kinetics of drying.

¹ Fruit research institute - Čačak, Kralja Petra I 9, Čačak, Serbia (kandicm@ftn.kg.ac.rs)