



UNIVERZITET U NOVOM SADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

**UTICAJ OSMOTSKOG I KONVEKTIVNOG SUŠENJA
NA FIZIČKE OSOBINE DUNJE (*Cydonia oblonga* Mill.)**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentori: Prof. dr Mirko Babić
Doc. dr Ivan Pavkov

Kandidat: Milivoj Radojčin, MSc

Novi Sad, 2015 godine

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora: AU	Milivoj Radojčin, MSc
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	Dr Mirko Babić, redovni profesor Dr Ivan Pavkov, docent
Naslov rada: NR	Uticaj osmotskog i konvektivnog sušenja na fizičke osobine dunje (<i>Cydonia oblonga</i> Mill.)
Jezik publikacije: JP	Srpski
Jezik izvoda: JI	srpski / engleski
Zemlja publikovanja: ZP	Srbija
Uže geografsko područje: UGP	AP Vojvodina
Godina: GO	2015.
Izdavač: IZ	Autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Novi Sad, Departman za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivredni fakultet, Trg Dositeja Obradovića 8
Fizički opis rada: FO	7 poglavlja/144 strane/63 slike/225 referenci/5 priloga/biografija
Naučna oblast: NO	Biotehničke nauke
Naučna disciplina: ND	Posleubirajuće tehnologije
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Dunja, osmotsko sušenje, konvektivno sušenje, fizičke osobine
UDK	66.047.55:582.711.714(043.3)
Čuva se: ČU	Biblioteka poljoprivrednog fakulteta, Novi Sad
Važna napomena: VN	Doktorska disertacija je rezultat istraživanja na projektu TR03158, pod nazivom "Sušenje voća i povrća iz integralne i organske proizvodnje

kombinovanom tehnologijom”. Projekat je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Izvod:

IZ

Važnost istraživanja fizičkih osobina ogleda se u tome, što su neke od tih osobina prvo što se uočava na sušenom voću. Druge fizičke osobine spoznaju se tokom konzumiranja. Osim toga, fizičke osobine su i od značaja prilikom projektovanja opreme za preradu poljoprivrednih proizvoda. Predmet istraživanja doktorske disertacije su promene fizičkih osobina dunje tokom osmotskog i konvektivnog sušenja. Istraživane su promene sledećih osobina: vlažnosti, zapremine, mehaničkih osobina i boje. Kao dodatak osnovnim merenjima obavljene su hemijska i senzorska analiza finalnog proizvoda. Eksperiment osmotskog sušenja obavljen je kao dvofaktorni. Faktori eksperimenta su temperatura i koncentracija osmotskog rastvora. U eksperimentu je korišćena dunja sorte leskovačka. Ovu sortu odlikuje prijatna aroma, oblik i dimenzije pogodne za sušenje.

Disperzionom analizom rezultata merenja fizičkih osobina tokom eksperimenta osmotskog sušenja potvrđeno je da izabrani nivoi temperature i koncentracije osmotskog rastvora utiču na promenu vlažnosti dunje tokom 180 minuta osmotskog sušenja. U slučaju povećanja mase suve materije disperzionom analizom potvrđen je statistički značajan uticaj koncentracije i interakcije koncentracije i temperature na promenu ispitivane veličine. Najintenzivnije promene vlažnosti i povećanja suve materije izmerene su u prvih 20 minuta osmotskog sušenja.

Promena oblika dunje u formi kocke, do kojih dolazi tokom osmotskog sušenja je anizotropna. Razlog anizotropnog skupljanja tkiva može biti orijentacija vlakana i nehomogena struktura materijala. Promena zapremine izražena je zapreminskim skupljanjem SV. Izvedena je jednačina kojom je utvrđena zavisnost promene zapremine od količine razmenjene materije tokom osmotskog sušenja. Najveća promena zapremine izmerena je pri osmotskom sušenju pri najvišim vrednostima temperature i koncentracije osmotskog rastvora.

Mehaničke osobine dunje tokom osmotskog sušenja predstavljene su sa dva pokazatelja, otpornošću na razaranje i modulom elastičnosti. Otpornost na razaranje je u ovoj tezi originalno predstavljena parametrom f . Ovaj parameter predstavlja relativnu promenu sile razaranja tokom osmotskog sušenja. Disperzionom analizom utvrđen je uticaj temperature osmotskog rastvora na mehaničke osobine dunje. Osmotski rastvor temperature 60°C izaziva omekšavanje tkiva dunje. Međutim, omekšavanje tkiva dunje pozitivno utiče na čvrstoću krajnjeg proizvoda. Kao drugi pokazatelj mehaničkih osobina upotrebljen je modul elastičnosti. Promene modula elastičnosti slične su promenama f parametra. Na osnovu promena oba pokazatelja mogu se doneti isti zaključci o uticaju faktora eksperimenta na mehaničke osobine tkiva dunje.

Tkivo dunje je izloženo vazduhu tokom konvektivnog sušenja intenzivno menja boju. U eksperimentu je upotrebljen sumpordioksid kao zaštita od tamnjenja tkiva. Ukupna promena boje najveća je na uzorcima dunje koji su sušeni rastvorom koncentracije 65°Bx . Međutim, tokom konvektivnog sušenja ističe se pozitivan uticaj ovog tretmana na promenu boje dunje. Veća količina saharoze koja se zadržava na površini uzoraka dunje predstavlja barijeru između između materijala i vazduha i sprječava tamnjenje tkiva.

Regresionom analizom rezultata merenja promene vlažnosti, zapremine i boje pronađeni su empirijski modeli koji opisuju merene veličine tokom osmotskog sušenja. Jednačine odabrane za modelovanje promene vlažnosti proširene su uticajnim faktorima u bezdimenzionalnom obliku. Proširenjem matematičkih modela stiče se njihova univerzalnost u opsegu istraživanih vrednosti temperature i koncentracije osmotskog rastvora. Primenjeni

modeli mogu se uspešno koristiti za predviđanje svih merenih veličina. Uspešnost modela potvrđena je visokim vrednostima koeficijenta korelacije i niskim vrednostima srednje procentualne greške.

Senzorskim analizama obavljenim panelnim ispitivanjem, uzorci tretirani osmotskim rastvorom ocenjeni su kao kvalitetniji od onih koji su samo konvektivno osušeni. Poređenjem rezultata kvantitativnih i kvalitativnih analiza može se zaključiti da osmotsko sušenje kao predtretman konvektivnom sušenju pozitivno utiče na kvalitet sušene dunje kao finalnog proizvoda.

Datum prihvatanja teme od strane Senata:
DP

22.01.2015.

Datum odbrane:
DO

Članovi komisije:
(ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status)
KO

Dr Mirko Babić, redovni profesor
Poljoprivredni fakultet, Novi Sad - mentor

Dr Ivan Pavkov, docent
Poljoprivredni fakultet, Novi Sad - mentor

Dr Anđelko Bajkin, redovni profesor
Poljoprivredni fakultet, Novi Sad – predsednik

Dr Aleksandra Dimitrijević, docent
Poljoprivredni fakultet, Beograd - član

Dr Siniša Bikić, docent
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad – član

Key word documentation

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	PhD thesis
Author: AU	Milivoj Radojčin, MSc
Mentor: MN	Mirko Babić, PhD, full professor Ivan Pavkov, associate professor
Title: TI	Influence of osmotic and convective drying on the physical properties of quince (<i>Cydonia oblonga</i> Mill.)
Language of text: LT	Serbian
Language of abstract: LA	Serbian/English
Country of publication: CP	Serbia
Locality of publication: LP	Vojvodina
Publication year: PY	2015
Publisher: PU	Authors reprint
Publication place: PP	Novi Sad, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Trg Dositeja Obradovića 8
Physical description: PD	7 chapters/144 pages/63 pictures/225 references/5 appendix/biografija
Scientific field SF	Biotechnical sciences
Scientific discipline SD	Postharvest technology
Subject, Key words SKW	Quince, osmotic drying, convective drying, physical properties
UC	66.047.55:582.711.714(043.3)
Holding data: HD	Library of the Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, Trg Dositeja Obradovica 8.

<p>Note: N</p>	<p>The results are part of the Scientific project of Ministry of education, science and technological development Republic of Serbia, Grant no TR -03158, under the name "Drying of fruits and vegetables from integrated and organic production with combined technology"</p>
<p>Abstract: AB</p> <p>The importance of researching physical properties lies in the fact that some of these properties are what we first notice about dried fruit. Other physical properties are experienced during consumption. Moreover, physical properties are also important when designing equipment for processing agricultural products. The subject of the research in this doctoral dissertation is changes in physical properties of quince during osmotic and convective drying. The investigation included changes in the following properties: moisture, volume, mechanical properties and colour. Apart from the basic measurements, the research also included chemical and sensory analyses of the final product. The experiment of osmotic drying was performed as a two-factor experiment, while factors were the temperature and the concentration of osmotic solution. The variety of quince used in the experiment was "Leksovačka", which is a variety with a pleasant aroma, and the shape and dimensions suitable for drying.</p> <p>Dispersion analysis of the measured results in the experiment of osmotic drying showed that the temperature and concentration of osmotic solution affect the changes in moisture of quince during 180 minutes of osmotic drying. In the case of the increased mass of dry matter, analysis of variance pointed to statistically significant effect of concentration and interaction of concentration and temperature on the change in the examined size. The most intense changes in moisture and increase of dry matter were measured in the first 20 minutes of osmotic drying.</p> <p>The change of the shape of quince into the shape of a cube, which occurs during osmotic drying, is anisotropic. The reason of anisotropic shrinkage of tissue can be fibre orientation and inhomogeneous structure of the material. The volume change is expressed in volumetric shrinkage SV. The equation derived was used to determine the dependence of the change in volume on the amount of the matter exchanged during osmotic drying. The greatest change in volume was measured during osmotic drying at the highest values of temperature and the highest values of concentration of osmotic solution.</p> <p>Mechanical properties of quince during osmotic drying were represented by two indicators: resistance to rupture and modulus of elasticity. Resistance to rupture in this thesis was originally presented by the parameter f. This parameter represents a relative difference of force of rupture. Dispersion analysis determined the effect of the temperature of osmotic solution on mechanical properties of quince. The solution temperature of 60°C causes softening of the quince tissue. However, softening of the tissue has positive effects on firmness of the final product. The other indicator of mechanical properties was modulus of elasticity. The changes in the modulus of elasticity are similar to the changes of the parameter f. The changes in both indicators lead to the same conclusions about the impact of the factors of the experiment on the mechanical properties of quince tissue.</p> <p>Quince tissue exposed to air changes its colour intensely. In this experiment, sulphur dioxide is used as protection against darkening of the tissue. The total colour change was the greatest in the quince samples dried using a solution with the concentration of 65°Bx. However, during convective drying one can see the positive impact of this treatment on the colour change in quince. A larger amount of saccharose which is retained on the surface of the samples acts as a barrier between the material and the air, preventing darkening of the tissue.</p>	

Regression analysis of the measured results of the changes in moisture, volume and colour, generated empirical models that describe the measured values during osmotic drying. The equations selected for modelling of moisture changes were extended to include influential factors in dimensionless form. What is achieved by extending the mathematical models is universality of the models in the range of the investigated values of temperature and concentration of osmotic solution. The used models can be successfully applied for prediction of all of the measured values. The successfulness of the model is confirmed by high values of the correlation coefficient and low values of the mean percentage error. Sensory analyses performed using panel testing showed that the samples treated with osmotic solution were evaluated to be of higher quality than the samples that were only convectively dried. By comparing the results of quantitative and qualitative analyses, it can be concluded that osmotic drying, as a pre-treatment to convective drying, positively affects the quality of dried quince as a final product.

Accepted on Senate on: AS	22.01.2015.
Defended: DE	
Thesis Defend Board: DB	<p style="text-align: center;">_____ Dr Mirko Babić, full professor Faculty of Agriculture, Novi Sad - mentor</p> <p style="text-align: center;">_____ Dr Ivan Pavkov, associate professor Faculty of Agriculture, Novi Sad - mentor</p> <p style="text-align: center;">_____ Dr Anđelko Bajkin, full professor Faculty of Agriculture, Novi Sad – president</p> <p style="text-align: center;">_____ Dr Aleksandra Dimitrijević, associate professor Faculty of Agriculture, Beograd - member</p> <p style="text-align: center;">_____ Dr Siniša Bikić, associate professor Faculty of Technical Science, Novi Sad – member</p>

UPOTREBLJENI SIMBOLI I INDEKSI

Simboli:

Oznaka	Jedinica	Naziv
A	m^2	površina
a_w	-	aktivnost vode
a	-	koeficijent funkcije
b	-	koeficijent funkcije
c	-	koeficijent funkcije
dM	kg/m^2s	materijalni fluks
dc/dx	kg/m^4	gradijent koncentracije
E	-	modul elastičnosti
l	mm	dužina
Δl	mm	izduženje pri deformisanju
$\Delta l/l$	%	relativna deformacija uzorka koji se deformiše
L^*	-	parametar boje
a^*	-	parametar boje
b^*	-	parametar boje
h^*	-	nijansa boje
C^*	-	hromatičnost
ΔE	-	ukupna promena boje
C_o	-	početna izmerena vrednost parametra boje
C	-	izmerena vrednost parametra boje
C_r	$^{\circ}Bx$	koncentracija osmotskog rastvora
$C_{r(ref)}$	$^{\circ}Bx$	referentna koncentracija osmotskog rastvora
d	-	koeficijent funkcije
D	m^2/s	koeficijent difuzije
e	-	koeficijent funkcije
E_a	J/mol	energija veze vlage i suve materije (energija aktivacije)
f	-	relativna razlika sile razaranja
F_o	N	sila razaranja svežeg uzorka
F_i	N	sila razaranja u određenom vremenskom trenutku
L	mm	debljina uzorka
m_0	g	početna masa uzorka
m_i	g	masa u određenom vremenskom trenutku
m_{so}	g	masa suve materije u svežem uzorku
m_{si}	g	masa suve materije u određenom momentu osmotskog sušenja
m_l	g	masa tečnosti pri merenju zapremine
m_{ll}	g	masa tečnosti i uzorka pri merenju zapremine
n	-	broj merenja
$n_1, n_2, n_3,$	-	eksponenti matematičkog modela
k	s^{-1}, min^{-1}, h^{-1}	konstanta sušenja
k_o	h^{-1}	koeficijent funkcije
R	$J/molK$	univerzalna gasna konstanta
R	-	koeficijent korelacije
RPO	-	relativnog procentualnog odstupanja
S	-	koeficijent skupljanja
SG	kg_{sm}/kg	povećanje suve materije u odnosu na početnu

SV	-	masu
t	$^{\circ}C$	zapreminsko skupljanje
t_r	$^{\circ}C$	temperatura
$t_{r(ref)}$	$^{\circ}C$	temperatura rastvora
T	K	referentna temperatura rastvora
V	cm^3	temperatura
V_o	cm^3	zapremina uzorka
V_i	cm^3	zapremina uzorka pre osmotskog sušenja
		zapremina uzorka u određenom momentu osmotskog sušenja
WL	$kg_w/kg; \%$	promena vlažnosti

Grčki simboli:

Oznaka	Jedinica	Naziv
μ_w	J/mol	hemijski potencijal vode
μ_w^s	J/mol	standardni hemijski potencijal vode
Δ	-	razlika
ε	-	relativna deformacija
ρ_t	kg/m^3	gustina tečnosti
τ	h, min, s	vreme
τ_o	min	vreme tokom osmotskog sušenja
ω	$kg_w/kg, \%_{wb}$	vlažnost tkiva voća u odnosu na vlažnu bazu
ω_o	$kg_w/kg, \%_{wb}$	početna vlažnost uzorka
ω_i	$kg_w/kg, \%_{wb}$	vlažnost tkiva voća u odnosu na vlažnu bazu u i-tom trenutku
ω^s	$kg_w/kg_{sm}, \%_{sm}$	vlažnost tkiva voća u odnosu na suhu bazu
ω_o^s	$kg_w/kg_{sm}, \%_{sm}$	početna vlažnost tkiva voća u odnosu na suhu bazu
ω_i^s	$kg_w/kg_{sm}, \%_{sm}$	vlažnost tkiva voća u odnosu na suhu bazu u i-tom trenutku
Π	Pa	osmotski pritisak
Ψ	Pa	ćelijski pritisak (turgor)
Ψ_p	Pa	vodni potencijal
σ	N/mm^2	napon

Indeksi:

Oznaka	Značenje
w	vlaga, voda
sm	suva materija
eq	ravnotežno stanje
exp	eksperimentalna vrednost
i	stanje u i-tom vremenskom trenutku
o	osmotsko sušenje
pre	proračunska vrednost
0	početno stanje
1	krajnje stanje

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PREGLED LITERATURE	3
2.1. Dunja	3
2.2. Osmotsko sušenje	5
2.2.1. Mehanizam osmotskog sušenja	6
2.2.2. Prenos mase tokom osmotskog sušenja	8
2.2.3. Uticajni faktori osmotskog sušenja	10
2.2.4. Modelovanje kinetike osmotskog sušenja	13
2.3. Fizičke osobine voća	16
2.3.1. Zapremina i oblik	16
2.3.2. Mehaničke osobine i tekstura	19
2.3.3. Boja voćnog tkiva	35
3. CILJ I HIPOTEZA ISTRAŽIVANJA	43
3.1. Cilj	43
3.2. Hipoteza istraživanja	43
4. MATERIJAL I METOD ISTRAŽIVANJA	44
4.1. Materijal istraživanja	44
4.2. Eksperimentalno postrojenje za osmotsko sušenje	47
4.3. Plan eksperimenta	49
4.4. Postupak osmotskog sušenja	51
4.5. Konvektivno sušenje	53
4.6. Kinetika osmotskog sušenja dunje	53
4.7. Merenje odabranih fizičkih osobina dunje	55
4.7.1. Merenje promene zapremine dunje tokom osmotskog sušenja	55
4.7.2. Merenje promene mehaničkih osobina dunje tokom osmotskog sušenja	57
4.7.3. Merenje promene boje dunje tokom osmotskog sušenja	61
4.8. Hemijska i senzorska analiza	63
4.9. Postupak obrade podataka	64

5. REZULTATI I DISKUSIJA	67
5.1. Kinetika osmotskog sušenja dunje.....	67
5.2. Promene zapremine i oblika.....	75
5.3. Promene mehaničkih osobina dunje	88
5.4. Promena boje dunje.....	100
5.5. Hemijska i senzorska analiza	113
6. ZAKLJUČAK	116
7. LITERATURA	118
PRILOZI	134
SPISAK SLIKA	140
SPISAK TABELA	143
BIOGRAFIJA	144

UVOD

POGLAVLJE

1

1. UVOD

Glavni cilj sušenja voća je produženje perioda skladištenja. Sušenjem se snižava vlažnost voća čime se zaustavlja razvoj mikroorganizama, umanjuje aktivnost enzima i smanjuju se neželjene hemijske promene. Pod pojmom sušenje najčešće se podrazumeva operacija kojom vlaga prisutna u materijalu isparava kao rezultat razmene toplote i materije između proizvoda i radnog medijuma (Babić i Babić, 2012). Osmotsko sušenje, kao tehnika uklanjanja vlage iz materijala ne uklapa se u navedenu definiciju, ali prihvaćeno je kao metod sušenja jer su ciljevi ovog postupka u osnovi isti kao kod ostalih poznatih metoda. Tokom sušenja dolazi do promena fizičkih, hemijskih i organoleptičkih osobina materijala. U nekim slučajevima organoleptičke i nutritivne karakteristike prehrambenih proizvoda poboljšavaju se nakon sušenja. Kod proizvoda kao što su grožđe, smokve, neke vrste ribe i mesa poželjno je obaviti sušenje radi postizanja specifičnih organoleptičkih karakteristika. Klasično, konvektivno sušenje zagrejanim vazduhom, najčešće je primenjivani metod. Ovaj način sušenja izaziva najintenzivnije promene materijala. Razvojem nauke i tehnologije postupci sušenja voća dosegli su viši nivo od početnog sušenja na suncu. Razvoj novih tehnologija sušenja usmeren je delom ka očuvanju visokog kvaliteta proizvoda. Četiri glavna faktora kvaliteta hrane čijem se očuvanju ili poboljšanju teži prilikom sušenja su (Bourne, 2002):

1. Izgled koji obuhvata boju, oblik, veličinu, ono što opažamo čulom vida.
2. Miris i ukus, koji se doživljavaju na jeziku i u nosu, je odgovor receptora u usnoj i nosnoj šupljini na hemijske stimulanse. Oni se nazivaju "hemijskim čulima."
3. Tekstura je, pre svega, odgovor čula dodira fizičkom stimulansu, što je rezultat dodira između nekog dela tela i hrane. Taktilno čulo (čulo dodira) je primarni metod za detekciju teksture, ali kinestetika (čulo pokreta i položaja), a ponekad vid i zvuk se takođe koriste za ocenu teksture.
4. Nutritivna vrednost uključuje glavne hranljive materije (ugljeni hidrati, masti, proteini) i sporedne hranljive materije (minerali, vitamini, vlakna).

Pointing i saradnici početkom šezdesetih godina prošlog veka bili su pioniri u istraživanju osmotskog sušenja prehrambenih proizvoda i industrijske primene istog (Ponting i sar, 1966). Kada se radi o Srbiji, može se reći da su pioniri u istraživanju primene osmotskog sušenja bili Pavasović i Stefanović (1978). Osmotsko sušenje najčešće se primenjuje kao predtretman u kombinaciji sa konvektivnim sušenjem. Primećene su mnoge prednosti upotrebe osmotskog

sušenja. Primena osmotskog sušenja obezbeđuje uštedu energije, očuvanje arome, boje, teksture, ukusa i mogućnost dužeg skladištenja pri višoj vlažnosti proizvoda (Ponting i sar, 1966; Jackson i Mohamed, 1971; Islam i Flink, 1982). Neznatan je broj istraživačkih radova o sušenju dunje. Sušenje dunje nije uobičajeno zbog visoke tvrdoće i čvrstoće ploda, ali i sklonosti ka brzom potamnjenu tkiva prilikom prerade. Međutim, zbog svoje prijatne arome dunja i dalje izaziva interesovanje istraživača. Obavljena istraživanja uglavnom su usmerena na konvektivno sušenje. Takav proizvod nije pogodan za konzumaciju. Primenu nalazi uglavnom u proizvodnji voćnih čajeva. Babić i sar, (2008) navode da osmotski predtretman pozitivno utiče na fizičke, mehaničke i senzorske osobine sušene dunje.

Istraživanje u ovom radu usmereno je na primeni kombinovane tehnologije, koja se sastoji od osmotskog i konvektivnog sušenja, na mezokarp ploda dunje. Na osnovu preliminarnih istraživanja definisani su faktori eksperimenta osmotskog sušenja, za koje se smatralo da će pružiti potpunu sliku uticaja na istraživane fizičke osobine dunje. Kao dodatak osnovnim merenjima obavljene su najbitnije hemijske i senzorske analize. Ove analize poslužile su kao potvrda uticaja osmotskog predtretmana na kvalitet finalnog proizvoda. Eksperimentalni rezultati treba da koriste u budućim istraživanjima, ali i da budu izvor korisnih informacija sadašnjim, ali i budućim korisnicima kombinovane tehnologije sušenja.

**PREGLED
LITERATURE**

POGLAVLJE

2

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Dunja

Dunja je, kao i većina jabučastog voća, stara voćna vrsta koja se gaji preko 4000 godina, nikad kao glavna, već najčešće kao sporedna kultura. Pretpostavlja se da je poreklom sa Kavkaza, odakle se širila na istok i jug (u Malu Aziju), a odatle u staru Grčku. Iz Grčke je dunja prenetu u Rim (pre početka naše ere) a zatim u ostale zemlje Evrope (Martinić, 2010). Dunja se kasnije uvodi i u druge zemlje: Poljsku, Siriju, Liban, Sloveniju, Hrvatsku, Bosnu, Tursku, Srbiju, Makedoniju, Albaniju, Rumuniju, Mađarsku, Ukrajinu, Moldaviju i Bugarsku. Latinsko ime je dobila po gradu Cydon (danas Khannia) na Kritu (www.psss.rs). Dunja je jedini član roda *Cydonia* u porodici ruža (*Roseaceae*) kojoj takođe pripadaju jabuke i kruške. Nekada su ovom rodu pripadale *Pseudocydonia sinensis* (Kineska dunja) i tri dunje iz roda *Chaenomeles* (Japanske dunje). Naziv *Cydonia oblonga* potiče iz 14. veka. Smatra se da naziv potiče iz starog francuskog, latinskog ili grčkog jezika (www.wikipedia.com). Dunja se naročito gaji u Portugaliji, Španiji, Francuskoj, Srbiji, Italiji, Grčkoj i Bugarskoj; raširena je po celom svetu, sem u Australiji. Plod dunje se gotovo nikad ne jede sirov, ali se prerađuje u kompot, žele, slatko, marmeladu, paste, liker. U Srbiji se obično uzgaja u obliku pojedinačnih stabala, drvoreda na krajevima parcela ili na okućnicama. Većih zasada ima sporadično na nekoliko lokaliteta u Vojvodini, centralnoj Srbiji i u južnoj Srbiji u okolini Vranja. U sortimentu dunje i dalje dominira Leskovačka, iako neke od ispitivanih sorti imaju daleko bolje proizvodne karakteristike od nje. Za podizanje savremenih zasada dunje preporučuju se sledeće sorte: Leskovačka, Morava, Šampion, Asenica, Trijumf (www.sanportal.info). Postoje dva karakteristična oblika dunje. Prvi karakteristični oblik je jabučasti (*Cydonia oblonga subsp. Maliformis*), a drugi je kruškasti (*Cydonia oblonga subsp. Pyriformis*). Dunje jabučastog oblika su aromatičnije, većeg udela suve materije i čvršće (Hričovský i sar, 2003).

Hemijski sastav

Hemijski sastav plodova dunje zavisi u prvom redu od sorte, ekoloških uslova sredine, primenjene agrotehnike, rodnosti i stepena zrelosti. Od ukupne mase ploda dunje, koji se kod Leskovačke sorte kreće od 160 g do 196 g, na jestivi deo otpada 114 g do 160 g (Vračar, 2001).

Plod dunje sadrži ugljene hidrate, sa većim učešćem monosaharida glukoze i fruktoze, organske kiseline, tanine, mineralne materije, vitamine (karotine, B2, B3, PP, B6, C) i veliki udeo pektina. Voda je najzastupljeniji sastojak jestivog dela ploda. Količina vode zavisi od osobine sorte i još više od vlažnosti sredine u kojoj se plodovi razvijaju i sazrevaju. Srednja vrednost vlažnosti svežeg ploda dunje iznosi oko 84% (Vračar, 2001). Ugljeni hidrati su posle vode najzastupljeniji sastojak jestivog dela ploda dunje. Sačinjavaju oko 80% do 90% suvih materija voća i povrća. Ukupan sadržaj ugljenih hidrata u svežem plodu dunje je od 7% do 15% (Vračar, 2001). Celuloza koja je glavni gradivni deo zida biljne ćelije koja biljci daje čvrstinu i čini njen skelet u svežem plodu dunje ima 1,5% (Vračar, 2001). Sadržaj pektina u svežem plodu dunje u granicama je od 1,97% do 3,25% (Martinić, 2010). Od mineralnih materija dunja (100 g svežeg ploda) sadrži: kalijum (201 mg), kalcijum (10 mg), natrijum (2 mg), magnezijum (8 mg), gvožđe (0,8 mg) i fosfor (21 mg) (Vračar, 2001). Vitamini su važni i praktično nezamenljivi sastojci ploda dunje. Masa od 100 g svežeg ploda dunje sadrži: vitamin (B1) 0,03 mg; riboflavin (B2) 0,03 mg; niacin (B3) 0,2 mg; L - askorbinska (C) 13 mg (Vračar, 2001). Sadržaj organskih kiselina je od 0,35% do 1,85%. One daju plodu specifičnu aromu i osvežavajući ukus. Plod dunje karakteriše oporost koja potiče od povišenog sadržaja tanina. Tanina ima u količini od 0,08% do 1,14%, a mineralnih materija od 0,4% do 0,9% (Martinić, 2010).

Ekonomski značaj

Dunja je voćna vrsta koja je veoma popularna zbog svoje arome. Ta osobina uslovlila je njeno korišćenje u industrijskoj preradi (Babić et al, 2008). Međutim, zbog nepovoljnih osobina: tvrdoće, oporosti, kiselkastog ukusa i prisustva kamenih ćelija njena upotreba uglavnom je usmerena ka preradi. Plodovi dunje se malo koriste za potrošnju u svežem stanju, već najčešće prerađeni u slatka, kompote, žele, džem, sok i rakije. Nasuprot maloj potrošnji ovog ploda kao stonog voća, industrija prerade dunju izuzetno ceni zbog velike biološke vrednosti ploda, odnosno, vrlo povoljnog hemijskog sastava za različite vidove prerade. Posebno je pogodna za proizvodnju želea, zbog velike količine pektina (Martinić, 2010). Dunja se koristi i za sušenje. Najčešće se primenjuje konvektivno sušenje, pri čemu se takav proizvod koristi kao dodatak čajevima.

Proizvodnja dunje u svetu u poslednjih 30 godina u stalnom je porastu. Najveći udeo u svetskoj proizvodnji zauzimaju zemlje Azije sa oko 65%, a zatim zemlje Evrope sa 14,5%. Turska i Kina su vodeći proizvođači dunje u svetu. Ove dve zemlje sa proizvodnjom od 153.000 t/godišnje učestvuju sa 43,2% u ukupnoj svetskoj proizvodnji dunje. Srbija sa prosečnom

proizvodnjom od 11.000 t/godišnje zauzima učešće od 3,1% u ukupnoj svetskoj proizvodnji dunje (Milić i Radojević, 2003). Podaci o proizvodnji dunje u Srbiji i Svetu dati su u tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Prinos, proizvodnja po jedinici površine i ukupna proizvodnja dunje u Srbiji i Svetu u periodu od 2008. do 2012. (FAOSTAT, 2014)

Područje	Pokazatelj	Jedinica	Godina				
			2008	2009	2010	2011	2012
Srbija	Površina	ha	1989	2.200	1700	2000	1700
	Prinos	kg/ha	6.209,15	6.845,91	6.442,94	6.977,5	6.350
	Proizvodnja	tona	12.350	15.061	10.953	13.955	10.795
Svet	Površina	ha	65.842	67.395	67.863	69.580	70.167
	Prinos	kg/ha	7.181,75	7.459,10	7.794,94	8.066,93	8.501,60
	Proizvodnja	tona	472.861	502.706	528.988,1	561.297,3	596.532

Troškovi proizvodnje ove voćne vrste su relativno niski posebno u odnosu na jabuku, a stupanje na rod je rano. U dobrim proizvodnim zasadima može se računati sa 30.000 do 40.000 kg/ha. Troškovi podizanja zasada su vrlo mali jer ona ne zahteva potporu, a sadi se relativno mali broj sadnica po jedinici površine (Gvozdenović, 2005).

Podizanjem savremenih zasada dunje može se obezbediti solidna sirovinska baza za proizvodnju sokova, kompota, marmelada, voćnih salata, kitnkeza, izvanredne rakije i dr, (Gvozdenović, 2005).

2.2. Osmotsko sušenje

Osmotsko sušenje koristi se za delimično uklanjanje vode iz bioloških tkiva potapanjem u visokokoncentrovani osmotski rastvor. Pokretačku snagu za transport vlage iz tkiva u rastvor obezbeđuje veći osmotski pritisak visokokoncentrovanog rastvora. Difuzija vlage praćena je istovremenom difuzijom rastvorene supstance iz osmotskog rastvora u tkivo. Pošto ćelijska membrana odgovorna za transport materije nije apsolutno selektivna, drugi rastvorci prisutni u ćelijama takođe mogu dospeti u osmotski rastvor (Giangiacomo i sar, 1987). Osmotsko sušenje se najčešće primenjuje kao predtretman drugom procesu radi sniženja vlažnosti proizvoda, poboljšanja kvaliteta tokom skladištenja, smanjenja ukupne količine energije za procese nakon osmotskog sušenja.

Fluks vode koja difunduje iz uzorka mnogo je veći od suprotnog fluksa rastvorenih supstanci zbog toga što polupropustljiva biljna tkiva onemogućuju ulazak većih molekula iz osmotskog rastvora, dok istovremeno omogućuju migraciju vode iz tkiva u rastvor. Usled činjenice da

ćelijska membrana, koja je odgovorna za prenos mase tokom osmotske dehidracije, nije savršeno selektivna odvija se i treći tok prenosa mase koji podrazumeva difuziju materije (šećera, kiselina, minerala, vitamina) iz biljnog tkiva u okolni rastvor koji, iako kvantitativno zanemarljiv, utiče na senzorske, nutritivne i funkcionalne karakteristike finalnog proizvoda. Gubitak nutrijenta zavisi od vrste materijala koji se tretira (Mayor i sar, 2006).

Materijal dobijen osmotskim sušenjem predstavlja poluproizvod i može se klasifikovati kao proizvod srednje vlažnosti (Labuza, 1980). Vlažnost ovih proizvoda je znatno iznad vrednosti ravnotežne vlažnosti. Pri tome je vrednost aktivnosti vode od 0,6 od 0,9. U ovim granicama vrednosti aktivnosti vode neki proizvodi su mikrobiološki stabilni, ali ipak podložni hemijskim promenama (Lewicki i Lenart, 1995). Da bi se obezbedila veća stabilnost i duža održivost proizvoda, osmotski sušeni proizvodi moraju se podvrgnuti dodatnim metodama konzervisanja hrane kao što je zamrzavanje, sublimaciono sušenje (Tregunno i Goff, 1996), sušenje u vakuumu (Rahman i Mujumdar, 2007), konvektivno sušenje, sušenje mikrotalasima (Islam i Flink, 1982; Corzo i sar, 2008) itd. Najveći broj istraživanja osmotskog sušenja obavljen je na voću i povrću, zatim na mesu (Gerelt i sar, 2000) i ribi (Corzo i Bracho, 2005). Jedna od koristi osmotskog sušenja kao predtretmana konvektivnom, je ušteda energije zbog transporta vlage bez promene faze (Bolin i sar, 1983). Osmotski predtretman takođe povećava odnos šećer – kiseline, što može biti značajno kod tretmana voća sa viskim sadržajem kiselina. Na taj način utiče se na poboljšanje ukusa krajnjeg proizvoda. Takođe, utiče se na poboljšanje teksture materijala i stabilnost pigmenta tokom sušenja i skladištenja (Babić i sar, 2008; Raoult-Wack, 1994). Uticaj šećera na kvalitet proizvoda ogleda se u zaustavljanju dejstva enzima koji izazivaju tamnjenje tkiva velikog broja voća i povrća. Drugi pozitivan efekat je u zaštiti od gubitka isparljivih komponenti arome tokom konvektivnog ili sušenja u vakuumu (Akbarian, 2014).

2.2.1. Mehanizam osmotskog sušenja

Proces transporta materije tokom osmotskog sušenja obavlja se u pravcu izjednačavanja koncentracija, odnosno postizanja koncentracione ravnoteže. U slučaju koncentracione neravnoteže sistema, koji u slučaju osmotskog sušenja čine osmotski rastvor i tretirani materijal, vlaga se iz unutrašnjih slojeva transportuje do granične površine posmatranog materijala. Transport materije iz jednog sistema u drugi kao posledica kretanja molekula, naziva se molekularna difuzija ili često samo difuzija. Difuzija materije zavisi od polja koncentracije i transport materije obavlja se u pravcu od veće koncentracije posmatrane komponente do manje koncentracije.

Pogonska sila molekularne difuzije je gradijent koncentracije u pravcu transporta materije to jest dc/dx gde je c [kg/m^3] zapreminska koncentracija posmatrane komponente. Pogonska sila difuzije definiše promenu koncentracije po jedinici dužine puta difundirane materije. Brzina difuzije (fluks) je količina materije koja difunduje u jedinici vremena kroz jedinicu površine.

Prema osnovnoj jednačini transporta materije sledi:

$$\frac{dM}{A \cdot d\tau} = -D \frac{dc}{dx} \quad (2.1)$$

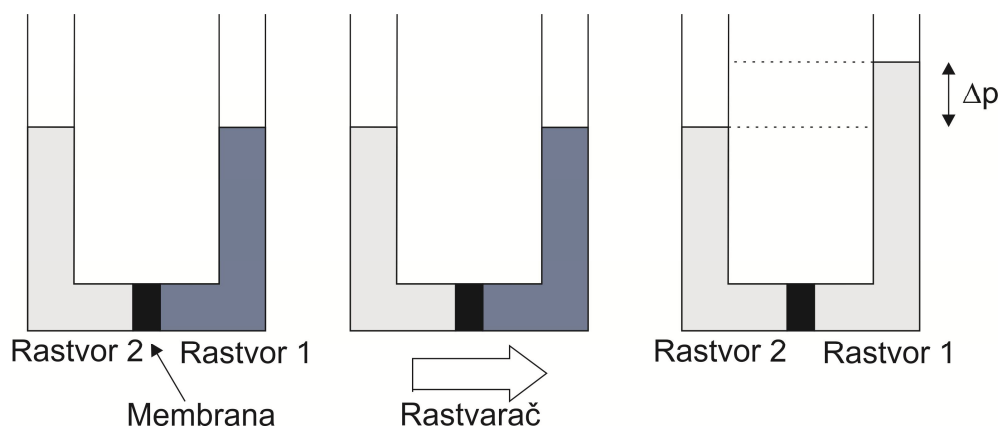
gde je: dM – materijalni fluks, A – granična površina, $d\tau$ – vreme trajanja procesa, D – koeficijent difuzije, dc/dx – gradijent koncentracije.

Integracijom ovog izraza dobija se matematički izraz prvog Fikovog zakona:

$$M = -DA \frac{\partial c}{\partial x} \tau \quad (2.2)$$

Koeficijent difuzije predstavlja količinu materije transportovanu u jedinici vremena kroz jedinicu površine pri jediničnom padu koncentracije po jedinici dužine puta u pravcu difuzije (Voronjec, 1979).

Osmoza je pojava spontanog prolaska rastvarača kroz polupropustljivu membranu u rastvor, ili generalano prolaz rastvarača iz razblaženijeg u koncentrovaniji rastvor, kada su rastvori razdvojeni polupropustljivom membranom. Osmotski pritisak raste kada su dva rastvora različitih koncentracija razdvojena polupropustljivom membranom (slika 2.1).



Slika 2.1. Šematski prikaz osmotskog procesa

Za fizičko tumačenje pojava u višekomponentnim sistemima često se koristi termodinamička analiza i u mnogim termodinamičkim jednačinama fizičke hemije koriste se funkcije izobarskog i hemijskog potencijala (Voronjec, 1979).

Hemijski potencijal je sposobnost molekula vode, koja se nalazi u nekoj tački sistema da izvrši rad u poređenju sa sposobnošću koju poseduje čista voda. Voda se uvek kreće osmozom iz

manje negativnog u više negativan potencijal vode. Najviši mogući potencijal vode je onaj za čistu vodu i on iznosi 0, svi ostali rastvori imaju negativan potencijal vode. Potencijal vode meri se u Pa.

Hemijski potencijal materije je funkcija koncentracije, temperature i pritiska. U izotermnim uslovima hemijski potencijal rastvarača samo u funkciji koncentracije i pritiska dat je jednačinom (Mulder, 1996):

$$\mu_w = \mu_{ow} + RT \ln a_w \quad (2.3)$$

gde je: μ_w – hemijski potencijal rastvarača 1, μ_{ow} – standardni hemijski potencijal vode, T – temperatura, R – univerzalna gasna konstanta, a_w – aktivnost vode.

Interakcija dva sistema sa različitim sadržajem energije podrazumeva razmenu energije koja se odvija do uspostavljanja ravnoteže tj. dok se hemijski potencijali dva sistema ne izjednače. Ravnotežno stanje, pod izotremnim uslovima, može biti postignuto ili promenom koncentracije ili promenom pritiska. Dodatni pritisak koji je neophodan za uspostavljanje ravnotežnog stanja između čistog rastvarača i rastvora se naziva osmotski pritisak.

$$\Pi = -\frac{RT}{V} \ln a_w \quad (2.4)$$

gde je: Π – osmotski pritisak, V - molarna zapremina vode, a_w – aktivnost vode.

Fenomen osmotskog sušenja javlja se kao posledica različitih hemijskih potencijala između vodenog rastvora unutar ćelija materijala i osmotskog rastvora koji ga okružuje (Mayor, 2006).

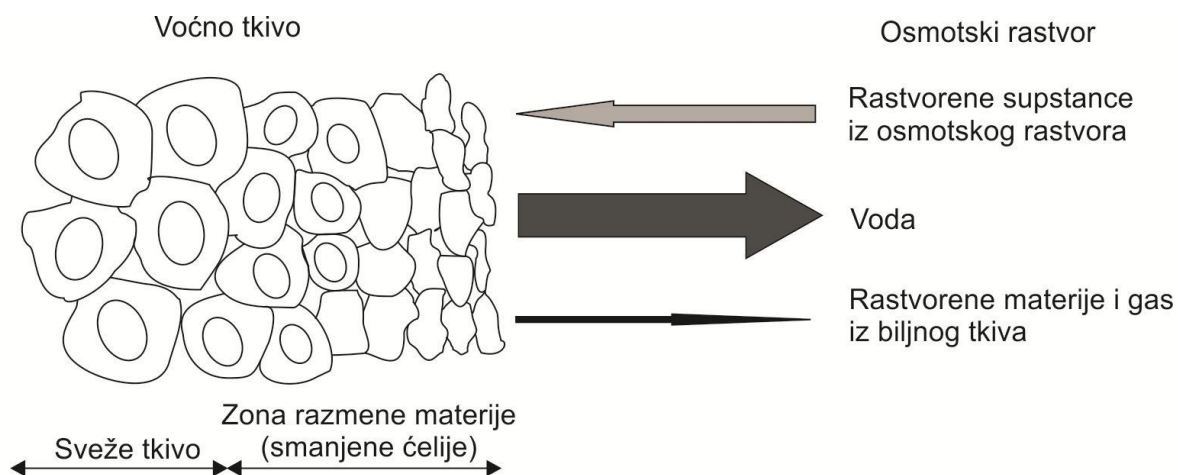
2.2.2. Prenos mase tokom osmotskog sušenja

Inženjerski posmatrano biljni materijal može se smatrati kapilarno poroznim koloidnim materijalom koji je podeljen velikim brojem unutrašnjih jedinica, ćelijama, koje se nadovezuju jedna na drugu. Kapilari i pore ispunjeni su tečnošću i vazduhom. Većina kapilara i pora su otvoreni, a ćelije su sposobne da obavljaju razmenu vode međusobom (Lewicki i Lenart, 1995). Osmotsko sušenje je višekomponentni proces razmene materije, dva istovremena suprotnosmerna toka rastvora i jednog toka vazduha. Rastvor koji izlazi iz materijala je voda sa rastvorenim supstancama kao što su organske kiseline, šećeri, minerali, neka aromatična i pigmentska jedinjenja koja utiču na organoleptičke i nutritivne osobine krajnjeg proizvoda. Rastvorene supstance prisutne u osmotskom rastvoru apsorbovaće tretirani materijal. Javiće se i tok kretanja vazduha iz međućelijskog prostora u rastvor (Mayor, 2006).

Proces prenosa mase tokom osmotskog sušenja često se opisuje mehanizmom koji su dali Shi i Le Maguer (2002). Kada se ćelijski materijal potopi u osmotski rastvor, prvi sloj ćelija oslobađa

vlagu zbog različitih hemijskih, koncentracionih potencijala između ćelija i osmotskog rastvora. Istovremeno se smanjuje zapremina ćelija, zbog smanjenja udela vlage. Međućelijski prostor koji je ispunjen vazduhom, popuniće osmotski rastvor. Vazduh će biti istisnut u rastvor ili potisnut u međućelijski prostor. Nakon što voda napusti ćelije prvog sloja, odnosno uspostavi se ravnoteža koncentracionih potencijala, voda će napustiti ćelije drugog sloja i popuniće prvi sloj ćelija. Fenomen prenosa mase i promene zapremine ćelija prenosi se od površinskog sloja materijala ka njegovom centru. Na kraju, ćelije centralnih slojeva materijala otpuštaju vodu, a proces prenosa mase se nakon dužeg perioda kontakta materijal/rastvor, približava ravnotežnom stanju. Prenos mase i skupljanje tkiva istovremeno se odvijaju tokom procesa osmotske dehidracije (slika 2.2) (Warczok, 2005; Le Maguer i sar, 2003; Shi i Xue, 2009; Phisut, 2012). Usled znatnog smanjenja zapremine ćelije dolazi do procesa plazmolize. Plazmoliza je proces pri kojem se plazmalema (ćelijska membrana) odvaja od ćelijskog zida zbog promene zapremine protoplazme (unutrašnji sadržaj ćelije). Zbog plazmolize povećava se zapremina prostora između ćelijskog zida i membrane i taj prostor popunjava osmotski rastvor.

U svežem materijalu transport vode obavlja se kroz polupropustljive membrane u vanćelijski prostor, a zatim u rastvor. Dubina prodiranja osmotskog rastvora zavisi od nekoliko faktora kao što su propustljivost rastvorka kroz ćelijsku membranu, molekulska masa, temperatura rastvora itd (Mayor, 2006). Ustanovljeno je da molekuli saharoze prodiru u površinski sloj biljnog tkiva debljine 2-3 mm dok najveće promene u sadržaju vode nastaju u sloju debljine do 5 mm (Bolin i sar, 1983; Lenart i Flink, 1984). Ćelije u različitim slojevima materijala sadrže različitu količinu vode, suve materije, imaju različitu zapreminu. Ćelije koje pripadaju istom sloju tkiva mogu se smatrati istim po pitanju fizičkih osobina (Mayor, 2006).



Slika 2.2. Šematski prikaz prenosa mase tokom osmotskog sušenja (Warczok, 2005)

2.2.3. Uticajni faktori osmotskog sušenja

Brzina i efikasnost procesa osmotskog sušenja zavisi od različitih faktora. Uticajni faktori se mogu podeliti u dve grupe: osobine materijala koji se koristi u procesu osmotskog sušenja (vrsta materijala, stepen zrelosti, veličina, oblik, forma i td) i parametri procesa (vrsta predtretmana, vrsta rastvora, temperatura rastvora, koncentracija rastvora, vreme trajanja procesa, odnos materijal/rastvor, radni pritisak, brzina strujanja rastvora itd).

Vrsta i stepen zrelosti materijala

Vrsta i stepen zrelosti biljnog materijala u velikoj meri utiču na strukturu biljnog tkiva, strukturu ćelijske membrane, odnos protopektina i rastvorljivih pektina, količinu nerastvorljivih supstanci, veličinu međućelijskog prostora, kompaktnost tkiva, količinu zarobljenog vazduha u porama tkiva itd. (Lazardes, 2001). Ove razlike nisu samo posledica različite vrste i stepena zrelosti materijala već se mogu javiti u različitim delovima jednog komada voća ili povrća (Torreggiani, 1993).

Geometrijske karakteristike materijala

Geometrijske karakteristike materijala utiču na proces osmotskog sušenja zbog različitog odnosa površine i zapremine uzorka. Lerici i sar, (1985) istražuju uticaj različitih oblika materijala na proces osmotskog sušenja. Autori opisuju uticaj odnosa površine i polovine debljine uzorka (A/c) na proces razmene materije. Pri određenoj vrednosti odnosa površina/polovina debljine (A/c) (veća specifična površina) obezbeđuje se veće smanjenje vlažnosti materijala i povećanje suve materije u odnosu na uzorke manje specifične površine. Primer za poređenje mogu biti uzroci jabuke u obliku cilindričnih listića i kriški. Prekoračenjem određene vrednosti odnosa A/c , bez obzira na veliku specifičnu površinu uzorka, na primer kod uzoraka oblika kocke, dolazi do znatnog povećanja mase suve materije uz usporenje difuzije vlage (Lerici i sar, 1985).

Na proces osmotskog sušenja svakako utiče i stanje površine materijala. Neke voćne vrste podvrgavaju se osmotskom sušenju pri čemu je deo njihove površine pokriven prirodnom spoljašnjim omotačem egzokarpom. Druge voćne vrste zahtevaju pripremu nakon koje se materijal sastoji samo od mezokarpa. Postoje slučajevi da je plod skoro potpuno prekriven tvrdim egzokarpom, kod kojih je osmotski proces veoma spor ili praktično neprimenljiv.

Vrsta predtretmana

Osmotskom sušenju često prethode određeni tretmani u cilju unapređenja procesa i kvaliteta tretiranog materijala. Tretmani koji se najčeće koriste pre osmotskog sušenja su tretman sumpordioksidom, organskim kiselinama, blanširanje i zamrzavanje. Radojčin i sar (2013) navode tretman sumpordioksidom kao najefikasniji metod u očuvanju boje kruške tokom osmotskog sušenja. Potapanje materijala u rastvore baza ili kiselina, pre osmotskog sušenja, vrši se radi zaštite prirodne boje materijala koji se tretira (Hussaini i sar, 2004; Sunkja i Raghavan, 2004). Kowalska i sar, (2008) analizirali su uticaj blanširanja i zamrzavanja na tkivo bundeve tokom osmotskog sušenja. Oba predtretmana utiču na povećanje udela suve materije i utiču na smanjenje vlažnosti u odnosu na uzoke koji nisu podvrgavani nikakvom predtretmanu. Tokom osmotskog sušenja prethodno zamrzavane dunje izmeren je porast udela suve materije od 44%, dok je kod uzoraka koji nisu zamrzavani porast bio 12%. Predtretman zamrzavanjem nije uticao na proces difuzije vlage u odnosu na nezamrzavane uzorke (Radojčin i sar, 2014).

Vrsta osmotskog rastvora

Osmotski rastvor koji se koristi u procesu osmotskog sušenja mora da ispuni određene zahteve. Rastvor mora da bude jestiv sa prihvatljivim ukusom i aromom, netoksičan, inertan prema sastojcima hrane i osmotski aktivan (Lewicki and Lenart, 1995). Rastvori saharoze, glukoze, fruktoze, maltodekstrina i skroba najčešće se koriste u procesima osmotskog sušenja (Hawkes i Flink, 1978; Argaiž i sar, 1994). Osim navedenih koriste se i slani rastvori za osmotsko sušenje povrća, mesa i ribe. Takođe se koriste i kombinacije različitih rastvoraka, kako bi se iskoristile njihove pojedinačne prednosti. Primena frukoznog rastvora ima za posledicu značajno povećanje suve materije u poređenu sa saharozom. Sadržaj suve materije veći je čak do 50%, zbog manjih molekula fruktoze koji lakše prodiru u voćno tkivo. Primena saharoze ima prednost u odnosu na fruktozu (Bolin i sar, 1983). Rastvor saharoze pokazao se kao dobar inhibitor polifenoksidaze, odnosno potamnjenja uzrokovanog dejstvom enzima. Prednost primene saharoze ogleda se i u zaštiti esencijalnih komponenti od isparavanja, što doprinosi očuvanju senzornih osobina izvornog materijala (Ponting, 1973). Kombinovani rastvori saharoze i soli koriste se za tretman povrća, mesa i ribe. Dodatak malih količina supstanci malih molekularnih težina, kao što su kuhinjska so ili mlečna kiselina, intenziviraju transport vlage iz materijala, bez značajnog povećanja udela suve materije u tretiranom materijalu (Lewicki i

Lenart, 1995). Kalcijum hlorid, mlečna kiselina i kalcijum laktat kao dodatak rastvoru saharoze popravljaju teksturu osmotski tretiranog voća (Hoover i Miller, 1975; Rodrigues i sar, 2003).

Temperatura rastvora

Povišenje temperature osmotskog rastvora do određene vrednosti svakako ubrzava osmotski proces. Dalje povišenje temperature, preko 60°C, utiče na polupropustljivu ćelijsku membranu i usporava osmotski proces Le Maguer (1988). Pri višim temperaturama rastvora smanjuje se njegova viskoznost što utiče na povećanje koeficijenta difuzije razmenjenih supstanci (Mayor, 2006; Stefanović i Urošević, 1995). Temperatura rastvora ne utiče samo na proces osmotskog sušenja nego i na hemijski sastav i osobine materijala. Visoka temperatura rastvora izaziva enzimsko tamnjenje, gubitak selektivnosti ćelijske membrane, promene strukture, teksture i ukusa tretiranog materijala (Talens, 2002). Babić, Ljiljana i sar, (2004, 2007) istraživali su uticaj parametara osmotskog sušenja na kinetiku sušenja polutki kajsija („Novosadska rodna“). Temperatura rastvora je varirana na dva nivoa (45 i 55°C) kao i koncentracija rastvora (55 i 65°Bx), vreme osmotskog sušenja iznosilo je 120 minuta. Na osnovu analize rezultata autori zaključuju da sa porastom temperature i koncentracije osmotskog rastvora raste brzina migracije molekula vode iz polutki kajsija u osmotski rastvor. Potapanje voća u sirupe je tradicionalni predtretman za očuvanje boje, ukusa, teksture i vitamina. Međutim, povišene temperature rastvora izazivaju gubitak vitamina, naročito vitamina C.

Koncentracija rastvora

Koncentracija rastvora utiče na trajanje procesa osmotskog sušenja, jer direktno utiče na pokretačku silu. Povećanje koncentracije rastvora utiče na povećanje sadržaja suve materije u materijalu. Ispir i Torgul (2009) istraživali su proces transporta mase tokom osmotskog sušenja kajsije. Početne koncentracije osmotskog rastvora bile su 40, 50 i 60°Bx. Autori navode da povećanje koncentracije dovodi do povećanja osmotskog pritiska (većeg gradijenta), odnosno većeg smanjenja vlažnosti i značajnijeg povećanja udela suve materije. Svojim istraživanjima Saurel i sar, (1994) ukazali su da povećanje koncentracije rastvora prouzrokuje formiranje gustog, barijernog sloja na površini materijala koji poboljšava efekat izdvajanja vode iz materijala a istovremeno i smanjuje gubitak nutrijenata tokom procesa. Koncentracija osmotskog rastvora utiče na ukus krajnjeg proizvoda.

Brzina strujanja rastvora

Proces difuzije molekula vode znatno je intenzivniji usled kretanja materije (rastvora). Proces razmene materije sa površine čvrstog tela u tečnu fazu zavisi od koeficijenta prelaza materije, koji se može uporediti sa koeficijentom prelaza toplote. Koeficijent prelaza materije definiše njen transport i zavisi od hidrodinamičkih uslova strujanja (Voronjec, 1979). Mešanjem rastvora smanjuje se otpor prenosu mase sa strane tečnosti. Pojedini autori navode štetnost upotrebe cirkulacije rastvora zbog mogućnosti pojave oštećenja materijala. Međutim, upotreba cirkulacione centrifugalne pumpe uz obezbeđenje statičnosti tretiranog materijala predstavlja efikasno i jednostavno rešenje ovog problema (Babić, 2012).

Ostali faktori

Odnos masa rastvor/materijal utiče na brzinu, efikasnost osmotskog procesa i definiše osmotski potencijal rastvora (Escriche i sar, 2002).

Smanjenje pritiska tokom procesa osmotskog sušenja ubrzava osmotski proces. Manji pritisak tokom procesa osmotskog sušenja olakšava prodiranje rastvorka u tkivo. Manji pritisak u procesu osmotskog sušenja utiče na intenzivnije izdvanje vode iz tretiranog materijala ako se poredi sa procesom obavljenim pri atmosferskom pritisku. Za neke voćne vrste, na primer jabuka, karakteristično je prisustvo intercelularnog prostora – pora, u parehimskom tkivu. Zapremina pora zauzima 20% ukupne zapremine jabuke. Ove pore su ispunjene vazduhom koji može biti uklonjen primenom podpritiska (Fito, 1994; Shi i sar, 1995).

Osobina materijala kao što je poroznost tkiva utiče na povećanje udela suve materije. Veća količina rastvorka zadržava se u materijalu koji ima veću poroznost tkiva.

2.2.4. Modelovanje kinetike osmotskog sušenja

Zbog održavanja konstantne temperature osmotskog rastvora, proces osmotskog sušenja može se smatrati izotermnim. Glavni cilj modelovanja osmotskog sušenja je predikcija prenosa masa tokom procesa (Mayor, 2006). Kinetika prenosa mase tokom osmotskog sušenja obično je opisana preko promene vlažnosti voćnog tkiva, promene mase i povećanja suve materije.

Za modelovanje procesa osmotskog sušenja koriste se različiti pristupi koji se mogu klasifikovati u tri grupe: empirijski, poluteorijski i teorijski (Toğrul, 2010; Diamante, 2010).

Empirijskim pristupom eksperimentalni podaci se opisuju funkcijom koja aproksimira nepoznatu zavisnost $f(x)$, pri čemu se teži da odstupanja ekperimentalnih vrednosti od računskih

procena budu mala. Ovaj postupak naziva se još i „fitovanje“. Ovi modeli su jednostavni, ali značajan deo ekperimentalnih podataka potrebno je poznavati radi dobijanja empirijskih parametara. Pošto empirijski modeli nisu teoretski zasnovani, oni ne doprinose boljem razumevanju fizičkih pojava. Njihova primena je ograničena samo na slične sisteme ili proces i opseg merenja korišćen pri definisanju modela. Međutim, empirijski modeli mogu se koristiti sa velikom pouzdanošću ako se predviđa ponašanje istog ili sličnog procesa u opsegu vrednosti parametara za koje je ranije obavljena analiza. Razvijeni su brojni empirijski modeli od strane različitih autora Hawkes i Flink (1978), Magee i sar, (1983), Moreira i Sereno (2003), Azuara i sar, (1992), Peleg (1988) itd.

Najčešće primenjivani *Hawkes*–ov model koristi se za opisivanje kinetike osmotskog sušenja (jednačine 2.5. i 2.6), upotrebljen je za regresionu analizu eksperimentalnih podataka promene vlažnosti i povećanja suve materije osmotski sušenih listića jabuke (Reppa i sar, 1998):

$$WL = a \cdot \tau^{0,5} \quad (2.5)$$

$$SG = a \cdot \tau^{0,5} \quad (2.6)$$

gde je: WL – smanjenje vlažnosti (kg_w/kg); SG – povećanje suve materije (kg_{sm}/kg); a – koeficijent funkcije; τ - vreme (h).

Babić i sar, (2004) ispitili su dva empirijska modela eksponencijalnih jednačina (2.7 i 2.8). Modeli su korišćeni za modelovanje promene vlažnosti polutki kajsija tokom osmotskog sušenja. Izabrani modeli prošireni uticajnim faktorima eksperimenta osmotskog sušenja u bezdimenzionalnom obliku. Usvojene su najviše vrednosti koncentracije osmotskog rastvora i temperature osmotskog rastvora kao referentne vrednosti. Na ovaj način ostvaruje se univerzalnost modela. Sličnim modelom Pavkov i sar, (2007, 2012) opisuju promenu vlažnosti u polutkama kajsije:

$$\Delta\omega = \omega_o - \omega_\tau = a \cdot \tau^{n_1} \left(\frac{t_r}{t_{r(ref)}} \right)^{n_2} \cdot \left(\frac{C_r}{C_{r(ref)}} \right)^{n_3} \quad (2.7)$$

$$\Delta\omega = \omega_o - \omega_i = a \cdot \exp(k \cdot \tau) \cdot \left(\frac{t_r}{t_{r(ref)}} \right)^{n_1} \cdot \left(\frac{C_r}{C_{r(ref)}} \right)^{n_2} \quad (2.8)$$

gde je: $\Delta\omega$ - promena vlažnosti u odnosu na vlažnu bazu (%); ω_o , ω_i – vlažnost u odnosu na vlažnu bazu: na početku sušenja, u i - tom vremenskom trenutku (%); τ - vreme (min); t_r – temperatura osmotskog rastvora ($^{\circ}\text{C}$); $t_{r(ref)}$ – referentna temperatura osmotskog rastvora ($^{\circ}\text{C}$); C_r – koncentracija osmotskog rastvora ($^{\circ}\text{Bx}$); C_{r} – referentna koncentracija osmotskog rastvora ($^{\circ}\text{Bx}$); a – koeficijent funkcije, k – konstanta sušenja (min^{-1}); n_1 , n_2 , n_3 – eksponenti funkcije.

Poluteorijskim pristupom uzimaju se pored empirijskih komponenti u obzir i drugi fenomeni koji se događaju tokom procesa osmotskog sušenja. Međutim, uticaj empirijskih parametara je veoma snažan pri definisanju modela (Mayor, 2006). Poluteorijski modeli poznati su kao eksponencijalni zakoni sušenja. Za opisivanje kinetike sušenja koriste se različiti poluteorijski modeli kao što su Newton model, Page model, Henderson and Pabis model, Two term exponential i drugi. Raoult-Wack i sar, (1991) predložili su matematički model za simultani transport vode i rastvorka u kockama agar gela. Agar gel čine voda i agar prah koji se dobija preradom morske trave *Gelidium*. Zadatak je bio objašnjenje formiranja sloja šećera na površini proizvoda.

Teorijski pristup modelovanja procesa osmotskog sušenja zasnovan je na analizi fenomena transporta masa tokom procesa. Najjednostavniji modeli uzimaju u obzir samo unutrašnji otpor transportu mase. Pri tome se koristi drugi Fikov zakon za dobijanje koeficijenata difuzije (Lazarides i sar, 1997). Modeli zasnovani na Fikovom zakonu imaju određena ograničenja jer je interakcija tokova difuzujućih supstanci zanemarena. Koncentracioni gradijent se smatra jedinom pokretačkom silom procesa osmoze. Drugi putevi prenosa mase kao što je na primer struktura materijala nisu uzeti u obzir. Pored toga, modeli bazirani na Fikovom zakonu uspešno predviđaju procese transporta masa tokom osmotskog sušenja (Mayor, 2006).

Drugi kompleksniji teorijski pristupi obuhvataju ćelijsku strukturu, karakteristike ćelijske membrane, različite mehanizme transporta mase, transport u međućelijskom prostoru i dr. Yao and Le Maguer (1996) i Le Maguer i sar, (2003) predložili su modele kojima se razlika u hemijskom potencijalu smatra pokretačkom silom procesa osmoze. Ovi modeli su veoma korisni za razumevanje fenomena transporta mase na ćelijskom nivou.

2.3. Fizičke osobine voća

2.3.1. Zapremina i oblik

Jedna od bitnijih fizičkih promena do koje dolazi tokom sušenja biomaterijala je promena geometrijskih karakteristika. To su promene oblika i zapremine (Frias i sar, 2010). Promena oblika materijala tokom procesa sušenja odražava se na kvalitet krajnjeg proizvoda. Veličina ovih promena zavisi od mehanizma transporta vlage. Odnosno, metod i uslovi sušenja utiču na intenzitet promene oblika i zapremine. Tokom konvektivnog sušenja značajno se menja zapremina materijala i smanjuje brzina rehidratacije. Poznavanje fizičkih osobina voća važno je zbog projektovanja opreme za preradu, sušenje i skladištenje. Pored toga fizičke osobine su deo kompleksa senzorskih osobina koje su veoma bitne za konzumaciju.

Promena zapremine često se izražava zapreminskim skupljanjem. Zapreminsko skupljanje najčešće predstavlja odnos između zapremine materijala pre i posle sušenja. Zapremina nekog uzorka može se izmeriti primenom Arhimedovog zakona.

Promene zapremine materijala koje nastaju prilikom procesa osmotskog sušenja mogu se posmatrati na različitim strukturnim nivoima. Na mikrostrukturnom i makrostrukturnom nivou, odnosno na nivou ćelije i nivou veličine posmatranog uzorka. Sušenje i gubitak vode izaziva promene ćelijske mikrostukture i zapremine (Koc i sar, 2008). Kao posledica smanjenja vlažnosti i promene osobina ćelijske membrane, dolazi do pojave skupljanja i deformacije ćelije, plazmolize, razdvajanja ćelija i prekidanja veza između ćelija. Smanjenje vlažnosti izaziva promene u ćelijskoj strukturi što vodi ka promenama oblika i smanjenju dimenzija (Mayor, 2006).

Voće je ćelijski biomaterijal koji se sastoji od trodimenzionalne čvrste mreže koja sadrži veliku količinu tečnosti. Čvrsti deo čine biopolimeri, najčešće celuloza i pektini. Struktura i mehaničke osobine tih elemenata definišu zapreminu, veličinu i oblik uzorka.

Veliki broj autora bavio se ispitivanjem zavisnosti promene zapremine i vlažnosti biomaterijala. Pri višim vlažnostima materijala promena zapremine skoro u potpunosti kompenzuje gubitak vlažnosti. U tom periodu zapremina se smanjuje linearno sa smanjenjem vlažnosti materijala. Pri nižim vlažnostima materijal prelazi iz "gumenog" ka "staklastom" stanju pri čemu se promena zapremine smanjuje. Promenama stanja od "gumenog" ka "staklastom" podložni su šećeri (glukoza, fruktoza, saharoza) koji se nalaze u rastvoru protoplazme. Celuloza i pektini ne podležu nevedenim promenama (Aguilera i sar, 1998). U

završnoj fazi sušenja zapremina vode koja napusti tkivo veća je od smanjenja zapremine uzorka (Lozano i sar, 1983; Krokida i Maroulis, 1997; Moreira i sar, 2000). Ovo ponašanje materijala može objasniti odstupanje od linearnosti promene zapremine materijala tokom finalne faze konvektivnog sušenja. Tokom procesa sušenja, kada materijal dostigne niske vrednosti vlažnosti, krutost koju tada materijal dostigne utiče na prekidanje procesa promene zapremine i formiranje porozne strukture.

Otpor prema promeni oblika i zapremine svakako zavisi od strukture i hemijskog sastava materijala. Materijal sa većim sadržajem vlage i tanjim ćelijskim zidom pretrpeće veće promene zapremine od materijala sa manjim sadržajem vlage i ćelijskim zidom bogatim celulozom i ligninom. Promena zapremine biomaterijala tokom sušenja najčešće je anizotropna zbog orijentacije biljnih vlakana (Rossello i sar, 1997; Mulet i sar, 2000).

Utjecaj osmotskog sušenja na promenu zapremine

Osmotsko sušenje kao predtretman konvektivnom pozitivno utiče na očuvanje oblika i na smanjenje zapremine, navodi Karathanos (1996). Mayor i Sereno (2004) navode da je promena zapremine uzoraka tikve u obliku cilindra prečnika 15 mm i dužine 25 mm linearna u odnosu na promenu vlažnosti tokom osmotskog sušenja. Mayor i sar, (2011) proučavali su promene zapremine bundeve tokom osmotskog sušenja. Analizom promena dimenzija uzoraka zaključuju da je promena zapremine tokom osmotskog sušenja izotropna (slika 2.3). Ovo se može objasniti velikim stepenom izotropnosti bundevinog tkiva.

Način izračunavanja promene zapremine i matematički modeli su različiti u literaturi. Skupljanje se može izraziti na dva načina: koeficijentom skupljanja S (Mayor i Sereno, 2004; Suzuki i sar, 1976; Viberg i sar, 1998; Toğrul i İspir, 2007) i zapreminskim skupljanjem SV (Levicki i Jakubczik, 2004, Babić i sar, 2008). Koeficijent skupljanja S definiše se:

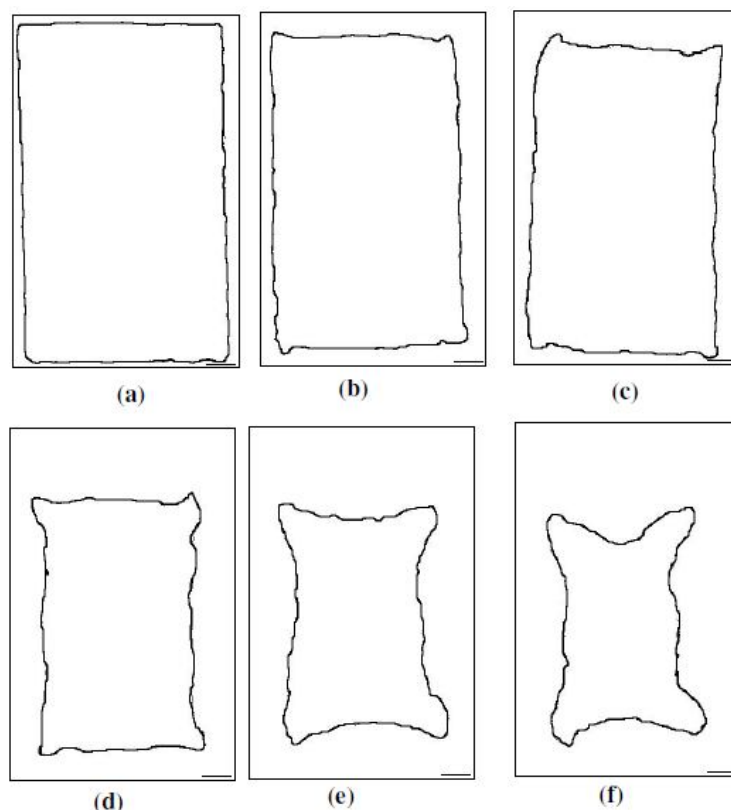
$$S = \frac{V_i}{V_o} = 1 - SV \quad (2.9)$$

gde je: S – koeficijent skupljanja (-, %), V_o – zapremina svežeg uzorka (cm^3), V_i – zapremina uzorka u posmatranom i -tom vremenskom trenutku (cm^3).

Zapreminsko skupljanje SV definiše se:

$$SV = \frac{V_o - V_i}{V_o} = \frac{\Delta V}{V_o} = 1 - S \quad (2.10)$$

gde je: SV – zapreminsko skupljanje (-, %), ΔV - razlika zapremina.



Slika 2.3. Promena oblika i zapremine uzorka bundeve u obliku cilindra tokom osmotskog sušenja rastvorom koncentracije 60°Bx i temperature 25°C (Mayor, 2006)

U literaturi se mogu pronaći brojni matematički modeli koji opisuju skupljanje bioloških materijala u zavisnosti od vlažnosti ili vremena sušenja. U tabeli 2.1 dato je nekoliko modela. Najveći broj modela ukazuje na linearnu zavisnost između vlažnosti voćnog tkiva i skupljanja.

Tabela 2.2. Matematički modeli koeficijenta skupljanja (S) i zapreminskog skupljanja (SV) tkiva voća tokom sušenja

R.br.	Model	Materijal (vrsta sušenja)	Referenca
1.	$SV (\%) = - 0,0005\tau^2 + 0,2421\tau + 0,0263$	četvrtine dunje (osmotsko $t=45^\circ\text{C}$, $c=59,4^\circ\text{Bx}$)	<i>Babić i sar, 2008.</i>
2.	$S = 0,0927\omega_i^s + 0,07752$	kockice mrkve (konvektivno)	<i>Hatamipour i Mowla 2002.</i>
3.	$S = 0,0943 + 0,887 \omega_i^s / \omega_0^s$	jagoda (mikrotalasno)	<i>Raghavan i Venkatachalapathy 1999.</i>
4.	$S = 0,2481 + 0,096 \omega_i^s$	koluti jabuke (konvektivno)	<i>Moreira i sar, 2000.</i>

2.3.2. Mehaničke osobine i tekstura

Tekstura predstavlja kompleks kvalitativnih i kvantitativnih osobina i presudan je faktor u prihvatanju voća i povrća od strane konzumenata. Iako je termin u širokoj upotrebi, tekstura nije decidno i jednoznačno definisan atribut. To je termin koji obuhvata strukturne i mehaničke osobine hrane i njihovu čulnu percepciju u ruci ili ustima. Neke definicije teksture ograničavaju upotrebu samo na senzorne osobine ili mehaničke osobine direktno povezane sa senzornim. Termin tekstura se ponekad širi i na neke mehaničke osobine od komercijalnog interesa koji ne mogu biti direktno vezane za potrošače, kao što je otpornost na mehanička oštećenja (Abbott i Harker, 2004).

Neki od mnogih pojmova koji se koriste za opisivanje teksture voća ili povrća su: tvrdo, čvrsto, meko, hrskavo, brašnjavo, žvakljivo, topivo, vunasto, lepljivo, suvo i sočno itd. Nema prihvaćene instrumentalne metode za merenje svake od ovih osobina. U stvari, postoje određene nesuglasice među senzornim, hortikulturnim i inženjerskim upotrebama pojedinih termina, posebno čvrstoće (Bourne, 2002).

Teksturane osobine voća i povrća su u vezi sa strukturnim, fiziološkim i biohemijским karakteristikama živih ćelija, njihovim promenama tokom vremena i njihovim promenama tokom procesa kao što su kuvanje ili zamrzavanje. Nепrekidne fiziološke promene u živim ćelijama, plus svojstvena varijabilnost proizvoda otežavaju ocenjivanje teksture voća ili povrća. Zbog stalnih promena, merenja teksture često su relevantna samo u vreme ocene, to jest, ona se obično ne mogu koristiti za predviđanje stanja mnogo kasnije u periodu skladištenja ili u marketinškom lancu (Abbott i Harker, 2004; Bourne, 2002).

Fiziološke osnove teksture

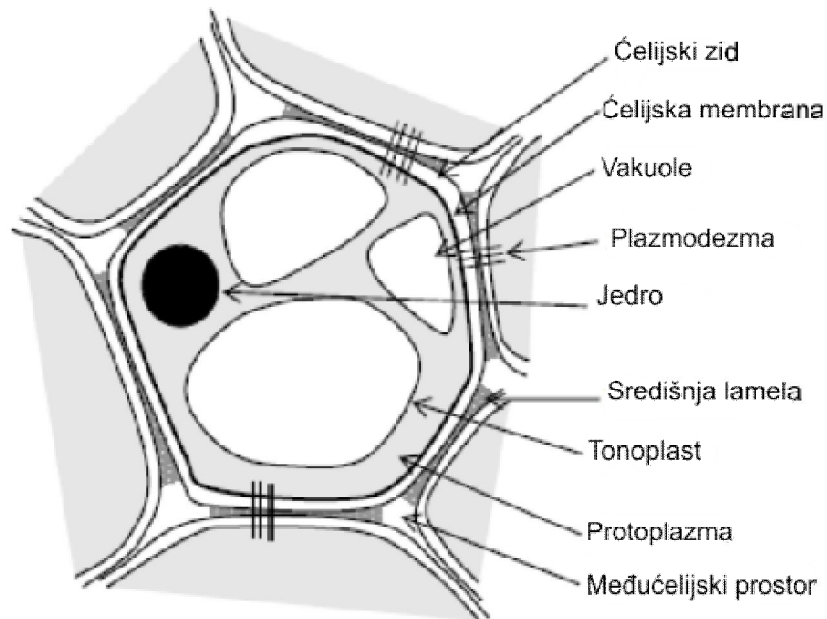
Za razumevanje teksture proizvoda, važno je identifikovati glavne elemente čvrstoće tkiva i utvrditi elemente koji su odgovorni za teksturne osobine proizvoda. Na primer, možda je neophodno izbeći žilava vlakna kod merenja teksture mekih tkiva, jer mala količina vlakana stvara veštački visoku vrednost otpora koja se ne slaže sa senzornom ocenom mekoće. S druge strane, važno je da se izmeri čvrstoća vlakana prilikom određivanja žilavosti, na primer kod špangle ili brokolija. Prema tome, razvoj metoda i rešenje za mnoge probleme teksture zahteva dobro razumevanje anatomije tkiva unutar voća ili povrća, strukturu njihovih ćelija i biološke promene koje se dešavaju tokom sazrevanja, skladištenja i prerade (Abbott i Harker, 2004).

Struktura biljne ćelije

Proces osmotskog sušenja obavlja se najčešće sa voćem i povrćem. Poznavanje strukture voća i povrća bitno je za razumevanje procesa razmene materije koja se javlja tokom osmotskog tretmana.

Biljna ćelija je osnovna jedinica biljnog tkiva koja se sastoji od dva osnovna dela: protoplasta i ćelijskog zida (slika 2.4). Protoplast predstavlja unutrašnji sadržaj ćelije. Opoljen je ćelijskom membranom (plazma membrana). Unutar protoplasta nalaze se citoplazma i jedro. U citoplazmi se nalaze organele (plastidi, mitohondrije, vakuola, ribozomi) i membranski sistemi. Citoplazma je odvojena od ćelijskog zida ćelijskom membranom – plazmalemom. Plazma membrana se sastoji od dva sloja lipida u koji su zaronjeni proteini. Spoljašnja i unutrašnja površina membrane obavljaju različite funkcije pa se razlikuju i po sastavu. Membrana reguliše kontakt između protoplasta i vanćelijskog prostora. Propustljiva je za vodu i polupropustljiva za ostale supstance (selektivna). Neposredni fizički kontakt između protoplasta ćelija je nemoguć jer se ćelije naslanjaju jedna na drugu svojim ćelijskim zidovima (Kojić, 1998; Kastori, 1998; Jančić, 2004). Ipak, fizička veza između susednih protoplasta omogućena je tako što su oni povezani plazmodezmama. Plazmodezme obezbeđuju efikasan transport molekula vode, šećera i aminokiselina od ćelije do ćelije dok veliki molekuli (proteini) i organele ne mogu da se prenesu na taj način.

Vakuole su membranom ograničene u protoplazmi. One sadrže rastvor vode i minerala, šećera i drugih organskih komponenti. Membrana kojoj su obavijene vakuole naziva se tonoplast. U tonoplastu postoje transportni sistemi koji obezbeđuju razmenu materija između vakuole i citoplazme. Tonoplast zadržava svoju selektivnu propustljivost i posle izumiranja citoplazme, dok plazmalema raspolaže polupropustljivošću samo dok je protoplast živ. Vakuole su najbitnije u procesu dehidracije jer one sadrže oko 90% od ukupno prisutne vode u ćeliji. Kod razvijene ćelije, najveći deo njene zapremine zahvata vakuola dok citoplazma, kao tanka opna, ispunjava prostor između vakuole i ćelijskog zida (Kojić, 1998; Kastori, 1998).



Slika. 2.4. Uprošćen prikaz biljne ćelije (Lewicki i Lenart, 2006)

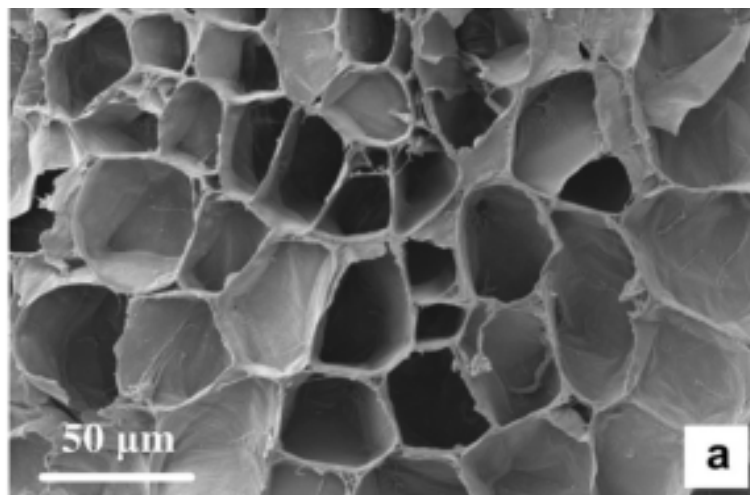
Celuloza je glavna komponenta ćelijskog zida. Druge komponente koje čine ćelijski zid su pektin, hemiceluloza i mineralne komponente. Ćelijski zid je propustljiv za vodu i komponente male molekulske mase. Ćelijski zid ne predstavlja barijeru za transport rastvorka iz i u ćeliju. Ćelijski zid ograničava dimenzije protoplasta, sprečava njegovo razaranje usled povećanja vakuole, daje potrebnu čvrstinu i oblik biljnoj ćeliji (Lewicki i Lenart, 2006).

Središnja lamela je sloj koji se sastoji od pektina i proteina. Središnja lamela podeljena je između dve susedne ćelije i njena uloga je da deluje kao veza između susednih ćelija.

Većina ćelija je dimenzija od 10 do 100 μm i u zavisnosti od funkcije one su gušće ili ređe pakovane u tkiva. Grupa ćelija koje su specijalizovane da obavljaju određenu funkciju grade tkivo.

Veza između strukture ćelije i teksture

Voće se razvija iz delova cveta, povrće iz korena, stabljike, lišća ili cveta. Ono što je zajedničko za svo voće i povrće je to da je svo relativno meko kada se jede (sirovo ili kuvano), uglavnom zbog prisustva parenhima ćelija. Ove parenhimske ćelije nisu drvenaste, a njihovi primarni zidovi odvojeni su morfološki izraženim delom poznatim kao srednja lamela, koja razdvaja susedne ćelije, a bogata je pektinskim materijama. Jedinstvena mešavina matriksa (pektina i hemicelulozne) i polisaharidnih (celuloza) vlakana u ćelijskom zidu uglavnom



Slika 2.6. Izgled ćelija svežeg tkiva mrkve (Rastogi i sar, 2008)

Ćelijski zid

Sa hemijske tačke gledišta, osnovni ćelijski zid parenhimske ćelije sastoji se od mešavine celuloze, hemiceluloze i pektina. Specifična intermolekularna interakcija između ovih polisaharida se slabo razume, ali obično se pretpostavlja da odgovara modelu koje su opisali Carpita i Gibeaut (1993). Sam ćelijski zid važan je sastavni deo proizvoda, obezbeđuje dijetetska vlakna, za koja važi mišljenje da štite od raka debelog creva (Harris i sar, 1993).

Promene koje se javljaju u ćelijskom zidu tokom zrenja voća, skladištenja proizvoda i prerade su od ključnog značaja za teksturu finalnog proizvoda. Tokom sazrevanja nekih vegetativnih delova, posebno stabljika i peteljke zidovi ćelija postaju drvenasti. Odrvenjavanje rezultira očvršćavanjem proizvoda, kao što su špargla, brokoli i ananas. Tokom zrenja voća, promene ćelijskog zida uključuju rastvaranje i degradaciju pektina i neto gubitak neceluloznih neutralnih šećera galaktoze i arabinoze, a može doći do smanjenja distribucije molekulske mase hemiceluloze (Harker i sar, 1997). Smatra se da su brojni enzimi od ključnog značaja za promene u ćelijskom zidu. Upotreba molekularnog pristupa je moćno sredstvo u traganju za razumevanjem omekšavanja plodova (Giovannoni i sar, 1989). Međutim, ni jedan enzim nije identifikovan kao glavni uzrok omekšavanja plodova, što ukazuju rezultati ispitivanja nekoliko enzima.

Kuvanje često dovodi do degradacije pektinskih polimera putem β - eliminacije, koje je obično u vezi sa stepenom metil esterifikacije pektina (Voldron i sar, 1997). Uz gubitak turgora ovaj proces odgovoran je za termičko omekšavanje tkiva. Međutim, neko povrće ne omekšava ili omekšava veoma sporo u toku kuvanja, na primer, kineski vodeni kesten, šećerna repa i

cvetka. Kod kineskog vodenog kestena, termička stabilnost teksture je povezana sa prisustvom ferulične kiseline u ćelijskom zidu (Waldron i sar, 1997).

Posleubirajući tretmani uključuju uranjanje ili infiltraciju kalcijuma čime se održava čvrstoća širokog spektra voća tokom skladištenja (Conway i sar, 1994). Glen i Poovaiah (1990) ispitivali su uticaj tretmana kalicjumom na čvrstoću kore jabuke. Ispitivanje je obavljeno testom zatezanja. Rezultati ukazuju da prekid tkiva tretiranog kalcijum može da se opiše kao razaranje (rupture) ćelija, dok prekid tkiva u kontrolnom uzorku može da se opiše kao razdvajanje ćelija (cell de-bonding). Iako dokazi ukazuju da kalcijum utiče na teksturu kroz interakciju sa ćelijskim zidom (pektinom), može da se pretpostavi da postoji uticaj kroz i na ćelijsku membranu.

Ćelijski zid može uticati i na percepciju o sočnost kroz njegovu sposobnost da održi i otpusti tečnost. U nekim plodovima, ćelijski zid bubri znatno tokom sazrevanja (Redgwell i sar, 1997). Pretpostavlja se da hidratizani zidovi ćelija, a možda i prisustvo slobodnog soka na površini neoštećenih ćelija mogu biti odgovorni za osećaj sočnosti kod voća (Harker i sar, 1997). Smatra se da gubitak sočnosti kod koštuničavog voća nastaje kada pektini vezuju vodu u želatinastu strukturu unutar ćelijskog zida (Ben-Arie i Lavee, 1971).

Ćelijski turgor

Biljne ćelije imaju tendenciju da održe mali pozitivan pritisak tečne faze u ćeliji, poznat kao turgor. Ovaj pritisak se razvija kada je koncentracija rastvorenih materija u ćelijama (tačnije unutar plazma membrane) veća nego van ćelije. Vanćelijska tečnost popunjava pore ćelijskog zida, ponekad se infiltrira u gasni prostor. Razlike u koncentraciji rastvora na unutrašnjoj i spoljašnjoj površini plazma membrane izazivaju kretanje vode u ćeliji, odnosno proces osmoze. Ovo kretanje vode zaustavljeno je fizičkim ograničavajućim okoštanim ćelijskim zidom i kao rezultat toga unutar ćelije razvija se turgor. U jednačini $\Psi = \Psi_p + \Pi$, Ψ je turgor (generalno pozitivna vrednost), Ψ_p je vodni potencijal (uglavnom negativna vrednost), a Π je osmotski pritisak (generalno pozitivna vrednost) ćelije (Tomos, 1988).

Turgor napreže ćelijski zid. Posledice tog napora zavise od toga da li je ćelija opterećena na pritisak ili zatezanje. Pri pritisnim opterećenjima, turgor čini ćelijski zid krhkijim, i dolazi do pucanja ćelije pri nižim pritiscima (Lin i Pitt, 1986). Kada su tkiva izložena zateznom opterećenju, turgor ojačava ćelijski zid i veća sila je potrebna da izazove pucanje ćelije (De Belie i sar, 2000). Uticaj turgora na čvrstoću zavisi i od modela prekida tkiva (Glen i Poovaiah, 1990).

Značaj turgora na čvrstoću tkiva prikazan je u brojnim slučajevima. Brza faza kuvanja - izaziva omekšavanje mrkve koje se javlja kao posledica poremećaja membrane i eliminacije turgora (Greve i sar, 1994). Takođe, tokom procesa zamrzavanja i odmrzavanja voćnog tkiva, membrane se oštećuju, tkivo omekšava i često otpusti mnogo soka nakon odmrzavanja. Posledica je gubitak turgora. Čvrstoća i turgor su u čvrstoj korelaciji kod tkiva jabuke (Tong i sar, 1999). Takođe, smatra se da turgor igra centralnu ulogu pri omekšavanju i razvoju brašnjavosti tokom skladištenja jabuke (Hatfield i Knee, 1988).

Ostali pokazatelji čvrstoće tkiva

Očuvanje i postojanost mnogih jestivih biljnih delova zavise od brojnih faktora (Harker i sar, 1997). Voće i povrće sadrži niz različitih zona tkiva - periderm, pericikl i floem u mrkvi; koža, spoljni perikarp, unutrašnji perikarp i jezgro u kiviju; spoljni perikarp, lokularni gel, seme i srž ploda kod paradajza. Ova tkiva razlikuju se po čvrstoći i biološkim osobinama i to se mora uzeti u obzir prilikom merenja teksture. Na primer, nemogućnost jezgra kivija da omekša u istoj meri kao i perikarp dovodi do teksture koja je neprihvatljiva za potrošače. Kod jagodičastog voća kao što je malina, ne postoji čvrsta veza sa drškom, a glavni faktor čvrstoće je prijanjanje između susednih koštunica. Prisustvo žilavih lanaca vaskularnog tkiva može ojačati tkivo, ali često dovodi do neprijatne vlaknaste teksture. Žilavost izdanaka špargle javlja se uglavnom zbog količine vlakana i njihovog odrvenjavanja (Lipton, 1990). Kod voća prisustvo vlakana predstavlja problem. Generalno, prisustvo žila je povećano kod veoma zrelog voća zbog odnosa između parenhimskog tkiva meke teksture i vlaknastog vaskularnog tkiva. Zrnasta tekstura kruške i guave (Harker i sar, 1997) postaje naročito uočljiva kod zrelih i mekih plodova. Žilavost izazivaju vaskularna tkiva, dok zrnastu teksturu uzrokuju sklerenhimske kamene ćelije (Harker i sar, 1997).

Modeli razaranja voćnog tkiva

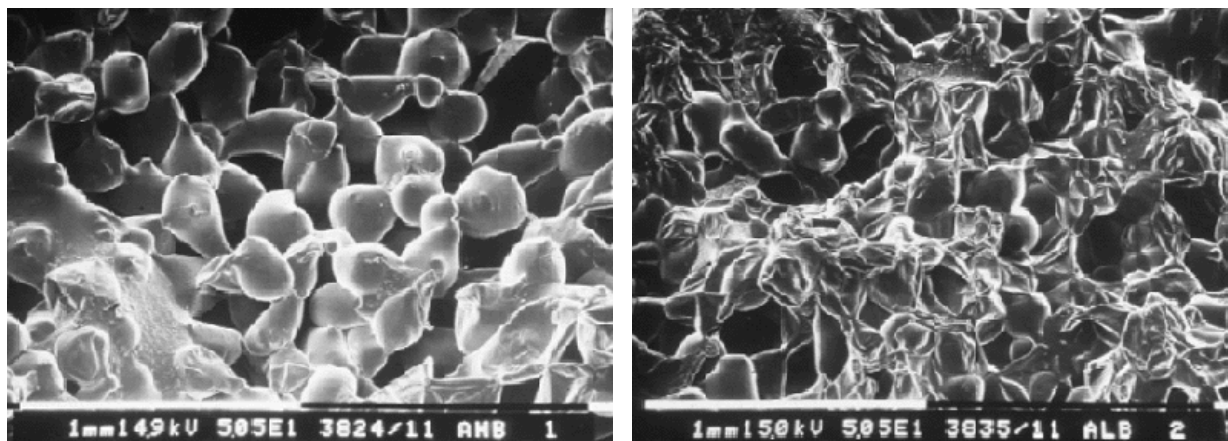
Istraživanjima mikrostrukturnih promena koje nastaju na ćelijama voća i povrća definisana su tri mehanizma prekida tkiva (Harker i sar, 1997):

- Ćelije mogu da se razdvoje po svojim granicama i naglo da oslobode tečnost koju sadrže. Ovaj mehanizam se opisuje kao prelom ćelije (cell fracture).

- Mali delovi ćelije mogu se odvojiti izazivajući kolaps i oslobađanje tečnosti. Pri tome neke ćelije ostaju netaknute. Ovaj mehanizam se opisuje kao razaranje ćelije (cell rupture).

- Čelije se mogu odvojiti i pri tome ostati neoštećene pri čemu nema gubitka tečnosti. Ovaj mehanizam se opisuje kao razdvajanje ćelija (cell-to-cell debonding).

Primer mehanizma razaranja i razdvajanja ćelija jabuke sorte Braeburn prikazan je na slici 2.7. Omekšavanjem tkiva jabuke mehanizam prekida se menja od preloma do razaranja i na kraju do razdvajanja.



Slika 2.7. Mehanizam prekida brašnjavog (mekog) i hrskavog (svežeg) tkiva jabuke. Na slici levo prikazan je mehanizam razdvajanja ćelija, a na slici desno mehanizam razaranja ćelija (Harker i sar, 1997)

Otpornost ćelijskog zida u odnosu na silu kohezije između susednih ćelija određuje mehanizam prekida tkiva. Razaranje (rupture) ćelija povezuje se sa svežim, hrskavim i sočnim proizvodima, kao i sa nedozrelim voćem i sirovim povrćem. Razdvajanje ćelija (cell-to-cell debonding) često se povezuje sa suvom, neprijatnom teksturom kao što je brašnjava tkivo jabuke ili tkivo oštećeno od izmrzlina (Harker i sar, 1997). Takva tekstura tkiva nije uvek neprihvatljiva za potrošače. Takvom teksturom odlikuje se tkivo banane. Mehanizam razdvajanja ćelija se obično javlja kod kuvanog povrća, kao što su krompir i mrkva (Ng i Waldron, 1997). Kod svežih proizvoda se pretpostavlja da je kohezija između ćelija u funkciji tri faktora: čvrstoće središnje lamele, kontaktne površine ćelija i veličine plazmodezme (Harker i sar, 1997).

Senzorna ocena i instrumentalno merenje teksture

Tekstura nekog proizvoda može se oceniti na brojne načine: izgledom proizvoda, osećajem u ruci, prilikom rezanja, zvucima prilikom ugriza i žvakanja, ali najvažnije od svega je osećaj u ustima tokom konzumiranja. Szczesniak (1963) predlaže profil teksture, sistematski pristup za senzornu analizu teksture na osnovu mehaničkih, geometrijskih i drugih karakteristika. Mehaničke karakteristike uključuju osnovne (čvrstoća, tvrdoća, elastičnost i dr.) i sekundarne

parametre (lomljivost, žvakljivost). Geometrijske osobine se odnose na veličinu, oblik proizvoda i orijentaciju čestica. Brojne knjige o senzorskim analizama sadrže poglavlja o oceni teksture. Osim toga veliki je broj knjiga u kojima se analiziraju samo teksturne osobine hrane.

Tekstura može biti ograničavajući faktor u prihvatljivosti proizvoda ukoliko su teksturne osobine izvan opsega prihvatljivosti pojedinca za određeni proizvod. Međutim, ljudi imaju različita očekivanja i nameću različite granice pri oceni teksture za različite proizvode. Očekivanja potrošača su u skladu sa već poznatim osobinama istih ili sličnih proizvoda.

Odnos instrumentalnih merenja specifičnih senzornih osobina i njihov odnos prema prihvatljivosti potrošača mora se uzeti u obzir prilikom ispitivanja (Shewfelt, 1999). Instrumenti mogu biti dizajnirani da oponašaju ljudske metode testiranja ili osnovna mehanička merenja i mogu statistički bit povezani sa ljudskim shvatanjem i rasuđivanjem kategorije kvaliteta. Međutim, samo ljudi mogu oceniti kvalitet, ali instrumenti kojima se mere osobine vezane za kvalitet od vitalnog su značaja za istraživanje i kontrolu (Abbot i sar, 1997). Mogućnost merenja teksturnih osobina je kritična za procenu i kontrolu kvaliteta. Instrumentalna merenja imaju prednost u odnosu na senzorno ocenjivanje za istraživačke i komercijalne svrhe, jer instrumenti smanjuju varijacije koje mogu biti posledica ljudskog faktora. Instrumenti su precizniji, a mogu da obezbede i zajednički način komunikacije među istraživačima, preduzećima, regulatornim agencijama i potrošačima. Često se sugeriše da relevantnost instrumentalnih merenja zavisi od toga koliko dobro predviđaju senzorne osobine (Voisey, 1971). Međutim, opravdana je upotreba instrumentalnih merenja mehaničkih osobina koje su u vezi sa ponašanjem voća i povrća, kao što su na primer otpornost na udar ili rezanje.

Postoje brojne kritike metoda za instrumentalno merenje teksture voća i povrća (Bourne, 1980). Veza između karakteristika i stalnih fizioloških promena tokom vremena zrenja i prerade komplikuju merenje teksture voća ili povrća. Na primer, kako parenhimsko tkivo dinje omekšava, zapaža se povećanje prisustva vlakana (vaskularnih snopova) u plodu (Diehl i Hamann, 1979). Nasuprot ovome, vlaknasta struktura špargle je u vezi sa aktivnim odrvenjavanjem vlakana i vaskularnih snopova (Chang, 1987). Slični efekti mogu uticati na instrumentalna merenja.

Većina instrumentalnih merenja teksture razvijena su empirijski. Mogu da daju zadovoljavajuće ocene kvaliteta proizvoda, ali često ne ispunjavaju inženjerske uslove osnovnih merenja (Bourne, 1982). Osnove merenja osobina materijala razvijene su pri ispitivanju građevinskih i mašinskih materijala. Pri ispitivanju takvih materijala nakon dostizanja kritične tačke pri kojoj dolazi do loma, mali je interes o njegovom kasnijem ponašanju. S druge strane, naučnici koji se bave hranom su zainteresovani za početne lomove, ali i za proces daljeg

dezintergisanja, koji se odvija u ustima tokom pripreme za gutanje. Bourne (1980) navodi da se teksturna merenja hrane mogu smatrati više kao proučavanje slabosti nego otpornosti materijala.

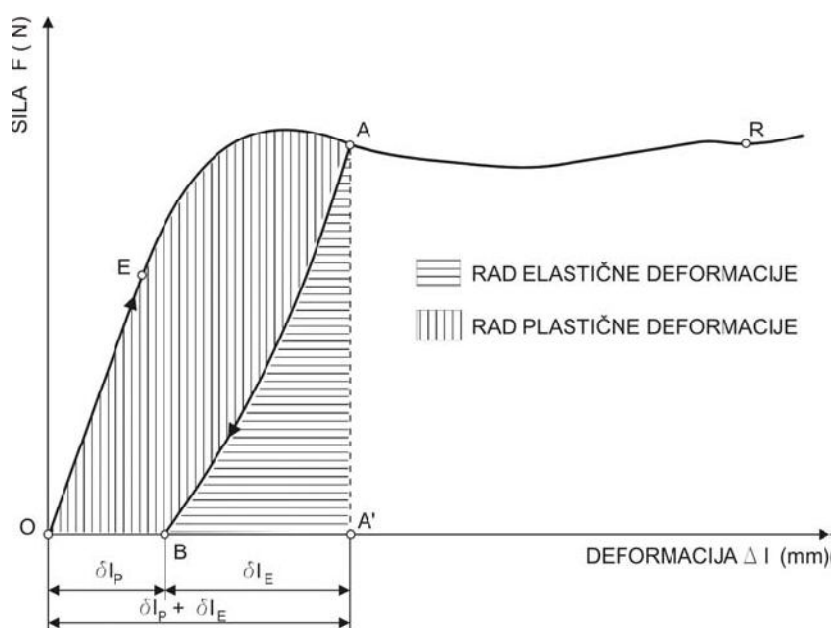
Brojni mehanički instrumenti razvijeni su tokom prošlog veka za merenje teksture poljoprivrednih proizvoda. Uprkos velikim varijacijama u konstrukciji, ovi mehanički instrumenti mere ili kontrolišu silu, deformaciju i vreme. Vrste opterećenja koja ovi instrumenti uključuju su: probijanje, pritiskanje, smicanje, uvijanje, istiskivanje, drobljenje, istezanje, savijanje, izvijanje i dr.

Mehaničke osobine poljoprivrednih materijala

Kada se radi o poljoprivrednim materijalima upotrebljava se više ispitivanja mehaničkog opterećenja: probijanje, prodiranje, pritisak (kompresija), smicanje, uvijanje, istiskivanje, istezanje, savijanje i drugi. Tokom ispitivanja mehaničkih osobina određuju se: sila (opterećenje), deformacija (rastojanje, pomeranje, dubina prodiranja), nagib krive sila-deformacija (odnos sile i deformacije), površina ispod krive sila-deformacija (energija). Veličine zasnovane na ovim merenjima koje su bitne za inženjerske potrebe su napon, relativna deformacija, modul elastičnosti i uloženi rad. Napon predstavlja silu po jedinici površine, bilo kontakta ili poprečnog preseka, u zavisnosti od vrste ispitivanja. Relativna deformacija je odnos apsolutne vrednosti deformacije i početne dimenzije uzorka u pravcu deformisanja. Modul elastičnosti (tangentni, sekantni ili početni tangentni) je merilo otpornosti materijala prema deformaciji na osnovu odnosa napon-relativna deformacija. Sila i deformacija češće se koriste pri testiranju mehaničkih osobina prehrambenih materijala, nego napon i relativna deformacija, pod uslovom da su kontaktna površina i rastojanje koje prelazi pribor za testiranje konstantni. Uslov su, takođe, slične dimenzije uzoraka. U mnogim ispitivanjima, deformacija se održava konstantnom, a različite vrednosti sile se registruju. Na primer, u ispitivanjima čvrstoće voća penetrometrom, kao što je Magness-Taylor test, pri čemu se na skali očitava sila potrebna za probijanje ploda do određene oznake na sondi. U ovim testovima nema kompenzacije za različite prečnike sondi, tako da je očitana vrednost sila, a ne pritisak ili napon. U nekim ispitivanjima poznata je sila, a deformacija je vrednost koja se traži (Hamson, 1952).

Tipičan izgled krive sila-deformacija ($F-\Delta l$) prikazan je na slici 2.8. Deo početnog nagiba, defomacije predstavlja elastičnu deformaciju materijala. Tačka E predstavlja granicu elastičnosti. Nakon tačke E materijal se deformiše elastično i plastično (Babić i Babić, 2010). Materijal u ovom području pokazuje viskoelastično ponašanje. Takvo ponašanje materijala traje do granice tečenja, tačka A. Nakon dostizanja ove granice materijal počinje da “teče”, odnosno

pokazuje viskozno ponašanje. Takve osobine materijal ima sve do tačke R (Babić i Babić, 2010). U ovoj tački dolazi do potpunog prekida tkiva. Najveća dostignuta vrednost sile na krivoj $F-\Delta l$ označava momenat kada dolazi do glavnog prekidanja tkiva. Ova vrednost sile je od značaja za inženjerske potrebe. Nakon ove tačke, sila može ponovo porasti, zadržati istu vrednost ili opadati (Bourne, 1965). Na krivoj sila-deformacija često je izražena tačka gde počinje razaranje ćelija ili pomeranje u odnosu na susedne ćelije. Takve promene dovode do приметnog pada nagiba krive. Najčešće se na krivoj promena registruje kao mali "pik". U tom momentu smanjuje se otpor koji materijal pruža i registruje se manji pad vrednosti sile. Ova tačka se naziva i "bioyield". U nekim slučajevima $F-\Delta l$ krive, kao na slici 2.8, karakteristična tačka (bioyield) ne može se jasno uočiti. Proizvodi koji sadrže parenhimsko tkivo, vlakna ili kamene ćelije imaju veoma razučenu $F-\Delta l$ krivu. Kriva ima više lokalnih maksimuma i razaranja, koji nastaju kada pritiskivač naiđe na kamene ćelije ili vlakna koji pružaju veći otpor od ostatka tkiva.



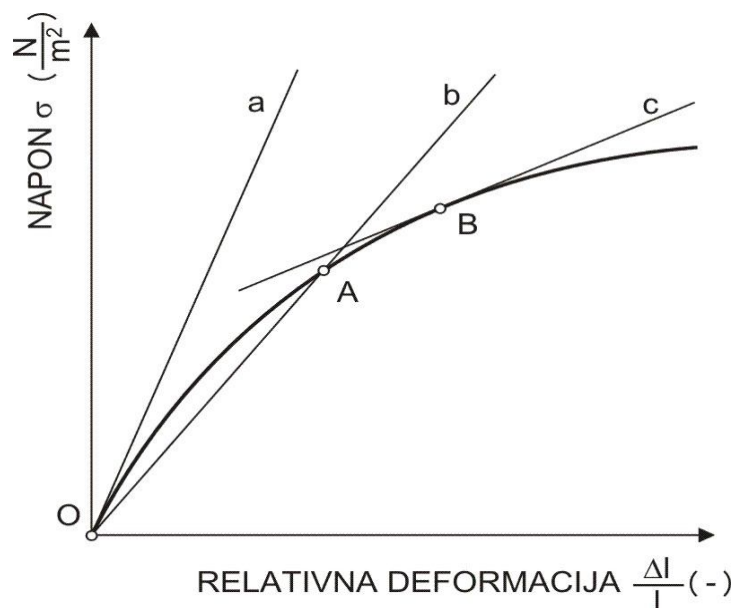
Slika 2.8. Dijagram sila - deformacija za poljoprivredni materijal (Moshenin, 1980)

Za deo krive pre tačke E moguće je odrediti modul elastičnosti. Modul elastičnosti je koeficijent proporcionalnosti normalnog napona i relativne deformacije. Po Hukovom zakonu on je:

$$E = \frac{\sigma}{\frac{\Delta l}{l}} \quad (2.11)$$

gde je: E - modul elastičnosti, σ - normalni napon, Δl - izduženje pri deformisanju, l - dužina uzorka koji se deformiše, $\Delta l/l$ - relativna deformacija uzorka koji se deformiše.

Poljoprivredni materijali već na početku deformisanja nemaju linearnu karakteristiku. Zbog ove osobine definisan je početni tangenti modul elastičnosti (slika 2.9). Modul elastičnosti u tom slučaju predstavlja tangens ugla između prave *a* i apscise. Osim ovog u neposrednoj blizini posmatrane tačke primenljiv je tangenti modul elastičnosti (prava *c*), dok se sekantni modul elastičnosti koristi u području od nultog opterećenja do granične tačke (prava *b*, slika 2.9) (Babić i Babić, 2010).



Slika 2.9. Dijagram nelinearne zavisnosti napon-deformacija (Babić i Babić, 2010)

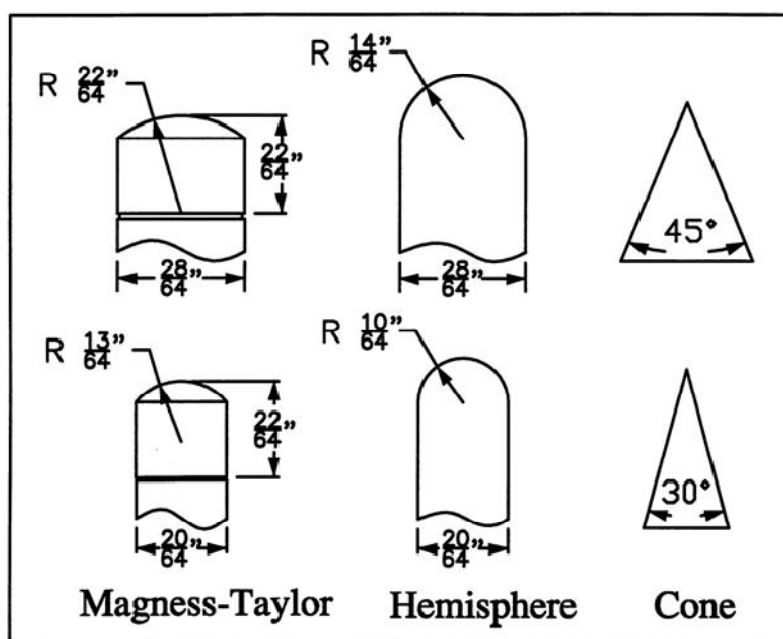
Čvrstoća poljoprivrednih proizvoda može da se meri pri različitim silama ili vrednostima deformacije u svim delovima krive $F-\Delta l$, u zavisnosti od namene merenja. Osobine materijala na $F-\Delta l$ krivoj izvan granice elastičnosti mogu biti važnije od onih pre nje, jer simuliraju razaranje koje se javlja prilikom udaraca ili jedenja (Szczesniak, 1963). Dva najčešća metoda ispitivanja teksture voća i povrća, Magness-Taylor-ov i Kramer-ov test registruju samo maksimalno postignutu silu. S druge strane, Jungov modul elastičnosti često se koristi od strane inženjera kao indeks čvrstoće proizvoda. Ova veličina dosta je važna kao karakteristika otpornosti materijala pre njegovog oštećenja.

Ispitivanje mehaničkih osobina

Kada su u pitanju poljoprivredni i prehrambeni proizvodi ispitivanje mehaničkih osobina najčešće se izvodi testovima probijanja, pritiska, smicanja i istezanja.

Ispitivanje probijanjem

Ispitivanje probijanjem (prodiranje, penetracija, utiskivanje) ili Magness-Taylor-ov test, koristi se za merenje čvrstoće voća i povrća radi određivanja zrelosti ili posležetvene procene čvrstoće ploda. Postoji nekoliko aplikacija Magness-Taylor-ovog (MT) testa koje se razlikuju po veličini i obliku instrumenata, ručnoj ili mašinskoj primeni i upotrebi analognog ili digitalnog očitavanja vrednosti. Termin "Magness-Taylor-ova čvrstoća" uopšteno se koristi za merenja obavljena sa nekoliko varijanti utiskivača. Ovo ispitivanje mehaničkih osobina donekle je slično ispitivanju tvrdoće kod tehničkih materijala. Za razliku od ispitivanja tehničkih materijala, ispitivanja mehaničkih osobina poljoprivrednih i prehrambenih materijala nisu definisana standardom.



Slika 2.10. Oblik vrh pribora za određivanje čvrstoće Magness – Taylor-ovim testom

Ispitivanje smicanjem

Smicanje u inženjerskom smislu ne znači presecanje makazama ili nožem, nego klizanje dveju susednih površina. Inženjerska ispitivanja smicanjem retko se koriste za voće i povrće, ali modul smicanja može se dobiti iz testova pritiskanja, uvijanja, istiskivanja i dinamičkih testova (Mohsenin, 1986). Prehrambeni tehnolozi koriste termin smicanje kao objašnjenje radnje rezanja kojom se neki proizvod deli na dva dela. Aparatura koja se koristi u ispitivanjima smicanjem kada je u pitanju hrana, najčešće je u obliku tankih noževa kojim se obavlja upravo rezanje proizvoda na dva dela.

Ispitivanje pritiskom

Iako se ispitivanje pritiskom manje koristi u poljoprivrednoj i prehrambenoj industriji, ono ima široku primenu u istraživanju hortikulturnih proizvoda. Ispitivanja se mogu primeniti na uzorcima voćnog tkiva ili celim proizvodima različitih oblika (Mohsenin, 1986). Iako voće i povrće ima viskoelastično ponašanje, ono se često tretira kao elastično, pa se meri sila potrebna za postizanje određene deformacije ili razaranja proizvoda. U ispitivanjima pritiskom najčešće se koriste delovi tkiva voća ili povrća cilindričnog oblika (Bourne, 1968; Khan i Vincent, 1993). Ispitivanja se izvode sa paralelnim pločama koje su znatno veće od površine kontakta sa ispitivanim uzorkom. Ovim ispitivanjima najčešće se određuje čvrstoća materijala. Parametri koji se na taj način određuju su maksimalna sila razaranja, deformacija i modul elastičnosti. Vrednosti modula elastičnosti celog ploda oslikavaju njegovu morfologiju, veličinu, oblik, ćelijsku strukturu, otpornost i turgor. Iako se elastične osobine mogu utvrditi nedestruktivnim metodama, naučna merenja na hortikulturnim proizvodima i hrani često se izvode van granica elastične deformacije (Abbott, 2004). Sundstrom i Carter (1983) koriste silu razaranja cele lubenice da procene uzroke pucanja ploda. Kader i sar, (1978) obavili su ispitivanje pritiskanjem ploda paradajza između sferičnih površina radi određivanja čvrstoće.

Ispitivanje istezanjem

Ispitivanjem na istezanje meri se sila potrebna za kidanje uzorka. Ispitivanje istezanjem nije toliko primenjivano kada su u pitanju prehrambeni proizvodi kao ispitivanje probijanjem ili pritiskom, jer nije intuitivno vezan za drobljenje ili žvakanje. Ne postoji ni veliki broj postupaka u preradi poljoprivrednih i prehrambenih proizvoda gde bi ispitivanje istezanjem poslužilo za simulaciju. Ispitivanje istezanjem zahteva pričvršćavanje krajeva ispitivanog uzorka. Schoorl i Holt (1983) koristili su stezaljke za pričvršćavanje tkiva jabuke. Ispitivanje tehničkih materijala na istezanje obavlja se pomoću takozvanih kidalica. U ispitivanju se koristi epruveta od materijala koji se ispituje, napravljena po određenom standardu.

Nedestruktivna merenja

Merenje odnosa sila/deformacija najčešće je destruktivno. Sva opisana ispitivanja mehaničkih osobina prilikom izvođenja zahtevaju destrukciju ili oštećenje ploda. Međutim, proces konzumacije hrane je takođe destruktivan što je u skladu sa ispitivanjima koja se izvode. Na osnovu dosadašnjih iskustava smatra se da sila razaranja uglavnom obezbeđuje najbolju korelaciju sa senzorskom ocenom teksture (Abbott, 2004).

Destruktivni ispitivanja ne mogu se koristiti za sortiranje voća i povrća i naknadnu prodaju, tako da je veliki deo istraživanja usmeren ka razvoju nedestruktivnih metoda ocene mehaničkih osobina i teksture (Chen i Sun, 1991; Abbott i sar, 1997). Ideja istraživača usmerene su ka tome da uređaji za nedestruktivno ispitivanje teksture budu dostupni kupcima voća i povrća. Na taj način bi se obezbedilo brzo analiziranje teksture voća i povrća, koja je povezana sa njegovim kvalitetom. Međutim ni jedna od nedestruktivnih metoda još uvek nije u komercijalnoj upotrebi.

Uticaj osmotskog sušenja na mehaničke osobine i teksturu

Sušenje izaziva promene hemijskih osobina hranjivih komponenti i fizičkih osobina kao što su promene boje, oblika, gustine, poroznosti i mehaničkih osobina. Promene mehaničkih osobina bitne su zbog njihove veze sa teksturom i senzorskim karakteristikama materijala, a time kvalitetom i prihvatljivošću proizvoda od strane potrošača (Rao i Quintero, 2005). Lewicki i Pawlak (2005) istraživali su uticaj osmotskog sušenja na tkivo jabuke. Autori navode da osmotsko sušenje jabuke šećernim rastvorom koncentracije 61,5°Bx ne dovodi do razaranja ćelija. Ćelije postaju manje, a međućelijski prostor se povećava. Povećanje međućelijskog prostora iznosi više od 30% tokom 120 minuta osmotskog procesa sušenja. Međutim, autori smatraju da bi produženjem osmotskog procesa došlo do dezintegracije tkiva. Prinzevalli i sar, (2006) proučavali su uticaj osmotskog sušenja rastvorom temperature 25°C na ćelijsku strukturu, teksturu i sastav pektina. Rezultati analize pokazuju da duže vreme izlaganja tkiva jagode osmotskom rastvoru izaziva značajne promene teksture tkiva. Autori navode da postoji dobra povezanost između promena teksture, ćelijske strukture i modifikacije sastava pektina.

Pored analize na mikrostrukturnom nivou u literaturi se mogu pronaći analize uticaja osmotskog sušenja na višem strukturnom nivou. Krokida i sar, (2000) navode da osušeni uzorci jabuke i banane prethodno osmotski tretirani pokazuju veći otpor ka razaranju od uzoraka samo konvektivno osušeni, pri istoj vlažnosti. Autori ovaj rezultat objašnjavaju povećanjem otpora pri plastičnom deformisanju zbog apsorpcije šećera u voćno tkivo. Mayor i sar, (2007) proučavali su uticaj osmotskog sušenja na mehaničke osobine tkiva bundeve. Uzorci bundeve cilindričnog oblika tretirani su rastvorom saharoze koncentracije između 30-60°Bx i temperature 12-38°C. Nije potvrđen značajan uticaj parametara osmotskog rastvora na ispitivane mehaničke osobine. Nastale promene mehaničkih osobina autori povezuju sa promenom vlažnosti uzoraka. Osmotsko sušenje primenjuje se kao predtretman zamrzavanju. Na ovaj način produžava se mogućnost skladištenja uz očuvanje teksture, boje i arome nakon odmrzavanja (Yetenayet i Hosahalli, 2010).

2.3.3. Boja voćnog tkiva

Teorija boje

Izgled je jedna od najvažnijih senzornih karakteristika sveže i prerađene hrane (Costa i sar, 2011; Grossman i Visenblit, 1999). To je sveobuhvatan termin koji uključuje veličinu, oblik, teksturu, masu, sjaj, boju i drugo. Boja hrane prvi je parametar kvaliteta koji procenjuje potrošač, a to je od ključne važnosti za prihvatanje proizvoda. Izgled hrane određuje uglavnom površinska boja i ona je prvi osećaj koji potrošač shvata i koristi kao sredstvo da prihvati ili odbije hranu (Leon i sar, 2006). Boja može biti u korelaciji sa drugim kvalitetnim atributima kao što su senzorni i nutritivni.

Boja je perceptivni fenomen koji zavisi od posmatrača i uslova u kojima se posmatra. To je osobina svetlosti, koja je merljiva u smislu intenziteta i talasne dužine. Boja materijala postaje vidljiva samo kada svetlost osvetli posmatranu površinu (Sahin i Sumnu, 2006). Boja poljoprivredno-prehrambenih proizvoda, kao što su voće i povrće potiče od prirodnih pigmenata, od kojih se mnogi menjaju tokom procesa sazrevanja. Primarni pigmenti koji učestvuju u definisanju boje su hlorofil (zelena boja), karotenoidi (žuta, narandžasta i crvena boja), antocijani (crvena, plava), flavonoidi (žuta) i betalaini (crvena) (Barrett i sar, 2010). Različiti uređaji mogu da se koriste za detekciju boje, odnosno defekata prehrambenih proizvoda ili za klasifikaciju proizvoda različitog kvaliteta (Leemans i sar, 1998). Poljoprivredni i prehrambeni proizvodi treba da izgledaju sveže, imaju normalnu veličinu i karakterističnu boju, naročito, voće i povrće (Lurie, 2009).

Boja je posledica percepcije i subjektivne je interpretacije. Različite osobe istu boju vide na različite načine. S obzirom da je boja posledica reflektovanog dela spektra, to će pri različitim osvetljenjima i boja biti različita. Pozadina koja se nalazi iza objekta posmatranja takođe utiče na percepciju boje. Ugao pod kojim se posmatra objekat kao i veličina posmatrane površine isto utiču na definisanje boje. Pigmenti definišu boju objekta apsorbovanjem i reflektovanjem dela svetlosnog spektra. Reflektovani deo spektra dospeva do ljudskog oka. Ljudsko oko funkcioniše slično kameri, sočivo obrazuje sliku objekta na senzorskoj površini u mrežnjači oka (retini). Postoji nekoliko vrsta ćelija receptora svetlosti, koje su grupisane u tri vrste, svaka je odgovorna za određeni deo svetlosnog spektra, plavi, zeleni i crveni. Uzajamno dejstvo ovih grupa receptora odgovorno je za podsticaj koji se u mozgu interpretira kao boja. Sve druge boje osim plave,

zelene i crvene zapažaju se kao njihova mešavina. Ovo je široko prihvaćena teorija boja poznata kao trihromatska teorija (www.konicaminolta.com).

Boja i kvalitet proizvoda

Kvalitet nije jedna dobro definisana osobina, već obuhvata mnoga svojstva ili karakteristike proizvoda. Izgled proizvoda, ako je suditi po boji, često može da se koristi za određivanje sadržaja pigmenta proizvoda, što je opet često pokazatelj kvaliteta (Francis, 1995). Boja je jedna od najvažnijih komponenti kvaliteta svežeg voća i povrća. Sazrevanje voća je složen, genetski programiran proces koji kulminira dramatičnim promenama u strukturi, boji, ukusu i aromi. Na primer, crvena pigmentacija zrelog paradajza je rezultat sinteze karotenoida, likopena uglavnom i β - karotena, koji su povezani sa promenom boje ploda iz zelene u crvenu (Pek i sar, 2010). Skoro svaki prehrambeni proizvod ima prihvatljivi rang boje, koji zavisi od velikog broja faktora (Francis, 1995). Boje koje nisu odgovarajuće za određeno voće, ukazuju na gubitak svežine ili na nedostatak zrelosti. Generalno, specifični prehrambeni proizvodi povezani su sa određenom bojom. Na primer, banane zrele i dobrog kvaliteta povezane su sa žutom bojom, paradajz sa crvenom, a ne narandžastom, trešnje sa crvenom, a ne žutom i kivi sa zelenom, a ne žutom. Uvenulost, potamnelost i blage neintenzivne boje su pokazatelji gubitka svežine voća i povrća (Shewfelt, 1993). Boja je takođe pokazatelj termičke obrade i može se koristiti za predviđanje odgovarajućeg nivoa oštećenja usled izloženosti visokim temperaturama (Lozano i Ibarz, 1997). U cilju očuvanja kvaliteta, boja prehrambenih proizvoda mora se meriti i standardizovati.

Merenje boje

Merenje boje može se izvesti na dva načina: vizuelnom ocenom i instrumentalnom analizom. Vizuelna analiza boje hrane je procena putem čula (Melendez–Martinez i sar, 2005). Vizuelno merenje boje podrazumeva merenje bez instrumenata, ali u kontrolisanim uslovima osvetljenja, sa referentnim standardnim setom boja koji se upoređuje sa posmatranim uzorkom. Ovo predstavlja pronalaženje boje koja se poklapa sa bojom uzorka i spada u kategoriju organoleptičkih (senzorskih) metoda analiza kvaliteta hrane (Figura i Teixeira, 2007). Kao rezultat vizuelne analize, dobija se određena boja za koju postoji određena opisna reč.

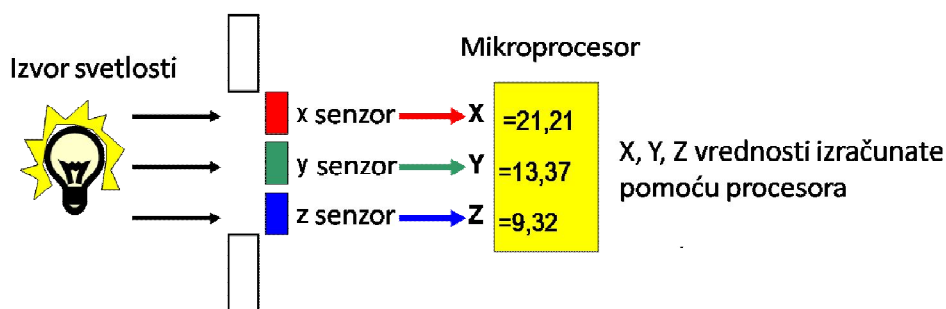
Instrumentalno merenje boje

Boja je predmet percepcije. Različiti ljudi tumače boje na različite načine. Stoga, subjektivno definisanje boje ne može biti dovoljno precizno za naučnu i stručnu komuniciraju o boji.

Objektivni pristupi u merenju i definisanju boje pomogli bi da se umanje navedeni problem (Lee, 2000). U slučaju instrumentalnog merenja, boja je izražena pomoću koordinata boja, numerički. Boja može biti određena instrumentalno korišćenjem kolorimetara ili spektrofotometara.

Kolorimetri

Kolorimetri su uređaji koji služe za merenje boje. Tristimulusne vrednosti X, Y i Z su optički, a ne matematički, dobijene. Na osnovu tri tipa sočiva u mrežnjači ljudskog oka, razvijeni su instrumenti za merenje boje sa tri filtera koji funkcionišu kao svaki od tri vrste sočiva. Kolorimetar ima tri glavne komponente: izvor osvetljenja, senzore boje i fotoelektrični detektor koji konvertuje reflektovanu svetlost u električni signal. Merenja napravljena na tristimulusnom kolorimetru su uporediva. Zbog toga je prilikom merenja neophodno koristiti kalibrisane standarde boja. Kolorimetri su najčešće korišćeni instrumenati za merenje boje prehrambenih i drugih proizvoda zbog lakoće korišćenja i interpretacije podataka o boji (Pathare i sar, 2013).

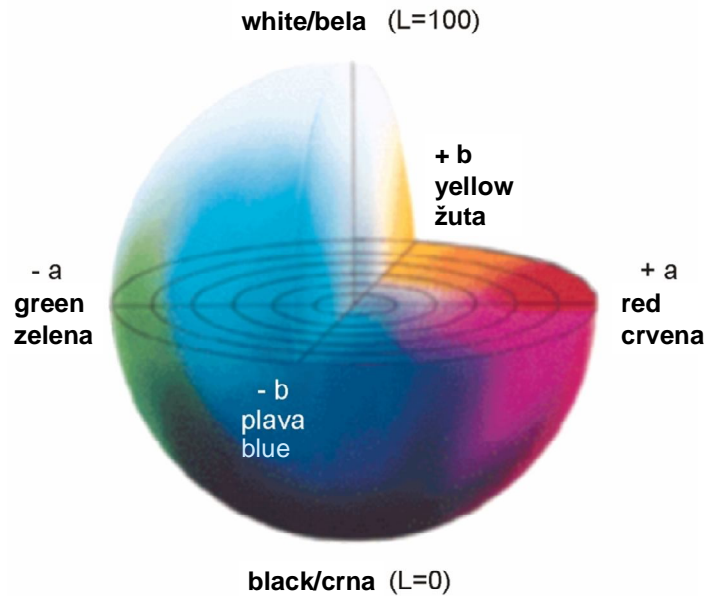


Slika 2.11. Princip merenja boja kolorimetrom (www.konicaminolta.com)

Sistemi prikazivanja boje

Boja objekta može se opisati pomoću nekoliko koordinatnih sistema boja (Clydesdale, 1978; Francis 1980, Hunter i Harold 1987, www.konicaminolta.com). Neki od najpopularnijih sistema su RGB (crvena, zelena i plava), koji se koristi kod monitora; Hunter Lab, CIE $L^*a^*b^*$, CIE XYZ, CIE $L^*u^*v^*$, CIE Y_{xy} i CIE LCH. Oni se razlikuju u simetriji prostora u koordinatnom sistemu koji definiše tačke u tom prostoru. Prema CIE konceptima, ljudsko oko ima receptore za tri boje - crvenu, zelenu i plavu, a sve ostale boje su kombinacija ove tri. Količine crvene, zelene i plave boje potrebne da se formira neka posebna boje nazivaju se tristimulusne vrednosti i označene su X, Y i Z. Najčešće korišćene oznake su CIE XYZ razvijene 1931. godine od strane Commission Internationale de l'Éclairage's (CIE) (Međunarodna komisije za osvetljenje). Vrednosti XYZ određene su iz odgovarajućih funkcija koje su odgovarale osetljivosti oka na različitim talasnim dužinama vidljivog spektra.

Hunter Lab (razvijen 1948.) i CIE $L^*a^*b^*$ sistem boja (slika 2.12) (razvijen 1976.) predstavljaju prostorne sisteme boja, sa prikazom osnovnih boja u koordinatnom sistemu. Ovi sistemi obezbeđuju uniformnije razlike boja u odnosu na percepciju razlika boja ljudskog oka (Pathare i sar, 2013).



Slika 2.12. CIE Lab prostor boja

Sa CIELAB koordinate (L^* , a^* , b^*) vrši se direktno očitavnje boje. Parametar a^* obuhvata pozitivne vrednosti za crvene boje i negativne vrednosti za zelene. Parametar b^* obuhvata pozitivne vrednosti za žute boje i negativne vrednosti za plave. Parametar sjajnost L^* nalazi se na vertikalnoj osi. Ovaj parametar ima opseg od crne do bele boje (Granato i Masson, 2010). Na osnovu ovih parametara određene su sledeće veličine: hromatičnost C^* , nijansa boje h^* i ukupna promena boje ΔE^* .

Nijansa boje h^* je atribut kojim se boja na tradicionalan način definiše kao crvenkasta, zelenkasta itd. Nijansa opisuje vrstu boje npr. crvena, zelena, žuta... Izračunava se pomoću jednačine (www.konicaminolta.com):

$$h^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (2.12)$$

gde je: h^* - nijansa boje, a^* - parametar boje, b^* - parametar boje

Hromatičnost je merilo jasnoće, zasićenosti, čistoće boje. Koristi se da se odredi stepen razlike jedne nijanse boje pri istoj sjajnosti. Opisuje udaljenost boje od sive boje, koja se nalazi u centru dvodimenzijalne kružnice (slika 2.12). Na primer crvena boja je vrlo zasićena, ružičasta je

manje zasićena, a obe se opisuju kao crvenkaste. Veća vrednost predstavlja intenzivniju boju. Hromatičnost se izračunava pomoću jednačine (www.konicaminolta.com):

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2.13)$$

gde je: C^* - hromatičnost, a^* - parametar boje, b^* - parametar boje

Ukupna promena boje

Promene boje mogu se meriti kao razlika između početnih vrednosti boje i trenutnih. Ovaj koncept nazvan je ukupna promena boje. Ukupna promena boje izračunava se pomoću jednačine:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2} \quad (2.14)$$

gde je: ΔE – ukupna promena boje, Δa , Δb , ΔL – razlike vrednosti parametara boje

Ukupna promena boje i hromatičnost smatraju se najosetljivijim parametrima za merenje boje voća i proizvoda od voća (Patras i sar, 2011).

Promena boje voća

Prilikom prerade voća dolazi do veće ili manje degradacije boje, stvaranja nepoželjnih oksidativnih produkata, kao i do stvaranja obojenih polimera, koji nastaju kao rezultat raznih kompleksnih reakcija. Ove pojave su obuhvaćene terminom enzimsko i neenzimsko potamnjanje. Između ove dve pojave je veoma teško povući oštru granicu, pošto se obe promene dešavaju paralelno. Obično se stvaraju intermedijarni produkti koji međusobno ili sa drugim sastojcima, stupaju u reakcije, pa je teško ustanoviti koje su reakcije i degradacioni procesi katalizirani enzimima, a koji nisu (Tepić, 2012). Enzimске i neenzimске reakcije rezultuju formiranjem rastvorljivih braon, sivo i tamno obojenih pigmentata. Najvažnij enzimi koji su uključeni u proces potamnjanja su polifenoloksidaze, koje katalizuju oksidaciju polifenolnih jedinjenja (Barrett i sar, 2010). Enzimsko tamnjenje je proces uočljiv već u prvim fazama prerade voća i povrća (rezanje, usitnjavanje, mlevenje) kada dolazi do oštećenja ćelija. Pored polifenoloksidaza, u procesima potamnjanja deluju i peroksidaze, ali se reakcije odvijaju sporije. Kod korenastog i krtolastog povrća, jabučastog i koštičavog voća enzimsko potamnjanje je izraženije jer sadrže više polifenoloksidaze (Tepić, 2012). Za razliku od enzimskog, neenzimsko potamnjanje odvija se sporo, zapaža se tek nakon dužeg ili kraćeg vremena skladištenja. Do neenzimskog potamnjanja dolazi kada se sirovina podvrgava

predugom toplotnom tretmanu u prisustvu velikih količina kiseonika (parenje, blanširanje, pasterizacija, sterilizacija itd.) (Tepić, 2012). Bojene materije (pigmenti) koje daju odgovarajuću boju voću dele se na nerastvorljive i rastvorljive u vodi. Takođe su različito otporne na toplotni tretman. Hlorofili su prilično otporni na toplotu, ali kod preduge sterilizacije, pogotovo ako se proizvod odmah ne ohladi može doći do gubitka boje. Do ovakve promene dolazi uglavnom kod graška, boranije i spanaća. Hlorofil je osetljiv na kiselu sredinu, ali stabilan kada su u pitanju bazna sredina. Karotenoidi su otporni na toplotu, ali su osetljivi na dejstvo svetlosti (Barrett i sar, 2010). Antocijani su osetljivi na toplotu i nisku pH vrednost. Flavanioidi su veoma osetljivi na povišene temperature (Tepić, 2012).

Promene boje voća tokom procesa prerade

Razumevanje procesa promene boje tokom dorade važno je za upravljanje kvalitetom prehrambenih proizvoda. Promena boje merena kolorimetrom može se koristiti za predviđanje promene kvaliteta hrane (Lozano i Ibarz, 1997). Predviđanje promene boje može da se koristi za definisanje parametara termičke obrade radi povećanja kvaliteta finalnog proizvoda ukoliko je kinetika degradacije istog određena (Silva i Silva, 1999).

Uticaj termičke obrade na boju hrane proučavan je od strane različitih istraživača i različiti sistemi boja su korišćeni za opisivanje promene boje (Lee, 2000; Lozano i Ibarz 1997; Maskan, 2001). Rhim i Hong (2011) ispitivali su uticaj temperature i aktivnosti vode tkiva crvene paprike na promenu boje. Kako temperatura i aktivnost vode rastu, crvena boja mlevene paprike tamni i menja se ka braon boji. Ovo se uglavnom pripisuje degradaciji pigmenta karotenoida i razvoju tamnih jedinjenja.

Zepka i sar, (2009) proučavali su kinetiku termičke degradacije karotenoida soka od jabuke pomoću HPLC uređaja. Nastale promene povezali su sa CIELAB parametrima boje. Krive razlaganja karotenoida i promene boje imale su dvofazno ponašanje koje je najbolje opisano eksponencijalnom funkcijom. Ispitivanjem hemijskih i fizičkih parametara došlo se do zaključka da parametar boje, kao na primer ΔE^* , može biti dobar pokazatelj degradacije trans- β -kriptoksantina i trans- β -karotena.

Shi i sar, (1999) izveštavaju da je degradacija boje paradajza manja kada je temperatura vazduha za sušenje snižavana od 90°C do 55°C. Pott i sar, (2005) navode da visoke temperature vazduha i predugo sušenje rezultiraju приметnom pojavom crvene boje na listićima osušenog manga. Ova promena se može pripisati procesu tamnjenja (Milardova reakcija) koje nastaje tokom sušenja (Adam i sar, 2000).

Arslan i Ozcan (2010) proučavali su uticaj sušenja na suncu, konvektivnog (50 i 70°C) i konvektivno-mikrotalasnog (210 W i 700 W) na promenu boje kriški crvene paprike. Uzorci sušeni na suncu, a zatim mikrotalasno (700 W) imali su najveće L^* , a^* i b^* vrednosti boje. Temperature vazduha od 50 i 70°C pri konvektivnom sušenju dovele su do smanjenja sjajnosti, udela crvene i žute boje. Smanjenje L^* vrednosti može se pripisati formiranju braon pigmenta tokom sušenja, zbog značajnog smanjenja sadržaja šećera i amino kiselina (Park i Lee, 1975).

Maskan (2001) navodi da parametar boje sjajnost L^* kivija, dostiže vrednost 40 nakon 5 minuta mikrotalasnog sušenja i 325 minuta konvektivnog sušenja. Carcel i sar, (2010) zaključuju da su uzorci osušenog kakija (japanska jabuka) tretirani kalijum metabisulfatom značajno svetliji u poređenju sa uzorcima koji su osušeni bez predtretmana ili tretirani limunskom kiselinom.

Uticaj osmotskog sušenja na boju

Osmotsko sušenje obavlja se često pri povišenim temperaturama osmotskog rastvora. Temperature dostižu i do 60°C. Vreme trajanja osmotskog sušenja je nekoliko časova. Izlaganje voća povišenim temperaturama tokom sušenja može imati negativan uticaj na kvalitet (Barreiro i sar, 1997; Lozano i Ibarz 1997; Avila i Silva 1999; Ibarz i sar, 1999). Neki autori navode da osmotsko sušenje umanjuje promene koje nastaju enzimskom aktivnošću. Tako Rodrigues i sar, (2003) navode da je boja osmotski tretirane papaje veoma slična boji svežeg voća. Rahman i Mujumdar (2007) navode da sloj šećera koji se formira na površini voća tokom osmotskog sušenja predstavlja barijeru vazduhu tokom konvektivnog sušenja i sprečava potamnjivanje tkiva. Falade i Shogaolu (2009) navode da vrednost parametra L^* bundeve tretirane osmotskim rastvorom koncentracije 40°Bx raste sa povišenjem temperature vazduha za sušenje, dok vrednost parametra L^* uzoraka tretiranih rastvorom koncentracije 50 °Bx i 60°Bx opada pri povišenju temperature vazduha za sušenje. Osmotski tretman ne utiče na promenu parametra a^* (crvena boja) kod jagode, ali značajno utiče na promenu ukupne boje ΔE^* (Changrue i sar, 2008). Ponting i sar, (1966) navode temperaturu osmotskog rastvora od 49°C kao graničnu vrednost iznad koje dolazi do enzimatskog potamnjivanja tkiva i gubitka arome. Međutim, veliki je broj istraživanja u kojima se primenjuje osmotsko sušenje rastvorom temperature preko 50°C.

Modelovanje kinetike promene boje

Kinetika promene boje prehrambenih proizvoda je kompleksan fenomen, a pouzdani modeli za predviđanje promena, koji se mogu koristiti u inženjerskim proračunima su ograničeni (Ahmed i sar, 2002). Zbog toga se radi proučavanja kinetike promene boje obavljaju eksperimentalne studije i primenjuju različiti pojednostavljeni modeli (Suh i sar, 2003). Modelovanje kinetike potrebno je radi dobijanja informacija u cilju opisivanja toka reakcije kao funkcije eksperimentalnih promenljivih (Van Boekel, 1996). Postoje brojne reference o kinetici promene boje hrane. U većini istraživanja korišćene su linearne i eksponencijalne funkcije (tabela 2.2). Empirijske tehnike matematičkog modelovanja mogu biti korisne za utvrđivanje krajnje tačke procesa (Ahmed i sar, 2002). Za većinu prehrambenih i poljoprivrednih proizvoda, vremenska zavisnost promene boje može se opisati sledećim modelima (Krokida i sar, 2001) :

$$C = C_0 + k_0 t \quad (2.15)$$

$$C = C_0 \exp k_1 t \quad (2.16)$$

gde je: C - merena vrednost parametra boje, C_0 – početna vrednost parametra boje, t - je vreme trajanja nekog procesa, k_0 i k_1 – konstante funkcije. Arhenijusova jednačina se takođe primenjuje za modelovanje kinetike promene boje (Stamp i Labuza, 1983). Arhenijusova jednačina zavisnosti koeficijenta funkcije i temperature predstavljena je:

$$C = k_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (2.17)$$

gde je: C - merena vrednost parametra boje, k_0 – konstante funkcije, E_a – energija aktivacije, T – temperatura, R – gasna konstanta.

Navedeni modeli korišćeni su za izračunavanje stepena potamnjenja voćnog tkiva (Stamp i Labuza, 1983). U istraživanjima je primećeno da se promene a^* i b^* vrednosti, hromatičnost i indeksa potamnjenja dovoljno dobro opisuju eksponencijalnom funkcijom. Promene vrednosti L^* , ukupne promena boje ΔE^* i nijansa boje h^* uspešno se opisuju linearnom funkcijom (Demirhan i Ozbek, 2009).

Tabela 2.3. Odabrane publikacije kinetike promene boje voća i povrća tokom sušenja

Proizvod	Način prerade	Parametri boje	Primenjeni modeli	Literatura
Bosiljak	Mikrotalasno sušenje	L^* , ΔE^* , h^* , a^* , b^* , hromatičnost, indeks potamnjenja	Linearni i eksponencijalni	Demirhan i Ozbek (2009)
Crni luk	Konvektivno sušenje	Indeks potamnjenja	Linearni	Kaymak-Ertekin i Gedik (2005)
Jabuka, banana, krompir, mrkva	Konvektivno, vakuumsko, mikrotalasno, osmotsko i sušenje zamrzavanjem	a^* , b^*	Eksponencijalni	Krokida i sar, (2001)
Jabuka, banana	Osmotsko sušenje	L^* , a^* , b^*	Eksponencijalni	Krokida i sar, (2000)
Jabuka, banana, krompir, mrkva	Konvektivno, vakuum sušenje	ΔL^* , Δa^* , Δb^*	Eksponencijalni	Krokida i sar, (1998)
Avokado, banana, jagoda	Konvektivno sušenje	ΔL^* , Δa^* , Δb^*	Eksponencijalni	Tsami i Katsioti (2000)
Jabuka	Konvektivno, vakuum sušenje	Indeks potamnjenja	Linearni	Voegel-Turenne i sar, (1997)
Kivi	Konvektivno, mikrotalasno, konvektivno + mikrotalasno	L^* , a^* , b^* , hromatičnost C^* , h^* , ΔE^* , indeks potamnjenja	Linearni i eksponencijalni	Maskan (2001)

*Indeks potamnjenja je najčešće korišćeni pokazatelj potamnjenja šećera koji se nalazi u nekom prehrambenom proizvodu. Postoji jednačina za izračunavanje indeksa potamnjenja.

CILJ I HIPOTEZA
ISTRAŽIVANJA

3. CILJ I HIPOTEZA ISTRAŽIVANJA

3.1. Cilj

Veliki broj faktora utiče na proces osmotskog sušenja, ali i na fizičke, hemijske i mehaničke osobine tretiranog materijala. Temperatura i koncentracija osmotskog rastvora mogu se izdvojiti kao najuticajniji faktori. Na osnovu do sada poznatih činjenica o osmotskom sušenju definisani su cilj i hipoteza istraživanja.

Cilj istraživanja je da se utvrdi uticaj koncentracije i temperature osmotskog rastvora na odabrane fizičke osobine uzoraka dunje. Istraživaće se uticaj navedenih faktora procesa na promene: vlažnosti, povećanja mase suve materije, oblika, zapremine, boje i reprezentativnih mehaničkih osobina. Disperzionom analizom utvrdiće se značajnost uticaja odabranih faktora eksperimenta na ispitivane veličine. Regresionom analizom će se odrediti matematički modeli promena ispitivanih veličina. Takođe će se ispitati uticaj faktora osmotskog sušenja na fizičke osobine finalnog proizvoda, odnosno nakon konvektivnog sušenja.

3.2. Hipoteza istraživanja

Tokom osmotskog i konvektivnog sušenja dunje, temperatura i koncentracija osmotskog rastvora utiču na brzinu osmotskog sušenja, mehaničke osobine, teksturu, boju i promenu zapremine. Ove promene mogu se opisati matematičkim modelima.

MATERIJAL I
METOD
ISTRAŽIVANJA

4. MATERIJAL I METOD ISTRAŽIVANJA

4.1. Materijal istraživanja

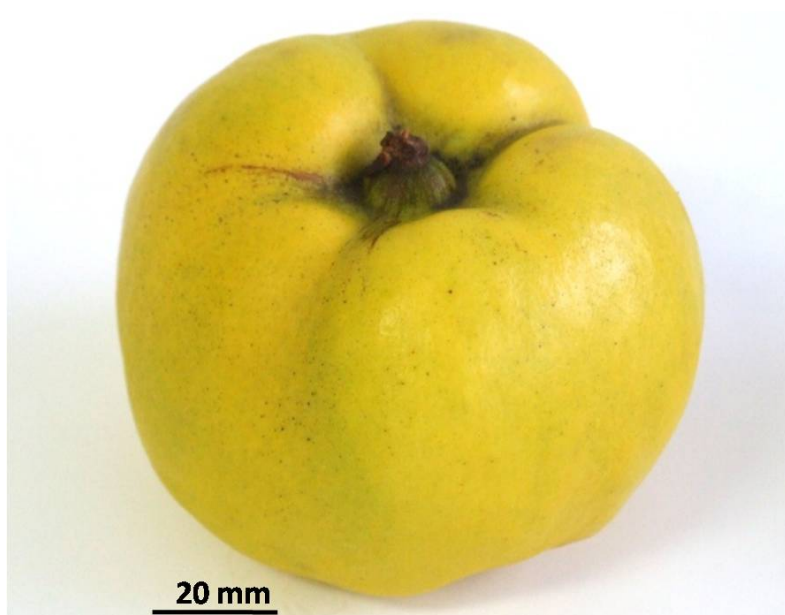
U eksperimentu je korišćena dunja sorte leskovačka. Ova sorta odabrana je za eksperiment prvenstveno zbog pogodne veličine i oblika. Plodovi su jabučastog oblika, bez neravnina i nabora koji su često prisutni kod plodova dunje. Ova sorta poseduje izuzetno prijatnu aromu zbog koje je cenjena u prerađivačkoj industriji. Plodovi su poreklom iz voćnjaka firme „Sava Kovačević“ iz Vrbasa.

Struktura ploda dunje

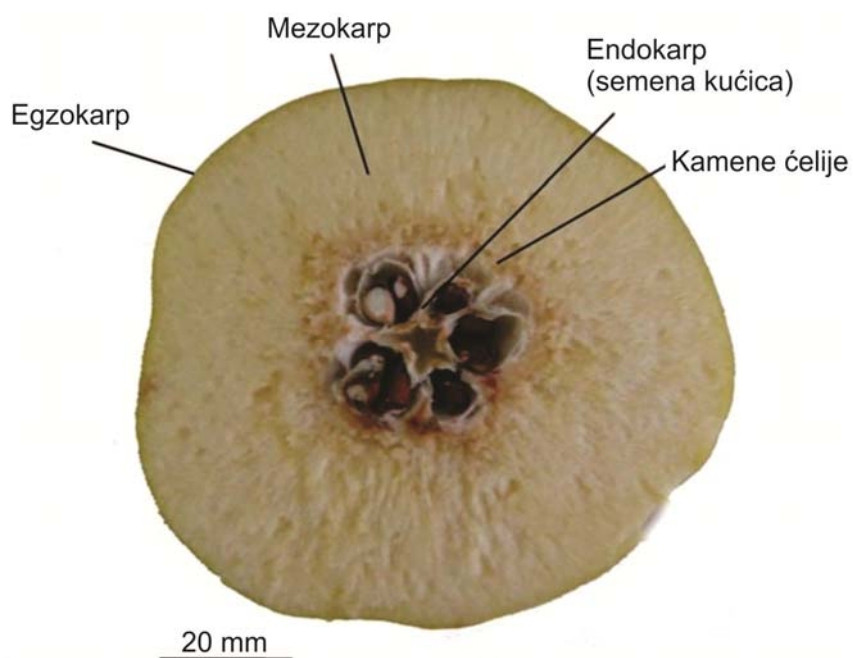
Da bi se pristupilo sveobuhvatnoj analizi promena fizičkih osobina tokom procesa sušenja, neophodno je upoznati se sa strukturom materijala. Prema botaničkoj klasifikaciji dunja (slika 4.1) je svrstana u grupu sinkarpnih koštunica. Plod se sastoji od perikarpa i semena. Delovi perikarpa kod dunje su egzokarp (pokožica), mezokarp (meso) i endokarp (semena kućica). Za sušenje se koristi mezokarp, dok se egzokarp, endokarp i seme uklanja (slika 4.2).

Mezokarp dunje sačinjen je od parenhimskih snopova koji povezuju egzokarp sa semenom. Parenhimski snopovi su ustvari biljna vlakna. Plod dunje karakteriše visok sadržaj celuloznih vlakana. Vlakna okružuju središnji deo ploda, sklerenhimsko tkivo koje je skoro odrvenelo (slika 4.2 i 4.3). Ono što je još karakteristično za dunju je da se i u mezokarpu nalaze kamene ćelije ili sklereidi. To su ćelije čiji su zidovi jako i ravnomerno zadebljali i nalaze se među drugim ćelijama. Sklereidi su u definitivnom smislu mrtve ćelije i nalaze se u starijim delovima biljke koji su završili sa rastom (Bulatović, 1980).

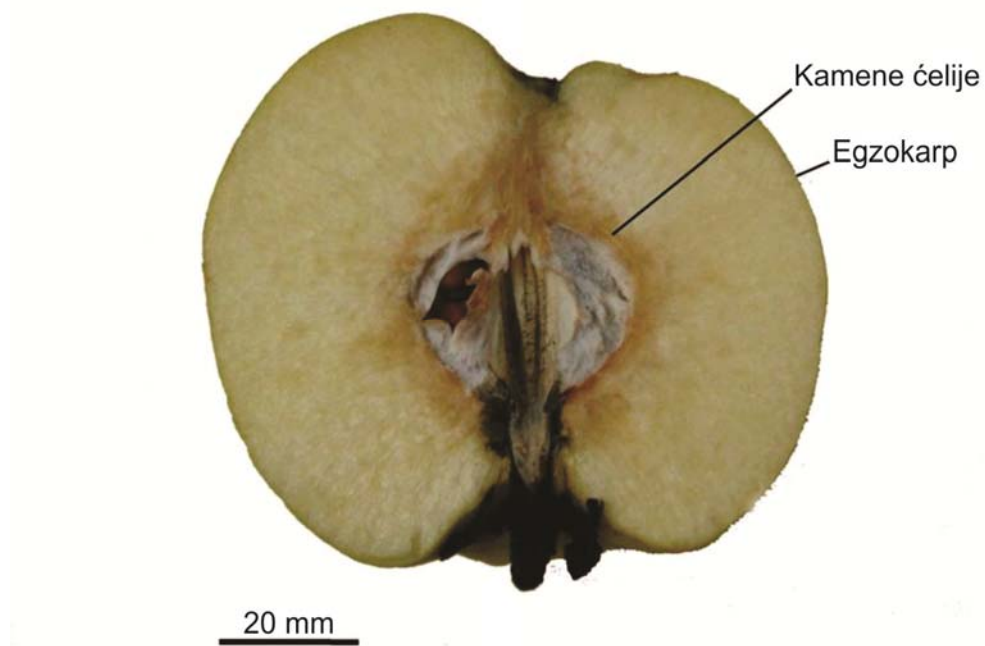
Na slici poprečnog preseka tkiva dunje jasno su vidljive pore (slika 4.2). Razlog pojava ovih pora mogu biti sklerenhimske ćelije koje prilikom presecanja ploda za sobom povlače deo tkiva. Pore koje pri tome nastaju veličine su i do 2 milimetra. Ćelije koje se nalaze oko odrvenelih (sklerenhimskih) ćelija imaju izdužen (igličast) oblik (slika 4.4). Jovanović Malinovska i sar, (2012) navode da poroznost tkiva sveže dunje iznosi 15%. Ovakva porozna struktura sa izraženim rasporedom biljnih vlakana čini celokupnu strukturu ploda dunje heterogenom.



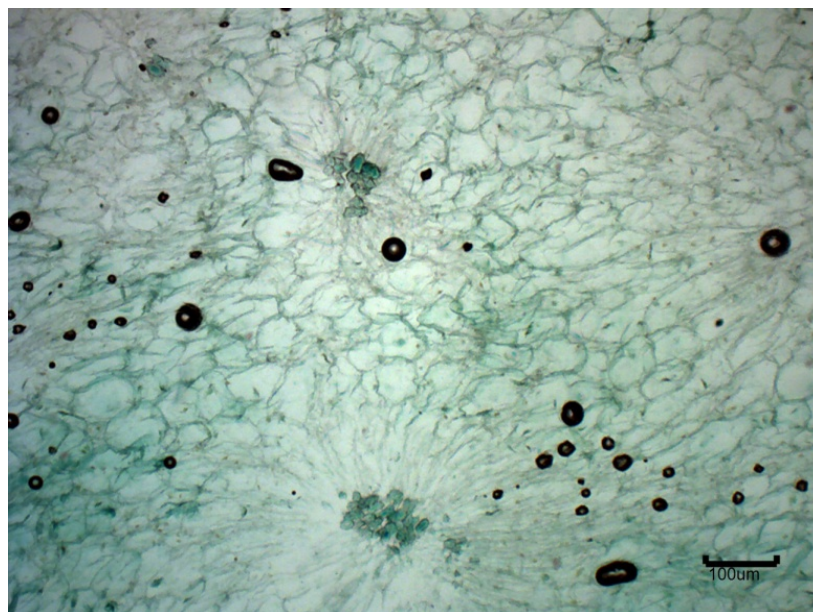
Slika 4.1. Plod dunje sorte leskovačka (foto Radojčin, 2010)



Slika 4.2. Anatomski građa ploda dunje – poprečni presek (foto Milovanović, 2010)



Slika 4.3. Anatomska građa ploda dunje – uzdužni presek (foto Milovanović, 2010)



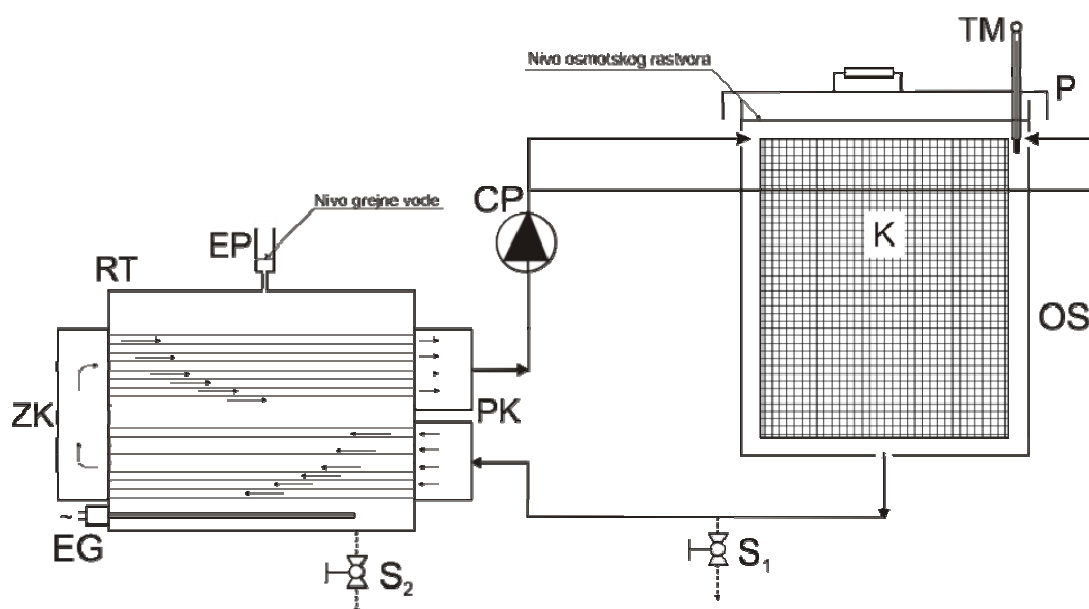
Slika 4.4. Izgled ćelija tkiva dunje sa izraženim kamenim ćelijama (foto Luković i Radojčin, 2014)

4.2. Eksperimentalno postrojenje za osmotsko sušenje

Eksperiment osmotskog sušenja obavljen je u uređaju projektovanom i instalisanom u Laboratoriji za biosistemske inženjerstvo Departmana za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu (Babić i sar, 2004).

Eksperimentalni uređaj je projektovan za potrebe izvođenja eksperimenata osmotskog sušenja, ali njegova koncepcija daje sliku procesa koji se odvija u industrijskim uslovima.

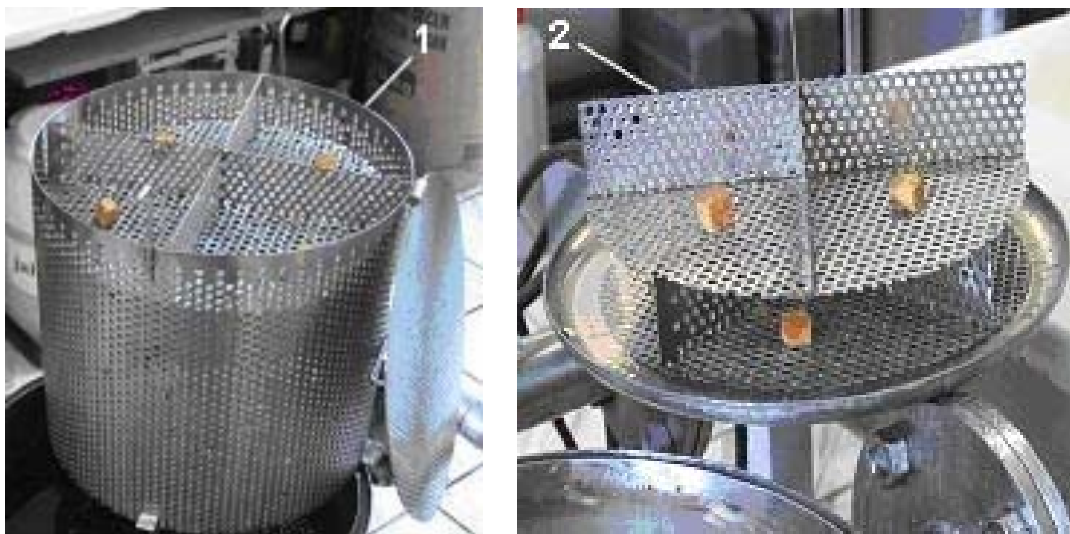
Eksperimentalna osmotska sušara je šaržnog tipa. Sušara je izrađena od materijala koji se koriste u industriji hrane. Sastoji se od tri osnovne celine: komore za smeštaj materijala, cirkulacione pumpe i razmenjivača toplote (slika 4.5).



Slika 4.5. Šematski prikaz modelske eksperimentalne sušare za osmotsko sušenje (Babić i sar, 2004) (OS – komora za sušenje, P – poklopac sa rukohvatom, CP – cirkulaciona pumpa, RT – razmenjivač toplote (zagrejač rastvora), TM – živin termometar, K – korpa sa tacnama, EG – električni grejač, S_1, S_2 – slavine, EP – otvorena ekspanziona posuda, PK – prednja komora razmenjivača, ZK – zadnja komora razmenjivača, \rightarrow smer strujanja osmotskog rastvora)

Glavni deo uređaja je komora za smeštaj korpe sa materijalom (OS). Komora je izrađena u obliku cilindra sa poklopcem. Komora na gornjem delu ima dva otvora za ulaz osmotskog rastvora, a na donjem jedan otvor za izlazak osmotskog rastvora. Otvori na koje su vezane cevi, spajaju komoru sa razmenjivačem toplote. Otvori su postavljeni jedan naspram drugog. Takav

položaj omogućuje bolje mešanje i strujanje rastvora kroz materijal. Temperatura osmotskog rastvora meri se pomoću termometra (TM) koji se postavlja na poklopac (P) komore na za to predviđeno mesto. Na cevi koja spaja donji otvor na komori sa razmenjivačem toplote nalazi se ventil-slavina. Ona služi za ispuštanje rastvora. Na gornjem delu cevi u obliku slova T nalazi se cirkulaciona pumpa. Ona je postavljena tako da se radno kolo nalazi oko 20 cm ispod nivoa rastvora u komori. Cevi prirubnicama sa zaptivnim elementima spajaju komoru sa razmenjivačem.



Slika 4.6. Korpa osmotske sušare za smeštaj materijala za sušenje (foto Milovanović, 2010)

Razmenjivač toplote (RT) je u obliku kvadra sa snopom cevi unutar njega. Cevi su kružnog poprečnog preseka. Na krajevima su spojene sa pločama (prednja i zadnja). Na ovaj način je formirana komora koja služi za smeštaj vode, grejnog medijuma, koja okružuje snop cevi. Voda se zagreva električnim grejačem snage 1,2 kW (EG). Električni grejač se nalazi u donjem delu razmenjivačke komore. Osmotski rastvor u dva prolaza cirkuliše kroz cevi razmenjivača. Dva prolaza rastvora kroz razmenjivač omogućena su pomoću dve manje prednje komore (PK) i jedne veće zadnje komore (ZK). Komore su montirane na prednju i zadnju ploču. Ekspanziona posuda montirana je na gornjem delu kućišta i služi za kompenzaciju promene zapremine grejne vode. Slavina (S_2) montirana je na najnižoj tački kućišta razmenjivača toplote i služi za pražnjenje uređaja.

Princip rada eksperimentalne osmotske sušare

Uređaj za osmotsko sušenje treba da obezbedi adekvatan prijem materijala, zagrevanje i cirkulaciju osmotskog rastvora. Prethodno pripremljeni osmotski rastvor sipa se u komoru, do

nivoa označenog na slici 4.5. Uključivanjem elektromotora cirkulacione pumpe ostvaruje se kruženje rastvora kroz komoru za sušenje i razmenjivač toplote. Rastvor ulazi kroz dva otvora na gornjem delu komore, a izlazi kroz otvor na donjem delu. Rastvor koji izlazi iz komore struji prema razmenjivaču toplote gde se zagreva na zadatu vrednost temperature. Rastvor ulazi u razmenjivač kroz otvor na donjoj zadnjoj komori. Prolazi kroz donji snop cevi, menja smer i ulazi u gornju komoru posle koje napušta razmenjivač. Dalje se kroz cevi dovodi do komore za sušenje. Zagrevanje osmotskog rastvora je indirektno, posredstvom dvoprolaznog cevnog razmenjivača (RT). Električni grejač (EG), napajan naizmeničnom električnom strujom, zagreva vodu u kućištu razmenjivača. Grejač je povezan u električno kolo sa termostatom koji upravlja njegovim radom, reguliše i održava zadatu vrednost temperature grejne vode, a time indirektno i rastvora. Termostat je povezan sa mernom sondom i u zavisnosti od zadate vrednosti temperature grejne vode, uključuje ili isključuje napajanje grejača. Na taj način se indirektno reguliše temperatura osmotskog rastvora.

Kontrola zadate temperature osmotskog rastvora obavljala se pomoću termometra ugrađenog na poklopcu komore za sušenje. Pozicija termometra omogućuje merenje temperature rastvora ispred sloja materijala za sušenje.

4.3. Plan eksperimenta

Planom eksperimenta predviđeno je: izbor uticajnih faktora na kinetiku osmotskog sušenja dunje, mehaničke osobine, boju i zapreminu, izbor njihovih nivoa, izbor broja i vremena trajanja eksperimenata, redosled operacija i metod merenja.

Eksperiment osmotskog sušenja obavljen je kao dvofaktorni. Usvojeno je da faktori eksperimenta budu temperatura i koncentracija osmotskog rastvora. Eksperiment je obavljen na dva nivoa odabranih faktora. Na taj način su formirane četiri kombinacije faktora. Zbog prirode i obima eksperimenta teško je obaviti planirani broj eksperimentalnih jedinica u toku jedne godine. Zbog toga je eksperiment planirano izvesti u dve godine. Iz ovog razloga nije moguća potpuna randomizacija eksperimenta. Randomizacija u osnovnom planu eksperimenta obavljena je pomoću tabele slučajnih brojeva.

Druga poteškoća kod statističkog pristupa je procena greške eksperimenta koja je posledica uticaja spoljnih faktora i greške merenja (Pantelić, 1984). Predviđena su četiri ponavljanja svake eksperimentalne jedinice kako bi se umanjila greška eksperimenta. Urađena su dva ponavljanja u toku jedne godine. Ukupan broj eksperimentalnih jedinica bio je 16. U tabeli 4.2. predstavljen je osnovni plan eksperimenta.

Odabrane fizičke osobine (sadržaj vlage, mehaničke osobine, boja i zapremina) merene su tokom osmotskog sušenja na uzorcima koji su namenjeni za određenu veličinu. Merenje boje, vlažnosti i mehaničkih osobina obavljeno je u tri ponavljanja, u okviru jedne eksperimentalne jedinice. Merenje zapremine obavljeno je sa osam ponavljanja u okviru jedne eksperimentalne jedinice.

Tabela 4.1. Osnovni plan eksperimenta osmotskog sušenja

Temperatura (°C)		40		60	
Koncentracija (°Bx)		50	65	50	65
Godina 2009	Ponavljanje	EOS ₁	EOS ₂	EOS ₄	EOS ₈
		EOS ₆	EOS ₃	EOS ₇	EOS ₅
Godina 2010	Ponavljanje	EOS ₁₀	EOS ₉	EOS ₁₃	EOS ₁₄
		EOS ₁₆	EOS ₁₁	EOS ₁₅	EOS ₁₂

Izbor uticajnih faktora osmotskog sušenja

U poglavlju pregled literature naveden je veliki broj faktora koji utiču na kinetiku osmotskog sušenja. Eksperiment osmotskog sušenja dunje obavljen je u skladu sa faktorima koje je koristio Pavkov (2012). Faktori osmotskog sušenja i njihove vrednosti dati su u tabeli 4.3. Eksperiment je obavljen na dva nivoa osnovnih faktora, temperature i koncentracije osmotskog rastvora. Svi ostali faktori navedeni u tabeli 4.3 održavani su na konstantnom nivou tokom sušenja.

Temperatura rastvora od 60°C odabrana je zbog visoke čvrstoće tkiva dunje. Ova vrednost temperature navodi se kao maksimalna za obavljanje osmotskog sušenja. Lazarides (2001) navodi da visoke vrednosti temperature rastvora utiču negativno na boju i nutritivne karakteristike materijala. Koncentracija rastvora od 65°Bx odabrana je zbog oporog i kiselkastog ukusa sveže dunje. Pretpostavljeno je da povišena koncentracija rastvora može pozitivno da utiče na ukus finalnog proizvoda. Temperatura rastvora od 40°C i koncentracija od 50°Bx su često primenjivane u eksperimentima osmotskog sušenja.

Tabela 4.2. Pregled faktora eksperimenta osmotskog sušenja i njihovi nivoi primenjeni u eksperimentu (Pavkov, 2012)

Faktori osmotskog sušenja	Nivo faktora
Voćna vrsta	Dunja
Tkivo	mezokarp
Sorta	Leksovačka
Stadijum zrelosti	Puna tehn. zrelost
Oblik za sušenje	1/6 celog ploda
Predtretman	sumporisanje
Početna vlažnost	= vlažnosti posle sumporisanja
Vrsta rastvora	vodeni rastvor saharoze
Temperatura osmotskog rastvora	40°C i 60°C
Koncentracija osmotskog rastvora	50°Bx i 65°Bx
Vreme trajanja osmotskog sušenja	3 h
Brzina kretanja rastvora ispred sloja materijala	≈ 0,00913 m/s
Maseni odnos rastvor –voćno tkivo	>10:1

4.4. Postupak osmotskog sušenja

Osmotsko sušenje obavljeno je u uređaju opisanom u poglavlju 4.2. Procesu osmotskog sušenja prethodile su sledeće operacije: prijem i prebiranje, pranje voća, priprema uzoraka, sumporisanje i priprema osmotskog rastvora.

Prva operacija u procesu pripreme materijala je *prijem i prebiranje*. Nakon prijema plodova dunje u Laboratoriji za biosistemske inženjerstvo obavljeno je prebiranje plodova pogodnih za sušenje. Izdvojeni su plodovi zadovoljavajuće zrelosti i kvaliteta.

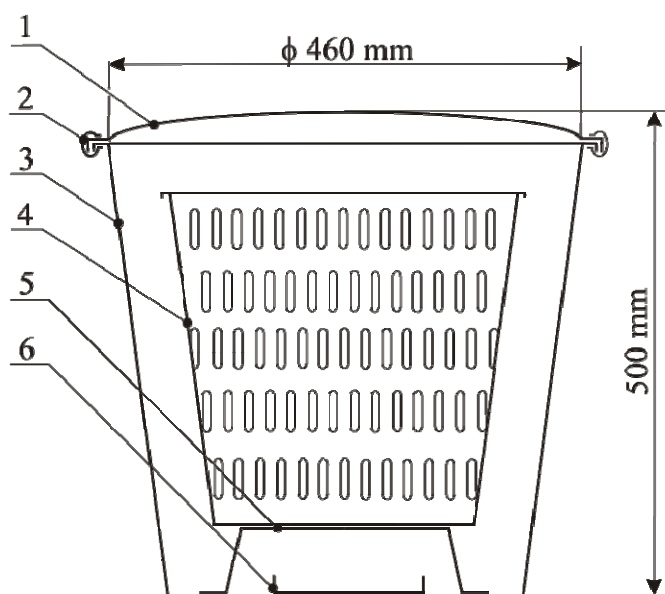
Iz mase prebranih plodova uzima se količina potrebna za izvođenje jednog eksperimenta. Ostatak plodova je skladišten u rashladnoj vitrini na temperaturi vazduha od 4°C. Plodovi su u sladištu čuvani najduže 10 dana. Toliko je potrebno da se obavi celokupan godišnji eksperiment. Smatra se da period od 10 dana skladištenja neće uticati na kvalitet svežih plodova, kao i fizičke osobine tokom sušenja.

Nakon prebiranja obavlja se *pranje* plodova izdvojenih za sušenje.

Sa opranih plodova odstranjuje se kora. Zatim se obavlja *rezanje* na šestine, po uzdužnoj osi ploda. Sa takvih komada ploda uklonjeno je seme, semena loža i deo kamenih ćelija koji okružuje semenu ložu. Uzorak pripremljen za narednu operaciju čini samo mezokarp ploda. Za praćenje promene vlažnosti tokom osmotskog sušenja korišćene su šestine ploda dunje. Merenje promene mase suve materije, boje i zapremine tokom osmotskog sušenja obavljeno je na

uzorcima u obliku kocki formiranim pre početka procesa sušenja. Merenje vlažnosti obavljeno je i na uzorcima u obliku kocki, koje su korišćene za praćenje promena odabranih fizičkih veličina. Zbog razlike u dimenzijama između šestina i kocki korišćenih u eksperimentu, postojaće razlike u sadržaju vlage tokom osmotskog sušenja. Za ispitivanje uticaja osmotskog sušenja na mehaničke osobine korišćene su kockice formirane iz šestina ploda u određenom momentu osmotskog sušenja.

Tkivo dunje veoma je podložno enzimatskim promenama boje. Promene boje su veoma brze i intenzivne (Guiné i Barroca, 2012). Ovo je takođe zaključeno i na osnovu sopstvenih istraživanja. Antioksidativna zaštita tkiva dunje primenom različitih kiselina pokazala se nedovoljno efikasnom. Guiné i Barroca (2012) navode da su promene boje dunje koja je izložena vazduhu, bez prethodno izvršene antioksidativne zaštite, najbrže u prvih 30 minuta. Nakon tog vremena proces tamnjenja teži dostizanju ravnotežne vrednosti boje. Vrednost izmerene ukupne promene boje bila je $\Delta E^* = 30$. Iz ovih razloga je odlučeno da se u eksperimentu koristi sumpordioksid kao antioksidativno sredstvo. Sumpordioksid se dobija sagorevanjem tehničkog sumpora u prahu. Na jedan kilogram voćnog materijala potrebno je sagoreti 1 gram sumpora u prahu. Za taj postupak korišćena je komora prikazana na slici 4.7. Komora ima mogućnost hermetičkog zatvaranja. Na dnu komore nalazi se metalna posuda za sagorevanje sumpora. Sagorevanje je potpomognuto visoko procentnim alkoholom ili komadom papira po kojem se rasporedi potrebna količina sumpora. Vreme izlaganja voća delovanju sumpordioksida bilo je 180 minuta.



Slika 4.7. Komora za sumporisanje sa pomoćnim priborom (Pavkov, 2007)

(1 – poklopac komore, 2 – kopča, 3 – komora, 4 – perforirana posuda,
5 – stalak, 6 – pepeljara)

U eksperimentu je korišćen rastvor saharoze i vode. Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju, korišćen je rastvor koncentracije 50°Bx i 65°Bx. Rastvor se priprema rastvaranjem saharoze u zagrejanj vodi. Za zagrevanje vode korišćen je električni rešo. Temperatura rastvora tokom pripreme bila je oko 60°C. Željena koncentracija rastvora dobija se mešanjem odgovarajuće mase šećera i vode. Potrebne mase šećera i vode za dobijanje željene koncentracije određuju se izračunavanjem. Pripremljen rastvor presipa se u osmotsku sušaru dok se ne obezbedi potrebna količina za proces sušenja. Pre početka eksperimenta osmotski rastvor se zagreva na potrebnu temperaturu. Koncentracija rastvora meri se i kontroliše digitalnim refraktometrom. U eksperimentu je korišćen refraktometar ATAGO, model PAL - α .

Uzorci pripremljeni za merenje određenog parametra postavljaju se u korpu. U korpu se istovremeno smeštaju uzorci za merenje svih planiranih parametara. Uzorci su odvojeni pregradama (slika 4.5) kako bi se izbeglo njihovo mešanje.

Vreme trajanja osmotskog sušenja usvojeno je da bude 180 minuta. Razlog je visoka vrednost tvrdoće tkiva dunje. Smatra se da zbog toga neće doći do izražaja efekat kuvanja čak i pri temperaturi rastvora od 60°C.

Maseni odnos rastvor-materijal bio je veći od 10:1. Zbog ovog se smanjenje koncentracije tokom osmotskog sušenja smatra zanemarljivim.

Radi lakšeg objašnjavanja rezultata eksperiment osmotskog sušenja različitih kombinacija faktora nazivaće se tretman i to sledećim redosledom: tretman 1 (40°C i 50°Bx), tretman 2 (60°C i 50°Bx), tretman 3 (40°C i 65°Bx) i tretman 4 (60°C i 65°Bx).

4.5. Konvektivno sušenje

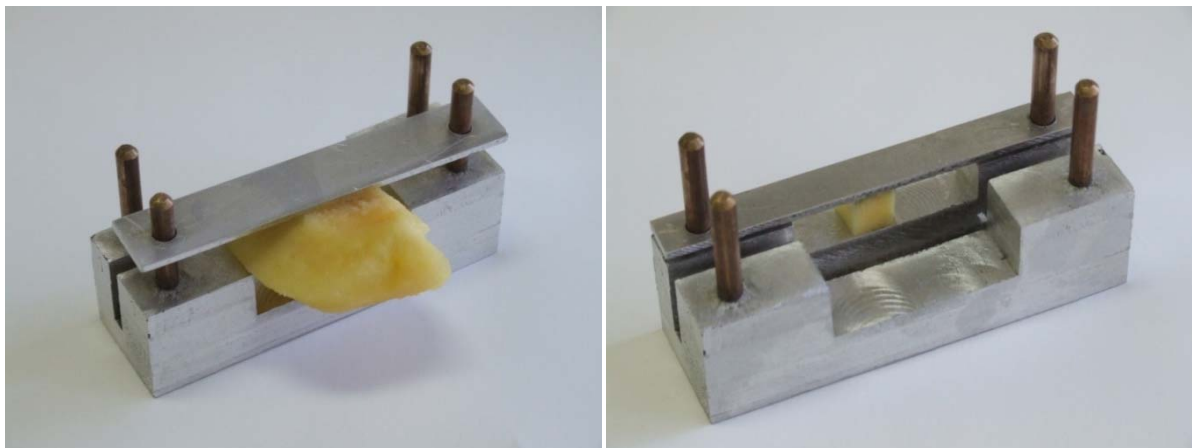
Nakon osmotskog predtretmana obavljeno je konvektivno sušenje uzoraka dunje radi analize ispitivanih veličina na finalnom proizvodu. Konvektivno sušenje obavljeno je vazduhom temperature 50°C. Brzina vazduha bila je 1,5 m/s. Svi eksperimenti konvektivnog sušenja obavljani su pri istim uslovima. Sušenje je obavljeno u eksperimentalnoj sušnici IVA 2 (Pavkov i sar, 2012).

4.6. Kinetika osmotskog sušenja dunje

Tokom osmotskog sušenja dolazi do razmene masa. Vlaga iz tretiranog uzorka prelazi u rastvor, a deo rastvorka prelazi u uzorak. Kinetika osmotskog sušenja opisana je preko promene

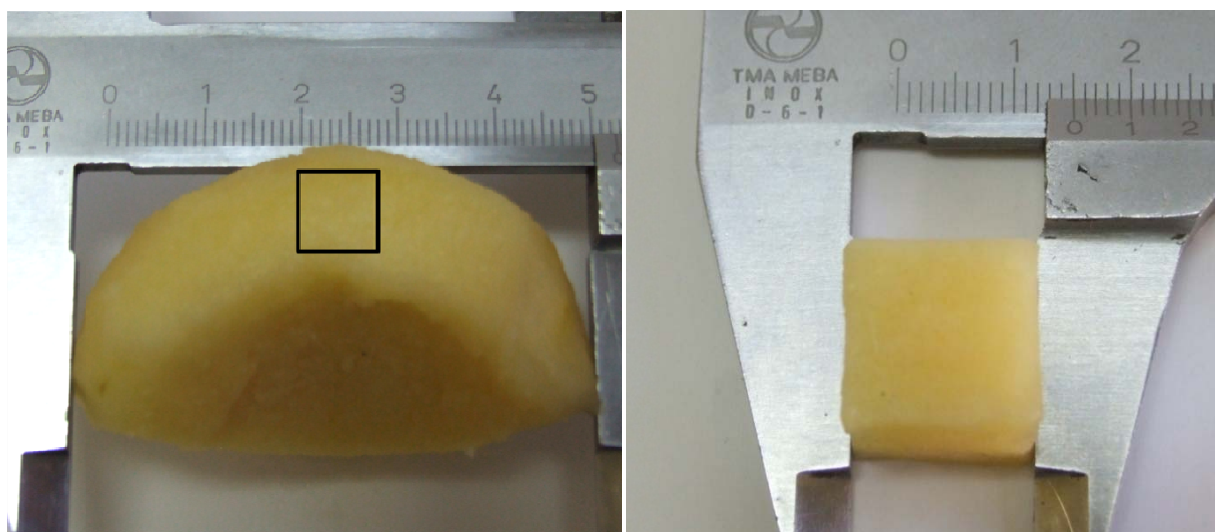
vlažnosti i povećanja suve materije materijala. Promena vlažnosti merena je na šestinama ploda. Povećanje mase suve materije mereno je na uzorcima u formi kocke, dimenzija 15x15x15 mm.

Uzorci u formi kocke pripremljeni su pomoću alata napravljenog za tu namenu (slika 4.8).



Slika 4.8. Isecanje uzoraka u obliku kocke

U cilju dobijanja što reprezentativnijeg uzoraka, homogene strukture, kocke su isecane iz središnje zone šestine ploda (slika 4.9).



Slika 4.9. Formiranje uzorka u formi kocke

Merenja su obavljena nakon sumporisanja, odnosno pre početka osmotskog sušenja i posle svakih 20 minuta tokom osmotskog sušenja. Sa uzoraka je pre merenja odstranjen rastvor koji se zadržava na njihovoj površini. To je rađeno pomoću papirnog ubrusa koji upija višak rastvora. Takvi uzorak je spreman za merenje vlažnosti.

Vlažnost uzoraka određena je termogravimetrijskom metodom pri temperaturi vazduha od 80°C. Za određivanje vlažnosti merena je masa uzorka u određenom momentu osmotskog

sušenja i nakon postizanja konstantne mase sušenjem u laboratorijskoj sušnici. Konstantna masa dostiže se kada se ustanovi promena mase između dva merenja manja od 0,15%. Za sušenje je korišćena laboratorijska sušnica Sterimatic – Instrumentaria ST – 11. Za merenje mase uzoraka korišćena je analitička vaga KERN PLJ 360 3M. Određivanje vlažnosti obavljeno je u tri ponavljanja.

Promene vlažnosti uzoraka merene su povremeno pomoću uređaja za određivanje vlažnosti KERN, MLB 50 – 3HA160N u cilju provere prethodnih merenja. Ova merenja obavljana su obavezno pre i nakon osmotskog sušenja.

Drugi parametar koji opisuje kinetiku osmotskog sušenja je povećanje suve materije do kojeg dolazi usled prelaska rastvorka u voćno tkivo. Povećanje suve materije izraženo je u odnosu na početnu masu uzorka, te se svaki uzorak morao izmeriti pre postavljanja u osmotski rastvor.

Povećanje suve materije izračunavano je upotrebom jednačine:

$$SG = \frac{m_{si} - m_{so}}{m_o} \quad (4.1)$$

gde je: m_{so} - masa suve materije u svežem uzorku, m_{si} – masa suve materije u određenom momentu osmotskog sušenja, m_o – početna masa uzorka.

4.7. Merenje odabranih fizičkih osobina dunje

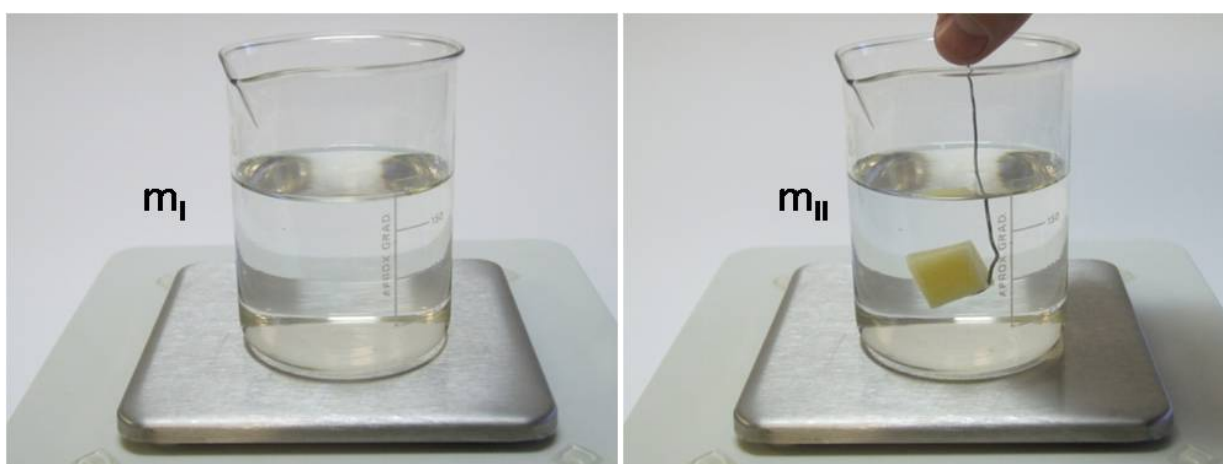
Za proučavanje uticaja osmotskog sušenja odabrane su fizičke osobine koje su najznačajnije za povezanost između proizvođača i kupca. Oblik, boja i tekstura, pored ukusa najčešće utiču na odluku o prihvatanju proizvoda od strane potrošača. Promene odabranih fizičkih veličina merene su tokom 180 minuta osmotskog sušenja i nakon konvektivnog sušenja. Cilj eksperimenta bio je da se utvrdi uticaj različitih parametara osmotskog sušenja na odabrane fizičke osobine tkiva dunje.

4.7.1. Merenje promene zapremine tokom osmotskog sušenja

Promena zapremine koja nastaje tokom sušenja merena je na uzorcima kockica dunje dimenzija 15x15x15 mm. Priprema uzoraka za merenje promene zapremine objašnjena je u poglavlju 4.6. Merenje zapremine obavljeno je na svakih 20 minuta zaustavljanjem procesa osmotskog sušenja. Svako od 10 merenja, koliko je bilo tokom 180 minuta sušenja, obavljeno je na osam uzoraka (kocki). Merenje zapremine obavljeno je i nakon konvektivnog sušenja. Za konvektivno sušenje upotrebljeni su uzorci korišćeni u eksperimentu osmotskog sušenja. Uzorci

su uzimani iz konvektivne sušare između četvrtog i šestog sata sušenja. Na ovaj način je trebalo pronaći uzorke koji će imati slične vlažnosti. Zapremina je merena, takođe, na uzorcima koji nisu bili podvrgnuti osmotskom sušenju.

Zapremina uzoraka određena je eksperimentalno. Metod merenja prikazan je na slici 4.10. U posudu se nalije tečnost poznate gustine. U eksperimentu je korišćena destilovana voda. Tečnost se sipa do određenog nivoa vodeći računa o tome da, kada se zaroni uzorak, ne dođe do preliivanja tečnosti iz posude. Posuda sa tečnošću se postavi na vagu i odmeri se masa m_I . Nakon toga se uzorak potopi, ali da ne dodiruje dno ili bočne strane posude i odmeri se masa m_{II} (Babić i Babić, 2010).



Slika 4.10. Metod merenja zapremine

Zapremina svakog uzorka izračunata je na osnovu izmerene vrednosti sile potiska koja deluje na uzorak kada se potopi u destilovanu vodu, upotrebom sledeće jednačine (Moshenin, 1980):

$$V = \frac{m_{II} - m_I}{\rho_t} \quad (4.2)$$

gde je: m_{II} - masa tečnosti i potopljenog uzorka, m_I - masa tečnosti, ρ_t - gustina tečnosti.

Promena zapremine koja nastaje prilikom osmotskog sušenja izračunata je pomoću sledeće jednačine:

$$SV = \frac{V_o - V_i}{V_o} \quad (4.3)$$

gde je: V_o - zapremina uzorka pre osmotskog sušenja, V_i - zapremina uzorka u određenom momentu osmotskog sušenja.

Promena zapremine predstavlja se još i odnosom zapremine izmerene u momentu sušenja i početne zapremine. U literaturi se nailazi na podatke da se za merenje zapremine koriste tečnosti

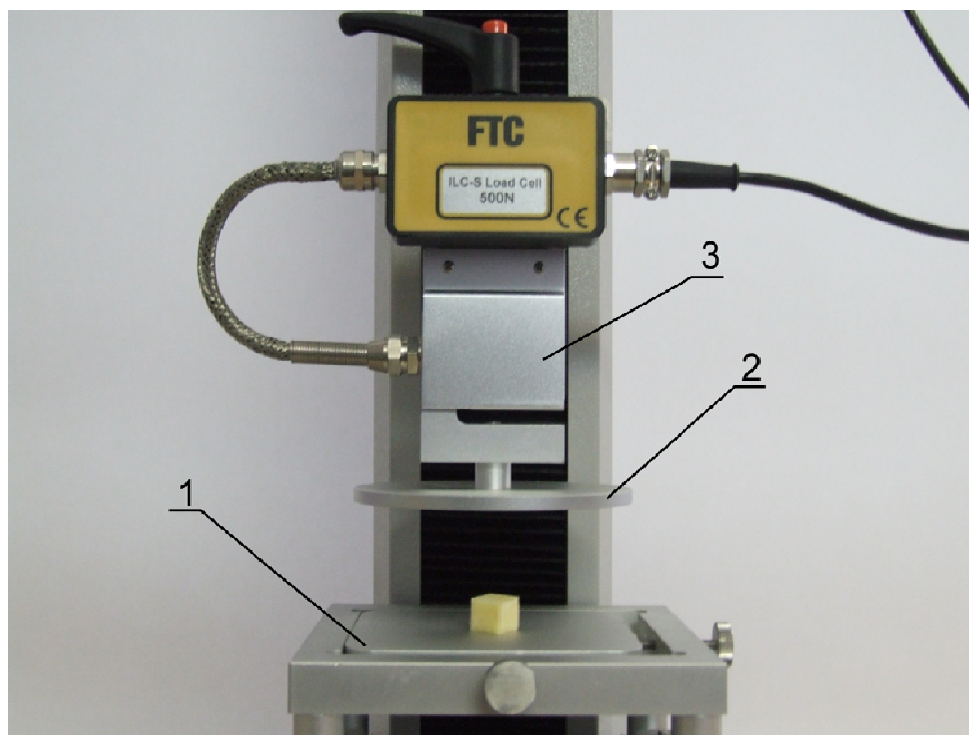
kao što su toulen i n-heptan. Ove tečnosti se koriste zbog manje gustine i sporije penetracije u voćno tkivo. Upijanje tečnosti sprečava se presvlačenjem uzoraka voskom, poliuretanom ili silikonom (Rahman, 2009). Kada se eksperiment merenja zapremine tkiva sušenog voća i povrća upotrebom vode izvede za nekoliko sekundi ne dolazi do značajnog upijanja tečnosti koja remeti preciznost merenja (Lozano i sar, 1980).

Pre izođenja eksperimenta obavljena je provera uticaja destilovane vode na merenje zapremine. Ustanovljeno je da uzorak potopljen u destilovanu vodu za 15 sekundi ne menja svoju masu. Merenje zapremine obavljeno je na uzorcima koji su 180 minuta u kontinuitetu bili podvrgnuti osmotskom sušenju. Izmerene promene zapremine odgovaraju vrednostima izmerenim u eksperimentu. Na osnovu ovih provera može se konstatovati da se destilovana voda može koristiti u eksperimentu merenja zapremine tkiva dunje. Merenje mase uzoraka potrebne za izračunavanje zapremine, obavljeno je na analitičkoj vagi rezolucije očitavanja 0,001 g.

4.7.2. Merenje promene mehaničkih osobina tokom osmotskog sušenja

Mehaničke osobine merene su na uzorcima dimenzija 10x10x10 mm. Priprema uzoraka objašnjena je u poglavlju 4.6. Iz ukupnog uzorka na slučajan način su birane šestine iz kojih su izrezani uzorci. Za merenje mehaničkih osobina od velike važnosti bilo je pripremiti homogen uzorak od mezokarpa ploda. Učešće kamenih ćelija koje okružuju semenu ložu, mogu se naći u uzorku i izazvati povećan otpor pri ispitivanju. Merenje je obavljeno u tri ponavljanja na svakih 20 minuta.

Ispitivanje mehaničkih osobina obavljeno je testom na pritisak. Korišćen je uređaj TMS-PRO Food Technology Corporation (slika 4.11). Osnovni elementi uređaja su postolje (1), pritiskajuća ploča (2) i merna ćelija (3) (slika 4.11). Postolje služi za smeštaj uzorka koji se ispituje. Korišćena je cilindrična pritiskajuća ploča pokretna u vertikalnoj ravni (slika 4.11). Sastavni deo uređaja su različiti pribori za ispitivanje na pritisak, probijanje, istezanje, smicanje i savijanje. Ploča je povezana čvrstom razdvojjivom vezom sa mernom ćelijom. U eksperimentu je korišćena merna ćelija mernog opsega do 500 N.



Slika 4.11. Uređaj za ispitivanje mehaničkih osobina i teksture hrane i biomaterijala TMS-PRO
FTC

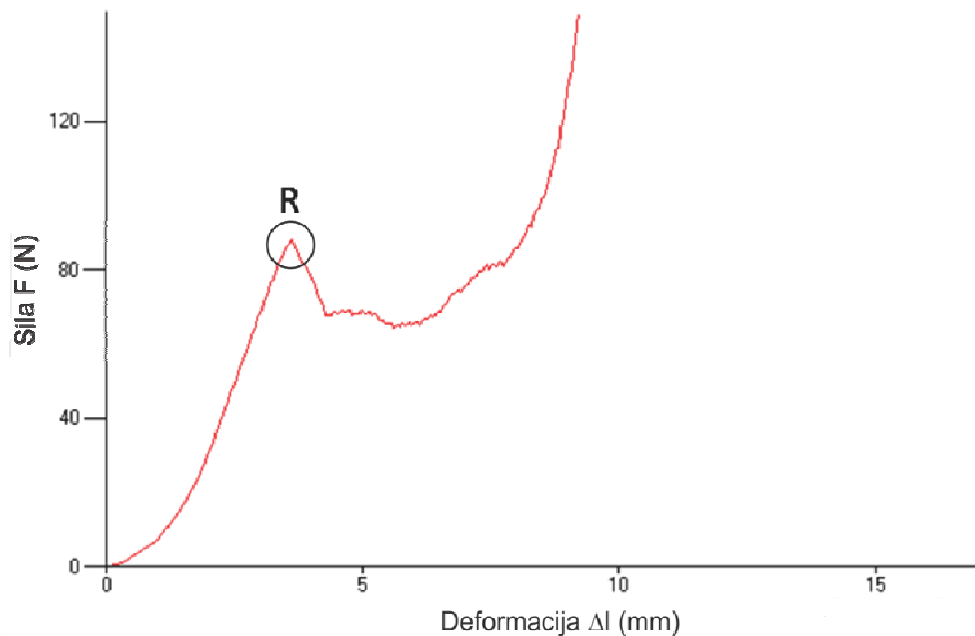
Uređajem se upravlja preko računarskog softvera Texture Lab Pro. Tri osnovna parametra koje je moguće meriti su: sila, deformacija i vreme. Vrednosti ovih parametara mogu se definisati prilikom merenja. Prilikom ispitivanja mehaničkih osobina uzoraka dunje, definisana je maksimalna vrednost sile koju je moguće dostići, od 150 N. Da bi se došlo do željenih podataka nije bilo potrebe za većom silom. Brzina kretanja ploče prilikom pritiskanja (brzina deformisanja) bila je 30 mm/min. Kada se uređaj pokrene pritiskajuća ploča je nekoliko milimetara udaljena od uzorka. Ploča se tada pomera brzinom od 60 mm/min, što se takođe definiše u softveru. Momenat zaustavljanja ploče određen je inicijalnom silom (Trigger force). Vrednost ove sile iznosi 0,5% od maksimalne vrednosti sile koju merna ćelija može da registruje. Inicijalnom silom eliminiše se uticaj neravnina i nepravilnosti na površini uzorka na rezultate. Često je vrednost sile za njihovu deformaciju manja od navedenih 0,5%. Na ovaj način se u rezultatima ne beleže vrednosti izmerene do dostizanja inicijalne sile. Nakon što se dostigne ova vrednost, softver nalaže pauzu od 2 sekunde. Tek nakon toga počinje merenje pri kojem se rezultati snimaju. Rezultati se snimaju u originalnom i u eksel dokumentu ("Microsoft Excel").

Mehaničke osobine izražene su preko relativne razlike sile razaranja kao f parametar i modula elastičnosti. Sila razaranja predstavlja vrednost sile pri kojoj dolazi do razaranja uzorka. Na slici

4.12, označena je slovom R. Ovo je maksimalna vrednost sile kojom uzorak može da se optereti. Deo krive sila – deformacija do tačke razaranja opisuje se kao oblast elastičnog deformisanja. Međutim, kada je u pitanju voće i povrće ono ima viskoelastično ponašanje koje se tretira kao elastično. Nakon dostizanja maksimalne vrednosti sila opada. Dezintegrisano tkivo dunje ne može da pruži otpor deformaciji. U ovo istraživanje uvodi se pojam relativne razlike sile razaranja - f parametar i definiše se sledećom jednačinom:

$$f = \frac{F_0 - F_i}{F_0} \quad (4.4)$$

gde je: f – relativna razlika sile razaranja, F_0 – sila razaranja svežeg uzorka, F_i – sila razaranja u određenom vremenskom trenutku



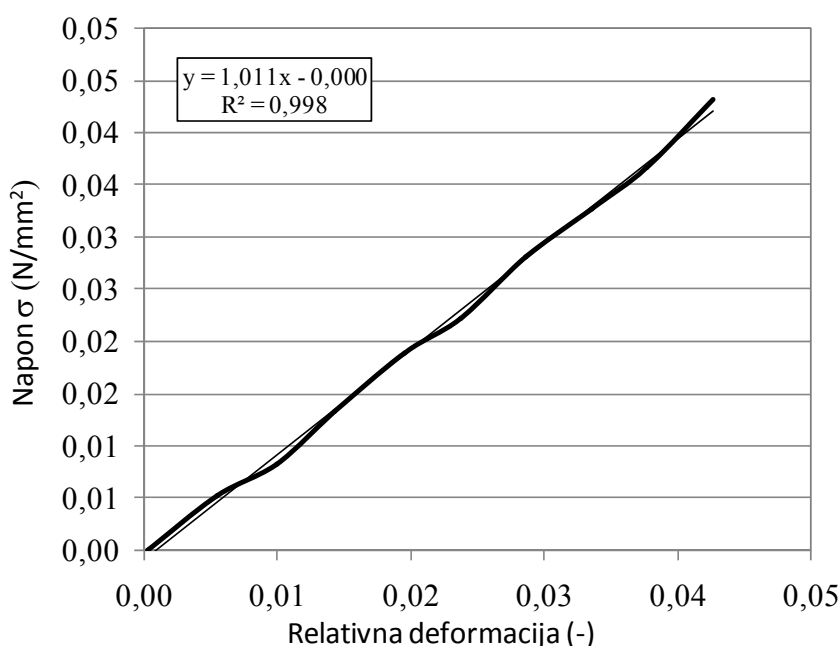
Slika 4.12. Primer krive zavisnosti sila – deformacija za uzorak dunje dimenzija 10x10x10 mm

Izračunate su i vrednosti modula elastičnosti. Prikazivanjem samo sile razaranja postoji mogućnost nastanka greške prilikom tumačenja podataka. Sila razaranja za dva različita uzorka može biti ista pri različitim vrednostima deformacije. Sila razaranja može biti dobar, ali ne i dovoljan pokazatelj mehaničkih osobina. Modul elastičnosti je u oblasti elastične deformacije definisao Young sledećom jednačinom (Moshenin, 1980):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4.5)$$

gde je: E – modul elastičnosti, σ – normalni napon, ε – relativna deformacija

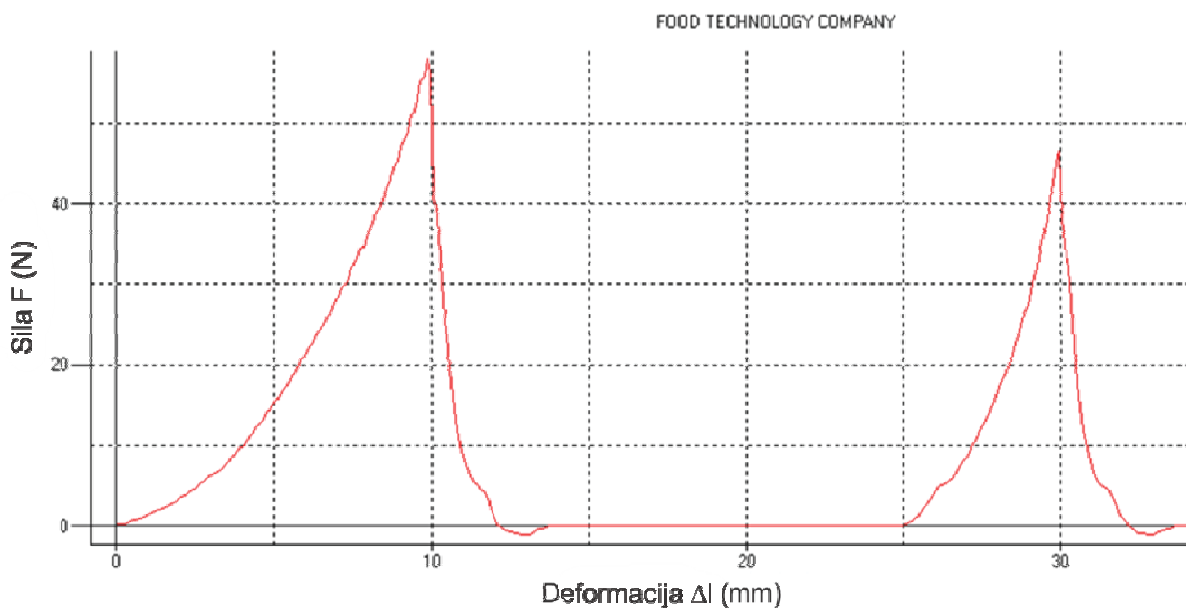
Dimenzije svakog uzorka izmerene su pomoću pomičnog kljunastog merila. Dimenzije uzoraka bile su potrebne za izračunavanje normalnog napona i relativne deformacije. Normalni napon predstavlja odnos sile i površine na koju se deluje silom. Dok je relativna deformacija odnos između dužine, u ovom slučaju visine kocke nakon deformacije i početne visine. Na bazi izračunatih vrednosti napona i relativne deformacije formirani su dijagrami za svako merenje. Za početni deo zavisnosti napon – relativna deformacija ustanovljena je linearna zavisnost sa visokim koeficijentom determinacije (slika 4.13). Zbog toga je odlučeno da se modul elastičnosti poistoveti sa konstantom linearne funkcije (Babić i sar, 2008). Lewicki i Lukaszuk (2000) navode da je za jabuku zavisnost napon - relativna deformacija nelinearna. Odstupanje krive od linearnosti nastaje zbog plastičnih deformacija na mikroplanu (Babić i sar, 2008).



Slika 4.13. Primer dijagrama linearnog dela krive zavisnosti napon – relativna deformacija, za slučaj 50°Bx i 60°C pri osmotskom sušenju

Nakon kombinovanog sušenja urađen je TPA test (Texture Profile Analysis), odnosno test analize profila teksture. Ovim testom analiziraju se mehaničke osobine prehrambenih proizvoda, koje su u vezi sa senzornim osobinama detektovanim od strane ljudi. Ovim testom se imitira proces žvakanja hrane. TPA test je test dvostruke kompresije (slika 4.14). Na osnovu izmerenih podataka definisani su i izračunati sledeći parametri: tvrdoća, otpor prema razaranju (sila razaranja), kohezivnost, adhezivnost, elastičnost, žvakljivost, lepljivost (Bourne, 1978). Test je izveden na uzorcima nakon konvektivnog sušenja. Konvektivno sušenje trajalo je 23 časa. Početni oblik uzoraka bile su šestine ploda dunje. Uzorci za TPA test su izrezani iz šestina ploda.

Dimenzije uzoraka bile su 10x10x10 mm. Šestine ploda nakon kombinovanog sušenja predstavljaju finalni proizvod, spreman za konzumaciju. Korišćen je isti uređaj i pribor kao prilikom ispitivanja mehaničkih osobina tokom osmotskog sušenja. Prilikom testa definisani su sledeći parametri: deformacija uzorka - do 70% početne visine, brzina deformisanja 30 mm/min, inicijalna sila 0,5% od maksimalne vrednosti sile koju je moguće izmeriti upotrebjenom mernom ćelijom. TPA test je obavljen i na uzorcima koji nisu podvrgnuti osmotskom predtretmanu.



Slika 4.14. Primer dijagrama dobijenog TPA testom na uzorku nakon kombinovanog sušenja, za slučaj 50°Bx i 60°C pri osmotskom sušenju i temperaturi vazduha od 50°C pri konvektivnom sušenju

4.7.3. Merenje promene boje dunje tokom osmotskog sušenja

Merenje boje dunje obavljeno je na uzorcima dimenzija 15x15x15 mm. Svako merenje tokom osmotskog sušenja obavljeno je u tri ponavljanja. Boja uzoraka merena je uvek istim redosledom. Uzorci su bili označeni, od prvog do trećeg. Na taj način je merena promena boje istog uzorka. Merenje je obavljeno uvek na istoj površini uzorka. Pre merenja, ubrusom, uklanja se višak rastvora sa uzorka i kalibrisan je uređaj za merenje boje. Kalibracija uređaja obavlja se merenjem bele boje pločice za kalibraciju. Na istim uzorcima izmerena je boja nakon konvektivnog sušenja. Boja je merena na uzorcima koji nisu podvrgnuti osmotskom predtretmanu.

Merenje je obavljeno pomoću kolorimetra Konica Minolta CR 400 (slika 4.15). Izvor svetlosti korišćen pri merenju je tipa C koji odgovara dnevnom svetlu. Rezultati su prikazani u CIELAB ($L^* a^* b^*$) sistemu boja. U ovom sistemu boja parametar L^* predstavlja sjajnost (svetlinu), parametar $-a^*$ i $+a^*$ su zelena i crvena boja i parametar $-b^*$ i $+b^*$ su žuta i plava boja. Boja koja se izmeri kolorimetrom sastoji se od određenih numeričkih vrednosti sva tri parametra. Svi izmereni podaci vidljivi su na displeju uređaja. Kako se pretpostavlja da tokom osmotskog sušenja dolazi do promene boje, sve izmerene vrednosti upoređuju se sa vrednostima koje ima svež uzorak. Pored poređenja vrednosti parametara L^* , a^* i b^* nezavisno jedan od drugog, moguće je porediti ih kao jednu celinu (boju) sa izmerenim vrednostima tokom sušenja. Za promenu boje uzorka tokom sušenja korišćen je parametar koji se naziva ukupna promena boje ΔE . Ovaj parametar izračunava se na osnovu sledeće jednačine:

$$\Delta E = \sqrt{(L_o^* - L^*)^2 + (a_o^* - a^*)^2 + (b_o^* - b^*)^2} \quad (4.6)$$

gde je: L_o^* , a_o^* i b_o^* - vrednosti parametara na početku osmotskog sušenja, L^* , a^* i b^* - vrednosti parametara u određenom momentu sušenja.

Sastavni deo uređaja za merenje boje je softver SpectraMagic NX. Nakon završetka merenja uređaj se preko računara povezuje sa softverom koji služi za uvoz podataka sa uređaja u "eksel" dokument. Dalje obrada podataka veoma je jednostavna. Svodi se na grupisanje i izračunavanje srednjih vrednosti izmerenih parametara boje.



Slika 4.15. Merenje boje kolorimetrom Konica Minolta CR 400

4.8. Hemijska i senzorska analiza

Hemijske i senzorske analize obavljene su kao dodatak osnovnim istraživanjima. Hemijskim analizama određen je sadržaj pektina i fenola u uzorcima dunje nakon kombinovanog sušenja. Pektinska jedinjenja, kojih ima u velikom udelu u dunji utiču na mehaničke osobine, dok fenolna jedinjenja utiču na ukus. Oporost dunje pripisuje se sadržaju tanina koji pripadaju grupi fenolnih jedinjenja. Pored hemijske analize obavljenja je i senzorska analiza radi ocene prihvatljivosti finalnog proizvoda.

Fenolna jedinjenja ekstrahovana su prema metodi Gonzales-Gomez i sar, (2010) uz određene modifikacije. 10 g usitnjenog uzorka ekstrahovano je metanolom kao ekstragensom. Ekstrakcija se odvijala na tamnom mestu, na sobnoj temperaturi, uz konstantno mešanjem na šejkeru (Heidolph, Nemačka) u trajanju od 24 časa. Nakon 24 časa sadržaj je kvantitativno prenesen u odmernu tikvicu od 50 ml, dopunjen ekstrakcionim sredstvom do crte i filtriran. Ekstrakti pripremljeni na ovaj način čuvani su na hladnom i tamnom mestu do ispitivanja.

Sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja određen je metodom po Folin-Ciocalteu (Kähkönen i sar, 1999; Singleton i Rossi, 1965). U ovoj metodi hlorogenska kiselina je korišćena kao standard. Apsorbanca uzoraka merena je na 765 nm. Sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja izražen je u mg ekvivalenta hlorogenske kiseline na 100 g suve materije (mg CAE/100 g SM).

Frakcije pektinskih materija određene su kolorimetrijski, karbazolnom metodom (Vračar, 2001). Postupak određivanja podrazumeva taloženje pektinskih materija, zatim njihovu ekstrakciju u vidu frakcije pektinskih materija rastvorljivih u vodi (pektin), frakcije pektinskih materija rastvorljivih u amonijum-oksalatu (pektinska kiselina) i frakcije pektinskih materija rastvorljivih u alkalijama (protopektin). Nakon ekstrakcije sadržaj pektinskih materija određuje se kolorimetrijski, merenjem apsorbance na talasnoj dužini od 525 nm. Sadržaj pektinskih frakcija izražava se kao ekvivalent galakturonske kiseline. Na osnovu izmerene apsorbancije uzorka i prethodno pripremljene kalibracione krive očitana je sadržaj galakturonske kiseline u ekstraktu i iz njega izračunat sadržaj galakturonske kiseline u uzorku.

Senzorske osobine uzoraka dunje ocenjene su panelom od osam obučanih ocenjivača (obučeni u skladu sa ISO 8586:2012) sa Instituta za prehrambene tehnologije u Novom Sadu. Senzorska analiza obavljena je upotrebom deskriptivne analize. Ocenjivane su najkarakterističnije osobine, u skladu sa senzorskim analizama izvedenim na svežoj dunji od strane Szychowski i sar, (2014). Panelisti su ocenjivali intenzitet slatkoće (slasti), gorčine, kiselosti, oporosti, odsustva ukusa i arome dunje na skali od 0 do 10. Vrednost 0 predstavlja najmanji intenzitet, a 10 najveći intenzitet ocenjivane osobine.

Senzorska ocena uzoraka dunje sprovedena je u zasebnim kabinama laboratorije za senzorska ispitivanja u kojoj su kontrolisane temperatura i vlažnost vazduha. Svi uzorci bili su označeni različitim trocifrenim šiframa i dostavljeni ocenjivačima u zatvorenim plastičnim posudama istovremeno. Ocenjivači su bili zamoljeni da između testiranja uzoraka isperu usta destilovanom vodom. Svi uzorci ocenjeni su u dva ponavljanja.

4.9. Postupak obrade podataka

Prvi korak u postupku obrade podataka bio je formiranje osnovnih radnih tabela. Osnovne radne tabele kreirane su u ekselu. Zbog preglednosti podataka formirana su posebna tri eksel dokumenta u okviru jedne godine merenja. Dokument koji je sadržao rezultate merenja boje, zatim mehaničkih osobina i treći koji je sadržao rezultate potrebne za određivanje vlažnosti i zapremine. Za svaku eksperimentalnu jedinicu formirana je jedna strana u okviru jednog dokumenta.

Osnovne radne tabele bile su pogodne za dalju obradu podataka. Na osnovu osnovnih podataka izračunati su svi parametri opisani u poglavlju Materijal i metod istraživanja.

Formirani su dijagrami kinetike sušenja, promene boje, mehaničkih osobina i zapremine. Za rezultate koji neće biti prikazani dijagramski formirane su tabele.

Posebne tabele formirane su za potrebu disperzione analize. Rezultati su grupisani prema zahtevu upotrebljenog softvera. Za disperzionu analizu korišćen je softver Statistica 12. Rezultati disperzione analize prikazani su tabelarno.

Nakon disperzione analize obavljena je i regresiona analiza. Odabrani su matematički modeli za opis kinetike osmotskog sušenja uzoraka dunje. Modeli su prošireni uticajnim faktorima osmotskog sušenja u bezdimenzionalanom obliku. Obavljeno je modelovanje i promene boje i zapremine uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja.

Tabela 4.3. Pregled merenih veličina

R.br.	Merena veličina	Oznaka u radu	Jedinica	Naziv instrumenta, proizvođač, model	Opseg merenja, rezolucija, tačnost instrumenta
1.	Masa pripremljenog uzorka (šestina, kocka)	m, m_o, m_i	g	Analitička vaga, KERN 440-33N, Nemačka	0 - 200 g, 0,01g, $\pm 0,02$ g
2.	Vlažnost uzorka – metod 1	$\omega, \omega_o, \omega_i$	% _{wb}	1. Laboratorijska sušnica Sterimatic ST-11, "Instrumentaria", Zagreb 2. Analitička vaga, KERN PLJ 360 3M, Nemačka 3. Aluminijske posudice 60x40 mm	0 - 200 g, 0,001g, $\pm 0,002$ g
3.	Vlažnost – metod 2	$\omega, \omega_o, \omega_i$	% _{wb}	Uređaj za merenje vlažnosti, KERN, MLB 50-3HA160N, Nemačka	0 - 50 g, 0,001 g, $\pm 0,003$ g
4.	Povećanje suve materije u uzorku	SG	% _{wb}	1. Laboratorijska sušnica Sterimatic ST-11, "Instrumentaria", Zagreb 2. Analitička vaga, KERN 440-33N, Nemačka	0 - 200 g, 0,01g, $\pm 0,02$ g
5.	Dimenzije kocke dunje – osmotsko sušenje	a_k, b_k, c_k	mm	Pomično merilo, TMA INOX, D-6-1, Nemačka	0 - 100 mm, 0,1 mm, $\pm 0,05$ mm
6.	Zapremina uzorka	V_o, V_i	cm ³	Staklena laboratorijska čaša 500 ml i analitička vaga KERN 440-47N,	2000 g; 0,1 g $\pm 0,2$ g
7.	Temperatura osmotskog rastvora	t_r	°C	Živin termometar; Tlos, HRK-4-1001, Zagreb	0 - 110°C, 1°C, $\pm 0,5$ °C
8.	Koncentracija osmotskog rastvora	C _r	°Bx	Digitalni refraktometar, „ATAGO“– Japan, model PAL - α ,	0-85°Bx, 0,1°Bx, $\pm 0,1$ °Bx
9.	Gustina osmotskog rastvora	ρ_r	kg/m ³	Staklena menzura 500 ml, Analitička vaga KERN 440-47N,	0- 500 ml, 10 ml ± 5 ml 2000 g; 0,1 g, $\pm 0,2$ g
10.	Merenje vremena, osmotsko sušenje	τ_o	min	Digitalni sat sa štopericom i alarmom	0 – 60 min, 0,1 s $\pm 0,1$ s
11.	Temperatura vazduha ispred sloja materijala – instrumet 1	t_{kl}	°C	Termopar K-tipa ne izolovan, Mantel, Nemačka	-40 – 375°C, $\pm 1,5$ °C

12.	Temperatura vazduha ispred sloja materijala – instrument 2	t_{kl}	$^{\circ}C$	Živin termometar; Tlos, HRK-4-1001, Zagreb	0 - 110 $^{\circ}C$, 0,1 $^{\circ}C$, $\pm 0,05^{\circ}C$
13.	Dinamički pritisak vazduha	p_d	Pa	Pitot-Prandtlova cev, $\phi 4$ mm, Digitalni diferencijalni mikromanometar Testo 521 sa dodatkom senzora za precizna merenja No: 06381447	0 – 1.000 Pa, 0,1 Pa, $\pm 0,2$ Pa
14.	Boja uzoraka	L^* , a^* , b^*	-	Kolorimetar Konica Minolta CR 400, Japan	-
15.	Sila, deformacija	F_o , F_b , Δl	N , mm	Uređaj za merenje teksture hrane TMS-PRO Food Technology Corporation, SAD	0 - 500 N, 0,015% od vrednosti sile koju ćelija može da izmeri, 2,5 μm

REZULTATI I

DISKUSIJA

POGLAVLJE

5

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1. Kinetika osmotskog sušenja

Rezultati merenja vlažnosti šestina dunje tokom osmotskog sušenja prikazani su tabelarno u prilogu 1. U tabeli 5.1, kao primer, date su vrednosti vlažnosti šestina dunje izmerene tokom osmotskog sušenja u rastvoru saharoze temperature 40°C i koncentracije 50°Bx.

Tabela 5.1. Izmerene vrednosti vlažnosti dunje tokom osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora od 40°C i koncentraciji rastvora od 50°Bx

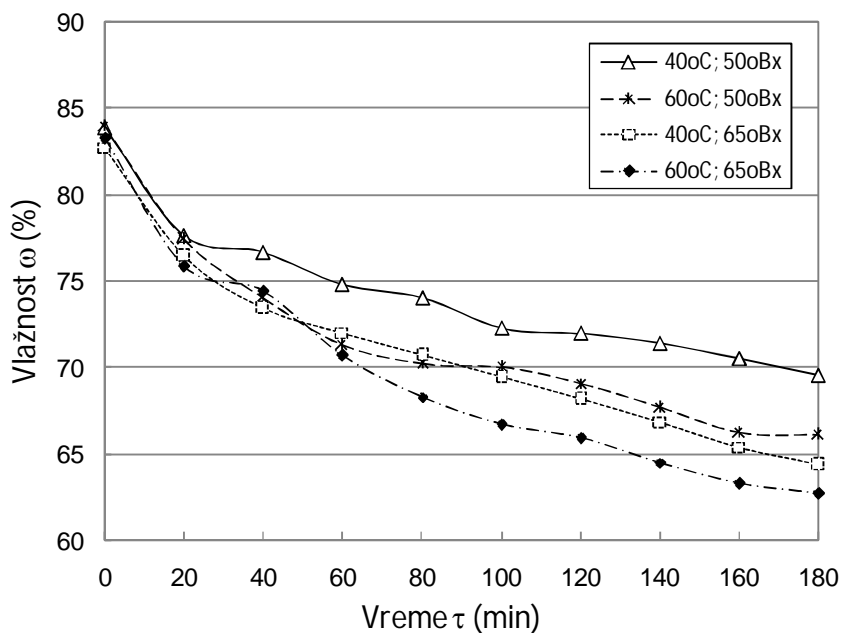
Vreme sušenja	2009. I ponavljanje	2009. II ponavljanje	2010. I ponavljanje	2010. II ponavljanje
0	83,39	83,39	83,48	85,04
20	76,23	78,43	76,55	79,23
40	75,11	76,34	76,20	76,91
60	72,16	73,71	75,13	74,08
80	73,72	72,80	73,41	76,14
100	72,03	70,60	72,57	73,80
120	72,27	70,68	71,86	73,00
140	74,15	70,25	71,57	73,57
160	69,97	69,22	71,85	70,82
180	67,31	69,73	68,59	72,59

Izmerene vrednosti vlažnosti dunje date u prilogu 1, upotrebljene su za disperzionu analizu (analizu varijanse). Disperzionom analizom potvrđena je hipoteza istraživanja o uticaju ispitivanih faktora osmotskog sušenja na promenu vlažnosti uzoraka dunje. Rezultati disperzione analize prikazani su u tabeli 5.2. Izračunate vrednosti Fišerovog kriterijuma veće su od tabličnih vrednosti za oba faktora osmotskog sušenja. Analizom varijanse potvrđen je uticaj koncentracije i temperature osmotskog rastvora na vlažnost uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja ($p < 0,05$).

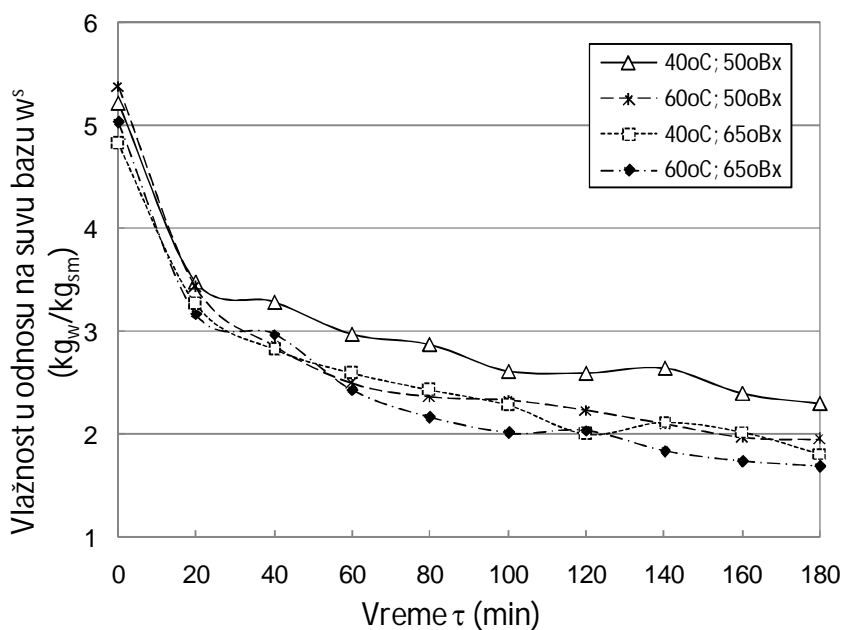
Tabela 5.2. Rezultati disperzione analize uticaja faktora eksperimenta na promenu vlažnosti uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja, za statističku verovatnoću od 95%

Izvor varijacije	Suma kvadrata	Stepeni slobode	Srednji kvadrat	F	p-vrednost	F kritično
Koncentracija osmotskog rastvora	264,685	1,000	264,685	8,612	0,004	3,902
Temperatura osmotskog rastvora	162,349	1,000	162,349	5,282	0,023	3,902
Međudejstvo	11,908	1,000	11,908	0,387	0,535	3,902
Greška	4794,814	156,000	30,736			
Ukupno	5233,756	159,000				

Na osnovu rezultata merenja vlažnosti šestina dunje, izračunate su srednje vrednosti vlažnosti za svaku eksperimentalnu jedinicu. Na slikama 5.1 i 5.2 prikazane su krive kinetike promene srednje vrednosti vlažnosti u odnosu na vlažnu i suhu bazu, uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja u rastvoru saharoze, za odabrane faktore eksperimenta. Najveće smanjenje vlažnosti je u prvih 20 minuta procesa. Najbrže sniženje vlažnosti izmereno je pri temperaturi rastvora od 60°C i koncentraciji od 65°Bx, odnosno pri najvišim vrednostima odabranih faktora eksperimenta. Najsporije sniženje vlažnosti izmereno je kod eksperimenta sa najnižim vrednostima odabranih faktora (40°C i 50°Bx). Poređenjem ostala dva tretmana koja predstavljaju kombinaciju najviših i najnižih vrednosti faktora eksperimenta, uočava se veće smanjenje vlažnosti pri koncentraciji rastvora od 65°Bx. Međutim, uzorci korišćeni u ovom eksperimentu (tretman 3) imali su nižu početnu vlažnost što je delom uticalo na takav rezultat. Uzimajući u obzir početne vlažnosti uzoraka, nakon osmotskog sušenja pri ova dva tretmana dobijaju se slične vrednosti sadržaja vlage nakon osmotskog sušenja. Uticaj faktora temperature osmotskog rastvora objašnjava se time što povišene temperature rastvora dovode do promene u strukturi ćelijske membrane. Membrana postaje propustljivija za molekule vode, koji intenzivnije difunduju kroz tkivo prema graničnoj površini. Povišenjem temperature rastvora snižava se otpor tkiva difuziji vlage. Takođe, promenom polupropustljivosti ćelijske membrane molekuli rastvorka intenzivnije difunduju iz osmotskog rastvora u unutrašnje slojeve voćnog tkiva. Uticaj viših koncentracija osmotskog rastvora ogleda se u pojavi većih gradijenata koncentracije. Gradijent koncentracije određuje brzinu difuzije molekula vode i rastvorka, između granične površine voćnog tkiva i osmotskog rastvora. Uticaj faktora osmotskog sušenja na isti način diskutuju autori: Babić i sar, (2004) i Pavkov (2007) za osmotsko sušenje tkiva kajsije u obliku polutki, Mayor i sar, (2006) za tkivo bundeve cilindričnog oblika, Park i sar, (2002) za osmotsko sušenje tkiva kruške u obliku kocki, kao i Stojanović (2014) za osmotsko sušenje četvrtina ploda dunje. Temperatura osmotskog rastvora od 60°C smatra se graničnom vrednošću kada je u pitanju osmotsko sušenje. Povišenje temperature iznad ove vrednosti dovodi do smanjenja propustljivosti ćelijske membrane i smanjenja brzine razmene materije (Le Maguer, 1988). Kada je u pitanju koncentracija osmotskog rastvora eksperimenti se obavljaju pri vrednostima višim od 60°Bx. Saputra (2001) analizira uticaj tri temperature osmotskog rastvora (30, 50 i 70°C) i tri vrednosti koncentracije osmotskog rastvora (50, 60 i 70°Bx) na proces razmene materije tokom sušenja ananasa. Najveća brzina razmene materije tokom osmotskog sušenja ananasa izmerena je pri koncentraciji rastvora od 70°Bx i temperaturi rastvora od 50°Bx.



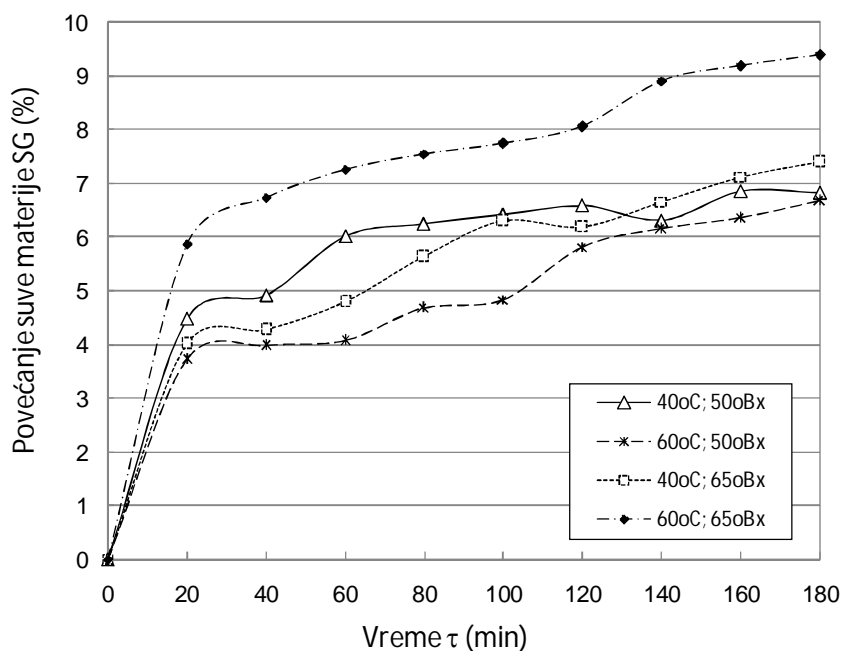
Slika 5.1. Krive kinetike promene vlažnosti uzoraka dunje u odnosu na vlažnu bazu, tokom osmotskog sušenja



Slika 5.2. Krive kinetike promene vlažnosti uzoraka dunje u odnosu na suhu bazu, tokom osmotskog sušenja

Povećanje mase suve materije koje nastaje kao posledica difuzije sahara u tkivo dunje, je takođe potrebno analizirati radi ocene kinetike procesa sušenja. Razmena materije do koje dolazi tokom procesa osmoze utiče na druge osobine tretiranog materijala kao što su promena zapremine, boja, ali i senzorske karakteristike. Izmerene vrednosti povećanja mase suve materije pri različitim vrednostima faktora eksperimenta prikazane su na slici 5.3. Najintenzivnije povećanje je u prvih 20 minuta osmotskog sušenja. Ova promena u skladu je sa smanjenjem

vlažnosti uzoraka. Povećanje mase suve materije u tom periodu iznosi oko 60% od ukupne izmerene vrednosti tokom 180 minuta osmotskog sušenja. Najveći porast izmeren je kod tretmana rastvorom temperature od 60°C i koncentracije 65°Bx i iznosi 9,4%. Kod ostalih tretmana izmereno povećanje mase suve materije sličnih je vrednosti. Međutim, nešto veća vrednost zabeležena je kod tretmana rastvorom koncentracije 65°Bx i temperature 40°C. Takav rezultat svakako ide u prilog uticaju koncentracije osmotskog rastvora na povećanje suve materije. Na temperaturi od 60°C, osmotski rastvor manje je viskoznan nego na temperaturi od 40°C, što uz povećanu koncentraciju utiče na intenzivniju difuziju rastvorka u tkivo dunje. Kod nekih tretmana primetno je odstupanje od linije trenda promene merene veličine. To se može pripisati nehomogenoj strukturi tkiva dunje, maloj masi uzoraka i diskontinualnom merenju.



Slika 5.3. Krive promene sadržaja suve materije u odnosu na početnu masu uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja

Analizom varijanse potvrđen je uticaj koncentracije osmotskog rastvora i interakcije oba faktora (uzajmnog dejstva) na povećanje mase suve materije uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja ($p < 0,05$), (tabela 5.3).

Tabela 5.3. Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu udela suve materije dunje tokom osmotskog sušenja za statističku verovatnoću od 95%

Izvor varijacije	Suma kvadrata	Stepeni slobode	Srednji kvadrat	F	p-vrednost	F kritično
Koncentracija osmotskog rastvora	13,708	1	13,708	11,399	0,001	4,149
Temperatura osmotskog rastvora	2,753	1	2,753	2,289	0,140	4,149
Međudejstvo	19,875	1	19,875	16,528	0,001	4,149
Greška	38,478	32	1,202			
Ukupno	74,815	35				

Modelovanje kinetike osmotskog sušenja

Na osnovu literaturnih izvora, koji su prikazani u pregledu literature, usvojene su po tri jednačine za matematičko modelovanje kinetike promene vlažnosti i povećanja suve materije u odnosu na vlažnu bazu (tabela 5.4). Matematički modeli iskazuju zavisnost promene vlažnosti i porasta suve materije dunje tokom osmotskog sušenja.

Usvojeni modeli prošireni su delom koji je funkcija uticajnih faktora eksperimenta u bezdimenzionalnom obliku (Babić, 1989; Babić, 1995; Panagiotou, 1998; Pavkov, 2007, 2012). Na taj način dobija se univerzalna jednačina za predviđanje promene vlažnosti i povećanja suve materije u okviru vrednosti faktora eksperimenta osmotskog sušenja. Modelovanje je obavljeno u softveru *Statistica 12*. Koeficijenti modela izračunati su na osnovu eksperimentalnih podataka upotrebom nelinearne regresione analize. Vrednovanje tačnosti predviđanja regresionog modela obavljena je na osnovu koeficijenta korelacije (R) i srednje procentualne greške SPR (Mean percentage error). Koeficijent korelacije i srednja procentualna greška izračunati su na osnovu sledećih jednačina:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\omega_{i(\text{exp})} - \omega_{i(\text{pre})})^2}{\sum_{i=1}^n (\omega_{i(\text{exp})} - \bar{\omega})^2}} \quad (5.1)$$

$$SPG = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\omega_{\text{exp}} - \omega_{\text{pre}}}{\omega_{\text{exp}}} \quad (5.2)$$

gde je: ω – vlažnost (eksperimentalne i proračunske vrednosti), n – broj merenja

Matematički model uspešnije opisuje ispitivanu veličinu pri višim vrednostima koeficijenata determinacije i nižim vrednostima srednje procentualne greške. Opšti je stav da vrednost srednje procentualne greške manja od 10% ukazuje na dobro poklapanje podataka. Modelovanje eksperimentalnih podataka obavljeno je jednačinama predloženim u literaturi (tabela 5.4).

Tabela 5.4. Izabrani matematički modeli za modelovanje kinetike osmotskog sušenja voća

R.br.	Matematički model	Naziv modela
1.	$\omega = a \cdot \exp(-k \cdot \tau)$	<i>Eksponencijalni (Handerson & Pabis)</i>
2.	$\omega = a \cdot \exp(-k \cdot \tau) + c$	<i>Eksponencijalni</i>
3.	$\omega = a + b \cdot \tau + c \cdot \tau^2$	<i>Polinom drugog reda (Wang & Singh)</i>
4.	$SG = a \cdot \tau^n$	<i>Stepeni</i>
5.	$SG = a \cdot \tau^n + b$	<i>Stepeni prošireni</i>
6.	$SG = a + b \cdot \tau + c \cdot \tau^2$	<i>Polinom drugog reda (Wang & Singh)</i>

Izabrani modeli prošireni uticajnim faktorima eksperimenta osmotskog sušenja u bezdimenzionalnom obliku predstavljeni su jednačinama 5.3-5.8. Usvojene su najviše vrednosti koncentracije osmotskog rastvora i temperature osmotskog rastvora kao referentne vrednosti, te one iznose: $t_{r(ref)} = 60^{\circ}C$ i $C_{r(ref)} = 65^{\circ}Bx$. Na ovaj način ostvaruje se univerzalnost upotrebe primenjenog modela u opsegu istraživanih vrednosti koncentracije i temperature osmotskog rastvora (Pavkov, 2012).

$$\omega = a \cdot \exp(-k \cdot \tau_o) \cdot \left(\frac{t_r}{t_{r(ref)}}\right)^{n_1} \cdot \left(\frac{C_r}{C_{r(ref)}}\right)^{n_2} \quad (5.3)$$

$$\omega = a \cdot \exp(-k \cdot \tau_o) \cdot \left(\frac{t_r}{t_{r(ref)}}\right)^{n_1} \cdot \left(\frac{C_r}{C_{r(ref)}}\right)^{n_2} + b \quad (5.4)$$

$$\omega = a + (b \cdot \tau_o + c \cdot \tau_o^2) \cdot \left(\frac{t_r}{t_{r(ref)}}\right)^{n_1} \cdot \left(\frac{C_r}{C_{r(ref)}}\right)^{n_2} \quad (5.5)$$

$$SG = a \cdot \tau_o^{n_1} \cdot \left(\frac{t_r}{t_{r(ref)}}\right)^{n_2} \cdot \left(\frac{C_r}{C_{(r)ref}}\right)^{n_3} \quad (5.6)$$

$$SG = a \cdot \tau_o^{n_1} \cdot \left(\frac{t_r}{t_{r(ref)}}\right)^{n_2} \cdot \left(\frac{C_r}{C_{r(ref)}}\right)^{n_3} + b \quad (5.7)$$

$$SG = (a + b \cdot \tau_o + c \cdot \tau_o^2) \cdot \left(\frac{t_r}{t_{r(ref)}}\right)^{n_1} \cdot \left(\frac{C_r}{C_{r(ref)}}\right)^{n_2} \quad (5.8)$$

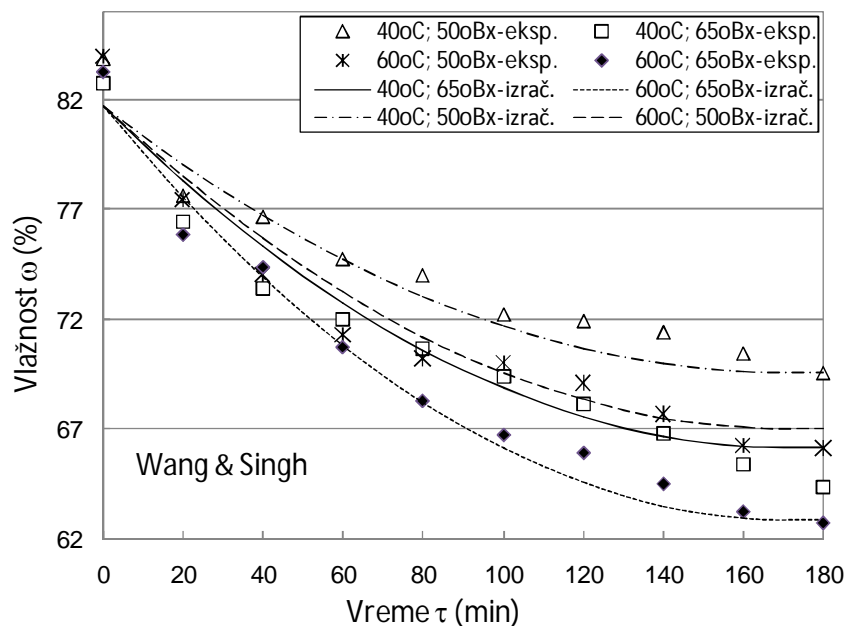
Rezultati regresione analize promene vlažnosti i suve materije dati su u tabeli 5.5. Koeficijenti korelacije za matematičke modele korišćene za analizu vlažnosti imaju zadovoljavajuće vrednosti, naročito ako se uzme u obzir njihova univerzalnost. Najveću vrednost koeficijenta korelacije 0,9790 ima model *Wang and Singh-prošireni* (jednačina 5.5). Ovaj model ima takođe i najmanju vrednost srednje procentualne greške 0,08%. Model *Wang and Singh-prošireni* poseduje jedan koeficijent više od prethodna dva upotrebljena modela. Pored toga, ovaj model može se smatrati najpouzdanijim, s obzirom da su pokazatelji slaganja modela sa eksperimentalnim vrednostima znatno bolji nego kod ostala dva (tabela 5.5). Izdvajanjem koeficijenta a ovog matematičkog modela, izvan zagrade, dolazi se do iste početne računске vrednosti vlažnosti kod svih eksperimentalnih jedinica.

Kada je u pitanju povećanje mase suve materije, koeficijenti korelacije stepenih modela (jednačine 5.6 i 5.7) imaju slične vrednosti. Primetno je značajno povećanje srednje procentualne greške (SPG) u poređenju sa vrednostima dobijenim kod modelovanja promene vlažnosti dunje. Na ovakve rezultate uticalo je veće rasipanje izmerenih vrednosti povećanja suve materije tokom osmotskog sušenja. Kao što je već napomenuto, rasipanje rezultata je posledica diskontinualnog metoda merenja, male mase uzorka i nehomogene strukture dunje. Posmatrajući vrednosti koeficijenata korelacije, srednje procentualne greške i broj upotrebljenih koeficijenata u jednačini, može se zaključiti da *stepeni* modeli podjednako dobro aproksimiraju promenu povećanja mase suve materije (tabela 5.5).

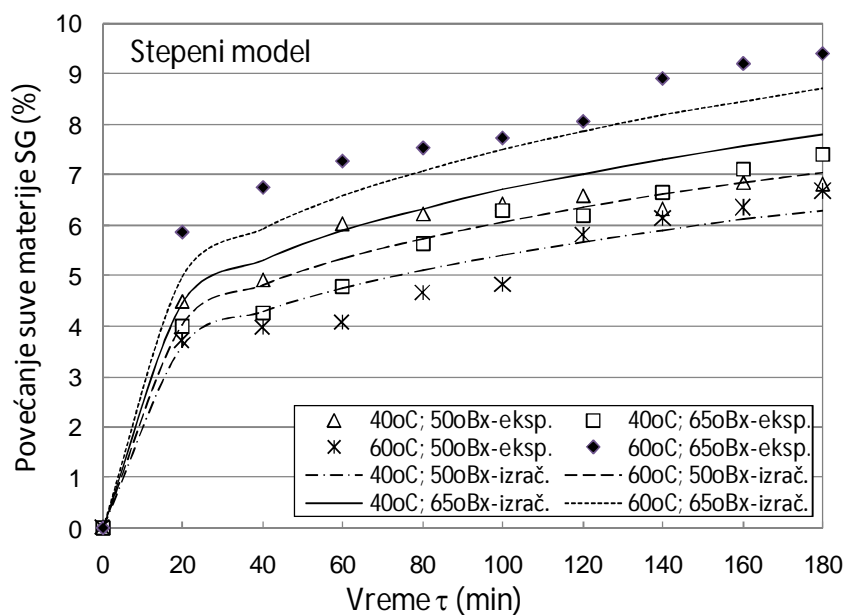
Tabela 5.5. Rezultati regresione analize kinetike osmotskog sušenja dunje

Jednačina		Promena vlažnosti u odnosu na vlažnu osnovu			Povećanje mase suve materije u odnosu na vlažnu osnovu		
		Eksponecijalni	Eksponecijalni prošireni	Wang and Singh	Stepeni	Stepeni prošireni	Wang and Singh
Koeficijenti modela	a	75,56939	-149,259	82,59543	2,318026	2,275721	1,490664
	k ₁	-0,00234	0,001	-	-	-	-
	b	-	0,108	-0,34307	-	0,257470	0,080597
	c			0,00078		-	-0,000233
EkspONENTI modela	n ₁	-0,23329	0,074	0,98584	0,255032	0,280650	-0,230257
	n ₂	-0,13753	224,035	0,83794	0,277734	0,817713	-0,884357
	n ₃	-	-	-	0,810169	0,054454	-
R		0,9363	0,9294	0,9790	0,9495	0,9496	0,8892
SPG (%)		0,23	0,63	0,08	5,49	5,48	9,29

Na slikama 5.4 i 5.5 prikazane su izmerene i izračunate vrednosti vlažnosti i povećanja suve materije tokom osmotskog sušenja. Prikazane su vrednosti dobijene najbolje ocenjenim modelom. Predstavljeni su rezultati promene vlažnosti dobijeni matematičkim modelom *Wang and Sing - prošireni* (jed. 5.5) i rezultati povećanja mase suve materije dobijeni *stepenim-proširenim* matematičkim modelom (jed. 5.6). Analizom grafičkih prikaza kinetike sušenja očigledno je da upotrebljeni modeli dobro opisuju promenu vlažnosti i povećanja mase suve materije kockica dunje.



Slika 5.4. Eksperimentalne i izračunate vrednosti vlažnosti dunje tokom osmotskog sušenja za model Wang and Singh-prošireni (jed. 5.5)

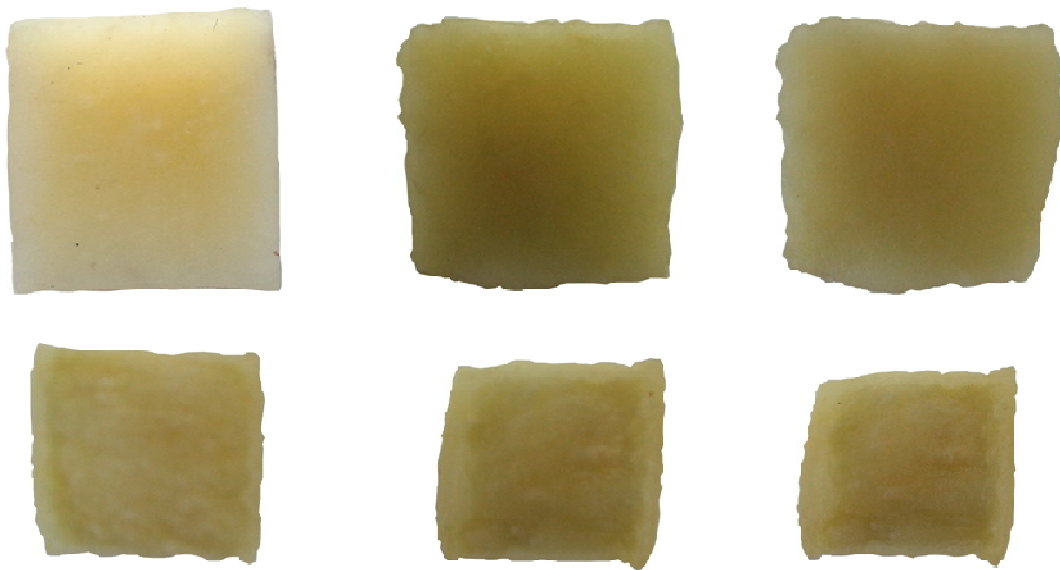


Slika 5.5. Eksperimentalne i izračunate vrednosti povećanja mase suve materije dunje tokom osmotskog sušenja za stepeni-prošireni model (jed. 5.6)

5.2. Promena zapremine i oblika

Radi boljeg razumevanja, oblik i dimenzije nekog objekta treba izučavati istovremeno (Babić i Babić, 2012). Tokom procesa sušenja tkivo se deformiše kao posledica smanjenja vlažnosti. Promene mogu biti manje ili veće u zavisnosti od primenjenog metoda sušenja.

Na slici 5.6 prikazani su uzorci dunje u različitim momentima osmotskog sušenja rastvorom temperature 40°C i koncentracije 65°Bx. Može se uočiti konstantno smanjenje zapremine i dimenzija. Skupljanje tkiva nije jednako na svim mestima i u svim pravcima. Skupljanje je veće na središnjem delu uzorka, a manje na krajevima. U različitim pravcima je primetno različito skupljanje uzorka, što je posledica anizotropnosti tkiva dunje. Zbog toga se oblik uzorka menja iz kvadratnog u pravougaoni. Na osnovu uočenih promena može se reći da je skupljanje tkiva anizotropno. Razlog anizotropnog skupljanja tkiva može biti orijentacija vlakana i nehomogena struktura materijala. Osim toga, orijentacija vlakana i struktura materijala mogu da utiču na formiranje povoljnijih puteva transporta vlage što dovodi do intenzivnijeg skupljanja tkiva u jednom pravcu. Mulet i sar, (2000) ukazuju na anizotropno skupljanje tkiva krompira i karfiola tokom konvektivnog sušenja. Međutim, Mayor (2006) i Trujillo i sar, (2007) navode da je skupljanje tkiva bundeve i govedeg mesa tokom osmotskog sušenja izotropno. Analiziranjem podataka o promeni oblika biomaterijala, koji se mogu naći u literaturi, može se zaključiti da osim primenjenog metoda sušenja promena oblika zavisi i od vrste materijala.



Slika 5.6. Promena oblika kocke dunje tokom osmotskog sušenja u rastvoru temperature 40°C i koncentracije 65°Bx (foto Radojčin, 2014)

Rezultati merenja promene zapremine kockica dunje tokom osmotskog sušenja prikazani su tabelarno u prilogu 2. Svaki rezultat u tabeli predstavlja srednju vrednost osam merenja (objašnjeno u poglavlju 4.7.1). U tabeli 5.6, kao primer, date su vrednosti zapreminskog skupljanja SV kockica dunje izmerene tokom osmotskog sušenja za prvu eksperimentalnu jedinicu.

Tabela 5.6. Izmerene vrednosti zapreminskog skupljanja SV dunje tokom osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora od 40°C i koncentraciji rastvora od 50°Bx

Vreme sušenja	2009. I ponavljanje	2009. II ponavljanje	2010. I ponavljanje	2010. II ponavljanje
0	0,00	0,00	0,00	0,00
20	8,11	11,32	10,68	10,68
40	13,60	16,34	17,81	17,92
60	18,90	19,93	21,80	21,93
80	22,82	22,63	25,79	26,90
100	25,62	24,90	29,84	30,52
120	28,88	26,10	32,77	33,43
140	31,42	27,70	35,30	35,82
160	33,66	28,88	36,99	38,72
180	35,97	29,93	38,54	40,50

Vrednosti zapreminskog skupljanja prikazani u prilogu 2, upotrebljeni su za disperzionu analizu. Rezultati disperzione analize prikazni su u tabeli 5.7. Izračunate vrednosti Fišerovog kriterijuma veće su od tabličnih, za oba faktora eksperimenta. Disperzionom analizom potvrđen je uticaj koncentracije i temperature osmotskog rastvora na promenu zapremine uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja ($p < 0,05$).

Tabela 5.7. Rezultati disperzione analize uticaja faktora eksperimenta na zapreminsko skupljanje SV uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja za statističku verovatnoću od 95%

Izvor varijacije	Suma kvadrata	Stepeni slobode	Srednji kvadrat	F	p-vrednost	F kritično
Koncentracija osmotskog rastvora	2773,987	1,000	2773,987	13,618	0,000	3,902
Temperatura osmotskog rastvora	1154,973	1,000	1154,973	5,670	0,018	3,902
Međudejstvo	20,137	1,000	20,137	0,099	0,754	3,902
Greška	31776,678	156,000	203,697			
Ukupno	35725,775	159,000				

Promena zapremine uzoraka dunje koja nastaje tokom osmotskog sušenja kvantifikovana je veličinom koja se naziva zapreminsko skupljanje (SV). Smanjenje zapremine tokom osmotskog sušenja uzrokovano je prelaskom vode iz materijala u rastvor. Smanjenje zapremine delimično nadoknađuje saharoza koja ulazi u tkivo. Promena zapremine gasne faze koja se nalazi u tkivu,

takođe utiče na promenu ukupne zapremine (Mayor i Sereno, 2004). Provera ovih opšte prihvaćenih stavova može se obaviti izračunavanjem zapremine vlage koja napušta uzorak i saharoze koja difunduje u uzorak. Jednačina 5.9 iskorišćena je za izračunavanje promene zapremine uzorka dunje tokom osmotskog sušenja:

$$SV = \frac{(m_o \omega_o - m_i \omega_i) - \frac{m_{s_i} - m_{s_o}}{\rho_s}}{\frac{m_o}{\rho_t}} \frac{\rho_w}{\rho_s} 100 \quad (5.9)$$

gde je: m_o – početna masa uzorka, m_i – masa uzorka u određenom momentu sušenja, ω_o – početna vlažnost uzorka, ω_i – vlažnost uzorka u određenom momentu sušenja, m_{s_o} – masa suve materije svežeg uzorka, m_{s_i} – masa suve materije u određenom momentu osmotskog sušenja, ρ_w – gustina vode, ρ_s – gustina saharoze, ρ_t – gustina tkiva dunje.

Množenjem jednačine 5.9 sa gustinom vode ρ_w , sledi:

$$SV = \frac{(m_o \omega_o - m_i \omega_i) - \frac{m_{s_i} - m_{s_o}}{\rho_s}}{\frac{m_o}{\rho_t}} \frac{\rho_w}{\rho_s} 100 \quad (5.10)$$

Gustina tkiva dunje izmerena je metodom potapanja uzorka u tečnost poznate gustine (objašnjeno u poglavlju 4.7.1). Gustina tkiva dunje iznosi 0,96457 kg/dm³, a gustina kristala saharoze iznosi 1,587 kg/dm³ (Asadi, 2006). Vrednost gustine vode je usvojena i iznosi 1 kg/dm³. Potrebno je obaviti korekciju jednačine 5.10, množenjem imenioca sa 1,1, zbog vazduha koji se nalazi u tkivu (Koc, 2008). Ubacivanjem ovih brojčanih vrednosti u jednačinu 5.10, dobija se krajnji oblik jednačine za izračunavanje promene zapremine uzorka dunje u obliku kocke:

$$SV = \frac{(m_o \omega_o - m_i \omega_i) - \frac{m_{s_i} - m_{s_o}}{1,587}}{\frac{m_o}{0,96457} 1,1} 100 \quad (5.11)$$

Na slikama 5.7 - 5.10 prikazane su izmerene vrednosti promene zapremine i izračunate vrednosti upotrebom jednačine 5.9. Stepem slaganja eksperimentalnih podataka sa izračunatim određen je izračunavanjem koeficijenata korelacije (R) i srednje procentualne greške (SPG). Koeficijent korelacije i srednja procentualna greška izračunati su na osnovu sledećih jednačina:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (SV_{i(exp)} - SV_{i(pre)})^2}{\sum_{i=1}^n (SV_{i(exp)} - \overline{SV})^2}} \quad (5.12)$$

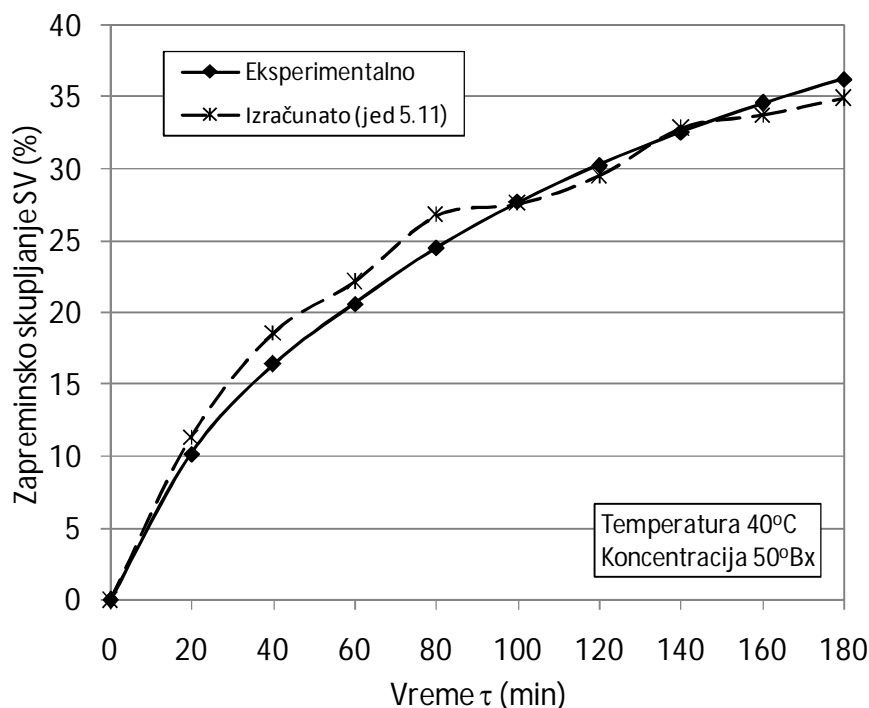
$$SPG = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{SV_{exp} - SV_{pre}}{SV_{exp}} \quad (5.13)$$

gde je: SV – zapreminsko skupljanje (eksperimentalne i izračunate vrednosti), n – broj merenja

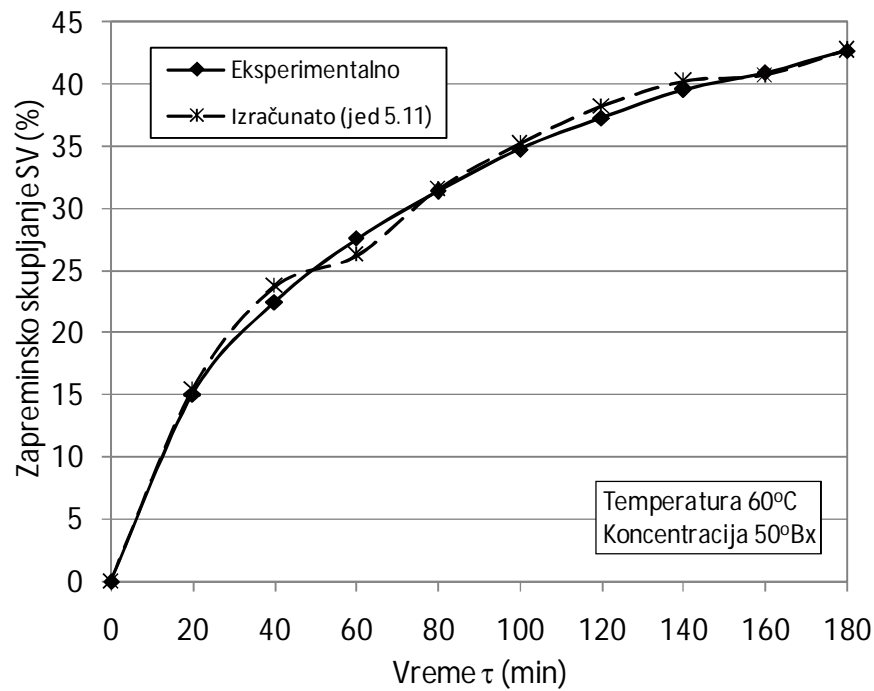
Vrednosti parametara R i SPG date su u tabeli 5.8. Na osnovu ovih vrednosti i grafičkog prikaza eksperimentalnih i izračunatih vrednosti zapreminskog skupljanja, može se zaključiti da jednačina 5.11 može uspešno poslužiti za predviđanje promene zapremine dunje tokom osmotskog sušenja.

Tabela 5.8. Vrednosti koeficijenta korelacije i srednjeg procentualnog odstupanja

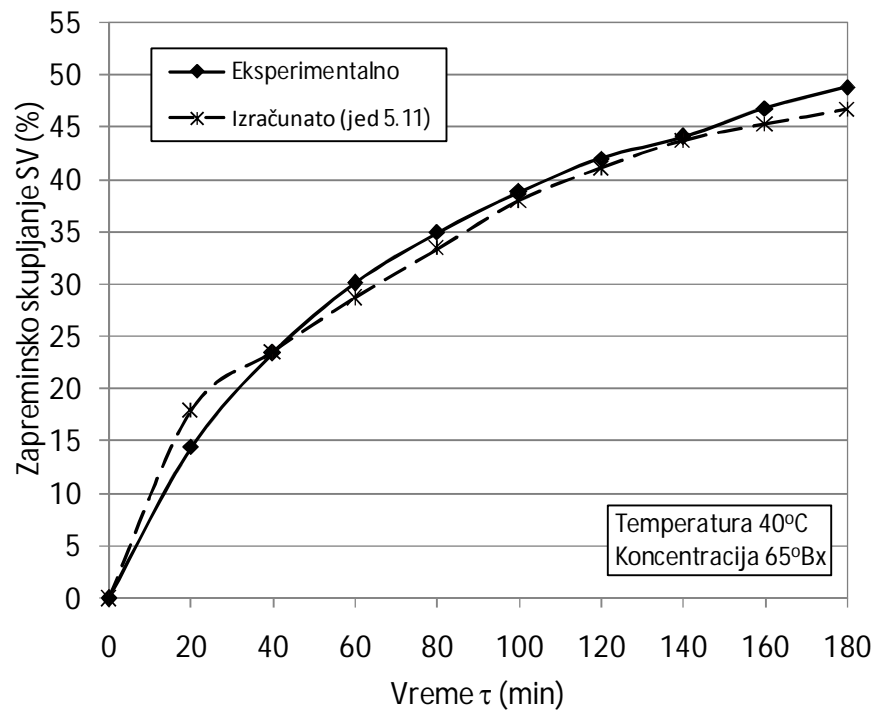
Tretman	Koeficijent korelacije R	Srednja procentualna greška SPG (%)
40°C, 50°Bx	0,9832	3,24
60°C, 50°Bx	0,9962	0,93
40°C, 65°Bx	0,9850	0,22
60°C, 65°Bx	0,9934	2,12



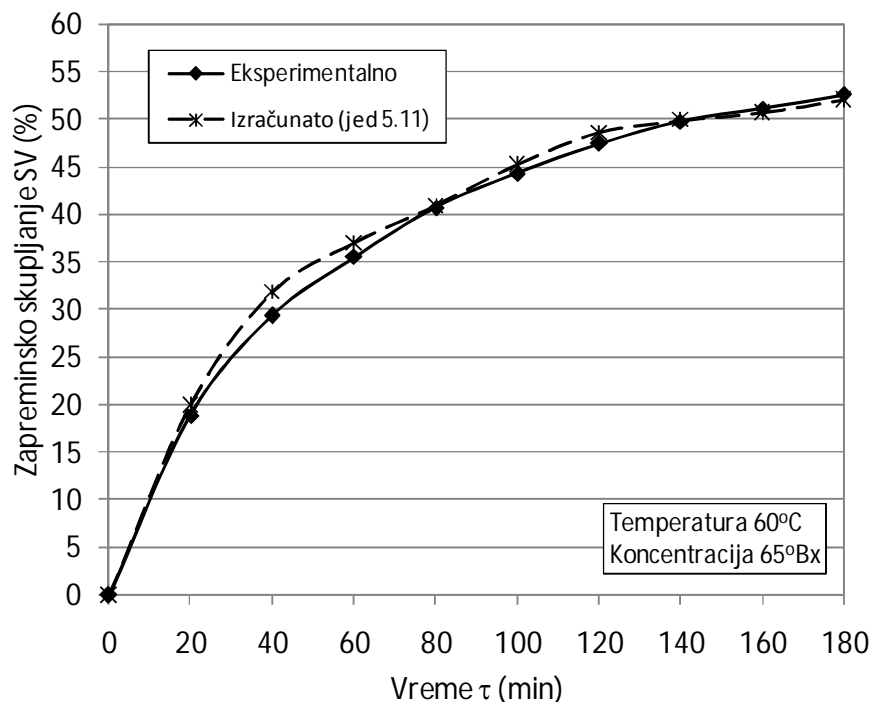
Slika 5.7. Eksperimentalne i izračunate vrednosti promene zapremine SV tokom osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora od 40°C i koncentraciji od 50°Bx



Slika 5.8. Eksperimentalne i izračunate vrednosti promene zapremine SV tokom osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora od 60°C i koncentraciji od 50°Bx



Slika 5.9. Eksperimentalne i izračunate vrednosti promene zapremine SV tokom osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora od 40°C i koncentraciji od 65°Bx



Slika 5.10. Eksperimentalne i izračunate vrednosti promene zapremine SV tokom osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora od 60°C i koncentraciji od 65°Bx

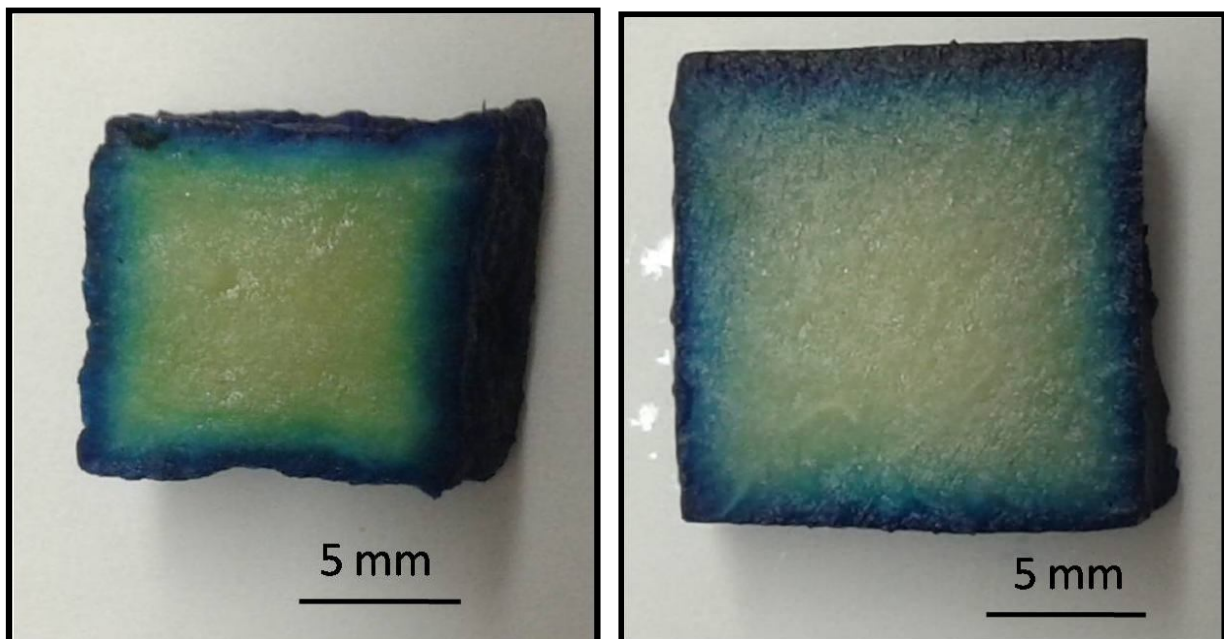
Promena zapremine prethodno zamrzavane dunje

Analiza uzoraka osmotski sušene dunje koja je bila prethodno duboko zamrznuta, obavljena je radi potvrde dobijenih rezultata. Osmotsko sušenje obavljeno je nakon odmrzavanja uzoraka. Na takvim uzorcima izmereno je povećanje suve materije od 43% u odnosu na početnu masu uzorka. Zbog velike količine saharoze koja difunduje u tkivo, izmereno je smanjenje zapremine od samo 12% nakon osmotskog sušenja (Radojčin i sar, 2014). Jednačina 5.9 može se uspešno primeniti i na rezultate dobijene pri osmotskom sušenju prethodno zamrzavane dunje. Ovim se potvrđuje činjenica da promena zapremine materijala tokom osmotskog sušenja zavisi od odnosa razmenjene materije. Na slici 5.11 prikazani su uzorci dunje nakon 180 minuta provedenih u osmotskom rastvoru temperature 60°C i koncentracije 65°Bx, sa i bez prethodnog zamrzavanja. U osmotski rastvor dodato je jedinjenje „metil plavo“ kao indikator prodiranja saharoze u tkivo tokom osmotskog sušenja. Na uzorcima (slika 5.12) je primetna različita dubina prodiranja saharoze koja je odgovorna za značajno očuvanje zapremine uzoraka koji su prethodno zamrzavani. Tokom zamrzavanja plodova dunje došlo je do oštećenja ćelijske membrane. Oštećene ćelijske membrane nisu više barijera ulasku molekula saharoze u ćelijski prostor. Na slici 5.13 prikazan je mikroskopski snimak preseka uzoraka sa slike 5.12. Ćelije tkiva koje je

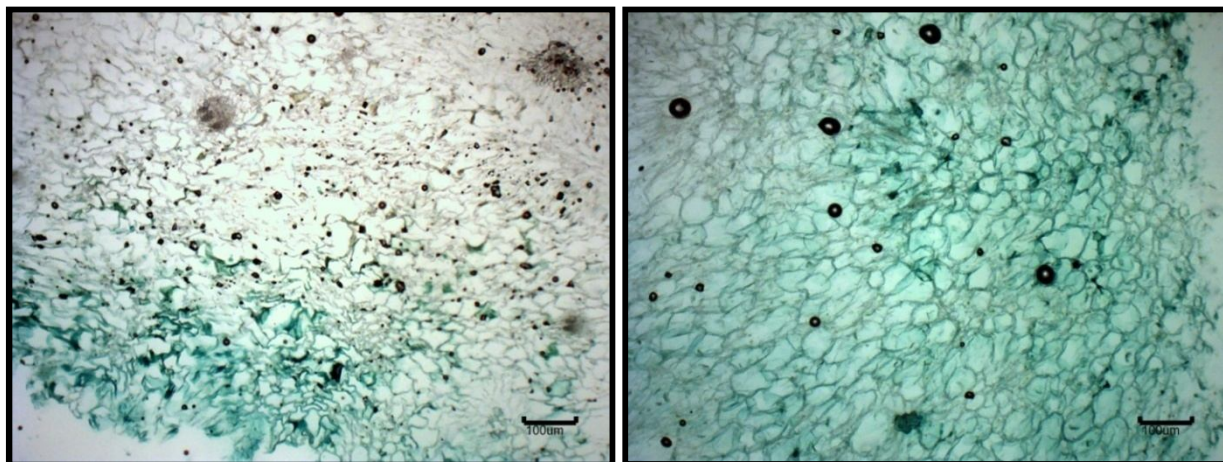
podvrgnuto zamrzavanju zadržale su okruglast oblik, dok su ćelije tkiva koje nije zamrzavano pretrpele veće deformacije, odnosno veće promene zapremine. Primetna je veća obojenost, odnosno dubina prodiranja saharoze u zamrzavano tkivo. Smanjenje zapremine ćelija neravnomerno je posmatrajući poprečni presek uzorka dunje. Promene zapremine na mikrostukturinom nivou najizraženije su bliže površini tkiva zbog veće difuzije vlage.



Slika 5.11. Promena zapremine uzorka dunje nakon osmotskog sušenja. Gornji red – uzorci bez prethodnog zamrzavanja, donji red – prethodno zamrzavani uzorci (foto Radojčin, 2014)



Slika 5.12. Presek uzorka dunje nakon osmotskog sušenja. Levo – uzorak bez zamrzavanja, desno – uzorak prethodno zamrzavan (foto Radojčin, 2014)

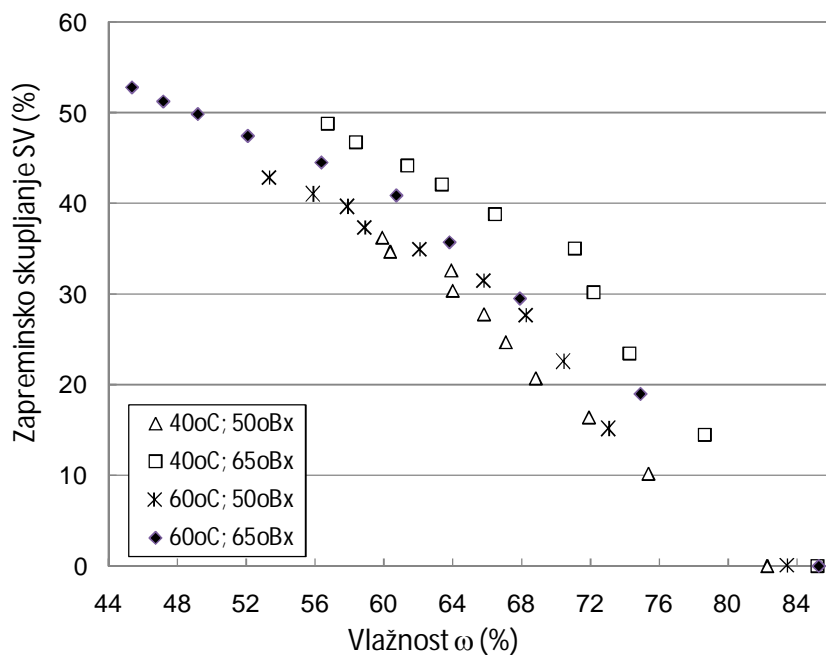


Slika 5.13. Mikroskopski snimak tkiva dunje nakon osmotskog sušenja. Levo – uzorak bez zamrzavanja, desno – uzorak prethodno zamrzavan (foto Luković i Radojčin, 2014)

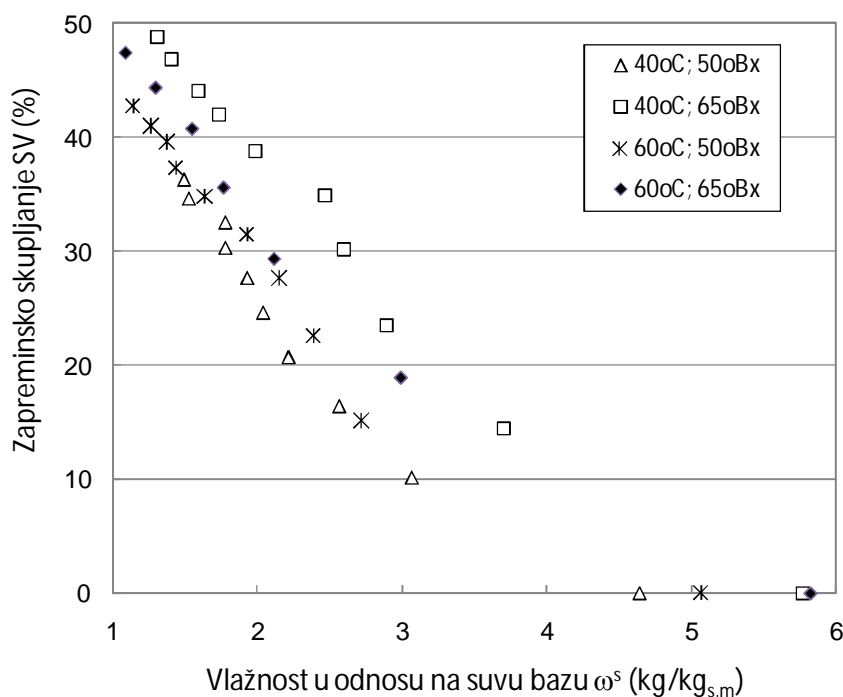
Promena zapremine u funkciji vlažnosti tokom osmotskog sušenja

Promene zapremine tokom osmotskog sušenja su u skladu sa činjenicama o promeni zapremine u zavisnosti od količine razmenjene materije. Najveća promena zapremine tokom osmotskog sušenja izmerena je kod tretmana osmotskim rastvorom temperature 60°C i 65°Bx i iznosi 52,66%. Pri istom tretmanu izmerena je najveća promena vlažnosti uzoraka. Najmanja promena zapremine 36,23% izmerena je kod prvog tretmana, gde je izmerena i najmanja promena vlažnosti dunje. Povišenjem temperature i koncentracije osmotskog rastvora intenzivira se smanjenje zapremine. Na osnovu izmerenih rezultata promene zapremine može se reći da koncentracija predstavlja uticajniji faktor od temperature osmotskog rastvora. Najintenzivnije promene zapremine izmerene su u prvih 20 minuta osmotskog sušenja. Kako zapremina zavisi od vlažnosti materijala, a tokom 180 minuta osmotskog sušenja nije dostignuta ravnotežna vlažnost, tako ni smanjenje zapremine nije konačno ni u jednom eksperimentu.

Promena zapremine u odnosu na vlažnost uzoraka dunje prikazana je slikama 5.14 i 5.15. Nastale promene zapremine pri istim vlažnostima uzoraka dunje se razlikuju. Razlike između izmerenih vrednosti su male, na šta može da utiče količina saharoze koja difunduje u tkivo dunje. Na početku procesa osmotskog sušenja razlike su najveće. Odmicanjem procesa razlike se smanjuju.



Slika 5.14. Zapreminsko skupljanje dunje u zavisnosti od vlažnosti uzoraka



Slika 5.15. Zapreminsko skupljanje dunje u zavisnosti od vlažnosti uzoraka izražene u odnosu na suhu bazu

Promena zapremine dunje nakon konvektivnog sušenja

Rezultati ukupne promene zapremine uzoraka dunje nakon konvektivnog sušenja prikazani su u tabeli 5.9. Pri sličnim vlažnostima uzoraka nezavisno od parametara osmotskog sušenja

izmerene su slične promene zapremine. Značajno veća promena zapremine 82,63% izmerena je na uzorcima koji nisu podvrgnuti osmotskom predtretmanu.

Ako se uporede izmerene vrednosti zapremine uzoraka nakon osmotskog i istih uzoraka nakon konvektivnog sušenja, može se zaključiti da na zapreminu nakon konvektivnog sušenja utiče samo količina vlage koja je migrirala iz uzoraka, dok nakon osmotskog sušenja postoji uticaj odnosa razmene materije vlaga/saharoza. Pri vlažnostima uzoraka dunje nižim od 30% promena zapremine prestaje da zavisi od odnosa razmene materije vlaga/saharoza. Količina saharoze koja se nalazi u tkivu ima dovoljno prostora, nastalog zbog značajnog smanjenja vlažnosti, da ne utiče na zapreminu uzorka.

Ako se uporede izmerene zapremine uzoraka nakon konvektivnog sušenja, sa i bez osmotskog predtretmana, evidentan je uticaj saharoze na zapreminu uzoraka. Saharoza koja se zadržava u tkivu utiče pozitivno na promenu zapremine. Odnosno, zapreminsko skupljanje uzoraka je manje, što je svakako poželjan efekat osmotskog sušenja.

Tabela 5.9. Vrednosti zapreminskog skupljanja SV pri različitim vlažnostima osušenih uzoraka dunje sa i bez osmotskog predtretmana

t=40°C, c=50°Bx	SV (%)	70,95	69,39	69,33	70,62
	ω (%)	28,31	23,57	21,26	20,66
t=60°C, c=50°Bx	SV (%)	67,21	70,12	70,52	70,81
	ω (%)	24,51	19,31	16,62	16,33
t=40°C, c=65°Bx	SV (%)	65,02	68,80	70,70	69,44
	ω (%)	31,76	27,25	25,08	22,81
t=60°C, c=65°Bx	SV (%)	69,85	70,24	72,03	71,49
	ω (%)	23,84	20,55	19,70	18,56
Bez osmotskog sušenja	SV (%)	78,63	79,30	81,91	82,63
	ω (%)	34,95	28,69	26,08	23,01

Modelovanje kinetike promene zapremine

Veliki broj autora predlaže linearni model za objašnjenje promene zapremine tokom osmotskog, ali i konvektivnog sušenja kada je u pitanju voćno tkivo. Mayor i Sereno (2004) promenu zapremine bundeve u zavisnosti od vlažnosti tokom osmotskog sušenja opisuju linearnim modelom. Moreira i Sereno (2003) i Nieto i sar, (2004) zavisnost promene zapremine i

vlažnosti uzoraka jabuke tokom osmotskog sušenja takođe opisuju kao linearnu. Međutim, određeni autori se ne slažu sa postojanjem striktno linearne zavisnosti promene zapremine od vlažnosti materijala (Hassini i sar, 2007; Rahman i Kumar, 2007). Promena zapremine dunje u zavisnosti od vlažnosti materijala nije linearna što se može videti na slici 5.14. Promena se najbolje može opisati nelinearnom funkcijom. Zavisnost zapremine dunje od vlažnosti izražene u odnosu na suhu bazu, takođe nije linearna (slika 5.15).

Regresiona analiza promene zapremine dunje tokom osmotskog sušenja obavljena je u odnosu na vlažnost uzoraka. Modelovanje je obavljeno u softveru *Statistica 12*. Koeficijenti modela izračunati su na osnovu eksperimentalnih podataka upotrebom nelinearne regresione analize. Tačnost regresionih modela određena je na osnovu vrednosti koeficijenta korelacije (R) i srednje procentualne greške (SPG). Model tačnije opisuje ispitivanu veličinu pri višim vrednostima koeficijenata determinacije i nižim vrednostima srednje procentualne greške. Opšti je stav da vrednosti srednje procentualne greške manje od 10% ukazuju na dobro poklapanje podataka. Modelovanje eksperimentalnih podataka obavljeno je jednačinama predloženim u literaturi:

$$\text{Mayor i Sereno (2005)} \quad SV = 1 + a\omega + b\omega^2 + c\omega^3 \quad (5.14)$$

$$\text{Lozano i sar, (1983)} \quad SV = a + b \frac{\omega}{\omega_0} + c \exp\left(\frac{d}{e + \omega}\right) \quad (5.15)$$

$$\text{Ratti (1994)} \quad SV = a + b\omega + c\omega^2 + d\omega^3 \quad (5.16)$$

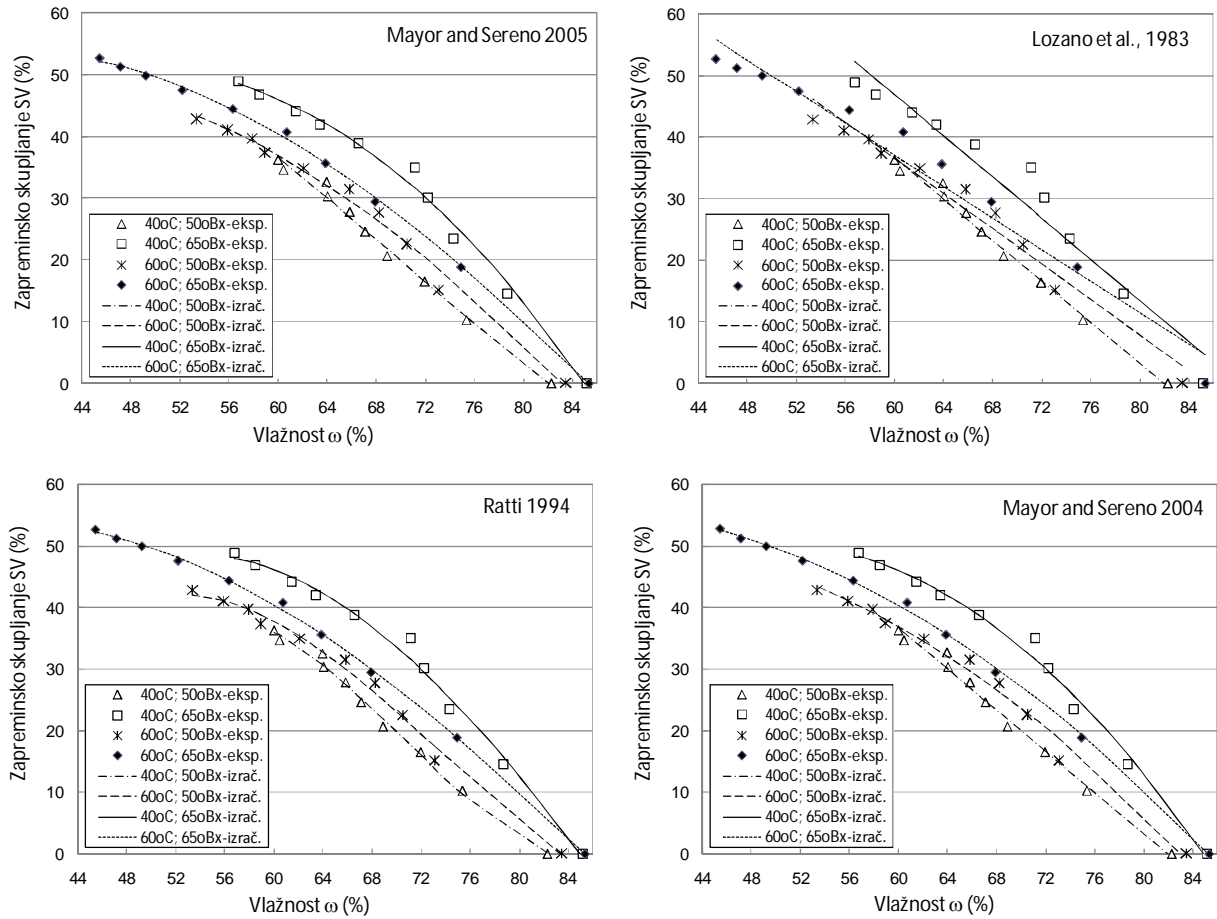
$$\text{Mayor i Sereno (2004)} \quad SV = a + b \frac{\omega}{\omega_0} + c \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 \quad (5.17)$$

Rezultati regresione analize promene zapremine dunje tokom osmotskog sušenja dati su u tabeli 5.10. Kod svih primenjenih modela dobijene su visoke vrednosti koeficijenata korelacije, više od 0,97. Na osnovu vrednosti koeficijenata korelacije i srednje procentualne greške, može se reći da sve jednačine uspešno opisuju promenu zapremine dunje tokom osmotskog sušenja. Najviše vrednosti koeficijenata korelacije, ali i najniže vrednosti srednje procentualne greške dobijene su primenom jednačina 5.14 (Ratti, 1994). Međutim, primenom jednačine 5.15 (Mayor i Sereno, 2005) dobijene su slične vrednosti koeficijenata korelacije i srednje procentualne greške, ali uz upotrebu jednog koeficijenta manje što jednačinu čini jednostavnijom za primenu.

Tabela 5.10. Rezultati regresione analize promene zapremine dunje u oblike kocke

Model	Koeficijenti	Tretman			
		40°C, 50°Bx	60°C, 50°Bx	40°C, 65°Bx	60°C, 65°Bx
Mayor i Sereno (2005)	a	4,232002	2,710632	1,934884	2,993259
	b	-0,084950	-0,041622	-0,012189	-0,047753
	c	0,000405	0,000107	-0,000126	0,000147
	R	0,9957	0,9941	0,9951	0,9994
	SPG (%)	0,74	1,47	1,49	0,15
Lozano i sar, (1983)	a	79,7	61	74	55
	b	-137,1	-120	-142	-109
	c	56,3	61	73	57
	d	2913,4	-9344	5507	-28148
	e	306206,2	-688280	-1919236	-935874
	R	0,9951	0,9845	0,9748	0,9834
	SPG (%)	0,69	0,39	2,12	2,78
Ratti (1994)	a	-734,336	-389,015	-222,833	-3,17836
	b	35,774	20,146	11,549	3,19413
	c	-0,533	-0,298	-0,148	-0,05089
	d	0,003	0,001	0,001	0,00016
	R	0,9970	0,9958	0,9954	0,9994
	SPG (%)	0,18	0,69	0,81	0,05
Mayor i Sereno (2004)	a	136,506	30,001	-45,265	38,548
	b	-136,902	112,470	331,972	100,093
	c	-0,115	-143,366	-287,501	-138,928
	R	0,9951	0,9938	0,9952	0,9993
	SPG (%)	0,90	1,42	1,11	0,25

Na graficima (slika 5.16) prikazane su eksperimentalne i vrednosti zapreminskog skupljanja izračunate upotrebom primenjenih matematičkih modela. Analizom slika očigledno je da upotrebljeni modeli dobro opisuju promenu zapremine kockica dunje. Najveće odstupanje regresionog modela od eksperimentalnih podataka primetno je na slici 5.16.



Slika 5.16. Eksperimentalne i izračunate vrednosti promene zapremine SV u zavisnosti od vlažnosti uzorka upotrebom predloženih matematičkih modela

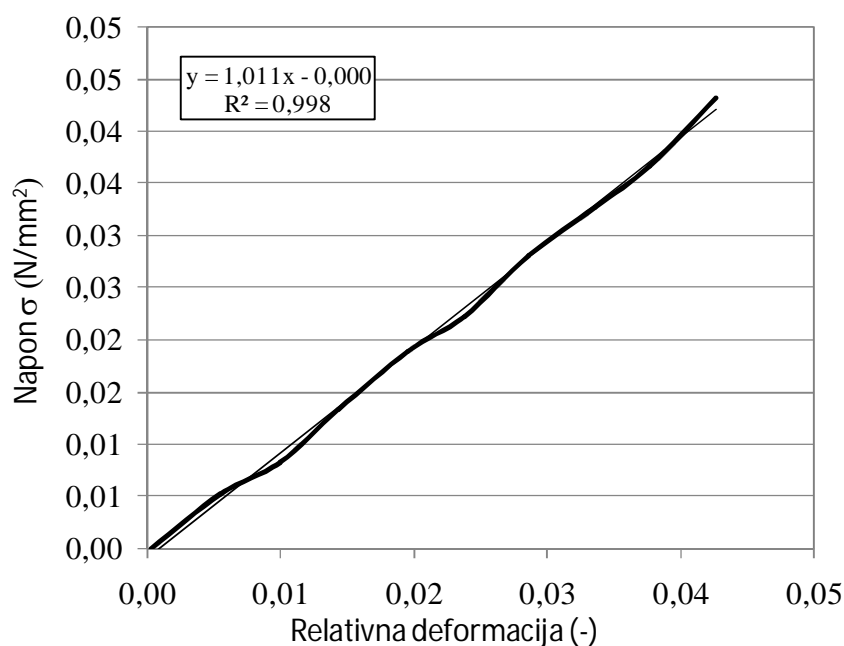
5.3. Promene mehaničkih osobina dunje

Uticaj osmotskog sušenja na mehaničke osobine predstavljen je sa dva pokazatelja, otpornošću na razaranje i modulom elastičnosti. Otpornost na razaranje je u ovoj tezi originalno predstavljena parametrom f . Kao što je već definisano ona je:

$$f = \frac{F_0 - F_i}{F_0} \quad (4.5)$$

Razlog za izbor dva parametra kojima se predstavljaju mehaničke osobine je želja da se potpunije izraze promene mehaničkih osobina tokom osmotskog sušenja.

Na osnovu izmerenih vrednosti sile i deformacije dobijenih prilikom obavljanja testa na pritisak na uzorcima dunje, formirani su dijagrami koji su poslužili za dalju obradu podataka (slika 4.12). Vrednosti sile razaranja mogle su se očitati i sa ovih izvornih dijagrama nastalim u momentu merenja (slika 4.12). Kao rezultat dalje obrade podataka u cilju određivanja modula elastičnosti, formirani su dijagrami za linearni deo zavisnosti napon – relativna deformacija (slika 5.17). Postupak dalje obrade podataka objašnjen je u poglavlju 4.7.2.



Slika 5.17. Primer dijagrama linearnog dela krive zavisnosti napon – relativna deformacija, za slučaj 50°Bx i 60°C pri osmotskom sušenju

Radi eliminisanja uticaja početnog stanja uzorka, sila razaranja predstavljena je f parametrom (jed. 4.5). Između ispitivanih uzoraka postoje biološke različitosti zbog neuniformnosti i anizotropnosti tkiva dunje. Ove karakteristike tkiva utiču na vrednost sile razaranja. Srednja

vrednost sile razaranja izmerene na uzorcima dunje iznosila je 61,4 N, dok sila potrebna za razaranja japanske pomorandže iznosi 24,1 N (Jalilantabar i sar, 2013), šipurka 47,2 N (Fathollahzadeh i Rajabipour, 2008), pinjola 468 N (Faruk i Kubilay, 2005).

Vrednosti f parametra i modula elastičnosti izračunate tokom osmotskog sušenja, date su u tabelama (prilozi 3 i 4). Svaka vrednost u tabeli predstavlja srednju vrednost tri merenja (objašnjeno u poglavlju 4.7.2). U tabelama 5.11 i 5.12, kao primer, prikazane su vrednosti ova dva parametra za eksperiment osmotskog sušenja obavljen u rastvoru temperature 40°C i koncentracije 50°Bx. Određena polja u tabeli 5.11 su prazna. Te vrednosti nisu korišćene u proračunu srednje vrednosti f parametra. Međutim, zbog velikog broja merenja, eliminacija ovih podataka nije predstavljala problem. Vrednosti koje nisu prikazane u tabeli imale su negativan predznak i u znatnoj meri su uticale na krajnji rezultat. Razlog pojave negativnih vrednosti je potreba za većom silom razaranja ovih uzoraka u poređenju sa svežim uzorcima.

Tabela 5.11. Izmerene vrednosti f parametra tokom osmotskog sušenja rastvorom temperature 40°C i koncentracije rastvora od 50°Bx

Vreme sušenja	2009. I ponavljanje	2009. II ponavljanje	2010. I ponavljanje	2010. II ponavljanje
0	0,00	0,00	0,00	0,00
20	-0,01	0,60	-	-
40	0,16	0,74	-	-
60	0,24	0,56	0,07	0,04
80	0,31	0,76	0,52	-0,04
100	0,24	0,81	-0,64	0,53
120	0,35	0,70	0,19	-0,17
140	0,14	0,69	0,54	-0,07
160	0,26	0,62	0,12	-
180	0,33	0,68	0,70	-0,03

Tabela 5.12. Izmerene vrednosti modula elastičnosti tokom osmotskog sušenja rastvorom temperature 40°C i koncentracije rastvora od 50°Bx

Vreme sušenja	2009. I ponavljanje	2009. II ponavljanje	2010. I ponavljanje	2010. II ponavljanje
0	2,12	2,12	2,64	3,79
20	3,75	2,57	1,65	0,94
40	1,79	2,37	1,43	0,76
60	1,11	2,07	1,48	0,93
80	0,87	2,24	1,68	0,72
100	1,52	1,14	1,55	0,90
120	1,60	2,66	1,88	0,99
140	0,97	2,19	1,15	0,64
160	2,19	2,63	1,30	0,95
180	0,72	1,60	1,81	1,03

Vrednosti f parametra i modula elastičnosti date u priložima 3 i 4, upotrebene su za izvođenje disperzione analize (analiza varijanse). Rezultati disperzione analize prikazani su u tabelama 5.13 i 5.14. Izračunate vrednosti Fišerovog kriterijuma veće su od tabličnih vrednosti, ali za jedan faktor eksperimenta, a to je temperatura osmotskog rastvora. Analizom varijanse delimično je potvrđena hipoteza istraživanja o uticaju ispitivanih faktora osmotskog sušenja na promenu mehaničkih osobina uzoraka dunje. Potvrđen je uticaj temperature osmotskog rastvora na promenu vrednosti sile razaranja i modul elastičnosti uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja ($p < 0,05$).

Tabela 5.13. Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu vrednosti f parametra tokom osmotskog sušenja za statističku verovatnoću od 95%

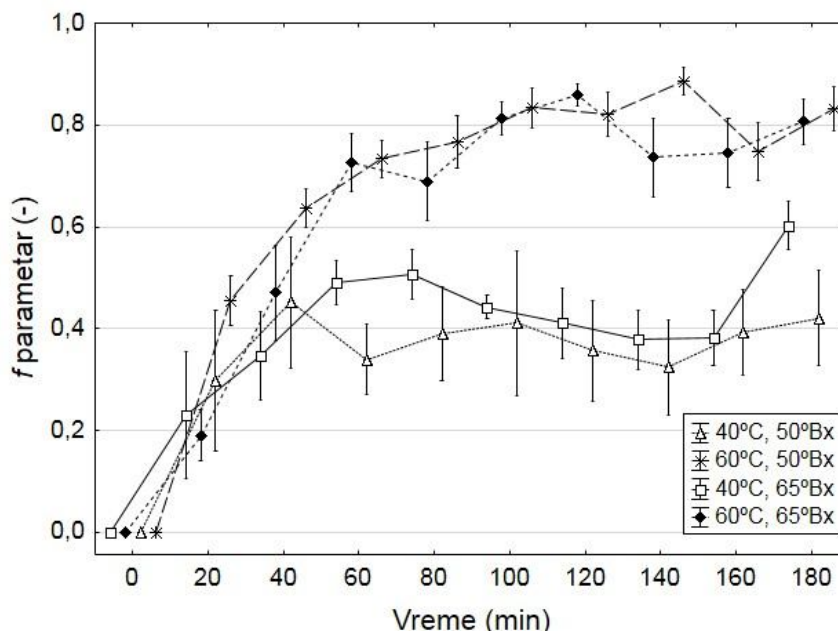
Izvor varijacije	Suma kvadrata	Stepeni slobode	Srednji kvadrat	F	p-vrednost	F kritično
Koncentracija osmotskog rastvora	0,114	1,000	0,114	1,252	0,269	4,062
Temperatura osmotskog rastvora	0,953	1,000	0,953	10,518	0,002	4,062
Interakcija	0,199	1,000	0,199	2,190	0,146	4,062
Greška	3,989	44,000	0,091			
Ukupno	5,254	47,000				

Tabela 5.14. Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu vrednosti modula elastičnosti tokom osmotskog sušenja za statističku verovatnoću od 95%

Izvor varijacije	Suma kvadrata	Stepeni slobode	Srednji kvadrat	F	p-vrednost	F kritično
Koncentracija osmotskog rastvora	1,105	1	1,105	2,771	0,103	4,062
Temperatura osmotskog rastvora	13,861	1	13,861	34,745	0,001	4,062
Interakcija	1,238	1	1,238	3,103	0,085	4,062
Greška	17,553	44	0,399			
Ukupno	33,757	47				

Vrednosti f parametra izmerene tokom osmotskog sušenja prikazane su na slici 5.18. Kod svih tretmana zabeležen je porast vrednosti ovog parametra, odnosno smanjenje vrednosti sile razaranja. Porast vrednosti ukazuje na pojavu omekšavanja uzoraka, odnosno na manju vrednost sile razaranja. Intenzivno povećanje vrednosti f parametra zabeleženo je u prvih 40 minuta kod prvog, odnosno prvih 60 minuta kod ostalih tretmana. Nakon tog perioda dolazi do fluktuacija vrednosti f parametra. Objasnjenje ovakvih rezultata može se tražiti u uticaju vlažnosti (turgora) i fizičko-hemijskih osobina tkiva dunje. Pri višim vlažnostima uzoraka, odnosno na početku

osmotskog sušenja, nisu zabeležene fluktuacije vrednosti parametra f . Može se pretpostaviti da tokom tog perioda zbog više vrednosti vlažnosti uzoraka ne postoji uticaj drugih faktora na mehaničke osobine. Nakon 40 ili 60 minuta sušenja beleže se fluktuacije vrednosti parametra f . U 40-om minutu sušenja krive koje opisuju promene f vrednosti se “razdvajaju”. Vrednosti f parametra, koje predstavljaju tretmane sa temperaturom rastvora od 60°C , nastavljaju svoj rast, dok vrednosti f parametra, koje predstavljaju tretmane sa temperaturom rastvora od 40°C , uz navedene fluktuacije, dostižu konstantnu vrednost. Vrednosti na kraju perioda osmotskog sušenja bliske su onima u četrdesetom ili šezdesetom minutu procesa. Parametar f pri tretmanu uzoraka rastvorom temperature od 60°C dostiže konstantnu vrednost tek nakon 100 minuta sušenja. Vrednosti na kraju perioda osmotskog sušenja bliske su onima u stotom minutu. Razlike u vlažnostima svih uzoraka nisu toliko velike da bi se moglo u tome tražiti objašnjenje ovakvih rezultata. Objašnjenje ovakvih promena može se tražiti u uticaju temperature osmotskog rastvora na tkivo dunje. Tokom prvih 40 do 60 minuta osmotskog sušenja uzorci tretirani rastvorom temperature 40°C omekšavaju, parametar f raste. Međutim, nakon tog perioda, tkivo dunje dostiže stanje konstantne čvrstoće. Uticaj temperature na čvrstoću tkiva dunje prestaje između 60-og i 180-og minuta. Promene nastale kod tretmana rastvorom temperature 60°C mogu se objasniti na isti način. Uticaj temperature osmotskog rastvora u ovom slučaju traje do 100-og minuta sušenja. Viša temperatura rastvora dovodi do višeg stepena omekšavanja tkiva dunje.



Slika 5.18. Promena vrednosti f parametra tokom osmotskog sušenja

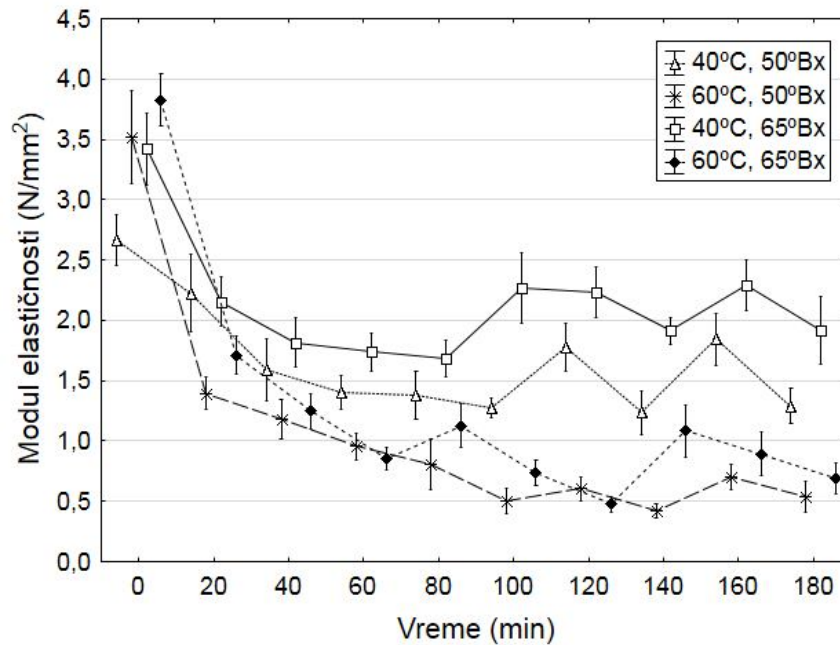
Razlog pojave fluktuacija vrednosti f parametra može biti neuniformna i nehomogena struktura tkiva dunje. Tkivo ploda dunje karakteriše visok sadržaj vlakana i kamenih ćelija (slika 4.1). Veliki udeo vlakana, njihov raspored i orijentacija može da utiče na čvrstoću tkiva. Pored ovih osobina, poroznost koja karakteriše tkivo dunje, može dodatno da utiče na mehaničke osobine, čineći strukturu nehomogenom. Ferrari i Hubinger (2008) u svojim istraživanjima uticaja osmotskog sušenja na čvrstoću dinje, navode da uzorci tretirani rastvorom koncentracije 60°Bx, postaju čvršći od uzoraka tretiranih u rastvoru koncentracije 40°Bx. Temperatura osmotskog rastvora bila je 30°C. Autori ovakav rezultat objašnjavaju uticajem visoke viskoznosti rastvora, koji formira sloj oko materijala i sprečava razmenu materije iz rastvora ka materijalu.

Pored pojave variranja vrednosti f parametra, izmerene su i veće vrednosti standardne devijacije. Vrednosti standardne devijacije posledica su anizotropnosti tkiva dunje. Sadržaj vlakana, kamenih ćelija, pora ispunjenih vazduhom stvaraju nehomogenu strukturu tkiva i prividnu vrednost čvrstoće što rezultira različitim vrednostima sile razaranja. Veće vrednosti standardne devijacije f parametra dobijene su kod uzoraka tretiranih osmotskim rastvorom temperature 40°C u poređenju sa vrednostima dobijenim kod uzoraka tretiranih rastvorom temperature 60°C (slika 5.18). Razlog ovih razlika može biti veći stepen omekšavanja koje se događa tokom osmotskog sušenja. Manje vrednosti standardne devijacije ukazuju na uzorke slične čvrstoće. Takav rezultat može se posmatrati kao garancija uniformne čvrstoće finalnog proizvoda.

Promene vrednosti modula elastičnosti tokom osmotskog sušenja prikazane su dijagramima na slici 5.19. Modul elastičnosti predstavlja drugi pokazatelj mehaničkih osobina, koji treba da eliminiše pogrešne zaključke koji mogu nastati tumačenjem samo vrednosti f parametara (objašnjeno u poglavlju 4.7.2). Na osnovu svih ispitanih uzoraka dobijena je srednja vrednost modula elastičnosti sveže dunje koja iznosi 3,39 N/mm². Vrednosti modula elastičnosti svežeg tkiva nekih vrsta voća i povrća iznose: bundeva 0,96-2,53 N/mm² (Meyor, 2006), jabuka 1,5-2,3 N/mm² (Rebouillat i Peleg, 1988), mango 0,1-0,3 (Chiralt i sar, 2001), kivi 0,2 N/mm² (Chiralt i sar, 2001), trešnja 0,12-0,16 N/mm² (Vursavus i sar, 2006).

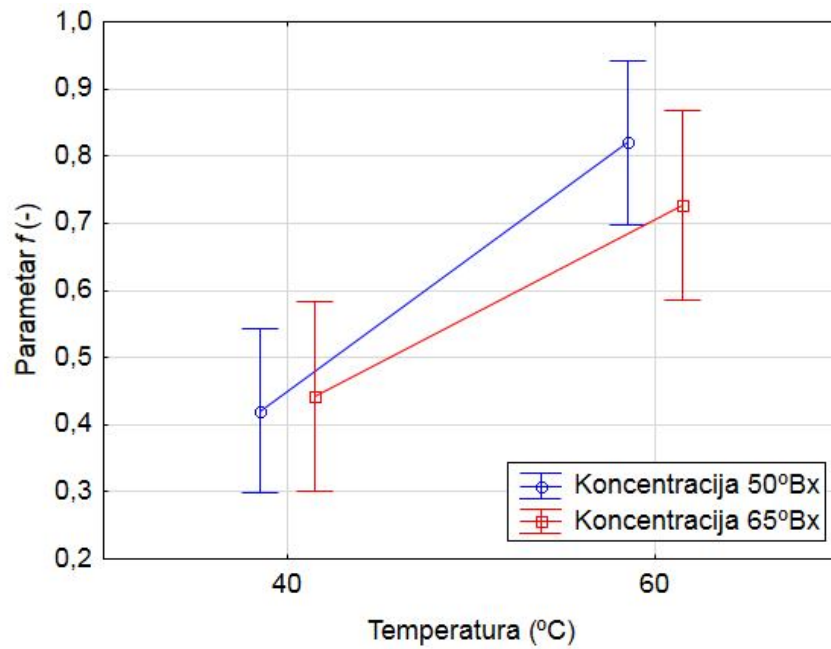
Opadanje vrednosti modula elastičnosti tokom osmotskog sušenja zabeleženo je kod svih tretmana (slika 5.19). Trend promena modula elastičnosti veoma je sličan promenama f parametra. Fluktuacije vrednosti modula elastičnosti nastaju nešto kasnije u poređenju sa f parametrom. Fluktuacije se javljaju u 60-om ili 100-om minutu procesa, u zavisnosti od tretmana (slika 5.19). Veći pad vrednosti modula elastičnosti izmeren je kod uzoraka tretiranih osmotskim rastvorom temperature 60°C. Veće promene modula elastičnosti nastaju usled toplotnog

omekšavanja uzoraka. Kao i kod vrednosti f parametra, manje vrednosti standardne devijacije izračunate su kod uzoraka tretiranih rastvorom temperature 60°C . Može se zaključiti da se oba parametra, f parametar i modul elastičnosti, mogu uspešno koristiti za ocenu uticaja osmotskog sušenja na mehaničke osobine dunje bez opasnosti nastanka greške.

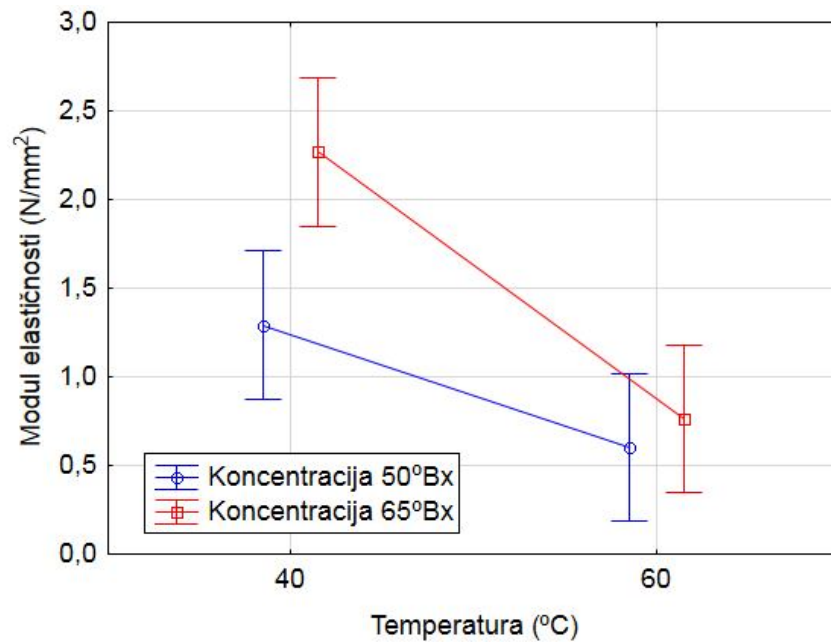


Slika 5.19. Promena vrednosti modula elastičnosti tokom osmotskog sušenja

Smanjenje ćelijskog pritiska, turgora, posledica je smanjenja sadržaja vode u ćelijama tokom osmotskog sušenja i utiče na čvrstoću voćnog tkiva. Pored sadržaja vlage, čvrstoću tkiva određuju mehaničke osobine ćelijskog zida i fizičko-hemijska struktura (Van Buren, 1979). U cilju istraživanja uticaja faktora osmotskog sušenja na mehaničke osobine dunje izdvojene su vrednosti f parametra i modula elastičnosti za različite tretmane, pri sličnim vlažnostima uzoraka dunje. Srednja vrednost vlažnosti uzoraka za sva četiri tretmana bila je $69,68 \pm 0,71\%$. Srednje vrednosti f parametra i modula elastičnosti pri sličnim vlažnostima prikazane su na slikama 5.20 i 5.21. Slične vlažnosti uzoraka izmerene su u različitim momentima osmotskog sušenja. Tokom prvog tretmana (40°C , 50°Bx) u 180. minutu, tokom drugog tretmana (60°C , 50°Bx) u 120. minutu, tokom trećeg tretmana (40°C , 65°Bx) u 100. minutu i tokom četvrtog tretmana (60°C , 65°Bx) u 60. minutu.



Slika 5.20. Srednje vrednosti f parametra pri sličnim vlažnostima ($69,68 \pm 0,71\%$) uzoraka dunje

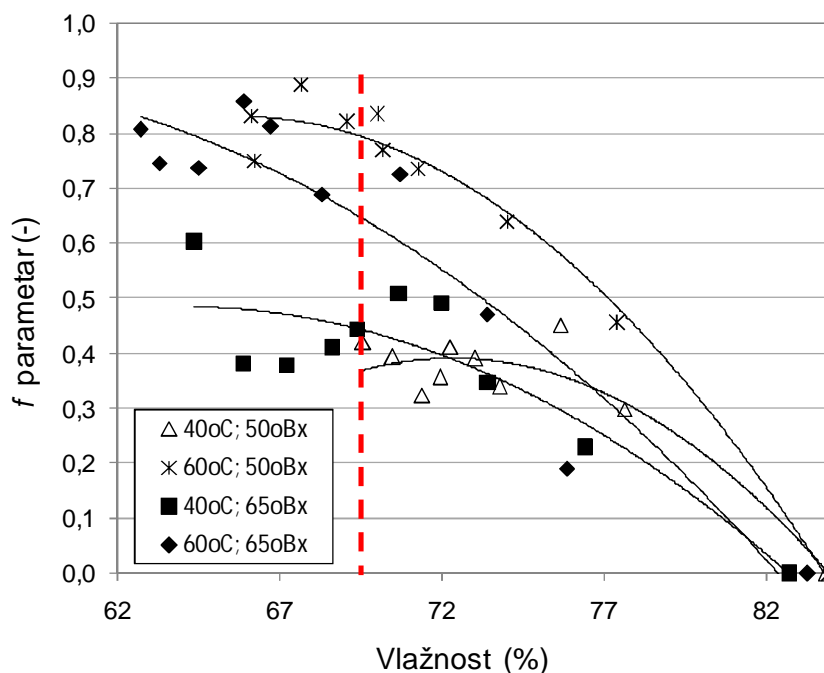
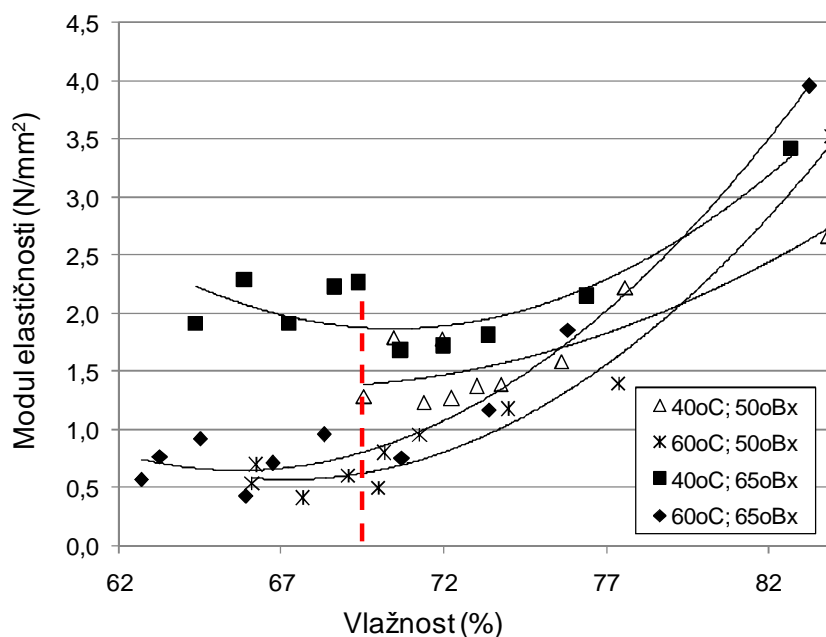


Slika 5.21. Srednje vrednosti modula elastičnosti pri sličnim vlažnostima ($69,68 \pm 0,71\%$) uzoraka dunje

Veće vrednosti f parametra i manje vrednosti modula elastičnosti zabeležene su pri temperaturi osmotskog rastvora od 60°C . Kao što je već rečeno, ovakve promene povezane su sa omekšavanjem uzoraka dunje. Najveće promene oba ispitivana parametra izmerene su kod

tretmana rastvorom temperature 60°C i koncentracije 50°Bx. Period potreban za postizanje slične vlažnosti ovih uzoraka za razliku od uzoraka tretiranih rastvorom temperature 60°C i 65°Bx, bio je dva puta duži. Dva puta duži period izlaganja uzoraka rastvoru temperature od 60°C, rezultira većim stepenom omekšavanja tkiva. Međutim, nakon 180 minuta osmotskog sušenja vrednosti f parametra kao i modula elastičnosti, se izjednačavaju kod uzoraka tretiranih rastvorom temperature 60°C. Analizom vrednosti f parametra i modula elastičnosti uzoraka dunje, pri sličnim vlažnostima, potvrđen je značajan uticaj temperature osmotskog rastvora na čvrstoću tkiva dunje. Generalni stav je da mehaničke osobine zavise od vlažnosti tkiva, odnosno ćelijskog pritiska koji je posledica postojanja vode u ćelijama. Međutim, postoje i drugi faktori koji utiču na čvrstoću tkiva. Ti faktori mogu biti: sadržaj materija poput pektina koje su sastavni deo ćelijskog zida i utiču na mehaničke osobine, biološke specifičnosti biljnog tkiva (različiti oblici ćelija) (slika 4.4) i drugi. Waldron i sar, (1997) navode da izlaganje voćnog tkiva visokim temperaturama izaziva hemijske promene koje su pored vlažnosti uzoraka odgovorne za omekšavanje voćnog tkiva. Termička stabilnost tkiva u vezi je sa sastavom ćelije. Fernandes i sar, (2008) primetili su promene osmotski tretiranog tkiva, posebno povećanje međućelijskog prostora do kojeg dolazi zbog rastvaranja pektina srednje lamele (Nowacka i sar, 2013). Mayor i sar, (2007) istraživali su uticaj koncentracije (30; 37,5; 45; 52,5 i 60°Bx) i temperature (12; 25 i 38°C) osmotskog rastvora na mehaničke osobine tkiva bundeve. Autori navode da koncentracija i temperatura osmotskog rastvora u granicama vrednosti istraživanih u eksperimentu, ne utiče na mehaničke osobine uzoraka bundeve. Vlažnost uzoraka bundeve navode kao jedini uticajni faktor na mehaničke osobine.

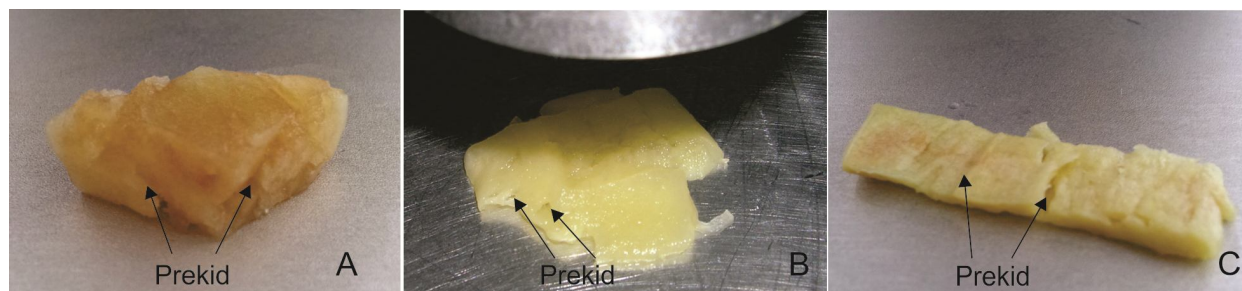
Promene vrednosti f parametra i modula elastičnosti u zavisnosti od vlažnosti uzoraka prikazane su na slikama 5.22 i 5.23. Na osnovu grafika jasno je da isprekidana zadebljana linija preseca linije regresije f parametra i modula elastičnosti pri sličnim vlažnostima uzoraka ($69,68 \pm 0,71\%$). Predstavljanjem vrednosti f parametara i modula elastičnosti konkretnim vrednostima izmerenim u eksperimentu, koje odgovaraju sličnim vlažnostima uzoraka, moguće je napraviti grešku zbog fluktuacija vrednosti koje su zabeležene tokom osmotskog procesa. Zbog toga su pronađene regresione linije zavisnosti f parametra i modula elastičnosti od vlažnosti uzoraka. Analizom rezultata na ovaj način, dolazi se do istog zaključka o uticaju vlažnosti na mehaničke osobine dunje.

Slika 5.22. Promena vrednosti f parametra u zavisnosti od vlažnosti uzoraka

Slika 5.23. Promena vrednosti modula elastičnosti u zavisnosti od vlažnosti uzoraka

Istraživanjima mikrostrukturnih promena koje mogu nastati na ćelijama voća i povrća definisana su tri mehanizma prekida tkiva (Harker i sar, 1997). Mogući mehanizmi prekida tkiva su: prelom ćelije (cell fracture), razaranje ćelije (cell rupture) i razdvajanje ćelija (cell-to-cell debonding). Na slikama 5.24 a, b, c prikazani su uzorci dunje nakon testa na pritisak. Primetno je prekidanje tkiva u određenim pravcima. Prekidanje nastaje u pravcu pružanja biljnih vlakana,

koja su izuzetno izražena u tkivu dunje. Takav raspored vlakana ukazuje na anizotropnost tkiva. Anizotropni materijali pokazuju različite mehaničke osobine ako se ispitivanja obavljaju u različitim pravcima (Bourne, 2002). Mehanizam prekidanja tkiva sveže dunje, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja, može se opisati kao kombinacija razaranja i razdvajanja tkiva. Do istog zaključka dolazi Babić i sar, (2008). Mayor i sar, (2007) navode da se isti mehanizmi prekida tkiva javljaju prilikom ispitivanja tkiva bundeve.



Slika 5.24. Mehanizmi prekida tkiva dunje

Osim uticaja osmotskog sušenja na mehaničke osobine dunje tokom osmotskog procesa, veoma je bitno ispitati uticaj kombinovanog sušenja na teksturne osobine finalnog proizvoda. U tabeli 5.15 prikazani su rezultati instrumentalne analize profila teksture (TPA test). TPA test kojim se simulira proces žvakanja hrane obavljen je tek na finalnom proizvodu koji se koristi za konzumaciju. Najbitni parametar u ovom testu je tvrdoća. Iako se tvrdoća definiše kao otpor koje telo pruža prema prodiranju drugog tela u njegovu površinu, u ovom testu tvrdoća je predstavljena najvećim otporom koji se javlja prilikom opterećenja na pritisak (prvi pik na krivoj sila – deformacija, slika 4.12). Rezultati TPA analize dati u tabeli 5.15 su srednje vrednosti svih merenja. Najveća tvrdoća $145,62 \pm 26,42$ N izmerena je na uzorcima prvog tretmana. Povišenjem temperature i koncentracije osmotskog rastvora dolazi do pada tvrdoće uzoraka. Slične vrednosti tvrdoće izmerene su kod uzoraka iz drugog i trećeg tretmana. Znatno niža vrednost tvrdoće izmerena je na uzorcima iz četvrtog tretmana $66,05 \pm 28,45$ N. Svi uzorci imali su sličnu vrednost vlažnosti. Ovakav rezultat može vlažnost da eliminiše kao uticajni faktor na mehaničke osobine sušene dunje. Uticaj temperature na mehaničke osobine dunje, koji je potvrđen tokom osmotskog sušenja, nastavlja se tokom konvektivnog sušenja. Krokida i sar, (2000) istraživali su uticaj osmotskog predtretmana na mehaničke osobine sušene banane i jabuke. Osušeni uzorci podvrgnuti prethodno osmotskom sušenju pokazali su veći otpor ka razaranju od uzoraka osušenih bez osmotskog predtretmana. Ovako ponašanje objašnjava se plastičnošću uzoraka koja nastaje usled migracije rastvorka u tkivo.

Poređenjem rezultata izmerenih na uzorcima osušenim sa i bez osmotskog predtretmana, vidljiva je prednost primene osmotskog sušenja. Veće vrednosti tvrdoće izmerene su jedino na uzorcima koji su tretirani rastvorom najnižih vrednosti temperature i koncentracije. Nešto više vrednosti adhezivnosti izmerene su na uzorcima sa osmotskim predtretmanom. Razlog tome je šećer koji difunduje u tkivo. Medina-Torres i sar, (2008) nisu ustanovili značajne razlike u tvrdoći jabuke pri različitim parametrima kombinovanog sušenja.

Jedna od karakteristika voća koje je osmotski sušeno je stanje površine koje se bitno razlikuje od voća sušenog samo konvektivno. Površinski sloj tkiva je zbog šećera koji se na njemu zadržava, mekši u poređenju sa voćem samo konvektivno osušenim. Posledica konvektivnog sušenja je proizvod tvrde površine, grubih i oštih ivica. Iako ova karakteristika nije kvantifikovana, primetna je i može se oceniti opisno.

Tabela 5.15. Rezultati testa analize teksture (TPA)

Tretman	Parametri	Vlažnost %	Tvrdoća (N)	Kohezivnost	Elastičnost (mm)	Žvakljivost (mJ)	Adhezivnost (mJ)
1	40°C;50°Bx	35,74	145,62±26,42	0,40±0,16	2,15±0,11	126,10±56,82	0,22±0,04
2	60°C;50°Bx	33,80	89,60±17,04	0,37±0,05	2,97±0,71	99,36±42,54	0,71±0,12
3	40°C;65°Bx	34,59	84,26±9,87	0,43±0,04	2,61±0,44	125,29±78,69	0,26±0,18
4	60°C;65°Bx	36,36	66,05±28,45	0,25±0,07	2,17±0,27	38,29±23,96	0,51±0,30
-	Bez osmoze	35,25	127,82±46,2	0,39±0,08	2,20±0,24	103,85±29,1	0,13±0,04
-	Sveža dunja		121,11±11,9	0,17±0,01	3,50±0,15	73,41±7,80	0,12±0,03

Rezultati predstavljaju srednje vrednosti ± standardo odstupanje. Slova predstavljaju statističke razlike

Kada su u pitanju prehrambeni proizvodi, osim čvrstoće i tvrdoće bitne su i druge mehaničke osobine kao na primer: žilavost, elastičnost, žvakljivost, lepljivost (adhezivnost) i druge. Analiza ovih veličina može se obaviti instrumentalno i senzorski. U okviru instrumentalnog TPA testa pored tvrdoće uzorka definišu se adhezivnost, kohezivnost, elastičnost i žvakljivost.

Kohezivnost kao osobina međusobne povezanosti tkiva, predstavlja otpornost prema deformisanju tokom dva ciklusa kompresije. Kohezivnost je u TPA testu predstavljena odnosom površine ispod krive prvog ciklusa kompresije i površine ispod krive drugog ciklusa kompresije uzorka. Površina ispod krive predstavlja vrednost rada (energije) uložene u testu kompresije. Najmanja kohezivnost izmerena je kod četvrtog tretmana (tabela 5.15). Posmatrajući tretmane redom, manje vrednosti kohezivnosti izmerene su kod tretmana osmotskim rastvorom temperature 60°C. Ovakvi rezultati mogu se objasniti uticajem temperature rastvora na čvrstoću tkiva, što je potvrđeno kod ispitivanja modula elastičnosti i sile razaranja. Povišena temperatura

rastvora dovodi do određenih fizičko-hemijskih promena u tkivu koje rezultiraju smanjenjem čvrstoće.

Žvakljivost je veličina direktno povezana sa kohezivnošću. Definiše se kao proizvod tvrdoće, kohezivnosti i elastičnosti. Žvakljivost se opisuje kao sila potrebna za žvakanje čvrste hrane. Vrednosti ovog parametra od prvog do četvrtog tretmana u skladu su sa vrednostima kohezivnosti. Značajno najmanja vrednost sile potrebne za žvakanje izmerena je kod uzoraka tretiranih osmotskim rastvorom temperature 60°C i 65°Bx.

Bitna osobina prehrambenih proizvoda je lepljivost tokom procesa žvakanja. Umesto ovog termina koristi se stručni termin, adhezivnost. Adhezivnost predstavlja energiju potrebnu za odvajanje uzorka od površine pritiskajuće ploče, odnosno u slučaju žvakanja od površine zuba. Manje vrednosti adhezivnosti 0,22 i 0,26 mJ izmerene su kod tretmana osmotskim rastvorom temperature 40°C. Ovi uzorci okarakterisani su kao čvršći u odnosu na uzorke tretirane rastvorom temperature 60°C. Omekšavanje tkiva do kog je došlo usled tretmana rastvorom više temperature može se objasniti kao razlog veće adhezivnosti, odnosno lepljivosti uzoraka dunje. Adhezivnost je osobina koja u mnogome zavisi od stanja površine uzorka. U slučaju dunje sušene kombinacijom osmotskog i konvektivnog sušenja, stanje površine zavisilo bi od vlažnosti i udela šećera koji se zadržao na površini uzorka. Međutim, vlažnost uzoraka koje su sličnih vrednosti ne može se dovesti u vezu sa adhezivnošću, kao ni izmereno povećanje suve materije. Elastičnost u velikoj meri zavisi od vlažnosti uzorka. Na elastičnost utiče i sadržaj sahara koje ostaje u tkivu. Vrednosti elastičnosti uzoraka nisu značajne, čak ni u poređenju sa uzorcima koji nisu osmotski tretirani. Uticaj vlažnosti na elastičnost evidentan je na osnovu vrednosti izmerene na uzorcima sveže dunje.

5.4. Promena boje dunje

Vrednosti parametara boje L^* , a^* i b^* uzoraka dunje, kao i vrednosti ukupne promene boje izmerene tokom osmotskog sušenja prikazane su tabelarno u prilogu 5. Svaki rezultat u tabeli predstavlja srednju vrednosti tri merenja (objašnjeno u poglavlju 4.7.3). Vrednosti parametara boje dunje, kao primer, prikazani su u tabeli 5.16. Merenja su obavljena na uzorcima dunje pri osmotskom sušenju rastvorom temperature 40°C i koncentracije 50°Bx .

Tabela 5.16. Vrednosti parametara boje dunje L^* , a^* i b^* tokom osmotskog sušenja za tretman rastvorom temperature 40°C i koncentracije 50°Bx

Merenje	Vreme	Eksperimentalna jedinica			
		$40^{\circ}\text{C}; 50^{\circ}\text{Bx}$			
		L^*	a^*	b^*	ΔE^*
2009. godina I ponavljanje	0	74,80	-4,57	24,66	0,00
	20	73,61	-4,60	24,16	1,29
	40	73,80	-4,79	24,13	1,15
	60	74,20	-4,61	25,18	0,80
	80	75,17	-4,80	26,11	1,51
	100	75,70	-4,78	26,65	2,20
	120	75,59	-4,69	27,02	2,49
	140	73,92	-4,72	28,55	4,00
	160	75,31	-4,80	29,48	4,86
	180	75,82	-4,70	28,90	4,36

Disperziona analiza parametra boje L^* , a^* i b^* obavljena je na vrednostima koje predstavljaju razliku određenog parametra na početku i na kraju osmotskog sušenja. Upotreba ovih podataka eliminiše grešku koja može da nastane zbog uticaja početne vrednosti parametra boje. Početne vrednosti razlikuju se čak i za uzorke uzete iz istog ploda. Međutim, disperziona analiza uticaja faktora eksperimenta na ukupnu promenu boje ΔE^* obavljena je na rezultatima prikazanim u prilogu 5, jer se ukupna promena boje izračunava na osnovu razlike parametara boje na početku i kraju sušenja (jednačina 4.7)

Rezultati disperzione analize prikazani su u tabelama 5.17 do 5.20. Izračunate vrednosti Fišerovog kriterijuma za parametar sjajnost L^* manje su od tabličnih vrednosti za oba faktora (tabela 5.17). Analizom varijanse nije potvrđen uticaj faktora eksperimenta na promenu sjajnosti uzoraka dunje. Kada je u pitanju parametar a^* , analizom varijanse takođe nije potvrđen uticaj faktora eksperimenta na promenu vrednosti ovog parametra (tabela 5.18). Analizom varijanse potvrđen je uticaj koncentracije osmotskog rastvora jedino na promenu vrednosti parametra b^*

tokom osmotskog sušenja (tabela 5.19). Rezultati ukupne promene boje koji u sebi sadrže sva tri parametra, zbog čega je ova veličina i najbolji pokazatelj promene boje, takođe su obuhvaćeni disperzionom analizom. Rezultati analize prikazani su u tabeli 5.20. Disperzionom analizom utvrđen je uticaj koncentracije na promenu ukupne boje dunje. Sve analize obavljene su za verovatnoću od 95%.

Tabela 5.17. Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu vrednosti parametra L^* tokom osmotskog sušenja za statističku verovatnoću od 95%

Izvor varijacije	Suma kvadrata	Stepeni slobode	Srednji kvadrat	F	p-vrednost	F kritično
Koncentracija osmotskog rastvora	71,600	1,00	71,600	4,279	0,061	4,747
Temperatura osmotskog rastvora	2,635	1,00	2,635	0,157	0,698	4,747
Interakcija	11,156	1,00	11,156	0,667	0,430	4,747
Greška	200,804	12,00	16,734			
Ukupno	286,195	15,00				

Tabela 5.18. Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu vrednosti parametra $-a^*$ tokom osmotskog sušenja za statističku verovatnoću od 95%

Izvor varijacije	Suma kvadrata	Stepeni slobode	Srednji kvadrat	F	p-vrednost	F kritično
Koncentracija osmotskog rastvora	2,876	1,000	2,876	2,941	0,020	4,747
Temperatura osmotskog rastvora	1,008	1,000	1,008	2,515	0,139	4,747
Interakcija	0,000	1,000	0,000	0,001	0,983	4,747
Greška	4,811	12,000	0,401			
Ukupno	8,695	15,000				

Tabela 5.19. Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu vrednosti parametra $+b^*$ tokom osmotskog sušenja za statističku verovatnoću od 95%

Izvor varijacije	Suma kvadrata	Stepeni slobode	Srednji kvadrat	F	p-vrednost	F kritično
Koncentracija osmotskog rastvora	91,410	1,000	91,410	12,626	0,004	4,747
Temperatura osmotskog rastvora	4,903	1,000	4,903	0,677	0,427	4,747
Interakcija	2,606	1,000	2,606	0,360	0,560	4,747
Greška	86,880	12,000	7,240			
Ukupno	185,798	15,000				

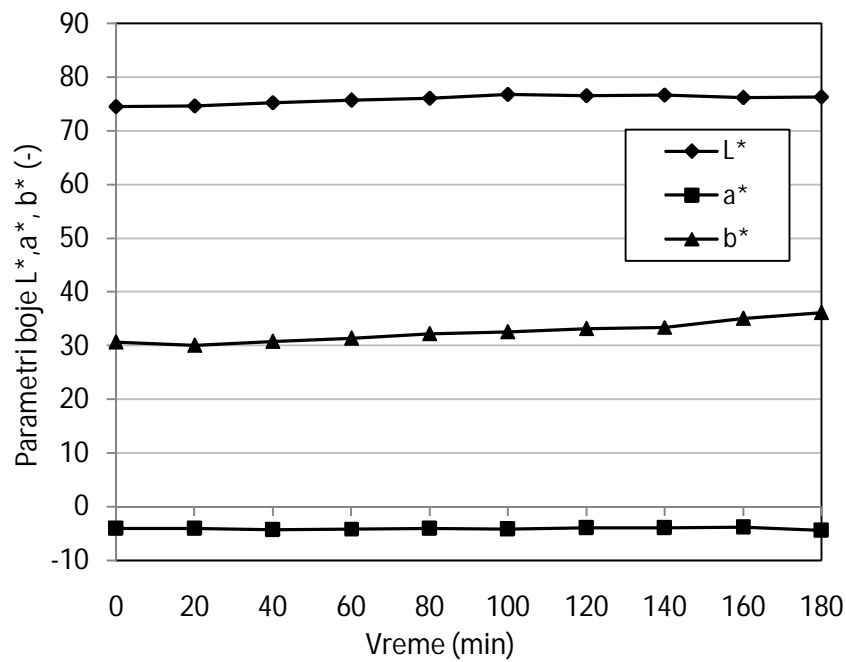
Tabela 5.20. Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu vrednosti parametra ΔE^* tokom osmotskog sušenja za statističku verovatnoću od 95%

Izvor varijacije	Suma kvadrata	Stepeni slobode	Srednji kvadrat	F	p-vrednost	F kritično
Koncentracija osmotskog rastvora	95,024	1	95,024	9,071	0,011	4,747
Temperatura osmotskog rastvora	0,985	1	0,985	0,094	0,764	4,747
Interakcija	2,598	1	2,598	0,248	0,627	4,747
Greška	125,708	12	10,476			
Ukupno	224,315	15				

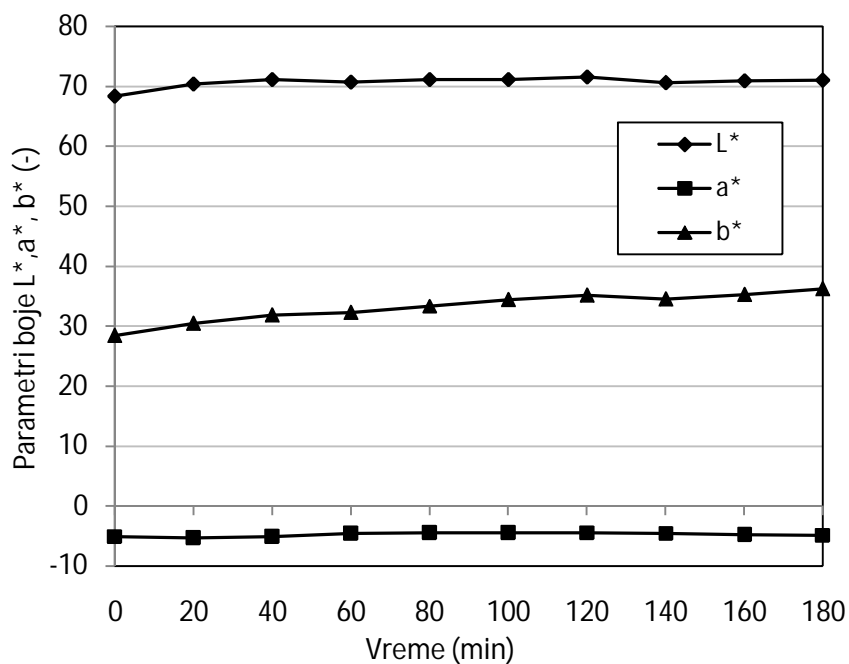
Rezultati merenja boje uzoraka dunje prikazani su kao funkcije i histogrami. Promene vrednosti parametara boje tokom osmotskog sušenja prikazane su linijskim dijagramima. Histogrami su služili za poređenje krajnjih vrednosti parametara boje uzoraka dunje u različitim fazama kombinovanog sušenja. Svi rezultati predstavljaju srednje vrednosti dvogodišnjih merenja.

Na slikama 5.25 do 5.28 prikazane su promene vrednosti parametara boje L^* , a^* i b^* tokom osmotskog sušenja pri različitim vrednostima temperature i koncentracije osmotskog rastvora. Pojedinačnom analizom parametara boje dolazi se do saznanja koji parametar najviše utiče na ukupnu promenu boju dunje. Tokom osmotskog sušenja dunje rastvorom koncentracije 50°Bx nisu izmerene značajne promene parametra L^* . Veće promene izmerene su pri tretmanu dunje rastvorom koncentracije od 65°Bx. Najveće promene parametra L^* nastaju u početku osmotskog sušenja. Porast vrednosti parametra L^* ukazuje na povećanje sjajnosti (svetline) uzorka. Promene boje voća nastale tokom osmotskog sušenja nisu definisane standardom. Na primer, razlika između dve kategorije kvaliteta mesa definisanog na osnovu parametra boje L^* iznosi 6. Iako ne postoji skala kojom se utvrđuje kvalitet sušene dunje na osnovu boje, može se zaključiti da li su izmerene promene značajne ili ne. Neki autori navode da su promene parametara boje veće od 3 značajne.

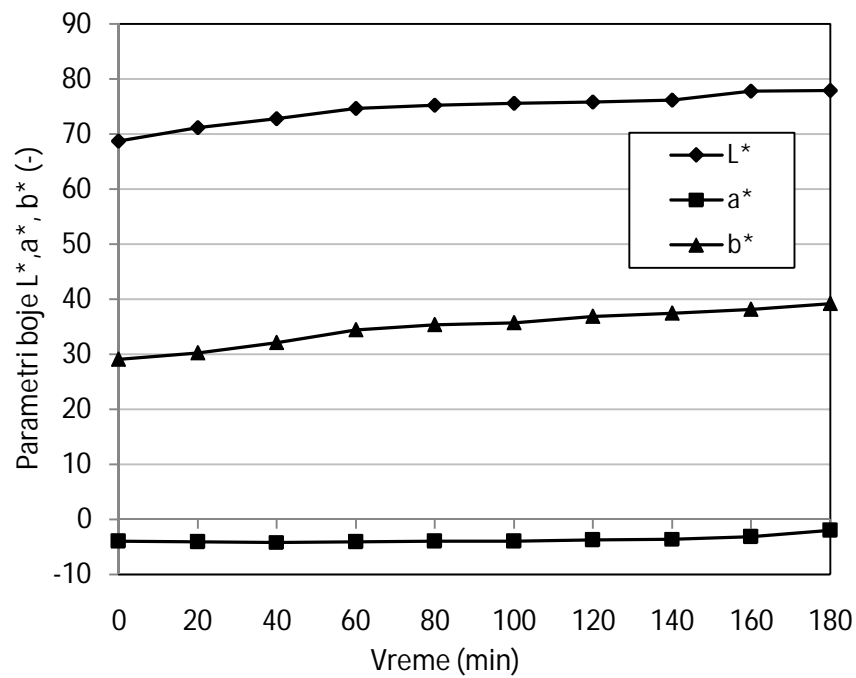
Kod sva četiri tretmana tokom osmotskog procesa izmeren je porast parametra $+b^*$ koji označava žutu boju. Veće promene izmerene su pri tretmanu uzoraka rastvorom koncentracije od 65°Bx (slika 5.27 i 5.28). Porast vrednosti parametra $+b^*$ javlja se tokom čitavih 180 minuta sušenja. Promene parametra $-a^*$ kod svih tretmana su male i ne utiču mnogo na promenu boje uzoraka dunje. Promene vrednosti ukupne boje ΔE tokom osmotskog sušenja prikazane su na slici 5.29. Veće promene izmerene su kod tretmana sa rastvorom koncentracije 65°Bx, što je direktna posledica većih promena parametara boje pri tretmanu rastvorom ove koncentracije.



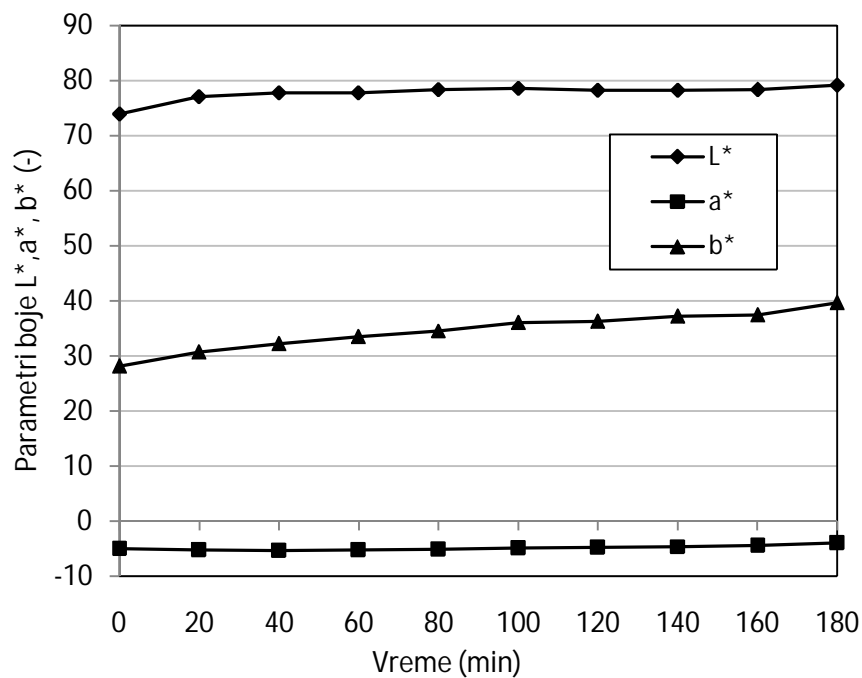
Slika 5.25. Promene vrednosti parametra boje dunje tokom perioda osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora 40°C i koncentraciji rastvora 50°Bx



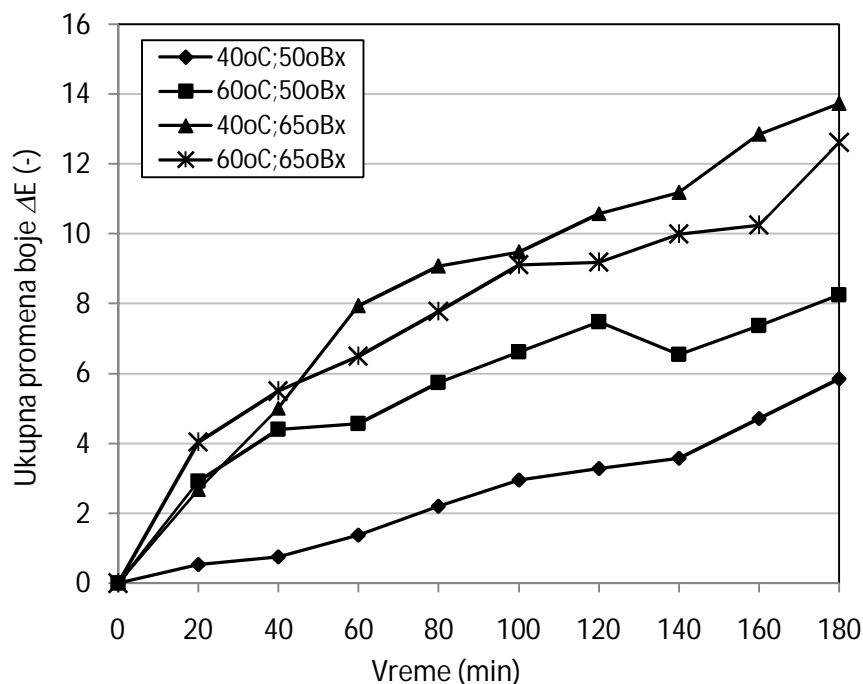
Slika 5.26. Promene vrednosti parametra boje dunje tokom perioda osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora 60°C i koncentraciji rastvora 50°Bx



Slika 5.27. Promene vrednosti parametra boje dunje tokom perioda osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora 40°C i koncentraciji rastvora 65°Bx



Slika 5.28. Promene vrednosti parametra boje dunje tokom perioda osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora 60°C i koncentraciji rastvora 65°Bx

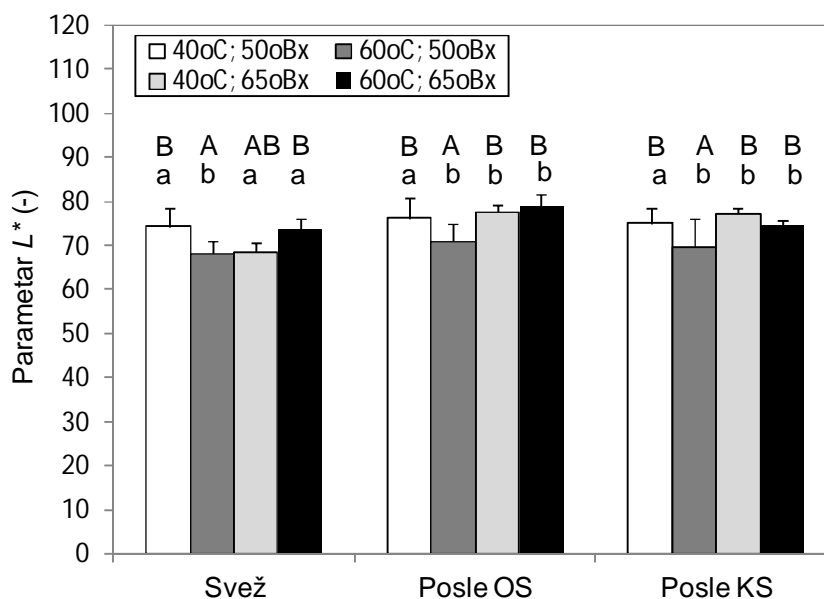


Slika 5.29. Promene vrednosti ukupne boje dunje pri različitim faktorima eksperimenta

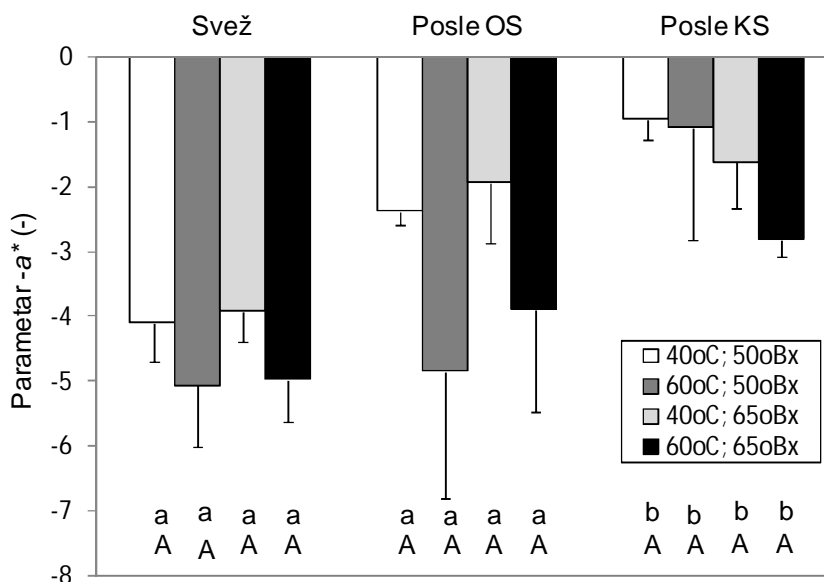
Na osnovu svih obavljenih merenja u toku dve godine, srednje vrednosti parametara boje svežeg tkiva dunje iznose $L^* = 71,44$; $-a^* = 4,51$; $b^* = 29,06$. Na dijagramima 5.30 do 5.32 prikazane su vrednosti parametara boje dunje u različitim fazama kombinovanog sušenja. Predstavljene su vrednosti parametara boje nakon sumporisanja uzoraka (sveži uzorci), nakon osmotskog sušenja i nakon konvektivnog sušenja. Upoređivanje rezultata u različitim momentima sušenja, bitno je zbog sticanja kompletnog saznanja o uticaju osmotskog sušenja na boju finalnog proizvoda. Trend manjih promena vrednosti parametra L^* izmerenih tokom osmotskog sušenja nastavlja se i nakon konvektivnog. Međutim, nakon konvektivnog sušenja kod svih uzoraka dunje sušenih različitim režimima zabeležen je manji pad vrednosti L^* parametra. Manje promene izmerene su kod prvog, drugog i trećeg tretmana. Veća promena vrednosti ovog parametra koja iznosi 4,6 izmerena je kod četvrtog tretmana. Vrednosti parametra L^* nakon konvektivnog sušenja, jednake su onima koje su izmerene na svežim uzorcima. Izuzetak u ovom slučaju je treći tretman, gde je vrednost ovog parametra nakon osmotskog tretmana ostala nepromenjena. Na porast vrednosti parametra L^* nakon osmotskog sušenja može da utiče rastvor koji se zadržava na površini uzorka. Transport materije tokom osmotskog sušenja izaziva oštećenja strukture na mikroskopskom nivou (Nowacka i sar, 2013), smanjenje zapremine i deformacije voćnog tkiva. Nakon osmotskog sušenja ćelije voćnog tkiva su oštećene i nepravilnog oblika (slika 5.33). Na površini uzorka javljaju se promene u vidu neravnina, hrapavosti, različitih deformacija. Ovakve promene izraženije su pri tretmanu rastvorom više temperature i koncentracije, kao posledica intenzivnije razmene materije. Promene u strukturi

tkiva dunje koje nastaju tokom osmotskog sušenja posebno su izražene u površinskom sloju tkiva dunje. Takva površina uzorka omogućava lakše zadržavanje rastvora. Iako se pre merenja boje uzoraka, rastvor uklanja papirnim ubrusima deo se ipak zadržava na površini što može da utiče na vrednost parametra L^* . Uticaj osmotskog sušenja na strukturne promene tkiva istraživan je od strane velikog broja autora. Promene strukture tkiva najčešće se istražuju mikroskopskim analizama. Međutim, uticaj osmotskog sušenja na stanje površine tretiranog materijala često je vidljiv i golim okom. Tokom osmotskog sušenja Zhao i sar, (2014) istraživali su uticaj različitih koncentracija rastvora saharoze (30%, 40% i 50%) na površinsku boju manga. Autori takođe zaključuju da vrednost parametra L^* raste sa povećanjem koncentracije rastvora saharoze. Rodrigues i sar, (2003) navode da je boja osmotski tretirane papaje, nakon konvektivnog sušenja veoma slična boji svežeg tkiva. Tumačenjem izmerenih vrednosti parametra L^* , može se zaključiti da su one male i da se primenom sumpordioksida i osmotskog predtretmana može uspešno očuvati sjajnost (svetlina) uzoraka dunje. Vrednosti parametra $-a^*$ koji označava zelenu boju bile su u granicama od -4 do -5 za sveže uzorke (slika 5.32). Povećanje vrednosti ovog parametra izmereno je kod svih tretmana. Najveće promene nakon osmotskog sušenja izmerene su kod prvog i trećeg tretmana. Ovi tretmani imaju istu vrednost temperature osmotskog rastvora od 40°C. Veličina ovih promene nije značajna. Povećanje vrednosti izmereno je i nakon konvektivnog sušenja. Veći porast izmeren je kod prvog i drugog tretmana. Povećanje parametra $-a^*$ iznosi od 2 do 4 u odnosu na vrednosti izmerene na svežim uzorcima. Najveće promene parametara boje izmerene su kod parametra $+b^*$, koji predstavlja žutu boju. Porast vrednosti ovog parametra zabeležen je kod svih tretmana tokom kombinovanog sušenja. Ovo ukazuje na uticaj ispitivanih faktora na promenu vrednosti parametra $+b^*$. Povećanje vrednosti parametra $+b^*$, u zavisnosti od tretmana iznosi od 11 do 14 (slika 5.31). Povećanje vrednosti parametra $+b^*$ nastalo tokom kombinovanog sušenja može imati pozitivan uticaj na boju dunje. Povećanje vrednosti ovog parametra uz očuvanje vrednosti parametra L^* rezultira intenzivnijom i čistijom žutom bojom. Na uzorcima tretiranim rastvorom koncentracije 65°Bx (tretman tri i četiri) izmerene su veće promene parametra $+b^*$ nakon osmotskog sušenja, u poređenju sa vrednostima izmerenim na uzorcima tretiranim rastvorom koncentracije 50°Bx. Ove promene mogu se objasniti slično promenama parametra L^* . Rastvor saharoze u vodi koji se zadržava na površini uzorka je transparentan, ali ne bezbojan. Zbog toga se može pretpostaviti da količina rastvora na površini uzorka utiče na vrednost parametra $+b^*$. Pojedini autori navode da zbog smanjenja vlažnosti uzoraka, dolazi do koncentrisanja pigmenta žute boje. Objašnjenje promena parametra b^* može se tražiti u uticaju temperature osmotskog rastvora. Više temperature izazivaju hemijske reakcije koje se mogu odraziti na promenu boje dunje. Nakon konvektivnog sušenja veći porast

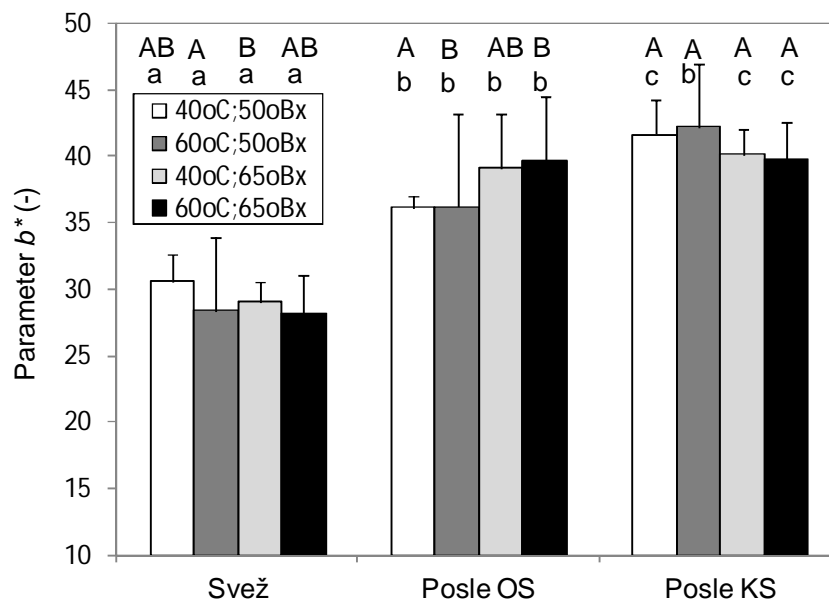
parametra $+b^*$ izmeren je na uzorcima tretiranim rastvorom koncentracije 50°Bx. Ove promene znatno su veće od onih izmerenih kod tretmana tri i četiri (koncentracija 65°Bx).



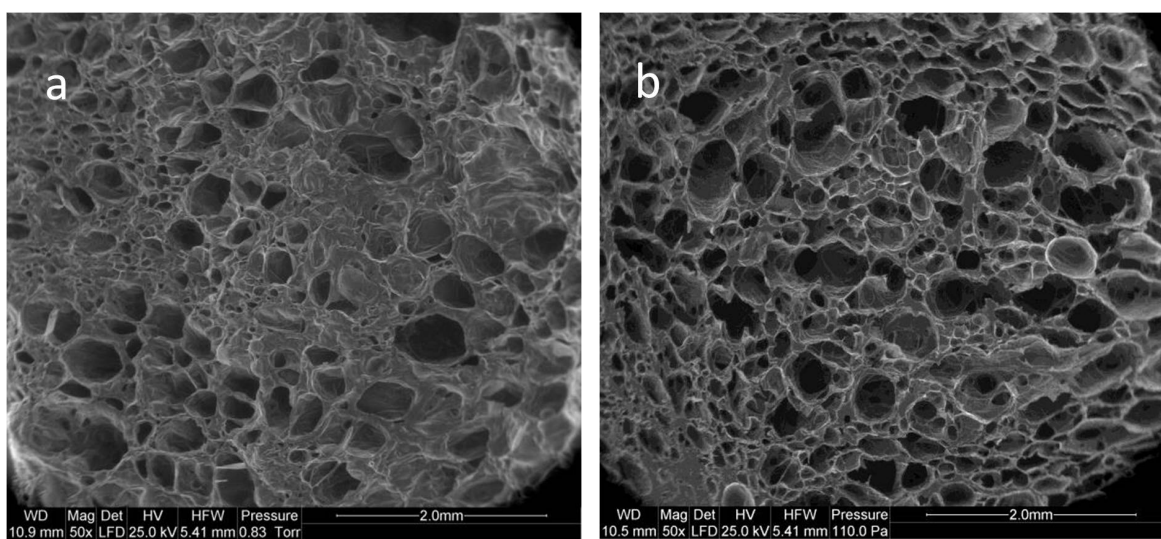
Slika 5.30. Vrednosti parametra L^* sveže dunje, nakon osmotskog sušenja (OS) i nakon konvektivnog sušenja (KS). Različita slova (mala: razlike između svežeg uzorka, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja za isti tretman; velika: razlike između tretmana za sveže uzorke, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja) označavaju statistički značajne razlike



Slika 5.31. Vrednosti parametra $-a^*$ sveže dunje, nakon osmotskog sušenja (OS) i nakon konvektivnog sušenja (KS). Različita slova (mala: razlike između svežeg uzorka, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja za isti tretman; velika: razlike između tretmana za sveže uzorke, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja) označavaju statistički značajne razlike



Slika 5.32. Vrednosti parametra b^* sveže dunje, nakon osmotskog sušenja (OS) i nakon konvektivnog sušenja (KS). Različita slova (mala: razlike između svežeg uzorka, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja za isti tretman; velika: razlike između tretmana za sveže uzorke, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja) označavaju statistički značajne razlike



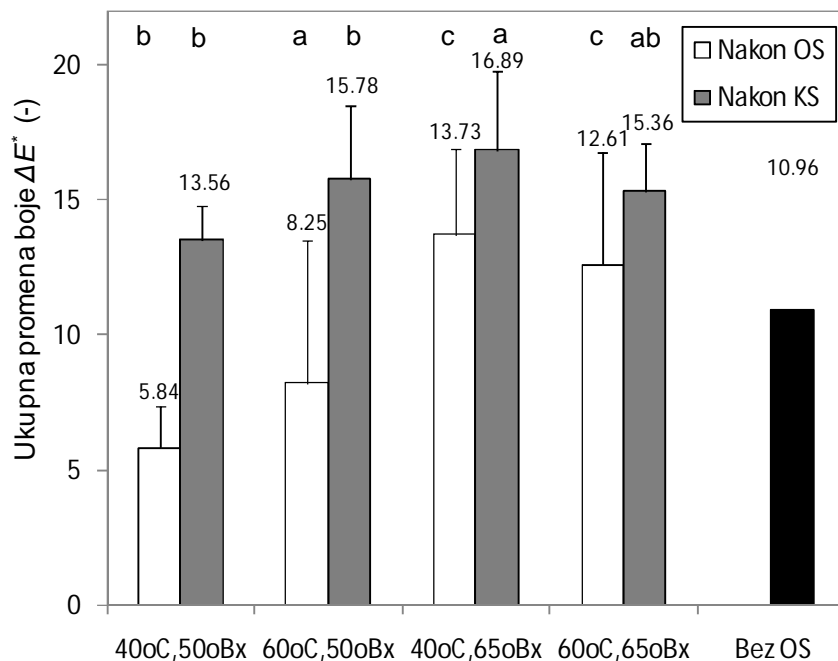
Slika 5.33. Fotografije osušenog tkiva kivija primenom liofilizacije (a) i osmotskog sušenja (b) (Nowacka et al., 2013)

Ukupna promena boje ΔE je veličina koja objedinjuje sva tri parametra boje. Vrednost ovog parametra je pokazatelj stvarnog i potpunog uticaja ispitivanih faktora na boju dunje. Zbog toga se prilikom tumačenja ovog parametra, umesto izraza “ukupna promena boje” može upotrebiti

izraz “promena boje”. Promene parametra ΔE su u granicama od 7 do 14 (slika 5.34). Veće promene boje nakon osmotskog sušenja izmerene su kod trećeg i četvrtog tretmana u odnosu na prvi i drugi. Nastale promene boje su u skladu sa promenama pojedinačnih parametara. Kod trećeg i četvrtog tretmana primetan je uticaj više vrednosti koncentracije osmotskog rastvora na promenu boje. Zhao i sar, (2014) dolaze do sličnih rezultata prilikom osmotskog sušenja tkiva manga. Ukupna promena boje tkiva manga veća je ukoliko se osmotski tretman obavlja u rastvoru saharoze koncentracije 60°Bx, u odnosu na koncentracije od 30°Bx i 45°Bx.

Biljno tkivo koje je konstantno potopljeno u osmotski rastvor nije izloženo uticaju kiseonika i tako je zaštićeno od oksidativnih procesa koji utiču na promenu boje (Dixon i sar, 1976). Međutim, tokom konvektivnog sušenja materijal je izložen uticaju kiseonika i podložniji je promenama boje. Promene boje nastale tokom konvektivnog sušenja manje su na uzorcima tretiranim rastvorom koncentracije od 65°Bx. Pri višim temperaturama i koncentracijama osmotskog rastvora, veće količine saharoze se zadržavaju u voćnom tkivu. Sloj saharoze koji se zadržava na površini tkiva predstavlja zaštitu od oksidativnih reakcija sa okolnim vazduhom koje mogu rezultirati tamnjenjem tkiva (Rahman i Mujumdar, 2007). Međutim, Kowalski i Mierzwa (2011) navode da koncentracija osmotskog rastvora saharoze ne utiče na promenu ukupne boje mrkve nakon konvektivnog sušenja.

Merenje boje obavljeno je i na uzorcima koji su samo konvektivno osušeni, bez osmotskog predtretmana. Ovi uzorci su služili kao kontrola uticaja osmotskog procesa na promenu boje dunje posle konvektivnog dosušivanja. Promene parametara boje ovih uzoraka nakon konvektivnog sušenja bile su $\Delta L^* = 3,17$; $\Delta a^* = 3,56$ i $\Delta b^* = 9,87$. Najveće promene izmerene su kod parametra b^* , kao i kod osmotski tretiranih uzoraka. Promena ukupne boje (slika 5.34) iznosi $\Delta E = 10,96$. Izmerene promene boje kontrolnog uzorka i kombinovano sušenih uzoraka idu u prilog upotrebi osmotskog predtretmana prilikom sušenja dunje. Na ovaj rezultat svakako treba dodati dobro poznate prednosti primene osmotskog predtretmana koje se ogledaju u očuvanju arome, ukusa, teksture i sl.



Slika 5.34. Ukupna promena boje nakon osmotskog i konvektivnog sušenja. Različita slova (mala: razlike između svežeg uzorka, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja za isti tretman; velika: razlike između tretmana za sveže uzorke, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja) označavaju statistički značajne razlike

Modelovanje kinetike promene boje

Kinetika promene boje tokom osmotskog sušenja opisane se matematičkim modelom (jed. 5.16) predloženim od strane Krokida i sar, (1998). Ovaj model prethodno je korišćen za opisivanje kinetike sušenja. Predloženi model opisuje promenu svakog od parametara boje (L^* , a^* i b^*) tokom perioda sušenja.

$$\frac{C - C_e}{C_0 - C_e} = \exp(-k_c t) \quad (5.18)$$

gde su: C - parametar boje (L^* , a^* i b^*), C_0 i C_e - vrednosti parametara boje na početku i nakon osmotskog sušenja, k_c - koeficijent funkcije, t - vreme sušenja.

Vrednosti parametara a^* izmerenih tokom sušenja nisu se značajno menjale. Disperzionom analizom nije potvrđen uticaj faktora eksperimenta na promenu parametra a^* . Zbog toga je obavljeno matematičko modelovanje samo promena vrednosti b^* i L^* . Vrednosti koeficijenata funkcije k_c određeni su regresionom analizom eksperimentalnih podataka. Vrednosti koeficijenata k_c i pripadajuće vrednosti koeficijenata determinacije date su u tabeli 5.21. Zabeležene vrednosti koeficijenata determinacije kod trećeg i četvrtog tretmana imaju visoke vrednosti. Nešto niže, ali prihvatljive vrednosti ovog parametra zabeležene su kod prvog

tretmana. Matematički model (jed. 5.16) primenjen u radu može se smatrati prihvatljivim za opisivanje kinetike promene boje dunje tokom osmotskog sušenja.

Tabela 5.21. Vrednosti koeficijenata k_c i koeficijenata determinacije za parametre boje b^* i L^*

Faktori eksperimenta	b^*		L^*	
	k_c	R^2	k_c	R^2
40°C; 50°Bx	0,005947	0,7553	0,022623	0,7816
60°C; 50°Bx	0,013656	0,9755	0,083036	0,9037
40°C; 65°Bx	0,012082	0,9662	0,030625	0,9748
60°C; 65°Bx	0,011214	0,9739	0,027703	0,8415

Vrednosti promene boje Δb^* i ΔL^* prikazane su na slikama 5.35 i 5.36. Umesto izmerenih i izračunatih vrednosti parametara b^* i L^* prikazane su njihove razlike u odnosu na vrednosti koje su imali uzorci na početku sušenja. Vrednosti promene boja definišu se kao:

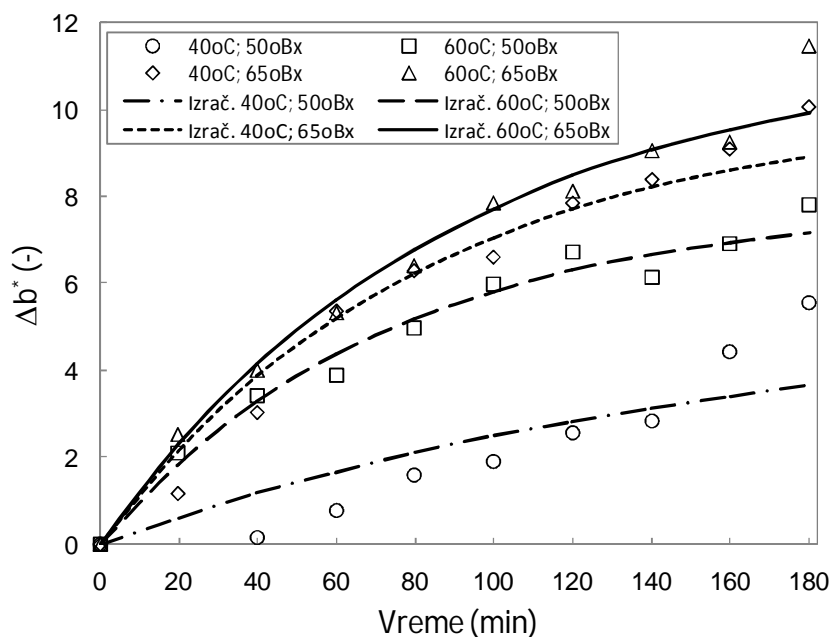
$$\Delta b^* = b^* - b_0^*; \Delta L^* = L^* - L_0^* \quad (5.19)$$

gde su: b^* i L^* - vrednosti parametara u određenom vremenskom trenutku, b_0^* i L_0^* - vrednosti parametara na početku sušenja.

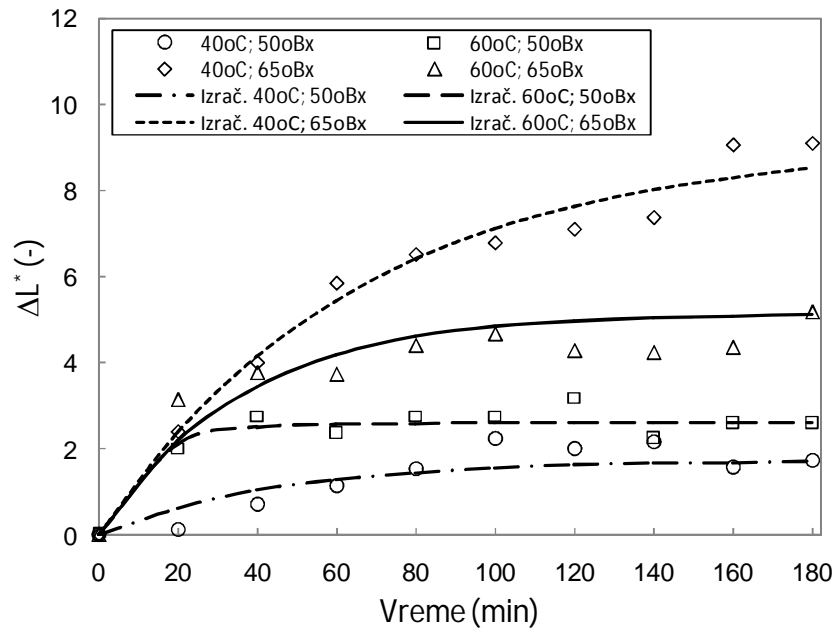
Ovim modelom eksplicitno su izračunate vrednosti promene parametara boje Δb^* i ΔL^* :

$$\Delta b^* = b^* - b_0^* = b_e^* + (b_o^* - b_e^*) \exp(-k_c t) - b_0^* \quad (5.20)$$

$$\Delta L^* = L^* - L_0^* = L_e^* + (L_o^* - L_e^*) \exp(-k_c t) - L_0^* \quad (5.21)$$



Slika 5.35. Promene vrednosti Δb^* uzorka dunje tokom osmotskog sušenja



Slika 5.36. Promene vrednosti ΔL^* uzorka dunje tokom osmotskog sušenja

Vrednosti promene boja izmerene u eksperimentu prikazane su tačkama, a izračunate linijama. Uticaj temperature i koncentracije osmotskog rastvora na promenu žute (Δb^*) boje je očigledan. Vrednost Δb^* raste sa povišenjem temperature i koncentracije. Porast Δb intenzivniji je pri većim koncentracijama. Vrednosti ΔL^* takođe rastu sa povišenjem temperature i koncentracije osmotskog rastvora. Intenzivnije promene izmerene su u prvih 60 minuta sušenja. Slično promenama žute boje i ovde je evidentan veći uticaj koncentracije osmotskog rastvora.

5.5. Hemijska i senzorska analiza

Hemijska analiza

Kao dodatak osnovnim istraživanjima obavljeno je merenje sadržaja pektina i ukupnih fenola u uzorcima dunje nakon kombinovanog sušenja. Rezultati ovih merenja treba da doprinesu sveobuhvatnijem razumevanju promena fizičkih i organoleptičkih osobina sušene dunje.

Promene teksture i strukture voća i povrća do kojih dolazi tokom procesa prerade često se objašnjavaju promenama u sadržaju pektina. Degradacija pektina može biti enzimska i hemijska (Van Buren, 1979; Waldron i sar, 2003). Dunja kao sirovina bogata je pektinskim materijama. Enzimski sistem voća generalno je bogat između ostalog i pektolitičkim enzimima. Jedan od efekata njihovog dejstva jeste i kataliza hidrolize pektinskih materija. Opšte je poznata činjenica da ovi enzimi imaju najintenzivnije delovanje na temperaturama vazduha od 40-50°C i da se povišenjem temperature okruženja njihova aktivnost smanjuje (Tepić, 2012). Na osnovu ovih činjenica može se pretpostaviti da temperatura osmotskog rastvora od 60°C umanjuje aktivnost pektolitičkih enzima, te je sadržaj pojedinih frakcija pektinskih materija viši u poređenju sa uzorcima tretiranim na 40°C. Sadržaj pektina u sušenoj dunji prikazan je u tabeli 5.22. Sadržaj pektina kod sveže dunje sorte leskovačka iznosi oko 2%. Sharma i sar, (2011) utvrdili su takođe manji udeo pektina u džemu (1,20%) i želeu (1,32%) od dunje, u odnosu na sadržaj u svežoj dunji (1,8%).

Tabela 5.22. Sadržaj pektina i ukupnih fenola u sušenoj dunji

Tretman	Parametri	Pektin (%)	Ukupni fenoli GAE/100g
1	40°C; 50°Bx	0,79	558
2	60°C; 50°Bx	1,06	653
3	40°C; 65°Bx	0,92	676
4	60°C; 65°Bx	0,94	841
-	Bez OS	0,69	774

Na osnovu rezultata u tabeli 5.22 može se reći da su razlike u sadržaju pektina među tretmanima male. Takve male razlike nisu mogle da utiču na ustanovljene razlike u mehaničkim osobinama uzoraka dunje. Pored faktora ispitivanih u radu, postoje i drugi unutrašnji faktori koji utiču na strukturalna i teksturalna svojstva voća i povrća, i to su: hemijski sastav zida ćelije, organizacija i interakcija makromolekula, enzimi koji su u vezi sa ćelijskim zidom kao na primer

pektinaza, sadržaj celuloze, geometrijske osobine ćelije kao što su oblik i veličina, količina i raspored međućelijskog prostora, proporcije i uređenje specijalizovanih tkiva kao što su na primer vaskularni snopovi i dr. (Van Buggenhout i sar, 2009).

Sadržaj fenolnih jedinjenja kod velikog broja voćnih vrsta doprinosi postojanju senzornih osobina kao što su gorčina i oporost (Macheix i sar, 1990). Oporost je jedna od osobina zbog koje se dunja ne konzumira sveža. Međutim, poznato je da toplotni tretmani utiču na gubitak oporosti kod voća. Sadržaj ukupnih fenola u uzorcima sušene dunje prikazan je u tabeli 5.15. U sušenoj dunji izmeren je sadržaj fenola u od 558 do 841 mg GAE/100 g uzorka. Najviši sadržaj izmeren je u uzorku 4 i iznosi 841 mg GAE/100 g. Najniži sadržaj izmeren je u uzorku 1 i iznosi 558 mg GAE/100 g. Sadržaj fenola u drugom i trećem uzorku bio je sličnih vrednosti. Sadržaj ukupnih fenola viši je u poređenju sa sadržajem ukupnih fenola u sušenoj kajsiji 248 mg/100 g, sušenoj breskvi 283 mg/100 g, sušenom grožđu 372 mg/100 g, ali niži ili podjednak u poređenju sa sušenom kruškom 679 mg/100 g, sušenom šljivom 788-1195 mg/100 g, urmom 661 mg/100 g, brusnicom 870 mg/100 g (Alasalvar i Shahidi, 2013).

Navedeni proizvodi koriste se za direktnu konzumaciju. U poređenju sa navedenim sušenim voćem i sadržajem fenola, količina fenola u sušenoj dunji neće uticati na pojavu oporosti i takav proizvod može se smatrati pogodnim za konzumiranje. Drugi faktor koji utiče na smanjenje oporosti sušene dunje je količina šećera koja se zadržava na proizvodu nakon osmotskog sušenja.

Senzorska analiza

Rezultati senzorske analize prikazani su u tabeli 5.23. Senzorske osobine uzoraka dunje ocenjene su panelom od osam ocenjivača obučenih u skladu sa standardom ISO 8586:2012. Uzorci dunje su ocenjeni niskim intenzitetom gorčine, oporosti i odsustva ukusa. Ovakvi rezultati mogu se smatrati veoma dobrim jer ove senzorske osobine imaju negativan uticaj na prihvatljivost proizvoda. Čak ni uzorci koji nisu osmotski sušeni zadovoljavajuće su ocenjeni po pitanju ove tri osobine. Međutim, ovi uzorci imaju najvišu ocenu za oporost. Udeo sahara koji se zadržava na uzorku nakon osmotskog sušenja uticao je na smanjenje intenziteta oporosti kod osmotski sušenih uzoraka. Među osmotski sušenim uzorcima, najvišu ocenu za oporost dobio je uzorak 4. Kod ovog uzorka je izmeren i najviši sadržaj ukupnih fenola. Ostale senzorske osobine ocenjene su zadovoljavajuće. Osmotski sušeni uzorci imaju visoke ocene za postojanje arome dunje. Uzorci bez osmotskog predtretmana ocenjeni su značajno lošije po pitanju prisustva arome dunje. Ovakve ocene potvrđuju jedan opšti stav velikog broja ljudi koji su probali voće

koje je sušeno sa osmotskim predtretmanom i stav istraživača o uticaju osmotskog sušenja na očuvanje isparljivih komponenti arome (Akbarian, 2014). Uzorci bez osmotskog predtretmana dobili su nižu ocenu po pitanju slatkoće, ali višu po pitanju kiselosti. Ovakve ocene su, naravno, u vezi sa saharozom koja se zadržala u voću nakon osmotskog sušenja. Najvišu ocenu za slatkoću dobio je uzorak 2, iako je najveće povećanje suve materije izmereno kod uzorka 4. Razlike u količini saharoze koja se zadržava na voćnom tkivu nisu bile dovoljne da dovedu do različitog intenziteta slasti uzoraka dunje. Na osnovu svih rezultata senzorske analize, može se reći da uzorak 2 ima najbolje ocene kvaliteta. Senzorska analiza često je primenjivan način ocene kvaliteta prehrambenih proizvoda. Azoubel i sar, (2009) u istraživanjima kvaliteta osmotski sušenog ploda indijskog oraha (cashew apple) ocenjuju slatkoću sa 6 na skali od 0 do 9. Plod indijskog oraha karakteriše oporost. Statističkom analizom dobijenih podataka nisu utvrđene razlike između senzorskih osobina sušene dunje.

Tabela 5.23. Rezultati senzorske analize

Treatman (uzorak)	Parametri	Slatkoća	Gorčina	Oporost	Kiselost	Strani ukus	Aroma dunje
1	50°Bx, 40°C	4,50	0,19	0,58	3,24	0,32	5,66
2	50°Bx, 60°C	5,04	0,15	0,24	2,46	0,00	6,04
3	65°Bx, 40°C	4,82	0,04	0,45	3,62	0,27	6,17
4	65°Bx, 60°C	4,68	0,17	0,66	3,43	0,29	5,56
-	Bez OS	1,66	0,32	1,45	5,50	0,33	3,03

ZAKLJUČAK

POGLAVLJE

6

6. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljena analiza uticaja osmotskog sušenja na fizičke osobine dunje. Pored fizičkih osobina kao osnove istraživanja, obavljena su dodatna ispitivanja hemijskih i senzorskih osobina radi potpunijeg sagledavanja problema. Smisao ovih analiza je u tome, što je ispitivana sušena dunja finalni proizvod za konzumaciju.

Na osnovu rezultata obavljenih analiza mogu se doneti sledeći zaključci:

- Povišenjem temperature osmotskog rastvora u opsegu od 40°C do 60°C i koncentracije osmotskog rastvora u opsegu od 50°Bx do 65°Bx intenzivira se proces razmene materije tokom 180 minuta sušenja dunje. Najveće promene vlažnosti i povećanja suve materije izmerene su pri najvišim vrednostima faktora eksperimenta. Analizom varijanse potvrđen je statistički značajan uticaj temperature i koncentracije osmotskog rastvora na promenu vlažnosti dunje. U slučaju povećanja suve materije analiza varijanse pokazuje statistički značajan uticaj koncentracije i interakcije koncentracije i temperature na ispitivanu veličinu. Najintenzivnije promene vlažnosti i povećanja suve materije izmerene su u prvih 20 minuta osmotskog sušenja.

- Promena oblika uzorka dunje u formi kocke, tokom osmotskog sušenja je anizotropna. Ovakva promena oblika nastaje zbog neuniformne orijentacije biljnih vlakana. Promena zapremine kockica tokom 180 minuta osmotskog sušenja zavisi od odnosa razmene materije. Uticaj razmenjene količine materije na zapreminu uzoraka dunje potvrđen je izvođenjem jednačine 5.11. Različito smanjenje zapremine izmereno je pri sličnim vlažnostima uzoraka. Najveća promena zapremine izmerena je pri osmotskom sušenju najvišim vrednostima temperature i koncentracije osmotskog rastvora. Nakon konvektivnog sušenja slične vrednosti promene zapremine ($SV=68,97\pm 1,19$) izmerene su pri sličnim vlažnostima uzoraka ($23,68\pm 0,7\%$). Pri vlažnostima uzoraka dunje nižim od 30% promena zapremine ne zavisi od odnosa razmene materije voda - saharoza. Količina saharoze koja se nalazi u tkivu ima dovoljno prostora nastalog zbog difuzije vlage, da ne utiče na zapreminu uzorka. Na uzorcima dunje koji nisu podvrgnuti osmotskom predtretmanu izmerena je veća promena zapremine 82,63%, pri vlažnosti od 23,01%. Ovakav rezultat ukazuje da saharoza koja se zadržava u tkivu dunje utiče na promenu zapremine.

- Mehaničke osobine dunje tokom osmotskog sušenja predstavljene su sa dva pokazatelja, otpornošću na razaranje i modulom elastičnosti. Otpornost na razaranje je u ovoj tezi originalno predstavljena f parametrom. Disperzionom analizom utvrđen je uticaj temperature osmotskog rastvora na mehaničke osobine dunje. Temperatura rastvora od 60°C izaziva omekšavanje tkiva

dunje, ali bez deformacije oblika uzorka. Omekšavanje tkiva dunje pozitivno utiče na tvrdoću krajnjeg proizvoda. Kao drugi pokazatelj mehaničkih osobina upotrebljen je modul elastičnosti. Promene modula elastičnosti slične su promenama f parametra. Na osnovu promena oba pokazatelja može se doneti isti zaključak o uticaju faktora eksperimenta na mehaničke osobine tkiva dunje.

- Osmotski rastvor koncentracije 65°Bx dovodi do veće promene boje dunje nakon 180 minuta osmotskog sušenja, u odnosu na rastvor koncentracije 50°Bx. Pozitivno dejstvo osmotskog tretmana ogleda se u očuvanju boje dunje nakon konvektivnog sušenja. Saharozna koja se zadržava na površini uzoraka dunje predstavlja barijeru između materijala i vazduha i sprečava tamnjenje tkiva.

- Senzorskim analizama obavljenim panelnim ispitivanjem, uzorci tretirani osmotskim rastvorom ocenjeni su kao kvalitetniji od onih samo konvektivno osušenih. Međutim, svi uzorci ocenjeni su niskim intenzitetom gorčine, oporosti i stranog ukusa. Ovakvi rezultati mogu se smatrati veoma dobrim jer su ove senzorske osobine od velikog uticaja na prihvatljivost proizvoda. Za razliku od osmotski tretiranih uzoraka, uzorci samo konvektivno osušeni ocenjeni su nižim ocenama po pitanju prisutnosti arome dunje i slasti.

- Regresionom analizom rezultata merenja promene vlažnosti, zapremine i boje dobijeni su empirijski modeli koji opisuju merene veličine tokom osmotskog sušenja. Jednačine odabrane za modelovanje promene vlažnosti proširene su uticajnim faktorima u bezdimenzionalnom obliku

$\left(\frac{t_r}{t_{r(ref)}}\right)^{n_1} \cdot \left(\frac{C_r}{C_{r(ref)}}\right)^{n_2}$. Proširenjem matematičkih modela postiže se njihova univerzalnost u opsegu

temperatura osmotskog rastvora između 40°C i 60°C i koncentracija osmotskog rastvora između 50°Bx do 65°Bx. Uspešnost modela potvrđena je visokim vrednostima koeficijenta korelacije i niskim vrednostima srednje procentualne greške. Promenu vlažnosti uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja najbolje opisuje matematički model *Wang and Singh-prošireni* (polinom drugog reda) (jednačina 5.5). Matematički modeli odabrani za predviđanje promene zapremine, ocenjeni su veoma visokim vrednostima koeficijenta korelacije (jed. 5.14 - 5.17).

Poređenjem rezultata kvantitativnih i kvalitativnih analiza može se zaključiti da osmotsko sušenje kao predtretman konvektivnom sušenju pozitivno utiče na kvalitet sušene dunje kao finalnog proizvoda. Primena osmotskog predtretmana utiče na očuvanje arome i poboljšanje ukusa sušene dunje. Pored toga utiče na očuvanje zapremine i poboljšanje teksture proizvoda. Na osnovu rezultata celokupne analize, može se zaključiti da je primena osmotskog predtretmana poželjna i preporučuje se prilikom sušenja dunje.

LITERATURA

POGLAVLJE

7

1. Abbott J.A., and Harker R.F. (2004). Texture. The horticulture and Food Research Institute of New Zealand Ltd. Mt. Albert Research Centre, Auckland, New Zealand.
2. Abbott, J.A. and Lu. R. (1996). Anisotropic mechanical properties of apples. *Trans American Society of Agriculture Engineering*, 39, 1451-1459.
3. Abbott, J.A., Lu, R., Upchurch, B.L., Stroshine, R.L. (1997). Technologies for nondestructive quality evaluation of fruits and vegetables. *Horticultural Review*. 20, 1-120.
4. Adam, E., Mühlbauer, W., Esper, A., Wolf, W., Spiess, W. (2000). Quality changes of onion (*Allium cepa* L.) as affected by the drying process. *Food/Nahrung*, 44(1), 32–37.
5. Aguilera, J.M., Cuadros, T.R., del Valle, J.M. (1998). Differential scanning calorimetry of low-moisture apple products. *Carbohydrate Polymers*, 37, 79-86.
6. Ahmed, J., Kaur, A., Shivhare, U. (2002). Color degradation kinetics of spinach, mustard leaves, and mixed puree. *Journal of Food Science*, 67 (3), 1088–1091.
7. Akbarian, M., Ghasemkhani, N., Moayedi, F. (2014). Osmotic dehydration of fruit in food industrial: A review. *International journal of bioscience*, 4 (1), 42-57.
8. Alasalvar, C., Shahidi, F. (2013). *Dried Fruits: Phytochemicals and Health Effects*. Wiley-Blackwell.
9. Argaiz, A., Lopez-Malo, A., Palou, E., Welti, J. (1994). Osmotic dehydration of papaya with corn syrup solids. *Drying Technology*, 12 (7), 1709-1725.
10. Arslan, D., Özcan, M. (2010). Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L.): change in drying behavior; color and antioxidant content. *Food and Bioproducts Processing*, 89 (4), 504–513.
11. Asadi, M. (2006). *Beet-Sugar Handbook*, John Wiley & Sons, USA.
12. Avila, I.M.L.B. Silva, C.L.M. (1999). Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. *Journal of Food Engineering*, 39, 161-166.
13. Azoubel, P.M., El-Aouar, A.A., Tonon, R.V., Kurozawa, L.E., Antonio, G.C., Murr, F.E.X. Park, K.J. (2009). Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 980–986.
14. Azuara, E., Cortes, R., Garcia, H.S., Beristain, C.I. (1992). Kinetic-model for osmotic dehydration and its relationship with fick 2nd law, *International Journal of Food Science and Technology*, 27 (4), 409-418.
15. Babić, Ljiljana (1989). Uticaj nekih hibrida kukuruza na brzinu sušenja sloja zrna debljine 100-300 mm, Doktorska disertacija, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagerb.

16. Babić, Ljiljana, Babić, M. (2012). Sušenje i skladištenje (drugo izdanje), Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
17. Babić, Ljiljana, Babić, M., Pavkov, I. (2004). Uticajni faktori na promenu vlažnosti polutki kajsijske pri osmotskom sušenju, *Savremena poljoprivredna tehnika*, Novi Sad, 30 (3-4), 117-126.
18. Babić, Ljiljana, Babić, M., Pavkov, I. (2007). The Quality Indicators of Osmotic Dried Apricot (*Prunus armeniaca*), *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 72 (4), 335-341.
19. Babić, M. (1995). Istraživanje uticaja osnovnih fizičkih osobina zrna pšenice na karakteristike strujanja vazduha kroz nasuti sloj. Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 96.
20. Babić, M., Babić, Ljiljana, Pavkov, I. (2004). Maseni i energetske bilansi sušenja kajsijske, *Savremena poljoprivredna tehnika*, Novi Sad, 30 (3-4), 127-133.
21. Babić, M., Babić, Ljiljana, Pavkov, I. Radojčin, M. (2008). Changes in physical properties through osmotic drying of quince (*Cydonia oblonga* mill.). *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 12, 101-107.
22. Babić, M., i Babić, Ljiljana (2010). Fizičke osobine poljoprivrednih materijala (autorizovana predavanja), Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
23. Barreiro, J., Milano, M., Sandoval, A. (1997). Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 33 (3-4), 359-371.
24. Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50 (5), 369-389.
25. Ben-Arie, R. and S. Lavee. (1971). Pectic changes occurring in Elberta peaches suffering from woolly breakdown. *Phytochemistry*, 10, 531-538.
26. Bolin, H.R., Huxsoll, C.C., Jackson, R. (1983). Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. *Journal of Food Science*, 48 (1), 202-205.
27. Bourne, M.C. (1965). Studies on punch testing of apples. *Food Technology*, 19, 413-415.
28. Bourne, M.C. (1968). Texture profile of ripening pears. *Journal of Food Science*, 33, 223-226.
29. Bourne, M. C. (1980). Texture evaluation of horticultural crops. *Horticulture Science*, 15, 51-57.
30. Bourne, M.C. (2002). *Food Texture and Viscosity*. (2nd ed.). Elsevier Science, London.

31. Bulatović, S. (1980). Voćarstvo. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd.
32. Cárcel, J., García-Pérez, J., Sanjuán, N., Mulet, A. (2010). Influence of pre-treatment and storage temperature on the evolution of the colour of dried persimmon. *LWT- Food Science and Technology*, 43 (8), 1191–1196.
33. Carpita, N.C. and D.M. Gibeaut (1993). Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. *Plant Journal*, 3, 1-30.
34. Chang, D.N. (1987). Asparagus. In: J. Weichmann (ed) *Postharvest physiology of vegetables*. M. Dekker, NY, pp. 523-525.
35. Changrue, V., Orsat, V., Raghavan, G.S.V. (2008). Osmotically dehydrated microwave-vacuum drying of strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32 (5), 798-816.
36. Chen, P., Sun. Z. (1991). A review of non-destructive methods for quality evaluation and sorting of agricultural products. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 49, 85-98.
37. Chiralt A., Martínez-Navarrete, N., Martínez-Monzó, J., Talens, P., Moraga, G., Ayala, A., Fito, P. (2001). Changes in mechanical properties throughout osmotic processes. Cryoprotectant effect. *Journal of Food Engineering*, 49, 129-135.
38. Clydesdale, F. M. (1978). Colorimetry—methodology and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 10 (3), 243–301.
39. Conway, W.S., Sams, C.E., Wang, C.Y., Abbott. J.A. (1994). Additive effects of postharvest calcium and heat treatment on reducing decay and maintaining quality in apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119, 49-53.
40. Corzo, O., Bracho, N. (2005). Osmotic dehydration kinetics of sardine sheets using Zugarramurdi and Lupin model. *Journal of Food Engineering*, 66 (1), 51-56.
41. Corzo, O., Bracho, N., Alvarez, C. (2008). Water effective diffusion coefficient of mango slices at different maturity stages during air drying, *Journal of Food Engineering*, 87 (4), 479-484.
42. Costa, C., Antonucci, F., Pallottino, F., Aguzzi, J., Sun, D., Menesatti, P. (2011). Shape analysis of agricultural products: a review of recent research advances and potential application to computer vision. *Food and Bioprocess Technology*, 4 (5), 673–692.
43. Davidson M.W. (2006). Plant cell wall. Available from: <http://micro.magnet.fsu.edu/cells/plants/cellwall.htm>. Accessed Feb 9, 2009.

44. De Belie, N., Hallett, I.C., Harker, F.R., De Baerdemaeker, J. (2000). Influence of ripening and turgor on the tensile properties of pears: A microscopic study of cellular and tissue changes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125, 350-356.
45. Demirhan, E., Ozbek, B. (2009). Color change kinetics of microwave-dried basil. *Drying Technology*, 27 (1), 156–166.
46. Diamente, L., M., Ihns, R., Savage, P.,G., Vanhanen, L. (2010). A New Mathematical Model for Thin Layer Drying of Fruits, *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 1956-1962.
47. Diehl, K.C. and D.D. Hamann (1979). Relationships between sensory profile parameters and fundamental mechanical parameters for raw potatoes, melons and apples. *Journal of Texture Studies*, 10, 401-420.
48. Dixon, G.M., Jen, J.J., Paynter. V.A. (1976). Tasty apple slices result from combined osmotic dehydration and vacuum-drying process. *Food Product Development*, 10.
49. Escriche, I., Garcia-Pinchi, R., Carot, J.M., Serra, J.A. (2002). Comparison of must and sucrose as osmotic solutions to obtain high quality minimally processed kiwifruit (*Actinida chinensis*, P.) slices. *International Journal of Food Science and Technology*, 37, 87-95.
50. Falade, K.O., Shogaolu, O.T. (2009). Effect of pretreatments on air-drying pattern and color of dried pumpkin (*cucurbita maxima*) slices. *Journal of Food Process Engineering*, 33, 1129–1147.
51. Faruk O. Kubilay V. (2005). Some physical, mechanical and aerodynamic properties of pine (*Pinus pinea*) nuts, *Journal of Food Engineering*, 68, 191-196.
52. Fathollahzadeh H. Rajabipour A. (2008). Some mechanical properties of barberry. *International Agrophysics*, 22, 299-302.
53. Fernandes F.A.N., Gallão M.I., Rodrigues S. (2008). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT – Food Science and Technology*, 41, 604-610.
54. Ferrari C.C. Hubinger M.D. (2008). Evaluation of the mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 2065-2074.
55. Figura, L. O., Teixeira, A. A. (2007). *Food physics: physical properties-measurement and application*. New York: Springer.
56. Fito, P. (1994). Modeling of Vacuum Osmotic Dehydration of Food. *Journal of Food Engineering*, 22, 313-328.

57. Francis, F. (1980). Colour quality evaluation of horticultural crops. *Horticultural Science*, 15 (1), 4–15.
58. Francis, F. J. (1995). Quality as influenced by color. *Food Quality and Preference*, 6 (3), 149–155.
59. Frias, A., Clemente, G. And Mulet, A. (2010). Potato Shrinkage During Hot Air Drying. *Food Science Technology International*. 16, 337–341.
60. Gerelt, B, Ikeuchi, Y., Suzuki, A. (2000). Meat tenderization by proteolytic enzymes after osmotic dehydration. *Meat Science*, 56 (3), 311-318.
61. Giangiacomo, R., Torreggiani, D., Abbo, E. (1987). Osmotic dehydration of fruit. Part I: sugar exchange between fruit and extracting syrup. *Journal of Food Processing and Preservation*, 11, 183-195.
62. Giovannoni, J.J., Della Penna, D., Bennett, A.B., Fischer, R.L. (1989). Expression of a chimeric polygalacturonase gene in transgenic rin (ripening inhibitor) tomato fruit results in polyuronide degradation but not fruit softening. *Plant Cell* 1, 53-63.
63. Glenn, G.M., Poovaiah. B.W. (1990). Calcium-mediated postharvest changes in texture and cell wall structure and composition in 'Golden Delicious' apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115, 962-968.
64. Gonzalez-Gomez D., Lozano M., Fernandez-Leon M.F., Bernalte M.J., Ayuso M.C., Rodriguez A.B. (2010). Sweet cherry phytochemicals: Identification and characterization by HPLC-DAD/ESI-MS in sweet-cherry grown in Valle del Jerte (Spain). *Journal of Food Composition and Analysis*, 23, 533–539.
65. Granato, D., Masson, M. L. (2010). Instrumental color and sensory acceptance of soy-based emulsions: a response surface approach. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30 (4), 1090–1096.
66. Greve, L.C., Shackel, K.A., Ahmadi, H., McArdle, R.N., Gohlke, J.R., Labavitch, J.M. (1994). Impact of heating on carrot firmness: contribution of cellular turgor. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 42, 2896-2899.
67. Grossman, R. L., Wisenblit, J. Z. (1999). What we know about consumers' color choices. *Journal of Marketing Practice: Applied Marketing Science*, 5 (3), 78–88.
68. Guine, R. P. F. Barroca, M.J. (2012). Evaluation of browning rate of quince at ambient exposure. 6th Central European Congress on Food, CEFood 2012, Novi Sad, Serbia.
69. Gvozdenović, D. (2007). Gusta sadnja jabuke, kruške i dunje, Prometej, Novi Sad.
70. Hamson, A.R. (1952). Measuring firmness of tomatoes in a breeding program. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 60, 425-433.

71. Harker, F.R., Redgwell, R.J., Hallett, I.C., Murray, S.H. (1997). Texture of fresh fruit. *Horticultural Review*, 20, 121-224.
72. Harris, P.J., Robertson, A.M., Watson, M.E., Triggs, C.M., Ferguson, L.R. (1993). The effects of soluble-fiber polysaccharides on the adsorption of a hydrophobic carcinogen to an insoluble dietary fiber. *Nutrition and Cancer*, 19, 43-54.
73. Hassini, L., Azzouz, S., Peczalski, R., Belghith, A. (2007). Estimation of potato moisture diffusivity from convective drying kinetics with correction for shrinkage. *Journal of Food Engineering*, 79, 47-56.
74. Hatamipour, M., S., Mowla, D. (2002). Shrinkage of Carrots During Drying in an Inert Medium Fluidised Bed, *Journal of Food Engineering*, 55 (3), 247-252.
75. Hatfield, S.G.S., Knee, M. (1988). Effects of water loss on apples in storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 23, 575-585.
76. Hawkes, J., Flink, J.M. (1978). Osmotic dehydration of fruit slices prior to freeze dehydration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2, 265-284.
77. Hoover, M.W., Miller, N.C. (1975). Factors influencing impregnation of apple slices and development of a continuous process. *Journal of Food Science*, 40 (4), 698-700.
78. Hričovský, I., Řezníček, V. Sus, J. (2003). Jabloně a hrušně, kdouloně, mišpule. pp. 53-54. *Priroda*, Bratislava.
79. Hunter, R. S., Harold, R. W. (1987). *The measurement of appearance*. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience.
80. Hussian, I., Iqbal, M., Arub, N. (2004). Effect of sucrose and glucose mixture on the quality characteristics of osmotically dehydrated banana slices. *Pakistan Journal of Nutrition*, 46, 83-92.
81. Ibarz, A., Pagan, J. Garza, S. (1999). Kinetic models for colour changes in pear puree during heating at relatively high temperatures. *Journal of Food Engineering*, 39, 415-422.
82. Islam, M.N., Flink, J.M. (1982). Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behavior. *Journal of Food Technology*, 17, 387-403.
83. Ispir, A., Togrul, T.I. (2009). Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemical Engineering Research and Design*, 78, 166- 180.
84. Jackson, T.H., Mohamed, B.B. (1971). The shambat process: new development arising from the osmotic dehydration of fruits and vegetables. *The Sudan Journal of Science and Technology*, 3, 18-22.
85. Jaliliantabar, F., Lorestani, A.N., Gholami, R. (2013). Physical properties of kumquat fruit. *International Agrophysics*, 27, 107-109.

86. Jančić, R. (2004). Botanika farmaceutika, dugo dopunjeno izdanje, Javno preduzeće Službeni list SCG, Beograd, 272.
87. Jovanović-Malinovska, R., Veličkova, E., Kuzmanova, S., Winkelhausen, E. (2012). Development of a quince snack enriched with inulin and stevia. 6th Central European Congress on Food, CEFood2012, 68-73.
88. Kader, A.A., Morris, L.L., Chen, P. (1978). Evaluation of two objective methods and a subjective rating scale for measuring tomato fruit firmness. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 103, 70-73.
89. Kähkönen M.P., Hopia A.I., Vuorela H.J., Rauha J.P., Pihlaja K., Kujala T.S. (1999). Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 3954–3962.
90. Kastori, R. (1998). Fiziologija biljaka, Feljton, Novi Sad. s. 527.
91. Kaymak-Ertekin, F., & Gedik, A. (2005). Kinetic modelling of quality deterioration in onions during drying and storage. *Journal of Food Engineering*, 68 (4), 443–453.
92. Khan, A.A., Vincent, J.F.V. (1993). Compressive stiffness and fracture properties of apple and potato parenchyma. *Journal of Texture Studies*, 24, 423-435.
93. Koc, B., Eren, I. And Ertekin, F.K. (2008). Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Journal of Food Engineering*, 85, 340–349.
94. Kojić, M., Pekić, S. (1998). Botanika, Izdavačko preduzeće „Nauka“, Beograd. s. 523.
95. Kowalska, H., Lenart, A., Leszczyk, D. (2008) The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 86, 30– 38.
96. Kowalski, S., Mierzwa, D. (2011). Influence of preliminary osmotic dehydration on drying kinetics and final quality of carrot (*daucus carota* l.). *Chemical and Process Engineering*, 32 (3), 185-194.
97. Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maroulis, Z. B. (2000). Compression analysis of dehydrated agricultural products. *Drying Technology*, 18 (1–2), 395–408.
98. Krokida, M.K., Maroulis, Z.B. (1997). Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology*, 15 (10), 2441-2458.
99. Krokida, M.K., Maroulis, Z.B. And Marinos-Kouris, D. (1998). Effect of drying method on physical properties of dehydrated products. In *Proceedings of the 11th International Drying Symposium (IDS'98)*, Halkidiki, Greece.

100. Labuza, T.P. (1970). Properties of water as related to the keeping quality of foods. In Proceedings of the third Intern. Conf. Food Sci. and Technol. SOS 70. Institute of Food Technologists: Washington.
101. Lazarides, H. N. (2001). Reasons and possibilities to control solid uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. U P. Fito, A. Chiralt, J. M. Barat, W. E. Spiess, & D. Behnilian (Urednici), *Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation*. Pennsylvania, Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc.
102. Lazarides, H. N. (2001). Reasons and possibilities to control solid uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. U P. Fito, A. Chiralt, J. M. Barat, W. E. Spiess, D. Behnilian, *Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation*. Pennsylvania, Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc.
103. Lazarides, H.N., Gekas, V., Mavroudis, N. (1997). Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing. *Journal of Food Engineering*, 31, 315-324.
104. Le Maguer M (1988) Osmotic dehydration: review and future directions. Proc. Int. Symp. On progress in food preservation organized by CERIA, Centre of Education and Research on Food and Chemical Industries, Brussels, Belgium, April 12–14.
105. Le Maguer, M. (1996). Mass transfer modeling in structured foods, in Barbosa-Cánovas G, Fito P, Ortega-Rodriguez, E. (Eds.), *Food Engineering 2000*, Chapman and Hall, New York, NY, 253-270.
106. Le Maguer, M., Shi, J., Fernandez, C. (2003). Characterization of mass transfer behaviour of plant tissues during osmotic dehydration. *Food Science and Technology International*, 9, 187-192.
107. Lee, H. S. (2000). Objective measurement of red grapefruit juice color. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (5), 1507–1511.
108. Leemans, V., Magein, H., & Destain, M. F. (1998). Defects segmentation on 'Golden Delicious' apples by using colour machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 20 (2), 117–130.
109. Lenart, A., Flink, J.M. (1984). Osmotic concentration of potato, 2. spatial-distribution of the osmotic effect, *Journal of Food Technology*, 19 (1), 65-89.
110. Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., Leon, J. (2006). Color measurement in L* a* b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39 (10), 1084–1091.
111. Lerici, C.R., Pinnavia, G., Rosa, M.D., Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality process. *Journal Food Technology*, 7, 147-155.

112. Lewicki, P.P., Jakubczyk, E. (2004). Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. *Journal of Food Engineering*, 64, 307-314.
113. Lewicki, P.P., Pawlak, G. (2003). Effect of drying on microstructure of plant tissue. *Drying Technology*, 21(4), 657–683.
114. Lewicki, P.P., Lenart, A. (2006). Osmotic dehydration of fruits and vegetables. U A. S. Mujumdar (Ur.), *Handbook of Industrial Drying* (3 izd.). Taylor & Francis Group, LLC.
115. Lewicki, P.P., Lenart, A. (1995). Osmotic dehydration of fruits and vegetables. In A.S. Mujumdar (Ed.), *Handbook of Industrial drying* (2nd Ed.) (691-713). Marcel Dekker Inc.: New York. revisar año. Caps 1.1 y 1.2.
116. Lewicki, P.P., Porzecka-Pawlak, R. (2005). Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure, *Journal of Food Engineering*, 66 (1), 43-50.
117. Lewicki, P.P., Lukaszuk, A. (2000). Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying. *Journal of Food Engineering*, 45(3), 119-126.
118. Lin, T.T., Pitt, R.E. (1986). Rheology of apple and potato tissue as affected by cell turgor pressure. *Journal of Texture Studies*, 17, 291-313.
119. Lipton, W.J. (1990). Postharvest biology of fresh asparagus. *Horticultural Review*, 12, 69-155.
120. Lozano, J.E., Ibarz, A. (1997). Colour changes in concentrated fruit pulp during heating at high temperatures. *Journal of Food Engineering*, 31, 365-373.
121. Lozano, J.E., Rotstein, E., Urbicain, M.J. (1980). Total porosity and open porosity in the drying of fruits. *Journal of Food Engineering*, 45, 1403–1407.
122. Lozano, J.E., Rotstein, E., Urbicain, M.J. (1983). Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. *Journal of Food Science*, 48, 1497–1502.
123. Lurie, S. (2009). Quality parameters of fresh fruit and vegetable at harvest and shelf life. In M. Zude (Ed.), *Optical monitoring of fresh and processed agricultural crops* (pp. 2–16). Boca Raton: CRC.
124. Macheix J.J., Fleuriet, A., Billot, J. (1990). *Fruit Phenolics*. Boca Raton, USA: CRC Press.
125. Magee, T.R.A., Hassaballah, A.A. Murphy, W.R. (1983). Internal mass transfer during osmotic dehydration of apple slices in sugar solutions. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 7, 147-155.
126. Martinić, E. (2010). *Dunja*. Partenon, Belgrade.
127. Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48 (2), 169–175.

128. Mayor, L., Cunha, R.L., Sereno, A.M. (2007). Relation between mechanical properties and structural changes during osmotic dehydration of pumpkin, *Food Research International*, 40 (4), 448-460.
129. Mayor, L., Moreira, R., Chenlo, F., Sereno, A. M. (2006). Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions. *Journal of Food Engineering*, 74 (2), 253-262.
130. Mayor, L., Sereno, A.M. (2004). Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*, 61 (3), 373-386.
131. Mayor, L.L. (2006). Characterization and modelling of structural changes in fruits and vegetable tissue submitted to dehydration processes. Phd Thesis, Department of Chemical Engineering of the University of Porto, Portugal.
132. Medina-Torres, L., Gallegos-Infante, J.A., Gonzalez-Laredo, R.F., Rocha-Guzman, N.E. (2008). Drying kinetics of nopal (*Opuntia ficus-indica*) using three different methods and their effect on their mechanical properties. *LWT Food Science and Technology*, 41, 1183-1188.
133. Meléndez-Martínez, A., Vicario, I., Heredia, F. (2005). Instrumental measurement of orange juice colour: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85 (6), 894–901.
134. Milić, D., Radojević, V. (2003). Proizvodno ekonomska i upotrebna vrednost voća i grožđa. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 40-44.
135. Mohsenin, N.N. (1986). *Physical properties of plant and animal materials*. 2nd Ed. Gordon and Breach Science Publ., NY.
136. Moreira, R., Figueiredo, A., Sereno, A. (2000). Shrinkage of apple disks during drying by warm air convection and freeze drying. *Drying Technology*, 18 (1-2), 279-294.
137. Moreira, R., Sereno, A.M. (2003). Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and nonstatic conditions. *Journal of Food Engineering*, 57, 25-31.
138. Mulder, M. (1996). *Basic principles of membrane technology*. Kluwer Academic publishers: Dordrecht, The Netherlands.
139. Mulet, A., Garcia-Reverter, J., Bon, J., Berna, A. (2000). Effect of shape on potato and cauliflower shrinkage during drying. *Drying Technology*, 18 (6), 1201-1219.
140. Ng, A., Waldron, K.W. (1997). Effect of steaming on cell chemistry of potatoes (*Solanum tuberosum* cv. Bintje) in relation to firmness. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 3411-3418.

141. Nieto, A.B., Salvatori, D.M., Castro, M.A. And Alzamora, S.M. (2004). Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. *Journal of Food Engineering*, 61, 269.
142. Nowacka, M., Tylewicz, U., Balestra, F., Dalla Rosa, M., Witrowa-Rajchert, D. (2013). Microstructure changes of osmodehydrated kiwifruit sliced pretreated with ultrasound. *InsideFood Symposium*, 9-12 April 2013, Leuven, Belgium.
143. Panagiotou, N., M., Karathanos, V., T., Maroulis, Z., B. (1998). Mass Transfer Modeling of the Osmotic Dehydration of Some Fruits, *International Journal of Food Science and Technology*, 33, 267-284.
144. Pantelić, I. (1984). *Primena statističkih metoda u istraživanjima i procesima proizvodnje*, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, s. 532.
145. Park, C., Lee, K. (1975). A study on influence of drying methods upon the chemical changes in red pepper: Part 2. Changes of free amino acid, free sugar. *Korean Journal of Nutrition*, 8, 33–37.
146. Park, K., J., Bin, Adriana, Brod, F., P., R., Park, Tatiane, H., K., B. (2002). Osmotic Dehydration Kinetics of Pear Danjou (*Pyrus communis* L.), *Journal of Food Engineering*, 52, 293-298.
147. Pathare P.B., Opara, U.L., Fahad, J.S. (2013). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 36–60.
148. Patras, A., Brunton, N. P., Tiwari, B., Butler, F. (2011). Stability and degradation kinetics of bioactive compounds and colour in strawberry jam during storage. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 1245–1252.
149. Pavasović, V, Stefanović, M. (1978). *Proizvodnja suvih šljiva kombinacijom osmotskog i konvektivnog sušenja*, Termotehnika, Beograd, 2, 16.
150. Pavkov, I. (2012). *Kombinovana tehnologija sušenja voćnog tkiva*. Doktorska teza. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
151. Pavkov, I., (2007). *Kinetika osmotskog sušenja kajsije*, Magistarska teza, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
152. Pavkov, I., Babić, Ljiljana, Babić, M. (2007). Matematički model kinetike osmotskog sušenja kajsije, *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, Novi Sad, 11 (3), 98 – 101.
153. Pavkov, I., Babić, Ljiljana, Babić, M., Radojčin M. (2009). Osmotic Drying of Apricot (*Prunus armeniaca*) in Sucrose Solution. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 74 (3), 253-257.

154. Pavkov, I., Babić, Ljiljana, Babić, M., Radojčin, M. (2009). Kinetics of the Combined Drying Technology of Pear Slice (*Pyrus*), *Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi*, 13 (2), 111-116.
155. Pék, Z., Helyes, L., Lugasi, A. (2010). Color changes and antioxidant content of vine and postharvest-ripened tomato fruits. *Horticultural Science*, 45 (3), 466–468.
156. Peleg, M. (1988). An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, 53, 1216–1217.
157. Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits – MiniReview. *International Food Research Journal*, 19 (1), 7-18.
158. Ponting, J. D., Watters, G. G., Forrey, R. R., Jackson, R., Stanley, W. L. (1966). Osmotic Dehydration of Fruits. *Food Technology*, 20, 125-128.
159. Ponting, J.D. (1973). Osmotic dehydration of fruits – recent modifications and applications. *Processing of Biochemistry*, 8, 18-20.
160. Pott, I., Neidhart, S., Muhlbauer, W., Carle, R. (2005). Quality improvement of non-sulphited mango slices by drying at high temperatures. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6 (4), 412–419.
161. Prinzivalli, C., Brambilla, A., Maffi, D., Lo Scalzo, R., Torreggiani, D. (2006) Effect of osmosis time on structure, texture and pectic composition of strawberry tissue. *European Food Research and Technology*, 224, 119–127.
162. Radojčin, M., Babić, M., Babić, Ljiljana, Pavkov, I., Stamenković, Z. (2013). Effects of different pretreatments on the pear colour alteration during combined technology drying. 3rd international conference sustainable postharvest and food technologies - INOPTTEP 2013 and 25th national conference processing and energy in agriculture - PTEP 2013, April 21st – 26th, 2013, Vrnjačka Banja, Serbia.
163. Radojčin, M., Babić, M., Babić, Lj., Pavkov, I., Stamenković, Z. (2014). Application of combined drying technology to fresh and prefrozen quinces. national conference processing and energy in agriculture - PTEP 2014, April 6th – 11th, 2014, Kladovo, Serbia.
164. Raghavan, G.S.V., Venkatachalapathy, K. (1999). Shrinkage of Strawberries During Microwave Drying. *Drying Technology*, 17 (10), 2309-2321.
165. Rahman, M.S. (2009). *Food Properties Handbook (Second Edition)*, Taylor & Francis Group, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
166. Rahman, N., Kumar, S. (2007). Influence of sample size and shape on transport parameters during drying of shrinking bodies. *Journal of Food Process Engineering*, 30, 186-203.

167. Rahman, S.M., Mujumdar, A.S. (2007). Effect of osmotic treatment with concentrated sugar and salt solutions on kinetics and color in vacuum contact drying, *Journal of Food Processing and Preservation*, 31 (6), 671-687.
168. Rao, V.N.M., Quintero, X. (2005). Rheological properties of solid foods. In M.A. Rao, S.S.H. Rizvi, A.K. Datta (Eds.), *Engineering Properties of Foods* (3rd. Ed.). Taylor and Francis Group: Boca Raton, US.
169. Raoult-Wack, A.L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5 (8), 255-260.
170. Raoult-Wack, A.L., Petitdemange, F., Giroux, F., Guilbert, S., Rios, G., Lebert, A. (1991). Simultaneous water and solute transport in shrinking media – Part 2. A compartmental model for dewatering and impregnation soaking processes. *Drying Technology*, 9 (3), 613-630.
171. Rastogi, N.K., Nguyen, L.T., and Balasubramaniam, V.M. (2008). Effect of pretreatments on carrot texture after thermal and pressure-assisted thermal processing. *Journal of Food Engineering*, 88 (4), 541–547.
172. Ratti, C., Mujumdar, A.S. (2005). *Drying of Fruits, Processing Fruits*, CRC press LLC, p. 562.
173. Rebouillat, S., Peleg, M. (1988). Selected physical and mechanical properties of commercial apple cultivars. *Journal of Texture Studies*, 19, 217-230.
174. Redgwell, R.J., MacRae, E., Hallett, I., Fischer, M., Perry, J., Harker, R. (1997). In vivo and in vitro swelling of cell walls during fruit ripening. *Planta* 203, 162-173.
175. Rhim, J. W., Hong, S. I. (2011). Effect of water activity and temperature on the color change of red pepper (*Capsicum annuum* L.) powder. *Food Science and Biotechnology*, 20 (1), 215–222.
176. Rodrigues, A.C.C., Cunha, R.L., Hubinger, M.D. (2003). Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. *Journal of Food Engineering*, 59, 129-135.
177. Rossello, C., Simal, S., SanJuan, N., Mulet, A. (1997). Nonisotropic mass transfer model for green bean drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 337-342.
178. Sahin, S., Sumnu, S. G. (2006). *Physical properties of foods*. New York: Springer.
179. Saputra, D. (2001). Osmotic dehydration of pineapple. *Drying Technology*, 19, 415-425.
180. Saurel, R., Raoult-Wack, A., Rios, G., Guilbert, S. (1994). Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. I Fresh plant tissue. *International Journal of Food Science and Technology*, 29, 531-537.

181. Schoorl, D., J.E. Holt. (1983). A practical method for tensile testing of apple tissue. *Journal of Texture Studies*, 14, 155-164.
182. Sharma, R., Joshi, V.K., Rana, J.C. (2011). Nutritional composition and processed products of quince (*Cydonia oblonga* Mill). *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 2, 354-357.
183. Shewfelt, R. (1993). Measuring quality and maturity. In R. L. Shewfelt & S. E. Prussia (Eds.), *Postharvest handling: a systems approach* (pp. 99–124). San Diego: Academic.
184. Shi, J., Xue, J.S. (2009). Application and development of osmotic dehydration technology in food processing. In Ratti, C. (Ed). *Advances in food dehydration*. CRC Press. USA.
185. Shi, J., Maguer, M. L., Kakuda, Y., Liptay, A., Niekamp, F. (1999). Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. *Food Research International*, 32 (1), 15–21.
186. Shi, X.Q., Fito, P., Chiralt, A. (1995). Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *Food Research International*, 28 (5), 445-454.
187. Silva, F. M., & Silva, C. L. M. (1999). Colour changes in thermally processed cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) puree: critical times and kinetics modelling. *International Journal of Food Science and Technology*, 34 (1), 87–94.
188. Singleton V.L., Rossi J.A. (1965). Colourimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158.
189. Sørensen, L. (1999). Harvest splitting in carrot (*Daucus carota* L.) storage roots. Ph.D. Thesis, Royal Vet. Agric. Univ., Copenhagen, Denmark.
190. Stamp, J., & Labuza, T. (1983). Kinetics of the Maillard reaction between aspartame and glucose in solution at high temperatures. *Journal of Food Science*, 48(2), 543–544.
191. Stefanović M., Urošević M. (1995). Praktična primena osmotskog sušenja poljoprivrednih proizvoda, *Revija Agronomska saznanja*, 5(1), s. 2-7.
192. Stojanović, Č. (2014). Kinetika kombinovanog sušenja dunje. Doktorska teza. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
193. Sundstrom, F.J., Carter. S.J. (1983). Influence of K and Ca on quality and yield of watermelon. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 108, 879-881.
194. Sunjka, P.S., Raghavan, G.S.V. (2004). Assessment of pretreatment methods and osmotic dehydration for cranberries. *Canadian Biosystems Engineering*, 46.
195. Suzuki, K., Kubota, K., Hasegawa, T., Hosaka, H. (1976). Shrinkage in Dehydration of Root Vegetables, *Journal Food Science*, 41, 1189–1193.
196. Szczesniak, A.S. (1963). Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science*, 28, 385-389.

197. Szychowski, P.J., Munera-Picazo, S., Szumny, A., Carbonell- Barrachina, A.A., Hernández, F. (2014). Quality parameters, bio-compounds, antioxidant activity and sensory attributes of Spanish quinces (*Cydonia oblonga* Miller), *Scientia Horticulturae*, 165, 163–170.
198. Talens, P. (2002). Osmotic treatments on the cryoprotection of strawberry and kiwifruit. Ph.D. dissertation. Universidad Politecnica de Valencia: Valencia, Spain.
199. Tepić, A. (2012). Bojene materije voća. Monografija. Tehnološki fakultet, Novi Sad.
200. Toğrul, İ, T. (2010). Modeling of Heat and Moisture Transport During Black Grapes. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 1146-1152.
201. Tomos, A.D. (1988). Cellular water relations in plants. *Water Science Review*, 3, 186-277.
202. Tong, C., Krueger, D., Vickers, Z., Bedford, D., Luby, J., El-Shiekh, A., Shackel, K., Ahmadi, H. (1999). Comparison of softening-related changes during storage of 'Honeycrisp' apple, its parents, and 'Delicious'. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124, 407-415.
203. Torgul, T., I., Ispir, A. (2007). Effect on Effective Diffusion Coefficients and Investigation of Shrinkage During Osmotic Dehydration of Apricot. *Energy Conversion and Management*, 48, 2611-2621.
204. Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26 (1), 59-68.
205. Tregunno, N.B., Goff, H.D. (1996). Osmodehydrofreezing of apples: structural and textural effects. *Food Research International*, 29 (5-6), 471-479.
206. Trujillo, F.J., Wiangkaew, C., Pham, Q.T. (2007). Drying modeling and water diffusivity in beef meat. *Journal of Food Engineering*, 78 (1), 74-85.
207. Tsami, E., & Katsioti, M. (2000). Drying kinetics for some fruits: predicting of porosity and color during dehydration. *Drying Technology*, 18 (7), 1559–1581.
208. Van Buggenhout, S., Sila, D.N., Duvetter, T., Van Loey, A., Hendrickx, M. (2009). Pectins in Processed Fruits and Vegetables: Part III—Texture Engineering. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 8, 105-117.
209. Van Buren, J.P. (1979). The chemistry of texture in fruits and vegetables. *Journal of Texture Studies*, 10, 1–23.
210. Viberg, U., Freuler, S., Gekas, V., Sjöholm, I. (1998). Osmotic Pretreatment of Strawberries and Shrinkage Effects, *Journal of Food Engineering*, 35 (2), 135–145.
211. Vincent, J.F.V. (1989). Relationship between density and stiffness of apple flesh. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 47, 443-462.

212. Voegel-Turenne, C., Allaf, K., Bouvier, J. (1997). Analysis and modeling of browning of the Granny Smith apple during drying. *Drying Technology*, 15(10), 2587–2596.
213. Voisey, P.W. (1971). Modernization of texture instrumentation. *Journal of Texture Studies*, 2, 129-195.
214. Voronjec, D. (1979). Tehnološke operacije. Mašinski fakultet, Beograd, Srbija.
215. Vračar, Lj. (2001): Priručnik za kontrolu kvaliteta svežeg i prerađenog voća, povrća i pečurki i osvežavajućih bezalkoholnih pića. Tehnološki fakultet, Novi Sad.
216. Vursavus, K., Kelebek, H., Selli, S. (2006). A study on some chemical and physicomchanic properties of three sweet cherry varieties (*Prunus avium* L.) in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 74 (4), 568-575.
217. Waldron, K.W., Smith, A.C., Parr, A.J., Parker, M.L. (1997). New approaches to understanding and controlling cell separation in relation to fruit and vegetable texture. *Trends in Food Science and Technology*, 8, 213-221.
218. Yetenayet B, Hosahalli R. (2010). Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings. *Ethiopian Journal of Applied Sciences and Technology (EJAST)*, 1 (1), 1-15.
219. Zepka, L. Q., Borsarelli, C. D., Da Silva, M.A.A.P., Mercadante, A. Z. (2009). Thermal degradation kinetics of carotenoids in a cashew apple juice model and its impact on the system color. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (17), 7841–7845.
220. Zhao, J.H., Hu, R., Xiao, H.W., Yang, Y., Liu, F., Gan, Z.L., Ni, Y.Y. (2014). Osmotic dehydration pretreatment for improving the quality attributes of frozen mango: effects of different osmotic solutes and concentrations on the samples. *International Journal of Food Science and Technology* 2014, 49, 960–968.
221. www.faostat.com
222. www.konicaminolta.com.
223. www.psss.rs
224. www.sanportal.info
225. www.wikipedia.com

PRILOZI

Prilog 1. Rezultati merenja vlažnosti šestina dunje tokom osmotskog sušenja

Merenje	Vreme	Eksperimentalne jedinice			
		40°C; 50°Bx	60°C; 50°Bx	40°C; 65°Bx	60°C; 65°Bx
2009. godina I ponavljanje	0	83,39	83,42	81,09	80,9
	20	76,23	76,85	73,99	73,96
	40	75,11	72,62	74,78	70,56
	60	72,16	71,65	72,82	69,56
	80	73,72	68,37	70,53	66,04
	100	72,03	70,28	68,71	65,28
	120	72,27	68,64	65,4	64,36
	140	74,15	67,68	66,69	61,17
	160	69,97	64,53	64,75	60,83
2009. godina II ponavljanje	0	83,39	87,04	83,35	83,49
	20	78,43	77,21	75,98	73,67
	40	76,34	73,41	67,82	72,04
	60	73,71	70,85	69,91	68,38
	80	72,8	70,74	67,6	66,65
	100	70,6	71,13	69,12	65,17
	120	70,68	67,85	65,25	63,97
	140	70,25	68,4	65,93	62,07
	160	69,22	67,45	67,67	62,35
2010. godina I ponavljanje	0	83,48	84,68	82,15	84,36
	20	76,55	78,36	76,91	77,86
	40	76,20	74,79	74,11	77,49
	60	75,13	70,91	72,79	72,45
	80	73,41	69,61	72,29	70,27
	100	72,57	68,77	68,55	68,21
	120	71,86	69,98	66,75	69,63
	140	71,57	66,52	68,16	67,38
	160	71,85	67,17	66,09	64,95
2010. godina II ponavljanje	0	85,04	84,67	84,30	84,36
	20	79,23	77,16	78,79	77,86
	40	76,91	75,17	76,90	77,49
	60	74,08	71,71	72,48	72,45
	80	76,14	71,99	72,24	70,27
	100	73,80	69,82	71,19	68,21
	120	73,000	69,83	69,13	69,63
	140	73,57	68,05	70,54	67,38
	160	70,82	65,75	68,97	64,95
180	72,59	66,74	63,79	64,49	

Prilog 2. Rezultati merenja zapreminskog skupljanja SV kockica dunje tokom osmotskog sušenja

Merenje	Vreme	Eksperimentalne jedinice			
		40°C; 50°Bx	60°C; 50°Bx	40°C; 65°Bx	60°C; 65°Bx
2009. godina I ponavljanje	0	0,00	0,00	0,00	0,00
	20	8,11	17,43	13,24	21,26
	40	13,60	24,81	20,46	31,33
	60	18,90	30,80	26,86	37,10
	80	22,82	34,51	31,91	42,31
	100	25,62	38,40	35,89	45,87
	120	28,88	41,35	39,78	48,68
	140	31,42	43,80	42,48	50,84
	160	33,66	45,74	44,68	52,66
	180	35,97	47,51	46,38	54,13
2009. godina II ponavljanje	0	0,00	0,00	0,00	0,00
	20	11,32	14,50	14,75	17,04
	40	16,34	19,70	24,29	27,69
	60	19,93	23,68	31,37	34,07
	80	22,63	26,52	36,39	39,19
	100	24,90	28,48	40,08	42,36
	120	26,10	30,67	43,27	45,85
	140	27,70	31,85	43,44	48,56
	160	28,88	32,91	48,62	50,04
	180	29,93	43,89	50,38	51,79
2010. godina I ponavljanje	0	0,00	0,00	0,00	0,00
	20	10,68	17,02	16,18	18,02
	40	17,81	25,77	27,26	28,57
	60	21,80	30,89	34,33	35,21
	80	25,79	35,36	38,99	39,75
	100	29,84	38,99	42,65	44,19
	120	32,77	41,86	45,31	47,35
	140	35,30	44,70	48,35	49,61
	160	36,99	46,12	50,23	50,16
	180	38,54	47,32	52,47	51,29
2010. godina II ponavljanje	0	0,00	0,00	0,00	0,00
	20	10,68	11,41	13,82	19,26
	40	17,92	19,69	21,78	29,87
	60	21,93	25,06	27,89	35,92
	80	26,90	29,22	32,55	41,73
	100	30,52	33,37	36,58	45,16
	120	33,43	35,29	39,67	48,02
	140	35,82	38,01	42,00	50,45
	160	38,72	39,06	43,62	51,91
	180	40,50	40,23	46,16	53,44

Prilog 3. Rezultati merenja f parametra kockica dunje tokom osmotskog sušenja

Merenje	Vreme	Eksperimentalne jedinice			
		40°C; 50°Bx	60°C; 50°Bx	40°C; 65°Bx	60°C; 65°Bx
2009. godina I ponavljanje	0	0,00	0,00	0,00	0,00
	20	-0,01	0,46	0,25	0,01
	40	0,16	0,64	0,59	0,17
	60	0,24	0,60	0,60	0,67
	80	0,31	0,68	0,47	0,28
	100	0,24	0,75	0,40	0,87
	120	0,35	0,61	0,19	0,88
	140	0,14	0,75	0,54	0,27
	160	0,26	0,54	0,57	0,60
	180	0,33	0,74	0,59	0,68
2009. godina II ponavljanje	0	0,00	0,00	0,00	0,00
	20	0,60	0,33	0,24	0,30
	40	0,74	0,61	0,50	0,42
	60	0,56	0,70	0,54	0,58
	80	0,76	0,55	0,47	0,62
	100	0,81	0,67	0,44	0,69
	120	0,70	0,78	0,57	0,80
	140	0,69	0,88	0,10	0,68
	160	0,62	0,61	0,35	0,67
	180	0,68	0,66	0,46	0,77
2010. godina I ponavljanje	0	0,00	0,00	0,00	0,00
	20	-	0,32	0,54	0,26
	40	-	0,80	0,09	0,81
	60	0,07	0,87	0,33	0,93
	80	0,52	0,97	0,68	0,92
	100	-0,64	0,95	0,48	0,87
	120	0,19	0,96	0,48	0,89
	140	0,54	0,98	0,53	0,92
	160	0,12	0,92	0,22	0,96
	180	0,70	0,95	0,76	0,97
2010. godina II ponavljanje	0	0,00	0,00	0,00	0,00
	20	-	0,71	-0,81	0,26
	40	-	0,50	-0,08	0,81
	60	0,04	0,76	-	0,93
	80	-0,04	0,88	0,20	0,92
	100	0,53	0,97	-	0,87
	120	-0,17	0,93	-	0,89
	140	-0,07	0,94	0,17	0,92
	160	-	0,93	-	0,96
	180	-0,03	0,97	-	0,97

Prilog 4. Rezultati merenja modula elastičnosti kockica dunje tokom osmotskog sušenja

Merenje	Vreme	Eksperimentalne jedinice			
		40°C; 50°Bx	60°C; 50°Bx	40°C; 65°Bx	60°C; 65°Bx
2009. godina I ponavljanje	0	2,12	4,79	3,28	4,35
	20	3,75	1,90	2,01	2,31
	40	1,79	0,85	2,70	0,84
	60	1,11	0,63	2,06	0,49
	80	0,87	0,19	1,03	0,47
	100	1,52	0,24	2,28	0,66
	120	1,60	0,22	2,10	0,31
	140	0,97	0,15	1,69	0,47
	160	2,19	0,39	3,12	0,27
	180	0,72	0,25	1,01	0,23
2009. godina II ponavljanje	0	2,12	3,47	1,92	4,35
	20	2,57	1,58	2,70	2,31
	40	2,37	1,97	1,91	0,84
	60	2,07	1,17	2,10	0,49
	80	2,24	0,56	1,94	0,47
	100	1,14	0,22	3,79	0,66
	120	2,66	0,39	2,38	0,31
	140	2,19	0,33	2,32	0,47
	160	2,63	0,34	2,68	0,27
	180	1,60	0,17	3,43	0,23
2010. godina I ponavljanje	0	2,64	4,20	4,48	3,08
	20	1,65	1,38	1,92	1,44
	40	1,43	1,28	1,01	1,65
	60	1,48	1,23	1,65	1,11
	80	1,68	1,94	2,08	1,62
	100	1,55	1,09	1,68	0,46
	120	1,88	1,01	3,10	0,40
	140	1,15	0,66	1,73	1,91
	160	1,30	1,19	1,88	1,34
	180	1,81	1,24	1,55	0,95
2010. godina II ponavljanje	0	3,79	1,62	4,01	4,05
	20	0,94	0,73	1,98	1,38
	40	0,76	0,62	1,65	1,25
	60	0,93	0,79	1,12	0,96
	80	0,72	0,54	1,69	1,28
	100	0,90	0,47	1,33	1,09
	120	0,99	0,79	1,34	0,71
	140	0,64	0,46	1,91	0,88
	160	0,95	0,88	1,49	1,22
	180	1,03	0,50	1,67	0,91

Prilog 5. Vrednosti parametara boje dunje tokom osmotskog sušenja

Merenje	Vreme	Eksperimentalne jedinice							
		40°C; 50°Bx				60°C; 50°Bx			
		L^*	a^*	b^*	ΔE^*	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
2009. godina I ponavljanje	0	74,80	-4,57	24,66	0,00	66,58	-4,99	25,24	0,00
	20	73,61	-4,60	24,16	1,29	72,86	-5,85	28,70	7,23
	40	73,80	-4,79	24,13	1,15	71,90	-5,64	29,54	6,88
	60	74,20	-4,61	25,18	0,80	71,20	-5,47	30,69	7,17
	80	75,17	-4,80	26,11	1,51	71,29	-5,32	31,71	8,01
	100	75,70	-4,78	26,65	2,20	73,72	-5,32	33,72	11,09
	120	75,59	-4,69	27,02	2,49	73,93	-5,16	35,15	12,34
	140	73,92	-4,72	28,55	4,00	71,22	-4,96	32,78	8,86
	160	75,31	-4,80	29,48	4,86	73,72	-5,19	34,17	11,44
	180	75,82	-4,70	28,90	4,36	72,93	-4,88	34,52	11,25
2009. godina II ponavljanje	0	70,08	-4,47	26,22	0,00	62,26	-4,95	31,22	0,00
	20	72,24	-4,80	25,20	2,41	67,73	-5,79	32,59	5,69
	40	73,88	-5,03	26,20	3,84	67,67	-5,53	34,21	6,20
	60	75,59	-5,07	26,41	5,55	68,30	-5,21	35,26	7,27
	80	76,13	-5,00	27,88	6,30	68,12	-4,75	36,61	7,96
	100	76,71	-5,08	28,52	7,04	68,27	-5,12	37,16	8,45
	120	76,92	-5,03	28,85	7,35	67,86	-4,64	38,39	9,10
	140	77,78	-4,97	28,84	8,15	65,50	-4,48	38,65	8,11
	160	77,93	-4,95	29,26	8,43	66,66	-4,28	39,47	9,37
	180	77,91	-4,60	31,28	9,32	65,28	-3,97	39,73	9,08
2010. godina I ponavljanje	0	77,33	-3,33	41,95	0,00	70,78	-5,54	28,74	0,00
	20	77,46	-3,10	41,26	0,74	70,39	-5,51	30,18	1,49
	40	77,36	-3,46	41,49	0,48	70,27	-5,26	31,72	3,04
	60	76,51	-3,03	41,33	1,07	70,41	-5,32	30,88	2,18
	80	76,74	-3,11	41,50	0,77	69,79	-4,91	31,87	3,34
	100	76,78	-3,14	41,89	0,58	69,21	-5,08	32,30	3,92
	120	76,71	-2,99	42,26	0,77	69,29	-4,76	31,89	3,57
	140	76,65	-2,95	42,74	1,11	69,25	-4,57	32,17	3,88
	160	72,61	-2,39	47,57	7,40	68,83	-5,45	32,27	4,03
	180	72,78	-4,01	49,44	8,79	69,03	-5,54	34,44	5,96
2010. godina II ponavljanje	0	76,05	-3,99	29,55	0,00	74,08	-4,76	28,74	0,00
	20	75,46	-3,67	29,69	0,69	70,82	-4,32	30,18	3,29
	40	76,07	-3,99	31,20	1,65	74,92	-3,98	31,72	1,15
	60	76,53	-3,77	32,63	3,12	73,23	-2,42	30,88	2,49
	80	76,36	-3,28	33,23	3,76	75,56	-3,05	31,87	2,26
	100	78,12	-3,56	32,97	4,02	73,58	-2,39	32,30	2,42
	120	77,15	-2,95	34,60	5,27	75,41	-3,13	31,89	2,10
	140	78,55	-3,19	33,66	4,88	76,65	-4,13	32,17	2,65
	160	78,73	-3,20	33,85	5,13	74,82	-4,27	32,27	0,89
	180	78,72	-4,17	35,06	6,13	76,86	-4,98	34,44	2,79

Nastavak priloga 5

Merenje	Vreme	Eksperimentalne jedinice							
		40°C; 65°Bx				60°C; 65°Bx			
		L^*	a^*	b^*	ΔE^*	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
2009. godina I ponavljanje	0	69,13	-4,69	21,74	0,00	72,39	-4,97	25,35	0,00
	20	73,37	-5,08	24,35	4,99	78,65	-5,49	29,05	7,29
	40	76,73	-5,10	27,76	9,70	79,63	-5,54	31,36	9,43
	60	76,94	-5,10	29,83	11,25	79,47	-5,43	32,87	10,34
	80	78,56	-5,02	30,43	12,82	80,36	-5,42	33,79	11,62
	100	78,38	-4,94	31,16	13,20	80,57	-4,92	36,09	13,51
	120	78,49	-4,56	32,80	14,48	80,49	-4,99	35,87	13,28
	140	79,27	-4,56	33,20	15,30	80,38	-4,91	36,92	14,07
	160	79,27	-4,42	33,66	15,65	79,70	-4,42	37,43	14,14
	180	79,06	-4,44	33,95	15,73	80,22	-4,68	37,56	14,51
2009. godina II ponavljanje	0	68,23	-4,26	22,17	0,00	72,39	-4,97	25,35	0,00
	20	71,88	-4,54	24,01	4,10	78,65	-5,49	29,05	7,29
	40	74,70	-4,64	26,39	7,73	79,63	-5,54	31,36	9,43
	60	76,67	-4,51	29,10	10,93	79,47	-5,43	32,87	10,34
	80	77,51	-4,39	29,86	12,05	80,36	-5,42	33,79	11,62
	100	77,68	-4,39	29,86	12,19	80,57	-4,92	36,09	13,51
	120	77,51	-4,30	31,33	13,04	80,49	-4,99	35,87	13,28
	140	77,64	-3,87	31,98	13,60	80,38	-4,91	36,92	14,07
	160	78,08	-3,57	33,27	14,86	79,70	-4,42	37,43	14,14
	180	78,94	-3,54	34,03	15,99	80,22	-4,68	37,56	14,51
2010. godina I ponavljanje	0	73,94	-2,19	43,09	0,00	77,13	-4,51	35,77	0,00
	20	73,33	-1,96	43,84	0,99	76,80	-4,67	37,13	1,41
	40	73,34	-1,98	44,29	1,36	76,61	-4,73	36,98	1,34
	60	75,06	-2,23	45,79	2,92	76,73	-4,57	38,08	2,35
	80	75,52	-2,08	46,54	3,80	76,97	-4,40	39,18	3,42
	100	75,81	-2,09	46,43	3,83	77,56	-4,37	39,66	3,92
	120	76,01	-1,94	47,10	4,52	76,99	-4,09	40,14	4,39
	140	76,12	-1,87	47,78	5,18	77,07	-3,93	40,85	5,11
	160	76,06	-1,47	47,60	5,04	77,94	-4,01	40,55	4,87
	180	75,61	2,17	49,47	6,59	77,34	-2,20	46,71	11,02
2010. godina II ponavljanje	0	63,74	-4,51	29,26	0,00	74,12	-5,40	26,28	0,00
	20	66,10	-4,72	28,77	2,42	74,46	-5,31	27,66	1,42
	40	66,27	-4,74	29,92	2,62	75,17	-5,38	29,06	2,97
	60	69,78	-4,54	33,04	7,13	75,28	-5,40	30,21	4,10
	80	69,57	-4,33	34,64	7,94	75,95	-5,22	31,65	5,68
	100	70,32	-4,29	35,27	8,91	75,96	-5,10	32,26	6,26
	120	71,49	-4,13	36,41	10,55	75,25	-4,81	33,37	7,20
	140	71,48	-3,87	36,95	10,93	75,12	-4,54	34,26	8,09
	160	-	-	-	-	76,07	-4,60	34,38	8,37
	180	-	-	-	-	78,90	-4,00	36,76	11,60

SPISAK SLIKA

Slika broj	Naziv slike	Strana
2.1.	Šematski prikaz osmotskog procesa	7
2.2.	Šematski prikaz prenosa mase tokom osmotskog sušenja	9
2.3.	Promena oblika i zapremine uzorka bundeve u obliku cilindra tokom osmotskog sušenja rastvorom koncentracije 60°Bx i temperature 25°C	18
2.4.	Uprošćen prikaz biljne ćelije	21
2.5.	Šematski prikaz ćelije (A) i ćelijskog zida (B)	22
2.6.	Izgled ćelija svežeg tkiva mrkve	23
2.7.	Mehanizam prekida brašnjavog (mekog) i hrskavog (svežeg) tkiva jabuke. Na slici levo prikazan je mehanizam razdvajanja ćelija, a na slici desno mehanizam razaranja ćelija	26
2.8.	Dijagram sila - deformacija za poljoprivredni materijal	29
2.9.	Dijagram nelinearne zavisnosti napon-deformacija	30
2.10.	Oblik vrhova pribora za određivanje čvrstoće Magness – Teylor-ovim testom	31
2.11.	Princip merenja boja kolorimetrom	36
2.12.	CIE Lab prostor boja	37
4.1.	Plod dunje sorte leskovačka	45
4.2.	Anatomska građa ploda dunje – poprečni presek	45
4.3.	Anatomska građa ploda dunje – uzdužni presek	46
4.4.	Izgled ćelija tkiva dunje sa izraženim kamenim ćelijama	46
4.5.	Šematski prikaz modelske eksperimentalne sušare za osmotsko sušenje	47
4.6.	Korpa osmotske sušare za smeštaj materijala za sušenje	48
4.7.	Komora za sumporisanje sa pomoćnim priborom	52
4.8.	Isecanje uzoraka u obliku kocke	54
4.9.	Formiranje uzorka u formi kocke	54
4.10.	Metod merenja zapremine	56
4.11.	Uređaj za ispitivanje mehaničkih osobina i teksture hrane i biomaterijala TMS-PRO FTC	58
4.12.	Primer krive zavisnosti sila – deformacija za uzorak dunje dimenzija 10x10x10 mm	59
4.13.	Primer dijagrama linearnog dela krive zavisnosti napon – realtivna deformacija, za slučaj 50°Bx i 60°C pri osmotskom sušenju	60
4.14.	Primer dijagrama dobijenog TPA testom na uzorku nakon kombinovanog sušenja, za slučaj 50°Bx i 60°C pri osmotskom sušenju i temperaturi vazduha od 50°C pri konvektivnom sušenju	61
4.15.	Merenje boje kolorimetrom Konica Minolta CR 400	62
5.1.	Krive kinetike promene vlažnosti uzoraka dunje u odnosu na vlažnu bazu, tokom osmotskog sušenja	69
5.2.	Krive kinetike promene vlažnosti uzoraka dunje u odnosu na suhu bazu, tokom osmotskog sušenja	69
5.3.	Krive promene sadržaja suve materije u odnosu na početnu masu uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja	70
5.4.	Eksperimentalne i izračunate vrednosti vlažnosti dunje tokom osmotskog sušenja za model Wang and Singh	73
5.5.	Eksperimentalne i izračunate vrednosti povećanja mase suve materije dunje tokom osmotskog sušenja za stepeni model	74
5.6.	Promena oblika kocke dunje tokom osmotskog sušenja u rastvoru temperature 40°C i koncentracije 65°Bx	75

5.7.	Eksperimentalne i izračunate vrednosti promene zapremine SV tokom osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora od 40°C i koncentraciji od 50°Bx	78
5.8.	Eksperimentalne i izračunate vrednosti promene zapremine SV tokom osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora od 60°C i koncentraciji od 50°Bx	79
5.9.	Eksperimentalne i izračunate vrednosti promene zapremine SV tokom osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora od 40°C i koncentraciji od 65°Bx	79
5.10.	Eksperimentalne i izračunate vrednosti promene zapremine SV tokom osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora od 60°C i koncentraciji od 65°Bx	80
5.11.	Promena zapremine uzoraka dunje nakon osmotskog sušenja. Gornji red – uzorci bez prethodnog zamrzavanja, donji red – prethodno zamrzavani uzorci	81
5.12.	Presek uzorka dunje nakon osmotskog sušenja. Levo – uzorak bez zamrzavanja, desno – uzorak prethodno zamrzavan	81
5.13.	Mikroskopski snimak tkiva dunje nakon osmotskog sušenja. Levo – uzorak bez zamrzavanja, desno – uzorak prethodno zamrzavan	82
5.14.	Zapreminsko skupljanje dunje u zavisnosti od vlažnosti uzoraka	83
5.15.	Zapreminsko skupljanje dunje u zavisnosti od vlažnosti uzoraka izražene u odnosu na suhu bazu	83
5.16.	Eksperimentalne i izračunate vrednosti promene zapremine SV u zavisnosti od vlažnosti uzoraka upotrebom predloženih matematičkih modela	87
5.17.	Primer dijagrama linearnog dela krive zavisnosti napon – realivna deformacija, za slučaj 50°Bx i 60°C pri osmotskom sušenju	88
5.18.	Promena vrednosti f parametra tokom osmotskog sušenja	91
5.19.	Promena vrednosti modula elastičnosti tokom osmotskog sušenja	93
5.20.	Srednje vrednosti f parametra pri sličnim vlažnostima (69,68±0,71) uzoraka dunje	94
5.21.	Srednje vrednosti modula elastičnosti pri sličnim vlažnostima (69,68±0,71%) uzoraka dunje	94
5.22.	Promena vrednosti f parametra u zavisnosti od vlažnosti uzoraka	96
5.23.	Promena vrednosti modula elastičnosti u zavisnosti od vlažnosti uzoraka	96
5.24.	Mehanizmi prekida tkiva dunje	97
5.25.	Promene vrednosti parametra boje dunje tokom perioda osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora 40°C i koncentraciji rastvora 50°Bx	103
5.26.	Promene vrednosti parametra boje dunje tokom perioda osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora 60°C i koncentraciji rastvora 50°Bx	103
5.27.	Promene vrednosti parametra boje dunje tokom perioda osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora 40°C i koncentraciji rastvora 65°Bx	104
5.28.	Promene vrednosti parametra boje dunje tokom perioda osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora 60°C i koncentraciji rastvora 65°Bx	105
5.29.	Promene vrednosti ukupne boje dunje pri različitim faktorima eksperimenta	
5.30.	Vrednosti parametra L* sveže dunje, nakon osmotskog sušenja (OS) i nakon konvektivnog sušenja (KS). Različita slova (mala: razlike između svežeg uzorka, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja za isti tretman; velika: razlike između tretmana za sveže uzorke, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja) označavaju statistički značajne razlike	107
5.31.	Vrednosti parametra -a* sveže dunje, nakon osmotskog sušenja (OS) i nakon konvektivnog sušenja (KS). Različita slova (mala: razlike između svežeg uzorka, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja za isti tretman; velika: razlike između tretmana za sveže uzorke, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja) označavaju statistički značajne razlike	107

5.32.	Vrednosti parametra b^* sveže dunje, nakon osmotskog sušenja (OS) i nakon konvektivnog sušenja (KS). Različita slova (mala: razlike između svežeg uzorka, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja za isti tretman; velika: razlike između tretmana za sveže uzorke, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja) označavaju statistički značajne razlike	108
5.33.	Fotografije osušenog tkiva kivija primenom liofilizacije (a) i osmotskog sušenja (b)	108
5.34.	Ukupna promena boje nakon osmotskog i konvektivnog sušenja. Različita slova (mala: razlike između svežeg uzorka, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja za isti tretman; velika: razlike između tretmana za sveže uzorke, nakon osmotskog i konvektivnog sušenja) označavaju statistički značajne razlike	110
5.35.	Promene vrednosti Δb^* uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja	111
5.36.	Promene vrednosti ΔL^* uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja	112

SPISAK TABELA

Tabela broj	Naziv tabele	Strana
2.1.	Prinos, proizvodnja po jedinici površine i ukupna proizvodnja dunje u Srbiji i Svetu u periodu od 2008 do 2012 godine	5
2.2.	Matematički modeli koeficijenta skupljanja (S) i zapreminskog skupljanja (SV) tkiva voća tokom sušenja	18
2.3.	Odabrane publikacije kinetike promene boje voća i povrća tokom sušenja	42
4.1.	Osnovni plan eksperimenta osmotskog sušenja	50
4.2.	Pregled faktora eksperimenta osmotskog sušenja i njihovi nivoi primenjeni u eksperimentu	51
4.3.	Pregled merenih veličina	65
5.1.	Izmerene vrednosti vlažnosti dunje tokom osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora od 40°C i koncentraciji rastvora od 50°Bx	67
5.2.	Rezultati disperzione analize uticaja faktora eksperimenta na promenu vlažnosti uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja	67
5.3.	Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu udela suve materije dunje tokom osmotskog sušenja	70
5.4.	Izabrani matematički modeli za modelovanje kinetike osmotskog sušenja voća	71
5.5.	Rezultati regresione analize kinetike osmotskog sušenja dunje	73
5.6.	Izmerene vrednosti zapreminskog skupljanja SV dunje tokom osmotskog sušenja pri temperaturi rastvora od 40°C i koncentraciji rastvora od 50°Bx	76
5.7.	Rezultati disperzione analize uticaja faktora eksperimenta na zapreminsko skupljanje SV uzoraka dunje tokom osmotskog sušenja	76
5.8.	Vrednosti koeficijenata determinacije i srednjeg procentualnog odstupanja	78
5.9.	Vrednosti zapreminskog skupljanja SV pri različitim vlažnostima osušenih uzoraka dunje sa i bez osmotskog ptedtretmana	84
5.10.	Rezultati regresione analize promene zapremine dunje u oblike kocke	86
5.11.	Izmerene vrednosti f parametra tokom osmotskog sušenja rastvorom temperature 40°C i koncentracije rastvora od 50°Bx	89
5.12.	Izmerene vrednosti modula elastičnosti tokom osmotskog sušenja rastvorom temperature 40°C i koncentracije rastvora od 50°Bx	89
5.13.	Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu vrednosti f parametra tokom osmotskog sušenja	90
5.14.	Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu vrednosti modula elastičnosti tokom osmotskog sušenja	90
5.15.	Rezultati testa analize teksture (TPA)	98
5.16.	Vrednosti parametara boje dunje L*,a* i b* tokom osmotskog sušenja za tretman rastvorom temperature 40°C i koncentracije 50°Bx	100
5.17.	Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu vrednosti parametra L* tokom osmotskog sušenja	101
5.18.	Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu vrednosti parametra -a* tokom osmotskog sušenja	101
5.19.	Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu vrednosti parametra +b* tokom osmotskog sušenja	101
5.20.	Rezultati disperzione analize uticaja eksperimentalnih faktora na promenu vrednosti parametra ΔE^* tokom osmotskog sušenja	102
5.21.	Vrednosti koeficijenata k_c i koeficijenata determinacije za parametre boje b* i L*	111
5.22.	Sadržaj pektina i ukupnih fenola u sušenoj dunji	113
5.23.	Rezultati senzorske analize	115

BIOGRAFIJA

Milivoj Radojčin rođen je 20.04.1982. godine u Kikindi gde je završio srednju Tehničku školu. U Novom Sadu školske 2001/02. godine upisuje se na Poljoprivredni fakultet, smer Poljoprivredna tehnika. Studije je završio u predviđenom roku 2007. godine kao redovan student sa prosečnom ocenom 8,84 i ocenom diplomskog rada 10. Naslov diplomskog rada: Hidraulički aspekti strujanja vazduha kroz solarni kolektor i sušaru za voće. Nakon završetka studija angažovan je na nacionalnom projektu kao stipendista Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Zapošljava se na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu, 2008. godine kao saradnik na istraživačkom projektu pod nazivom Kvalitet proizvodnje sušenog voća. TR – 20065, 2008 – 2011. - rukovodilac prof dr Mirko Babić, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad. Master studije na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu upisuje 2007. godine. Master rad pod nazivom Uticaj osmotskog sušenja na mehaničke osobine jabuke (*Malus domestica*), kruške (*Pyrus*) i dunje (*Cydonia oblonga* Mill.) brani 2009. godine. Oktobra 2009. godine upisuje doktorske studije na matičnom fakultetu smer Agroekonomski. U toku doktorskih studija uspešno polaže osam ispita sa prosečnom ocenom 9,38. Pored istraživačkog rada, angažovan je na Departmanu za poljoprivrednu tehniku Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu radi izvođenje vežbi sa studentima. Izvodio je ili izvodi vežbe iz nastavnih predmeta Hidropneumatska tehnika, Mašinski elementi i mehanizmi (deo Mašinski elementi), Mašinski i poljoprivredni materijali, Tehnologija poljoprivrednih proizvoda i Obnovljivi izvori energije.

U svom naučnom radu autor je i koautor na velikom broju (preko 90) naučnih radova iz oblasti biotehničkih nauka. Trenutno je učesnik je na istraživačkom projektu:

„Sušenje voća i povrća iz integralne i organske proizvodnje kombinovanom tehnologijom“ (TR 31058) u trajanju od 2011-2014. godine, Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Imao je jedan duži studijski boravak u Izraelu na kursu Postharvest physiology, pathology and handling of fresh commodities, 10.02.-06.03.2014. Aktivan je član naučnog udruženja: Nacionalno društvo za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi. Govori, čita i piše engleski jezik.