



**UNIVERZITET U NOVOM SADU  
TEHNOLOŠKI FAKULTET**

# **FIZIČKE, HEMIJSKE I BIOLOŠKE OSOBINE OSUŠENOG KOŠTIČAVOG VOĆA PROIZVEDENOG RAZLIČITIM TEHNIKAMA SUŠENJA**

Doktorska disertacija

Mentor:  
Prof. dr Aleksandra Tepić Horecki

Kandidat:  
Anita Vakula, mast. inž.

Novi Sad, 2020.

---

**UNIVERZITET U NOVOM SADU**  
**TEHNOLOŠKI FAKULTET**

Ključna dokumentacijska informacija

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa:

Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada (dipl., mag., dokt.):

Doktorska disertacija

VR

Ime i prezime autora:

Anita Vakula

AU

Mentor (titula, ime, prezime, zvanje):

Dr Aleksandra Tepić Horecki, redovni  
profesor

MN

Naslov rada: NR

Fizičke, hemijske i biološke osobine  
osušenog koštičavog voća proizvedenog  
različitim tehnikama sušenja

Jezik publikacije:

Srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda:

srp. / eng.

JI

Zemlja publikovanja:

Republika Srbija

ZP

---

Uže geografsko područje:	AP Vojvodina
UGP	
Godina:	2020.
GO	
Izdavač:	autorski reprint
IZ	
Mesto i adresa:	21000 Novi Sad, Bulevar cara Lazara 1
MA	
Fizički opis rada:	7 poglavlja / 154 stranica / 34 slika / 40 tabela / 188 literaturnih navoda
FO	
Naučna oblast:	Biotehničke nauke
NO	
Naučna disciplina:	Tehnologija biljnih proizvoda
ND	
Predmetna odrednica, ključne reči:	Koštichavo voće; fizičke, hemijske i biološke osobine; tehnike sušenja; prototip inovativne vakuum sušare; veštačke neuronske mreže, analiza glavnih komponenata; modelovanje procesa sušenja.
PO	
UDK	
Čuva se:	Biblioteka Tehnološkog fakulteta
ČU	Univerziteta u Novom Sadu, 21000 Novi Sad, Bulevar Cara Lazara 1
Važna napomena:	Nema
VN	

---

Izvod:  
IZ

Istraživanja u okviru ove disertacije obuhvataju ispitivanje fizičkih, hemijskih i bioloških osobina svežeg i osušenog koštičavog voća i razvoj inovativnog tehničkog rešenja sušenja voća u vakuumu. Dobijeni rezultati istraživanja daju doprinos formiranju baze naučnih znanja u vezi sa karakteristikama koštičavog voća osušenog različitim tehnikama sušenja: konvektivnim sušenjem, vakuum sušenjem i liofilizacijom (sušenjem zamrzavanjem). Projektovan inovativni prototip vakuum sušare sa ejektorskim sistemom omogućava očuvanje biološki aktivnih komponenata voća uz mogućnost smanjenja investicionih troškova i troškova održavanja opreme. Takođe je uspešno prikazana mogućnost primene analize glavnih komponenata (eng. Principal Component Analysis, PCA), veštačke neuronske mreže (eng. Artificial Neural Networks, ANN) i matematičkog modelovanja za opisivanje funkcionalne zavisnosti primenjenih parametara sušenja i fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenog voća, optimizaciju procesa sušenja, kao i za pronalaženje modela koji najbolje opisuje proces sušenja.

Datum prihvatanja teme od strane Senata: 06.09.2018.

DP

Datum odbrane:

DO

---

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

KO

**predsednik:** dr Marija Jokanović, docent,  
Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom  
Sadu

**član:** dr Aleksandra Tepić Horecki, redovni  
profesor, Tehnološki fakultet, Univerzitet  
u Novom Sadu

**član:** dr Branimir Pavlić, docent,  
Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom  
Sadu

**član:** dr Lato Pezo, viši naučni saradnik,  
Institut za opštu i fizičku hemiju,  
Univerzitet u Beogradu

---

**UNIVERSITY OF NOVI SAD**  
**FACULTY OF TECHNOLOGY**

Key word documentation

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

Monograph documentation

DT

Type of record:

Textual printed material

TR

Contents code:

PhD thesis

CC

Author:

Anita Vakula

AU

Mentor:

Dr Aleksandra Tepić Horecki, professor

MN

Title:

Physical, chemical and biological  
properties of stone fruit produced by  
different drying techniques

TI

Language of text:

Serbian (Latin)

LT

Language of abstract:

eng. / srp.

LA

Country of publication:

Republic of Serbia

CP

---

---

Locality of publication:	AP Vojvodina
LP	
Publication year:	2020
PY	
Publisher:	Author's reprint
PU	
Publication place:	21000 Novi Sad, Bulevar cara Lazara 1
PP	
Physical description:	7 chapters / 154 pages / 24 figures / 40 tables / 188 references
PD	
Scientific field:	Biotechnical sciences
SF	
Scientific discipline:	Technology of plant products
SD	
Subject, Key words:	Stone fruit; physical, chemical and biological properties; drying techniques; prototype of innovative vacuum dryer; artificial neural networks; principal component analysis; modelling of drying process.
SKW	
UC	
Holding data:	Library of Faculty of Technology,
HD	University of Novi Sad, 21000 Novi Sad, Bulevar cara Lazara 1
Note:	None
N	

---

Abstract:

AB

Research in the framework of the thesis includes investigation of physical, chemical and biological properties of fresh and dried stone fruit and the development of an innovative technical solution for fruit vacuum drying. The obtained results contribute to the formation of the scientific base of knowledge, regarding the characteristics of stone fruit dried by different drying techniques: convective drying, vacuum drying and lyophilization (freeze drying). The designed innovative prototype of a vacuum dryer with an ejector system enables the preservation of biologically active fruit compounds with the possibility of reducing investment and equipment maintenance costs.

The possibility of application of Principal Component Analysis (PCA), Artificial Neural Networks (ANN) and mathematical modeling for describing the functional dependence between applied drying parameters and physical, chemical and biological properties of dried fruit, optimization of the drying process, as well for finding the model that best describes the drying process was presented in this work.

Accepted on Senate on:

06.09.2018.

AS

Defended:

DE

---



Thesis Defend Board:

DB

**president:** Dr Marija Jokanović, assistant professor, Faculty of Technology, University of Novi Sad

**member:** Dr Aleksandra Tepić Horecki, professor, Faculty of Technology, University of Novi Sad

**member:** Dr Branimir Pavlić, assistant professor, Faculty of Technology, University of Novi Sad

**member:** Dr Lato Pezo, Senior Research Associate, Institute of General and Physical Chemistry, University of Belgrade

---

## SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OPŠTI DEO</b> .....	<b>5</b>
2.1	KOŠTIČAVO VOĆE.....	5
2.1.1	<i>Višnja (Prunus cerasus)</i> .....	6
2.1.2	<i>Trešnja (Prunus avium)</i> .....	7
2.1.3	<i>Kajsija (Prunus armeniaca)</i> .....	8
2.1.4	<i>Šljiva (Prunus domestica)</i> .....	9
2.1.5	<i>Breskva (Prunus persica)</i> .....	10
2.2	KONZERVISANJE SUŠENJEM.....	12
2.2.1	<i>Proces sušenja</i> .....	12
2.2.2	<i>Sušenje kondukcijom</i> .....	14
2.2.3	<i>Sušenje konvekcijom</i> .....	17
2.2.4	<i>Ostale tehnike sušenja</i> .....	23
2.3	FIZIČKE, HEMIJSKE I BIOLOŠKE OSOBINE SVEŽEG I OSUŠENOG KOŠTIČAVOG VOĆA.....	26
2.3.1	<i>Hemijski sastav koštičavog voća</i> .....	26
2.3.2	<i>Voda</i> .....	28
2.3.3	<i>Aktivnost vode</i> .....	29

---

2.3.4	<i>Boja</i> .....	31
2.3.5	<i>Tekstura</i> .....	33
2.3.6	<i>Polifenolna jedinjenja</i> .....	36
2.3.7	<i>Antioksidativna aktivnost</i> .....	39
2.3.8	<i>Mikotoksini</i> .....	40
2.4	STATISTIČKA OBRADA PODATAKA .....	40
2.4.1	<i>Analiza glavnih komponenta</i> .....	40
2.4.2	<i>Veštačke neuronske mreže</i> .....	41
2.4.3	<i>Modelovanje procesa</i> .....	43
<b>3</b>	<b>EKSPERIMENTALNI DEO</b> .....	<b>45</b>
3.1	PLAN EKSPERIMENTA .....	45
3.2	KOŠTIČAVO VOĆE.....	46
3.2.1	<i>Višnja Feketička</i> .....	46
3.2.2	<i>Višnja Erdi Botermo</i> .....	46
3.2.3	<i>Trešnja Lapins</i> .....	46
3.2.4	<i>Trešnja Sweet Heart</i> .....	47
3.2.5	<i>Kajsija Buda</i> .....	47
3.2.6	<i>Kajsija NS4</i> .....	47
3.2.7	<i>Šljiva Toptaste</i> .....	47
3.2.8	<i>Šljiva Anna Spath</i> .....	47
3.2.9	<i>Breskva Lela</i> .....	47
3.2.10	<i>Breskva Fairtime</i> .....	48
3.3	PRIPREMA UZORAKA.....	48
3.4	SUŠARE.....	48
3.4.1	<i>Projektovanje prototipa inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom</i> .....	48
3.4.2	<i>Vakuum sušara sa vakuum pumpom</i> .....	49
3.4.3	<i>Liofilizator</i> .....	51
3.4.4	<i>Konvektivna sušara</i> .....	51
3.5	ANALITIČKE METODE ISPITIVANJA SVEŽEG I OSUŠENOG KOŠTIČAVOG VOĆA.....	52
3.5.1	<i>Određivanje masti</i> .....	52
3.5.2	<i>Određivanje proteina</i> .....	52
3.5.3	<i>Određivanje ukupnih šećera</i> .....	52
3.5.4	<i>Određivanje udela koštice</i> .....	52
3.5.5	<i>Određivanje nasipne mase</i> .....	52
3.5.6	<i>Određivanje vlage</i> .....	53
3.5.7	<i>Određivanje aktivnosti vode</i> .....	53

---

3.5.8	Određivanje ukupne promene boje $\Delta E$ .....	53
3.5.9	Određivanje teksture .....	53
3.5.10	Priprema ekstrakata za određivanje polifenola i antioksidativne aktivnosti.....	54
3.5.11	Određivanje sadržaja ukupnih fenola .....	55
3.5.12	Određivanje sadržaja ukupnih flavonoida .....	55
3.5.13	Određivanje sadržaja ukupnih monomernih antocijana.....	55
3.5.14	Određivanje antioksidativne aktivnosti .....	55
3.5.15	Određivanje mikotoksina .....	57
3.6	REAGENCI.....	57
3.7	METODE STATISTIČKE OBRAD PODATAKA.....	58
3.7.1	Metoda analize glavnih komponentata .....	58
3.7.2	Metoda za određivanje centralne tendencije - standardne ocene.....	58
3.7.3	Metoda veštačke neuronske mreže .....	59
3.7.4	Matematički modeli.....	60
3.7.5	Statistička analiza podataka.....	62
<b>4</b>	<b>REZULTATI I DISKUSIJA.....</b>	<b>63</b>
4.1	PROTOTIP INOVATIVNE VAKUUM SUŠARE SA EJEKTORSKIM SISTEMOM .....	63
4.2	REZULTATI ISPITIVANJA FIZIČKIH, HEMIJSKIH I BIOLOŠKIH OSOBINA SVEŽEG I OSUŠENOG KOŠTIČAVOG VOĆA.....	68
4.2.1	Sadržaj vlage.....	72
4.2.2	Aktivnost vode .....	73
4.2.3	Ukupna promena boje .....	73
4.2.4	Teksturalne osobine .....	77
4.2.5	Sadržaj ukupnih fenola (SUF).....	82
4.2.6	Sadržaj ukupnih flavonoida (SUFL).....	83
4.2.7	Sadržaj ukupnih monomernih antocijana (SUMAC).....	84
4.2.8	Antioksidativna aktivnost .....	85
4.2.9	Sadržaj mikotoksina.....	89
4.3	REZULTATI STATISTIČKE OBRAD PODATAKA .....	89
4.3.1	Rezultati analize glavnih komponentata.....	89
4.3.2	Rezultati određivanja centralne tendencije - standardne ocene .....	92
4.3.3	Rezultati primene veštačke neuronske mreže.....	93
4.3.4	Rezultati matematičkog modelovanja .....	109
4.4	UPOREDNA ANALIZA FIZIČKIH, HEMIJSKIH I BIOLOŠKIH OSOBINA VOĆA OSUŠENOG VAKUUM SUŠAROM SA VAKUUM PUMPOM I PROTOTIPOM INOVATIVNE VAKUUM SUŠARE SA EJEKTORSKIM SISTEMOM .....	116
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>122</b>

<b>6</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>127</b>
<b>7</b>	<b>PRILOG .....</b>	<b>141</b>

# 1 UVOD

Proizvodnja voća nalazi se među najprofitabilnijim granama privrede Srbije. Njen uticaj na ukupni ekonomski razvoj zemlje veoma je značajan. Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku, ukupna proizvodnja voća u Srbiji u 2019. godini iznosila je 1.671.750 tona, od čega je oko 45% činila proizvodnja koštičavog voća (stat.gov.rs).

Koštičavo voće ima pogodne fizičke, hemijske i biološke osobine za dalju preradu u prehrambenoj industriji. Jedna od najznačajnijih metoda prerade, odnosno konzervisanja, koštičavog voća jeste sušenje. Princip konzervisanja sušenjem zasniva se na uklanjanju vode iz sveže sirovine, odnosno smanjenju aktivnosti vode, čime se ograničava razvoj mikroorganizama i time konzerviše proizvod.

Postoji veliki broj tehnika sušenja, a među tehnike pogodne za sušenje koštičavog voća ubrajaju se: konvektivno sušenje, vakuum sušenje i liofilizacija (sušenje zamrzavanjem). Konvektivno sušenje toplim vazduhom najzastupljenija je tehnika sušenja u prehrambenoj industriji. Glavni nedostaci ove tehnike jesu prisustvo kiseonika i visoka temperatura sušenja, što negativno utiče na kvalitet osušenog proizvoda. Ovi nedostaci uspešno se prevazilaze upotrebom vakuum sušenja. Vakuum sušenje se odvija u atmosferi sa niskim sadržajem kiseonika i izvodi se na nižim temperaturama od onih korišćenih pri konvektivnom sušenju. U ovim uslovima značajno se usporavaju nepoželjni oksidativni

procesi u materijalu koji se suši i time pozitivno utiče na očuvanje bioaktivnih materija. Liofilizacija je tehnika vakuum sušenja u kojoj se koriste mnogo dublji vakuum i niže temperature u poređenju sa klasičnim vakuum sušenjem. Proces liofilizacije podrazumeva sublimaciju vode iz materijala koji se suši. Ovom tehnikom sušenja postiže se najbolje očuvanje bioaktivnih materija voća.

Sušenje voća u našoj zemlji većinom se obavlja u sušarama koje rade na principu konvektivnog sušenja i imaju dosta nedostataka u tehničkom i tehnološkom smislu (Šumić, 2014), kao na primer visoke temperature sušenja, neujednačen kvalitet osušenog proizvoda, veliki utrošak manuelnog rada potrebnog za opsluživanje sušare i slično. Posledica ovakvih nedostataka su osušeni proizvodi koji svojim fizičkim, hemijskim i biološkim osobinama ne mogu ispuniti zahteve tržišta u pogledu kvaliteta. Postoji manji broj sušara koje rade na principu vakuum sušenja kao što su klasične vakuum sušare ili sušare koje rade na principu liofilizacije i daju osušeno voće veoma dobrog kvaliteta. Međutim, osnovni nedostaci ovih sušara su ograničeni kapaciteti, veoma visoka ulaganja u opremu kao i visoki troškovi održavanja opreme, s obzirom da postoji potreba za vakuum pumpom i kondenzatorom kao neophodnim delovima postrojenja. Otklanjanje navedenih nedostataka stvara potrebu za unapređenjima u ovoj oblasti.

Usled velike rasprostranjenosti proizvodnje, dobrih mogućnosti prerade, senzorskih i nutritivnih karakteristika, koštičavo voće i sušenje koštičavog voća bili su predmet istraživanja mnogih autora. Ipak, ispitivanje fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenog koštičavog voća sa područja Srbije proizvedenog konvektivnim sušenjem, vakuum sušenjem i sušenjem zamrzavanjem predstavlja nedovoljno istraženu oblast. S obzirom na značaj osušenog voća u ishrani, veoma je bitno utvrditi zavisnost između primenjenih parametara sušenja i fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenog koštičavog voća, a sve u cilju očuvanja nutritivne vrednosti voća u procesu sušenja.

Statistička obrada podataka pomoću veštačkih neuronskih mreža (engl. Artificial Neural Networks, ANN) i analize glavnih komponenata (engl. Principal Component Analysis, PCA) imaju široku primenu u opisivanju različitih procesa, ali je do sada veoma malo istražena mogućnost njihove primene u opisivanju procesa sušenja voća. Neki od primera su studije u kojima je ispitan uticaj konvektivnog i vakuum-mikrotalasnog sušenja na bioaktivne komponente, boju i antioksidativnu aktivnost pojedinih komponenata hemijskog sastava višnje (Wojdyło i sar., 2014); istraživanja u kojima je primenjena statistička metoda analiza glavnih komponenata PCA za karakterizaciju osobina trešnje (Serradilla i sar., 2011) u različitim fazama zrenja; modelovanje procesa sušenja kajsije toplim vazduhom (Toğrul i Pehlivan, 2003), kao i kinetika sušenja trešnje toplim vazduhom (Doymaz i İsmail, 2011).

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije predstavljaju nastavak opsežnih ispitivanja u sklopu projekta „Razvoj proizvoda i aditiva od voća i povrća sa visokim sadržajem bioaktivnih jedinjenja“ (broj projekta: 31044) finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja. U okviru prethodnih ispitivanja projektovan je prototip vakuum sušare sa vakuum pumpom, prezentovan u doktorskoj disertaciji autora Šumić (2014) i tehničkom rešenju autora Šumić i sar. (2014). U brojnim izvedenim eksperimentima ispitane su fizičke, hemijske i biološke osobine različitih voćnih vrsta i pečuraka; optimizovan je proces sušenja različitim metodama i ispitana je mogućnost primene matematičkih modela za opisivanje procesa vakuum sušenja. Na osnovu dobijenih rezultata i zaključaka, publikovani su brojni naučni radovi u međunarodnim časopisima (Šumić i sar., 2014; Šumić i sar., 2016a; Šumić i sar., 2016b; Šumić i sar., 2017; Tepić Horecki i sar., 2018).

**Cilj istraživanja** u okviru ove disertacije je ispitivanje fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenog koštičavog voća i razvoj inovativnog tehničkog rešenja sušenja voća u vakuumu koje omogućava očuvanje biološki aktivnih komponenata voća uz mogućnost smanjenja investicionih i eksploatacionih troškova. Takođe, ciljevi istraživanja bili su i davanje doprinosa formiranju baze naučnih saznanja u vezi sa karakteristikama koštičavog voća osušenog različitim tehnikama sušenja, kao i mogućnost primene statističkih analiza kao što su analiza glavnih komponenata, veštačke neuronske mreže i matematičkog modelovanja za opisivanje funkcionalne zavisnosti primenjenih parametara sušenja i fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenog voća, optimizaciju procesa sušenja, kao i za pronalaženje modela koji najbolje opisuje proces sušenja.

Na osnovu rezultata istraživanja dobijenih u okviru ove disertacije omogućeno je definisanje:

- projektnog zadatka i konstrukcija prototipa inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom;
- fizičkih, hemijskih i bioloških osobina svežeg i osušenog koštičavog voća;
- uticaja osobina sorti pojedinih vrsta voća na fizičke, hemijske i biološke osobine osušenog koštičavog voća;
- uticaja parametara procesa primenjenih u ispitivanim tehnikama sušenja na fizičke, hemijske i biološke osobine osušenog koštičavog voća i
- mogućnosti primene metode analize glavnih komponenata PCA, veštačkih neuronskih mreža ANN i matematičkog modelovanja za opisivanje funkcionalne zavisnosti između parametara procesa sušenja i fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenog koštičavog voća.



Inovativni prototip vakuum sušare sa ejektorskim sistemom, projektovan i prezentovan u okviru ove disertacije, daje značajan doprinos u oblasti sušenja, s obzirom na osnovne prednosti u pogledu smanjenih troškova ulaganja u opremu i troškova održavanja, a takođe i mogućnosti proizvodnje osušenog voća veoma dobrog kvaliteta, jednakog ili boljeg kvaliteta u poređenju sa voćem osušenim vakuum sušarom sa vakuum pumpom.

Dobijeni rezultati nutritivnog i senzorskog kvaliteta osušenog koštičavog voća poslužiće za dalja istraživanja uloge i značaja osušenog voća u ishrani ljudi.

Rezultati ispitivanja uticaja osobina sorti pojedinih vrsta na fizičke, hemijske i biološke osobine osušenog koštičavog voća daju značajne podatke u sferi selekcionisanja voćnih vrsta namenjenih sušenju.

Rezultati ispitivanja mogućnosti primene veštačkih neuronskih mreža (ANN), analize glavnih komponenata (PCA) i matematičkog modelovanja, odnosno utvrđivanje funkcionalne zavisnosti između parametara procesa sušenja i osnovnih fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenog voća daju podlogu za optimizaciju procesa sušenja koštičavog voća u cilju maksimalnog očuvanja vrednih nutritivnih i senzorskih karakteristika svežeg koštičavog voća.

Sveobuhvatni rezultati istraživanja dobijeni u okviru ove disertacije daju doprinos nauci o sušenju voća, kao i njenom daljem razvoju u pravcu očuvanja nutritivno vrednih komponenata svežeg voća i definisanja procesa sušenja korišćenjem savremenih statističkih metoda obrade podataka.

Doktorska disertacija izvedena je u sledećim fazama:

- Izrada plana eksperimenta;
- Izrada projektnog zadatka, dizajna i konstrukcija inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom;
- Uzorkovanje i analiza svežeg koštičavog voća;
- Priprema voća za sušenje;
- Sušenje voća konvektivnim, vakuum i sušenjem zamrzavanjem;
- Analiza fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenih uzoraka voća;
- Statistička obrada dobijenih rezultata;
- Tumačenje dobijenih rezultata;
- Verifikacija rezultata doktorske disertacije publikovanjem naučnih radova.

## 2 OPŠTI DEO

### 2.1 KOŠTIČAVO VOĆE

Proizvodnja koštičavog voća prema podacima Republičkog zavoda za statistiku za 2019. godinu činila je približno polovinu ukupne proizvodnje voća u Srbiji (stat.gov.rs). Ovako značajan udeo koštičavog voća uzrokovan je pogodnim prirodnim uslovima potrebnim za njegovo uzgajanje.

Familija *Rosaceae* obuhvata podfamiliju *Prunoideae* (koštičavo voće) kojoj pripadaju vrste *Prunus cerasus* (višnja), *Prunus avium* (trešnja), *Prunus armeniaca* (kajsija), *Prunus domestica* (šljiva) i *Prunus persica* (breskva) (Bubić, 1977). Plodov omotač (perikarp) diferenciran je na slojeve egzokarp (pokožica), mezokarp (meso) i endokarp (Milatović i sar., 2011) koji je očvrsnuo (koštica) i predstavlja specifičnost plodova ove grupe voća, po čemu je i dobila naziv koštičavo voće.

Vrste koštičavog voća obuhvataju veliki broj različitih sorti kao što su Feketićka, Erdi Botermo, Oblačinska, Cigančica (višnja); Lapins, Sweet Heart, Regina, Karmen (trešnja); Buda, NS4, Roxana, Cegledi Bibor (kajsija); Anna Spath, Toptaste, Čačanska rana, Čačanska leptotica (šljiva) i Lela, Fairtime, Redhaven, San Krest (breskva). Sazrevanje plodova počinje

u rano proleće i traje do sredine jeseni. Prvo sazrevaju trešnje i višnje, zatim kajsije, breskve i šljive (Wills, 1983).

Koštičavo voće je zbog svoje rasprostranjenosti, pogodnih karakteristika za preradu i dobrih nutritivnih i senzorskih osobina bilo predmet istraživanja mnogih autora (Tomás-Barberán i sar., 2001; Esti i sar., 2002; Toğrul i Pehlivan, 2003). Koštičavo voće bogato je bioaktivnim komponentama kao što su fenoli (Tomás-Barberán i sar., 2001), antocijani, karotenoidi, vitamin C i organske kiseline (Wills i sar., 1983). Upravo zbog bogatog nutritivnog sastava, prijatnih senzorskih osobina i pogodne klime za uzgajanje, koštičavo voće predstavlja i jednu od najznačajnijih sirovina u industriji prerade voća u Srbiji.

### 2.1.1 Višnja (*Prunus cerasus*)

Višnja se, zajedno sa trešnjom, smatra jednom od ekonomski najvažnijih vrsta koštičavog voća. Poreklo vodi iz centralne Evrope i oblasti koje okružuju Kaspijsko i Crno more. Rasprostranjena je u kontinentalnim oblastima Evrope i oblastima zapadne Azije (Wünsch i Hormaza, 2002; Serradilla i sar., 2015).

Prosečna godišnja svetska proizvodnja višnje iznosi oko 1.300.000 t (Vlahović, 2015), a među najvećim svetskim proizvođačima nalaze se Turska, Rusija, Poljska, Ukrajina i Iran. Naša zemlja se takođe ubraja među veće evropske proizvođače višnje. Velike površine sa zasadima višnje nalaze se u regionu južne Srbije u kojem se izdvajaju opštine Nišavskog okruga (Ražanj, Aleksinac, Merošina, Niš, Svrljig, Doljevac i Gadžin Han) (Vlahović, 2015), a takođe je zastupljena u smederevskom Podunavlju, Šumadiji, Mačvi, oko Subotice i Peći (Milatović i sar, 2011). Na osnovu podataka Republičkog zavoda za statistiku, ukupan prinos višnje u 2019. godini iznosio je 96.965 t na 19.114 ha rodne površine (stat.gov.rs).

Plodovi višnje su sočni i imaju pokožicu intenzivno crvene ili tamnocrvene boje. Sorte višnje uglavnom imaju intenzivno crvenu ili tamnocrvenu boju mesa i soka, a manji broj sorti ima žutu ili roze boju mesa i bezbojan ili svetlorozi sok (Milatović i sar., 2011; Tepić Horecki, 2019). Višnjom prvog kvaliteta smatraju se plodovi prečnika veličine između 16 i 21 mm (plodovi namenjeni za kompote moraju da ispune zahtev za veličinu od minimum 17 mm), dok višnja drugog kvaliteta sadrži 10% plodova sitnijih od veličine plodova prvog kvaliteta (SRPS E.B2.138:1964). Udeo koštice u plodu višnje iznosi oko 8,8% (Bulatović i Mihajlović, 1988). Plodovi višnje prispevaju za berbu, u zavisnosti od sorte, od kraja maja do kraja juna (Tepić Horecki, 2019). Plodovi namenjeni za potrošnju u svežem stanju beru se sa peteljka, dok se za industrijsku preradu beru bez peteljki (Bulatović i Mihajlović, 1988).

Višnja se konzumira u svežem stanju ali se njeni plodovi pretežno koriste za preradu (Milatović i sar., 2011). Uglavnom se zamrzava ili prerađuje u bistri i kašasti sok, koncentrat, kompot, slatko ili pasterizovanu pulpu. Takođe se konzerviraju i sušenjem (Stéger-Maté, 2006; Tepić Horecki, 2019), a može se koristiti i za proizvodnju alkoholnih pića (Milatović i sar., 2011).

U oblasti nauke, višnja je zbog svojih fizičkih, hemijskih i bioloških osobina bila predmet istraživanja mnogih autora, pa su tako Pedisić i sar. (2007) ispitivali fizičko-hemijski sastav, sadržaj fenola i antioksidativnu aktivnost višnje sorte Maraska tokom zrenja. Autori Khoo i sar. (2011) ispitivali su bioaktivnost i sadržaj ukupnih fenola u 34 različite sorte višnje. Takođe, uticaj ekstrakcije potpomognute mikrotalasima na izolovanje antocijana i fenolnih kiselina iz višnje Marasca (*Prunus cerasus* var. Marasca) ispitan je od strane Garofulić i sar. (2013). Različiti proizvodi od višnje takođe su ispitivani u brojnim radovima, pa je tako na primer u istraživanju autora Damar i Ekşi (2012) ispitan antioksidativni kapacitet i profil antocijana u soku od višnje (*Prunus cerasus* L.), dok su reološka svojstva koncentrata i soka od višnje ispitali Belibašli i Dalgic (2007). Višnja je istražena i u oblasti primene različitih tehnika sušenja, pa je tako uticaj konvektivnog i kombinacije vakuum i mikrotalasnog sušenja na bioaktivne komponente, boju i antioksidativni kapacitet višnje ispitan od strane autora Wojdyło i sar. (2014), dok su Motavali i sar. (2013) istražili takođe kombinaciju vakuum i mikrotalasnog sušenja u pogledu poređenja matematičkih modela i neuronskih mreža.

### 2.1.2 Trešnja (*Prunus avium*)

Trešnja se smatra jednom od najstarijih voćaka čije su plodove ljudi koristili u svojoj ishrani još u doba praistorije (Milatović i sar., 2011). Poreklo i rasprostranjenost trešnje poistovećuje se sa podacima navedenim za višnju, s obzirom da su ove dve vrste koštičavog voća zbog sličnih osobina u literaturi u većini slučajeva opisane zajedno kao trešnja (engl. sweet cherry) i višnja (engl. sour cherry).

Prosečna godišnja svetska proizvodnja trešnje iznosi 1.500.000 t (Vlahović, 2015), a među najvećim svetskim proizvođačima nalaze se Turska, Sjedinjene Američke Države, Iran, Italija i Španija. Najznačajniji srpski regioni u kojima se gaji trešnja su beogradsko i smederevsko Podunavlje (Grocka, Smederevo). Na teritoriji Vojvodine gaji se najviše na području Fruške Gore i oko Subotice (Milatović i sar., 2011). Na osnovu podataka Republičkog zavoda za statistiku, ukupan prinos trešnje u 2019. godini iznosio je 17.139 t na 4273 ha rodne površine (stat.gov.rs).

Plodovi trešnje su sočni, slatki i veoma ukusni. Sorte trešnje žute ili šarene boje pokožice imaju krem ili žutu boju mesa i bezbojan ili svetložuti sok, dok sorte tamnocrvene boje pokožice imaju i tamnocrvenu boju mesa i soka (Milatović i sar., 2011). U trešnje ekstra kvaliteta spadaju plodovi prečnika minimum 20 mm. Minimalna vrednost prečnika za plodove trešnje prvog kvaliteta iznosi 17 mm, dok za plodove drugog kvaliteta nisu dati posebni uslovi (Bulatović i Mihajlović, 1988). Na osnovu udela koštice, sorte trešnje mogu se podeliti u tri grupe, i to sorte sa malim udelom koštice (ispod 6%), srednjim udelom koštice (6-7,5%) i velikim udelom koštice (iznad 7,5%) (Milatović i sar., 2011). Trešnje prispevaju za berbu krajem aprila i maja. Plodovi trešnje beru se sa peteljka. Za potrošnju u svežem stanju i za preradu u kompot važno je obrati plodove dok su dovoljno čvrsti (Bulatović i Mihajlović, 1988; Tepić Horecki, 2019).

Plodovi trešnje koriste se pretežno za stonu potrošnju. Manje količine plodova se zamrzavaju, suše ili prerađuju u kompot, slatko, džem, kandirano voće i rakiju (Milatović i sar., 2011).

U oblasti nauke, trešnje su bile predmet istraživanja mnogih autora, pa su tako Muskovics i sar. (2006) ispitivali promene fizičkih svojstava sorti mađarske trešnje tokom zrenja (*Prunus avium* L.). Usenik i sar. (2008) ispitali su sadržaj šećera, organskih kiselina, fenolni sastav i antioksidativnu aktivnost trešnje, dok su Martini i sar. (2017) ispitali profil fenolnih jedinjenja i antioksidativne osobine šest sorti trešanja. Sa aspekta pogodnog načina produženja roka trajanja trešnje, sprovedena su, između ostalih, istraživanja autora Xing i sar. (2020) o uticaju koncentracije CO<sub>2</sub> na očuvanje trešnje upakovane u ambalažu sa modifikovanom atmosferom. Uticaj ambalaže sa modifikovanom atmosferom na rok trajanja i kvalitet trešnje Navalinda ispitali su Alique i sar. (2003). Ispitano je i sušenje trešnje, pa su tako karakteristike sušenja trešnje ispitane od strane Doymaz i İsmail (2011), a autori Ouaabou i sar. (2018) ispitali su uticaj solarnog sušenja na kinetiku sušenja i na bioaktivne komponente marokanske trešnje.

### **2.1.3 Kajsija (*Prunus armeniaca*)**

Botanički naziv kajsije ukazuje da ovo voće vodi poreklo iz Jermenije, međutim smatra se ipak da kajsija vodi poreklo iz Kine, blizu pograničnih područja sa Rusijom (Roussos i sar., 2015a).

Prosečna godišnja svetska proizvodnja kajsije iznosi 4.000.000 t (Vlahović, 2015). Najveći svetski proizvođači ovog voća su Turska, Iran, Uzbekistan, Alžir i Italija. Najveća proizvodnja kajsije u Srbiji ostvaruje se u regionu Beograda. Uprkos činjenici da je, pored breskve, kajsija jedna od najosetljivijih voćnih vrsta u pogledu osetljivosti na nisku

temperaturu, dosta zasada kajsije nalazi se i u ravničarskim delovima Vojvodine (Keserović i sar., 2016). Na osnovu podataka Republičkog zavoda za statistiku, ukupan prinos kajsije u 2019. godini iznosio je 40.930 t na 5913 ha rodne površine (stat.gov.rs).

Ukus mesa kajsije u svim kvalitetnijim sortama je sličan, jer retko koja kajsija poseduje specifičnu aromu. Boja pokožice kajsije kod većine sorti je zlatno žuta, ređe bela, bledožuta ili šarena. Meso plodova najčešće je žuto, vrlo retko bledožuto (Pejkić i Ninkovski, 1986). U kajsije ekstra kvaliteta spadaju plodovi prečnika minimum 35 mm. Minimalna vrednost prečnika za plodove trešnje prvog kvaliteta iznosi 30 mm, a drugog kvaliteta 25 mm. Udeo koštice u plodu kajsije iznosi oko 7,7% (Bulatović i Mihajlović, 1988). Plodovi kajsije prispevaju za berbu u junu, julu i avgustu, u zavisnosti od sorte i uslova uzgoja. Tokom branja kajsije bitno je obratiti pažnju da se plodovi obuhvataju celom šakom, otkidaju lakim zaokretom i ređaju u sandučice u jednom sloju, a preporučuje se da se plodovi beru sa peteljkom, jer se na taj način mogu duže čuvati (Bulatović i Mihajlović, 1988; Tepić Horecki, 2019).

Kajsija je, zbog svog kvalitetnog hemijskog sastava, vrlo pogodna za upotrebu u svežem stanju ili kao sirovina za industrijsku preradu (Mratinić, 2012). Kajsija se prerađuje u proizvode kao što su sušena i zamrznuta kajsija, kašasti sokovi, džemovi, kompoti, pasterizovane pulpe, a takođe se često koristi i za proizvodnju dečije hrane (Tepić Horecki, 2019).

Kao i druge vrste koštičavog voća, tako je i kajsija bila predmet istraživanja mnogih autora. U pogledu bioaktivnih komponenata, sadržaj fenolnih jedinjenja kod novih sorti kajsije ispitan je u radu autora Ruiz i sar. (2005), a takođe sadržaj fenolnih jedinjenja kao i antioksidativni kapacitet u različitim genotipovima kajsije istražili su Sochor i sar. (2010). Poboljšanje kvaliteta sveže kajsije (*Prunus armeniaca* L.) i antioksidativne aktivnosti skladištenjem na temperaturi bliskoj temperaturi zamrzavanja ispitali su Fan i sar. (2018). U oblasti sušenja, kajsija je istražena od strane autora Toğrul i Pehlivan (2003), koji su ispitali modelovanje kinetike sušenja kajsije empirijskim modelima, dok su Igual i sar. (2012) istražili uticaj prerade kajsije na kinetiku sušenja i funkcionalnu vrednost sušene kajsije. Karabulut i sar. (2007) ispitali su uticaj sušenja na vrućem vazduhu i sušenja na suncu na boju i sadržaj  $\beta$ -karotena kajsije.

#### **2.1.4 Šljiva (*Prunus domestica*)**

Šljiva je jedna od najvažnijih vrsta koštičavog voća (Roussos i sar., 2015b). Predstavlja relativno mladu vrstu, za koju se smatra da potiče iz istočne Evrope (područja Balkana) i zapadne Azije, sa planine Kavkaz, blizu Kaspijskog mora (Roussos i sar., 2015b).

Prosečna godišnja svetska proizvodnja šljive iznosi 12.000.000 t (Vlahović, 2015). Najveći svetski proizvođači šljive su Kina, Srbija, Rumunija, Čile i Turska. Šljiva predstavlja vodeću voćnu vrstu u Srbiji. Gaji se na teritoriji cele Srbije, međutim izdvajaju se područja zapadne Srbije, Šumadije i deo južne Srbije oko Prokuplja (Keserović i sar., 2016). Na osnovu podataka Republičkog zavoda za statistiku, ukupan prinos šljive u 2019. godini iznosio je 558.930 t na 72.316 ha rodne površine (stat.gov.rs).

Plodovi šljive mogu biti zeleni, žuti, zlatni, crni, ljubičasti ili krvavo crveni sa raznolikošću u ukusu, aromi i teksturi (Roussos i sar. 2015b). Imaju modru pokožicu i sočno žućkasto meso. Pokožica šljive presvučena je tankim slojem voska, takozvanim pepeljkom, koji plodovima pruža zaštitu. Udeo koštice u plodu šljive iznosi oko 6,2%. Zavisno od sorte, šljiva prispeva od druge polovine avgusta do kraja septembra. Plodovi namenjeni za potrošnju u svežem stanju beru se sa peteljka, i to pažljivo kako im se ne bi skinuo pepeljak sa pokožice. Plodovi namenjeni za sušenje beru se bez peteljki (Bulatović i Mihajlović, 1988; Tepić Horecki, 2019).

Šljiva se konzumira uglavnom sveža i sušena, a manja količina prerađuje se u druge proizvode kao što su džemovi, kompot, slatko i kašasti sokovi (Tepić Horecki, 2019). Proizvodi od šljive kao što su sušena šljiva, pekmez od šljiva i rakija od šljiva, poznatija kao „šljivovica“, predstavljaju tradicionalne proizvode u srpskim domaćinstvima. Sve do kraja XX veka, Srbija se nalazila među najvećim svetskim i evropskim proizvođačima sušene šljive (Niketić-Aleksić, 1988).

Šljiva je bila predmet ispitivanja mnogih autora. Antioksidativni kapacitet fenolnih jedinjenja različitih sorti šljiva ispitali su i Kim i sar. (2003). Odabir novih genotipova šljive bogate fenolnim jedinjenjima i poboljšanim funkcionalnim svojstvima opisan je u radu autora Cevallos-Casals i sar. (2006). Uticaj fizičkih predtretmana na karakteristike različitih sorti šljiva ispitali su autori Cinquanta i sar. (2002). Takođe je ispitano i matematičko modelovanje kinetike sušenja šljive u tankom sloju u tunelskoj sušari (Goyal i sar., 2007). Kurmanov i sar. (2015) u svom istraživanju ispitali su takođe proces sušenja šljive.

### **2.1.5 Breskva (*Prunus persica*)**

Uprkos botaničkom nazivu breskve koji ukazuje na poreklo iz Persije, odnosno Irana, breskva vodi poreklo iz centralne Azije. Pripitomljena je u Kini gde su podaci o uzgoju ovog voća zabeleženi pre više od 3000 godina (Bassi i sar., 2015). Plantažni uzgoj velikih količina breskve počeo se razvijati u XIX veku u Sjedinjenim Američkim Državama (Vlahović, 2015).

Breskva se po važnosti voća koje se uzgaja u umerenim pojasevima nalazi na trećem mestu na svetu, nakon jabuke i kruške (Bassi i sar., 2015). Prosečna godišnja svetska

proizvodnja breskve iznosi 22.000.000 t (Vlahović, 2015). Najveći svetski proizvođači breskve su Kina, Italija, Španija, Sjedinjene Američke Države i Grčka. Breskva je osetljiva na niske temperature, pa je zbog toga i zastupljena u nekim regionima Srbije. Najviše se gaji u Podunavlju i centralnom delu Šumadije koji je naslonjen na Podunavlje, a zatim u Sremu (Keserović i sar., 2016). Na osnovu podataka Republičkog zavoda za statistiku, ukupan prinos breskve u 2019. godini iznosio je 48.204 t na 5072 ha rodne površine (stat.gov.rs).

Plodovi breskve odlikuju se sočnim i aromatičnim mesom, kao i prijatnim ukusom i mirisom. Različite sorte breskve razlikuju se po žutoj i belojoj boji mesa, pokožici, teksturi mesa i dinamici zrenja, kao i sadržaju crvenih pigmenata antocijana u pokožici i u mesu (Bassi i sar., 2015). U breskve ekstra kvaliteta spadaju plodovi prečnika minimum 62 mm. Minimalna vrednost prečnika za plodove trešnje prvog kvaliteta iznosi 50 mm, a drugog kvaliteta 47 mm. Udeo koštice u plodu kajsije iznosi 11% (Bulatović i Mihajlović, 1988). Zavisno od sorte i uslova uzgoja breskva prispeva za berbu između juna i septembra (Tepić Horecki, 2019). Prilikom ručne berbe plodova breskve bitno je da se plodovi obuhvate celom šakom, tako da se meso ne pritiska i da se plodovi ne povređuju oko peteljke. Plodovi se otkidaju lakim zaokretom, a zatim ređaju u plitke sandučiće u jednom sloju (Bulatović i Mihajlović, 1988).

Breskva se prerađuje u kašaste sokove, želirane proizvode, kompot i pasterizovanu pulpu. Breskve se, kao i kajsije često koriste u proizvodnji hrane za bebe (Stéger-Maté, 2006; Tepić Horecki, 2019).

Zbog svog hemijskog sastava i mogućnosti prerade, breskve su bile predmet istraživanja od strane mnogih autora u različitim oblastima, pa su tako senzorska, fizička i hemijska svojstva konzervisane breskve ispitali Lin i Rao (1982), dok je teksturalne promene tokom zrenja breskve ispitalo Bourne (1974). Cantin i sar. (2009) ispitali su antioksidativni kapacitet, sadržaj fenolnih jedinjenja i vitamina C u različitim potomcima uzgoja breskve i nektarina. Dalje, ultrazvučna ekstrakcija fenolnih jedinjenja iz breskve ispitana je od strane Altemimi i sar. (2016). Takođe je sprovedeno ispitivanje infracrvenog i mikrotalasnog sušenja breskve od strane Wang i Sheng (2006). Sušenje breskve ispitali su i Kingsly i sar. (2007), u čijem je istraživanju ispitan uticaj predtretmana i temperature vazduha tokom sušenja na ponašanje kriški breskve tokom sušenja.



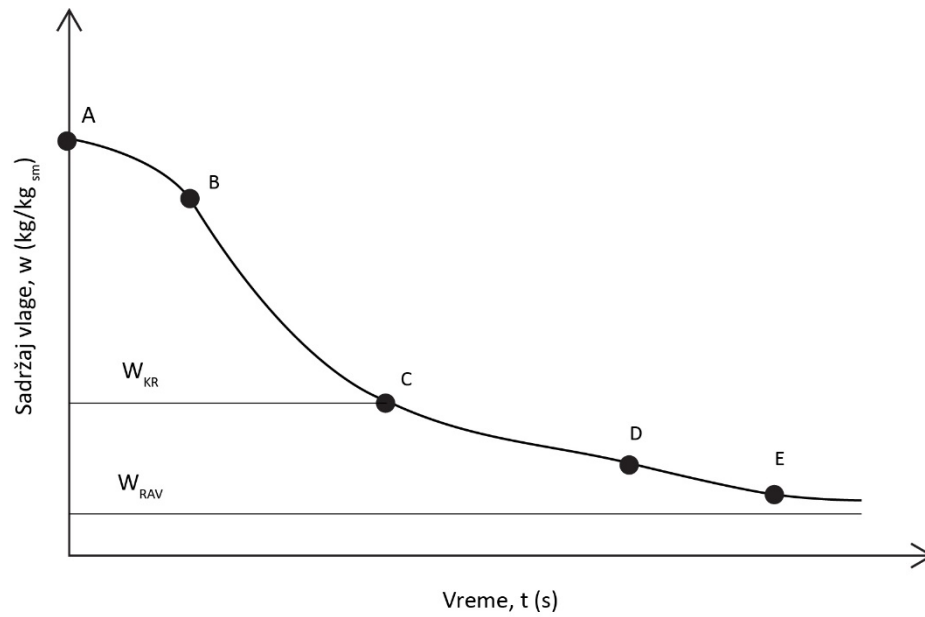
## 2.2 KONZERVISANJE SUŠENJEM

Postupak sušenja najstariji je način konzervisanja hrane (Das Gupta i Jayaraman, 2006). Sušenje sprečava rast i razvoj mikroorganizama kao glavnih uzročnika kvarenja i smanjuje većinu negativnih reakcija koje se odigravaju usled prisustva vlage. Uklanjanje vlage izaziva značajno smanjenje mase i zapremine plodova što utiče na smanjenje troškova pakovanja, skladištenja i transporta. Osušeni proizvodi mogu se uskladištiti u ambijentalnim uslovima. Savremen način života zahteva potrebu za osušenim proizvodima visokog kvaliteta. Razvoj novih tehnika sušenja učinio je dostupnim širok spektar sušenih proizvoda od voća i povrća sa očuvanim nutritivnim i senzorskim osobinama.

### 2.2.1 Proces sušenja

S obzirom da se proces sušenja zasniva na principu uklanjanja vlage iz materijala, sadržaj vlage materijala koji se suši predstavlja bitan parametar za opisivanje procesa sušenja. Na slikama 1 i 2 prikazane su kriva sušenja i kriva brzine sušenja, redom. Kriva sušenja uslovno se može podeliti na četiri segmenta. Prvi segment (AB) predstavlja početni period sušenja u kojem se vlažnost materijala relativno malo menja sa vremenom, jer dolazi do zagrevanja samog materijala na radnu temperaturu. Ovaj period sušenja naziva se još i stacionarni period. Drugi segment (BC) predstavlja period u kojem vlaga isparava sa površine materijala koji je zasićen vlagom, pri čemu vlaga difunduje u parni prostor kroz stacionarni film gasa, koji se formira iznad čvrste površine. U ovom segmentu, brzina sušenja je konstantna i sušenje se nastavlja sve do postizanja kritičnog sadržaja vlage ( $w_{kr}$ ). Nakon postizanja kritičnog sadržaja vlage, sledi segment (CD) u kojem je deo ukupne spoljne površine materijala osušen, a vlaga isparava u gasnu struju samo sa preostale površine materijala. Ovaj segment predstavlja period opadanja brzine sušenja. Poslednji segment krive sušenja (DE) predstavlja period u kojem sadržaj vlage materijala i dalje opada i asimptotski se približava ravnotežnoj vlažnosti ( $w_{rav}$ ), U ovom segmentu vlaga difunduje na površinu materijala i zatim difunduje u gasnu struju (Sovilj, 2004).

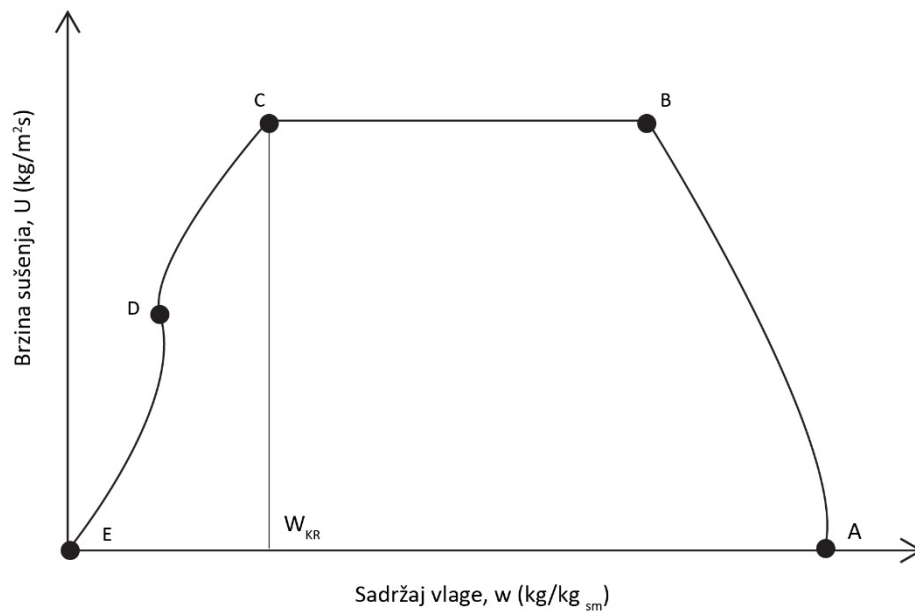
Sušenje je proces kombinovanog i simultanog prenosa toplote i mase i podrazumeva primenu toplote za uklanjanje vode iz materijala koji se suši. Sušenje voća i povrća može biti prirodno, kontrolisano i kombinovano (Šumić, 2014). Primer prirodnog sušenja je sušenje na suncu, kontrolisano je sušenje na nezavisnom izvoru toplote, a kombinovano sušenje podrazumeva kombinaciju navedena dva izvora toplote.



Slika 1. Kriva sušenja (Sovilj, 2004)

Napomena:

$\text{kg}_{\text{sm}}$  - kilograma suvog materijala;  $w_{\text{kr}}$ - kritični sadržaj vlage;  $w_{\text{rav}}$  - ravnotežna vlažnost



Slika 2. Kriva brzine sušenja (Sovilj, 2004)

Napomena:

$\text{kg}_{\text{sm}}$  - kilograma suvog materijala;  $w_{\text{kr}}$ - kritični sadržaj vlage

Među najzastupljenije tehnike sušenja voća ubrajaju se sušenje na suncu, sušenje konvekcijom i sušenje kondukcijom. U sušare koje rade na principu konvektivnog prenosa toplote spadaju komorne, tunelske, trakaste, pneumatske sušare, sušare sa fluidizovanim slojem i sušare sa raspršivanjem. Pored vakuumskih sušara i liofilizatora, kontaktno sušenje primenjeno je i u sušarama sa valjcima. U skladu sa najnovijim trendovima ekonomičnog trošenja resursa za proizvodnju energije, energija iz obnovljivih izvora sve se više koristi u obezbeđivanju energije potrebne za proces sušenja (Šumić, 2014).

### **2.2.2 Sušenje kondukcijom**

Prenos toplote na vlažan materijal tokom kontaktnog ili konduktivnog sušenja ostvaruje se preko čvrste grejne površine. Sušare u kojima se toplota prenosi kondukcijom imaju dve osnovne prednosti u odnosu na sušare sa konvektivnim prenosom toplote (Fellows, 2009):

- nije potrebno zagrevanje velike količine vazduha pre početka sušenja, čime se postiže visoka termička efikasnost procesa;
- postoji mogućnost sušenja u odsustvu kiseonika, što pozitivno utiče na očuvanje komponenata koje su podložne oksidaciji.

Utrošena toplota od 2000 do 3000 kJ/kg isparene vlage tokom konvektivnog sušenja je značajno manja u poređenju sa 4000-10.000 kJ/kg isparene vlage kod konvektivnog sušenja (Fellows, 2009). Tehnike sušenja zasnovane na principu kontaktnog prenosa toplote su klasično sušenje u vakuumu i sušenje na valjcima.

#### **2.2.2.1 Sušenje u vakuumu**

Tehnikom sušenja u vakuumu obično se suši hrana osetljiva na povišenu temperaturu. Sušenje voća u vakuumu zasniva se na pojavi da se tačka ključanja vode može sniziti ispod 100°C snižavanjem pritiska u komori za sušenje (Šumić, 2014). Kod sušenja u vakuumu toplota se prenosi kontaktnim putem, a ređe i radijacijom ili putem mikrotalasa. Kod klasičnog vakuum sušenja primenjuje se vakuum na kojem je tačka ključanja vode viša od 0°C, pri čemu voda iz tečnog prelazi u parno stanje. Kada se pritisak u komori smanji na pritisak na kojem je tačka ključanja vode niža od 0°C, voda je u sistemu prisutna samo u obliku leda ili pare. Tada dolazi do sublimacije leda iz materijala. Ovaj način vakuum sušenja naziva se sušenje zamrzavanjem ili liofilizacija (Šumić, 2014).

#### **Vakuum sušare sa trakama**

Materijal se u formi kaše postavlja na traku koja prolazi iznad dva šuplja bubnja unutar vakuum komore. Materijal se najpre suši zagrejanom vodenom parom koja se stvara u

bubnjevima, a zatim parom zagrejanom grejačima koji se nalaze iznad trake. Osušeni proizvod hladi se pomoću rashladnog bubnja, a zatim noževima uklanja sa trake.

### **Vakuu sušare sa policama**

Materijal se stavlja na police unutar vakuum komore. Na policama se ostvaruje dobar kontakt materijala sa grejnom površinom. Zagrejana para prolazi kroz sloj materijala i suši ga. Veća brzina i niža temperatura sušenja čine ovu metodu pogodnom za materijale osetljive na toplotu. Tokom sušenja materijal se skuplja i dodirna površina između grejne ploče i materijala se smanjuje. Nedostaci ovih sušara su visoka investiciona ulaganja i operativni troškovi.

### **Liofilizatori**

Sušenje zamrzavanjem ili liofilizacija je dvostepeni proces. U prvom stepenu voda u materijalu zamrzava se primenom niske temperature. Direktno prelaz vode iz čvrstog u gasovito stanje ili sublimacija leda primenom toplote odvija se u drugom stepenu sušenja. Sublimacija se postiže ispod trojne tačke vode, na 62,39 kPa i na temperaturi približno 273,15 K (Das Gupta i Jayaraman, 2006), pri čemu struktura materijala ostaje u dobrom stanju, jer između čvrstog i gasovitog stanja ne dolazi do prolaska kroz tečnu fazu.

Temperatura zamrzavanja dovodi do razdvajanja vode u materijalu na ledene kristale i koncentrovani vodeni rastvor. Sastav koncentrovanog rastvora zavisi od sastava materijala, koncentracije rastvorenih sastojaka i temperature zamrzavanja. Ukoliko se tokom sušenja primenjuju veoma niske temperature, mobilnost ekstremno viskozni i koncentrovanih faza je toliko mala da ne dolazi do strukturnih promena materijala. Ako se za sušenje primenjuju temperature iznad kritičnog nivoa, poznate i kao temperature kolapsa, mobilnost koncentrovanih vodenih faza u većoj meri utiče na oštećenje strukture osušenog proizvoda. Fenomen kolapsa koji se dešava tokom liofilizacije utiče direktno na strukturu osušenog proizvoda.

Sušenje zamrzavanjem može biti kontinualno ili diskontinualno. U diskontinualnom postupku materijal se stavlja u komoru za sušenje i izlaže dejstvu zadate temperature, koja se zatim postepeno smanjuje u toku 6-8 h sušenja. Uslovi sušenja zavise od vrste materijala koji se suši. Temperatura na površini materijala ne sme prelaziti 60°C (Fellows, 2009). Tokom kontinualnog sušenja, police postavljene na nosačima kreću se kroz vakuum komoru i kontinualno ulaze i izlaze iz sušare. Temperatura zagrevanja i vreme zadržavanja u pojedinim zonama vakuum sušare su programirani i uslovljeni vrstom materijala. Načini prenosa toplote tokom sušenja zamrzavanjem su kontaktni, radijacioni i putem mikrotalasa

usled čega se ova tehnika sušenja može klasifikovati na kontaktno, radijaciono i mikrotalasno sušenje zamrzavanjem.

Infracrveno zračenje koristi se za zagrevanje tanjih slojeva materijala koji se nalaze na pločastim tacnama. Zagrevanje materijala je uniformno usled manjih površinskih nepravilnosti tankog sloja materijala. Tokom radijacionog sušenja ne dolazi do pada pritiska kroz sloj materijala usled čega se mogu postaviti konstantni uslovi sušenja. Tokom sušenja ne dolazi do izdvajanja finih čestica iz sloja, blizak kontakt materijala i grejača nije neophodan i tacne na koje se materijal postavlja su jeftine i lake za održavanje.

Radio-frekventni grejači takođe se mogu koristiti tokom mikrotalasnog sušenja zamrzavanjem. Ova tehnika sušenja nije rasprostranjena i ne nalazi se u komercijalnoj upotrebi. Kontrola procesa nije u potpunosti moguća jer dolazi do velikih gubitaka prilikom prolaska kroz tečnu fazu što dovodi do pregrevanja materijala zbog otapanja kristala leda unutar materijala.

Prednosti i nedostaci sušenja zamrzavanjem. Tokom sušenja zamrzavanjem smanjeno je narušavanje strukture materijala i omogućeno je očuvanje visokovrednih nutritivnih komponentata voća. Porozna struktura osušenog proizvoda olakšava rehidraciju. Komercijalna primena sušenja zamrzavanjem ograničena je usled velikih investicionih ulaganja i troškova prerade. Osušeni proizvodi su veoma higroskopni i zahtevaju poseban način pakovanja, što dodatno poskupljuje proces (Das Gupta i Jayaraman, 2006).

#### **2.2.2.2 Sušenje na valjcima**

Tehnika sušenja na valjcima pogodna je prvenstveno za tečne materijale, paste i piree. Materijal se u tankom sloju postavlja na spoljnu površinu sporo rotirajućeg šupljeg valjka od nerđajućeg čelika. Valjak se iznutra zagreva parom temperature 120-170°C (Das Gupta i Jayaraman, 2006). Sloj materijala nanosi se ravnomerno preko spoljašnje površine valjka potapanjem, raspršivanjem, rasejavanjem ili pomoćnim valjcima. Uniformnost filma značajno utiče na uspešnost procesa sušenja. Direktnim kontaktom materijala sa grejnom površinom postiže se visok stepen prenosa toplote. Osušeni komadi voća i povrća veoma su higroskopni, što zahteva oštrije uslove sušenja u cilju smanjenja uticaja naknadnog upijanja vlage. Usled primene visokih temperatura dolazi do oštećenja osušenih proizvoda.

Prednosti i nedostaci sušenja na valjcima. Osnovne prednosti sušenja na valjcima su kontinualan proces, jednostavan i jeftin uređaj i kratko vreme sušenja, dok kontakt materijala sa površinom valjka vrlo visoke temperature predstavlja osnovni nedostatak (Šumić, 2014).

### 2.2.3 Sušenje konvekcijom

Tokom konvektivnog sušenja materijal se dovodi u neposredan kontakt sa gasom koji zagreva materijal i odnosi vlagu iz njega. Kao gas najčešće se koristi topao vazduh (Sovilj, 2004). Najveće količine osušenog voća proizvode se konvektivnim sušenjem upotrebom toplog vazduha. Tehnika sušenja konvektivnim prenosom toplote je ekonomičnija i jednostavnija tehnika u poređenju sa ostalim tehnikama sušenja. Različiti tipovi sušara dizajnirani su na osnovu ove tehnike, a među najvažnije se ubrajaju komorne, tunelske, trakaste i pneumatske sušare, sušare sa fluidizovanim slojem i sušare sa raspršivanjem.

#### 2.2.3.1 Komorne sušare

Komorne sušare su diskontinualni uređaji koji se koriste za sušenje manje količine materijala (1-5 t/dan) ili kao pilot postrojenja za eksperimentalno sušenje (Fellows, 2009). Glavni deo uređaja čini izolovana komora sa policama. Materijal se, u tankim slojevima, postavlja na police koje su poređane jedna iznad druge. Ventilatori potiskuju vazduh kroz grejače, a zatim horizontalno između polica ili vertikalno kroz njih. Topao vazduh, brzine 0,5 do 5 m/s, prolazi kroz sistem cevi i pregrada i obezbeđuje uniformnu distribuciju vazduha u komori. Brzina sušenja može se povećati ugrađivanjem dodatnih grejača iznad ili duž polica (Fellows, 2009). Recirkulacijom vazduha štedi se toplota neophodna za zagrevanje vazduha pre uvođenja u komoru za sušenje (Sovilj, 2004).

Prednosti i nedostaci komornih sušara. Komorne sušare zahtevaju mala investiciona ulaganja i imaju nisku cenu održavanja. Pogodne su za sušenje različitih vrsta materijala. Neujednačen kvalitet osušenog proizvoda predstavlja osnovni nedostatak ovih sušara.

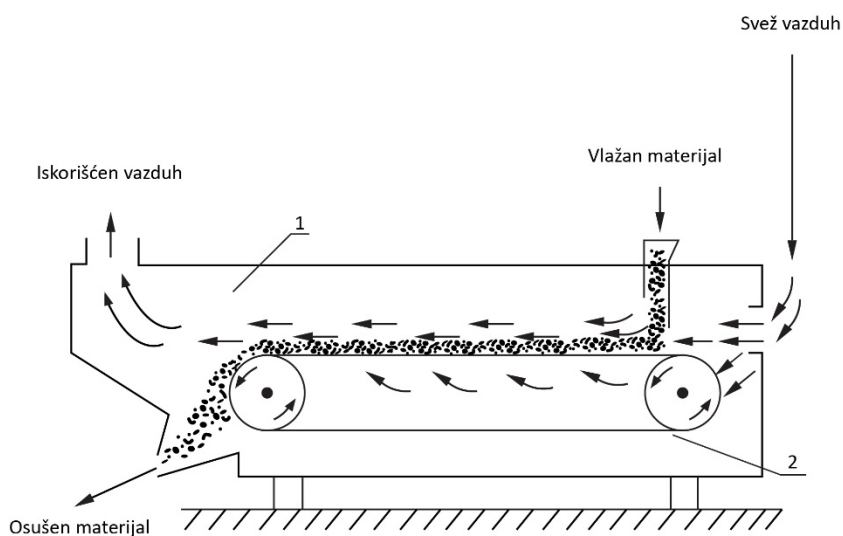
#### 2.2.3.2 Tunelske sušare

U tunelskim sušarama vlažan materijal postavlja se u zasebne vagonete koji se tokom sušenja kreću malom brzinom kroz izolovani tunel (Sovilj, 2004). Kretanje vagoneta u odnosu na vazduh može biti istosmerno ili protivsmerno. Tipičan tunel za sušenje dugačak je 20 m, ima 12 do 15 pokretnih traka i kapacitet od 5000 kg (Fellows, 2009).

Prednosti i nedostaci tunelskih sušara. Tunelske sušare imaju komercijalni značaj zbog fleksibilnosti i mogućnosti sušenja velikog broja različitih vrsta voća i povrća u relativno kratkom vremenskom periodu. I pored navedenih prednosti, tunelske sušare su u velikoj meri zamenjene trakastim sušarama i sušarama sa fluidizovanim slojem, usled njihove više energetske efikasnosti, smanjenih troškova rada i boljeg kvaliteta osušenog proizvoda. Nedostaci tunelskih sušara su i neravnomerno sušenje i veliki utrošak manuelnog rada potrebnog za opsluživanje sušare (Sovilj, 2004).

### 2.2.3.3 Trakaste sušare

Trakaste sušare (slika 3) omogućavaju kontinualno sušenje komada manjih dimenzija. Sušare mogu biti do 20 m dugačke i do 3 m široke (Das Gupta i Jayaraman, 2006). Materijal se postavlja na beskonačnu perforiranu traku koju pokreću dva horizontalno postavljena valjka. Debljina sloja materijala je između 5 i 15 cm (Fellows, 2009). Vazduh se na početku procesa usmerava naviše, a u završnom stadijumu naniže u odnosu na materijal. Osušeni proizvod se na ovaj način štiti od izduvavanja van sloja.



Slika 3. Trakasta sušara: 1. komora za sušenje; 2. beskonačna traka (Jelen, 2005)

Prednosti i nedostaci trakastih sušara. Prednosti trakastih sušara su kontinualan rad i dobar kvalitet osušenog proizvoda, dok su osnovni nedostatak relativno visoka investiciona ulaganja (Tepić Horecki, 2019).

Dvostepene ili trostepene trakaste sušare rade na principu sjedinjavanja i postavljanja delimično osušenog materijala u deblje slojeve. Debljina slojeva kod dvostepenih trakastih sušara je od 15 do 25 cm, a kod trostepenih od 250 do 900 cm. Na ovaj način materijal se suši do 10-15% vlažnosti. Višestepeni postupci sušenja pospešuju uniformnost sušenja, omogućavaju dobru kontrolu nad uslovima sušenja i postižu visok stepen sušenja. Koriste se za sušenje veće količine materijala, do 5,5 t/h (Fellows, 2009).

Modifikaciju trakastih sušara predstavljaju sušare sa koritom u kojima se suše mali, uniformni komadi materijala. Materijal se postavlja na perforiranu traku koja slobodno visi između dva valjka, formirajući na taj način oblik korita. Topao vazduh struji kroz sloj materijala koji se meša i prevrće na pokretnoj traci. Na ovaj način nova površina materijala

za sušenje dovodi se konstantno u kontakt sa toplim vazduhom. Mešanjem materijala postiže se distanciranje materijala od dejstva vazduha, što obezbeđuje vreme za migraciju vlage iz unutrašnjosti na površinu materijala. Vlaga sa površine na taj način isparava brzo kada opet dođe u kontakt sa vazduhom. Materijal se suši u dva stepena. U prvom stepenu proizvod se suši između 50 i 60%, a u drugom od 15 do 20% vlage. Dužina sušenja seckanog povrća u sušarama sa koritom iznosi oko sat vremena, dok je za sušenje u tunelskim sušarama potrebno i do 5 h (Fellows, 2009). Prednosti sušara sa koritom su visoka energetska efikasnost, mogućnost dobre kontrole procesa i minimalno toplotno oštećenje proizvoda.

#### **2.2.3.4 Pneumatske sušare**

Pneumatske sušare koriste se uglavnom za finalno sušenje praškastih ili granuliranih materijala. Komadići materijala su obično veličine od 10 do 500  $\mu\text{m}$  i sadržaja vlage 40% (Fellows, 2009). Materijal se postavlja u metalne mreže, a zatim suši u struji toplog vazduha. Topao vazduh velike brzine strujanja prenosi se horizontalnim ili vertikalnim cevima i zatim dolazi u kontakt sa materijalom. Cevi su dovoljno dugačke, kako bi se omogućilo dobijanje proizvoda sa željenim sadržajem vlage. Osušeni proizvod se zatim, pomoću ciklona ili filtera, uklanja iz izlaznog vazduha.

U vertikalnim pneumatskim sušarama brzina strujanja vazduha uspostavljena je tako da se suvlje i lakše čestice suspenduju u ciklonski separator brže u odnosu na teže i vlažnije čestice. Na ovaj način, nedovoljno osušene čestice nastavljaju sa procesom sušenja. Za proizvode koji zahtevaju duže vreme sušenja, mreža se formira u kontinualnu petlju i proizvod recirkuliše kroz sistem sve dok se ne osuši do željenog sadržaja vlage. Sušare sa ovakvim sistemom nazivaju se prstenaste pneumatske sušare. Primeri primene prstenastih pneumatskih sušara su sušenje paradajza i šargarepe u cilju dobijanja krute, porozne strukture osušenog proizvoda.

Prednosti i nedostaci pneumatskih sušara. Među prednosti ove tehnike spadaju niska investiciona ulaganja i troškovi održavanja, velika brzina sušenja i dobra kontrola uslova sušenja. Pneumatske sušare su veoma pogodne za sušenje materijala osetljivih na dejstvo toplote. Velika potrošnja energije pneumatskih sušara predstavlja njihov osnovni nedostatak (Sovilj, 2004).



### 2.2.3.5 Sušare sa fluidizovanim slojem

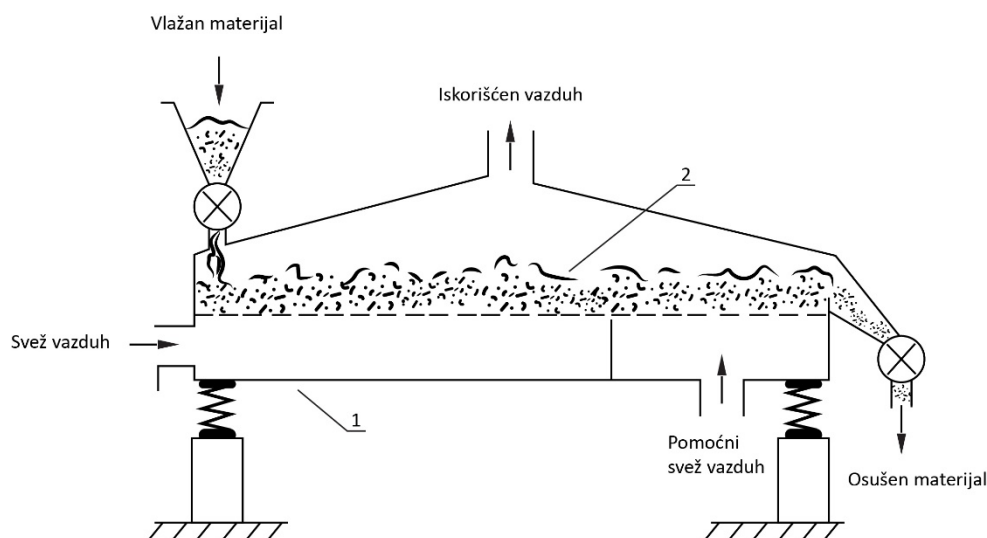
Princip sušenja u fluidizovanom sloju zasniva se na potiskivanju zagrejanog vazduha kroz sloj materijala brzinom strujanja koja prevazilazi silu gravitacije. Na ovaj način čestice materijala održavaju se u suspendovanom, fluidizovanom stanju. Brzina strujanja vazduha varira u zavisnosti od veličine i gustine čestica materijala. Vazduh se iz fluidizovanog sloja potiskuje u ciklone, gde se fine čestice suspenduju i usmeravaju nazad u fluidizovani sloj ili se naknadno aglomerizuju.

Primer primene sušenja u fluidizovanom sloju je sušenje graška, pasulja i povrća seckanog u kockice. Koristi se još i za dobijanje granula krompira, flekica luka i sušenih voćnih sokova (Das Gupta i Jayaraman, 2006). Često se koristi i za završetak procesa sušenja koji je započet drugom tehnikom sušenja.

Sušenje u fluidizovanom sloju može biti kontinualno i diskontinualno. Tokom diskontinualnog sušenja materijal se meša fluidizacijom, što utiče na uniformnost vlažnosti u osušenom proizvodu. Kod kontinualnog sušenja tacne na kojima se nalazi proizvod vibriraju i na taj način materijal pod uticajem sile gravitacije prelazi sa jedne tacne na drugu. Kao rezultat kontinualnog postupka dobijaju se osušeni proizvodi sa većom razlikom u sadržaju vlage. Osnovna primena kontinualnog postupka je za manje komade materijala koji se mogu fluidizovati bez prekomernog mehaničkog oštećenja, kao na primer kvasci, kokos, zrnevlje, začinsko bilje, instant kafa, šećer i čajevi (Fellows, 2009). Sušara sa fluidizovanim slojem prikazana je na slici 4.

Prednosti i nedostaci sušara sa fluidizovanim slojem. Osnovne prednosti sušara sa fluidizovanim slojem su kompaktnost, dobra kontrola nad uslovima sušenja, visok stepen sušenja, uniformnost vlažnosti materijala tokom sušenja, visoka termička efikasnost i kraće vreme sušenja u odnosu na ostale tehnike. Radna oprema i održavanje sušare su jednostavni. Proces sušenja u fluidizovanom sloju može se automatizovati bez većih poteškoća. Efikasna fluidizacija uspešno se odvija samo kod čestica prečnika od 20  $\mu\text{m}$  do 10 mm (Das Gupta i Jayaraman, 2006), što ujedno predstavlja ograničenje prilikom izbora materijala za sušenje ovim postupkom.

Prenos toplote kod sušenja u fluidizovanom sloju može biti poboljšán povećanjem brzine strujanja gasa. Međutim, brže strujanje vazduha uzrokuje izbacivanje komadića proizvoda iz sloja i praznine u sloju se povećavaju, što dovodi do redukovanja efikasnosti opreme.



Slika 4. Sušara sa fluidizovanim slojem: 1. komora; 2. fluidizovani sloj (Jelen, 2005)

Sušare sa centrifugalnim fluidizovanim slojem dizajnirane su u cilju prevazilaženja ograničenja u veličini komada materijala i toplotnih zahteva koji su uočeni tokom konvencionalnog fluidizacionog sušenja. Usled veće jačine centrifugalne sile u odnosu na gravitacionu postiže se efekat povećanja gustine komada materijala, čime je omogućena mirna i homogena fluidizacija. Variranjem vrednosti centrifugalne sile postiže se mirna fluidizacija nezavisno od brzine strujanja vazduha. Centrifugalna sila uzrokuje porast brzine strujanja vazduha, što dalje utiče na bolji prenos toplote na modifikovanoj temperaturi gasa, bez pojave toplotnog oštećenja materijala. Ove sušare postižu ekstremno visok stepen sušenja lepljivih materijala, materijala sa visokim sadržajem vlage i male gustine, kao i materijala u komadu (Das Gupta i Jayaraman, 2006).

#### 2.2.3.6 Sušare sa raspršivanjem

Sušenje raspršivanjem najvažnija je metoda sušenja tečnih materijala. Tečni materijal (40-60% vlažnosti) se disperguje (atomizira) u struji toplog vazduha u komori za sušenje na temperaturi 150-300°C (Fellows, 2009). Sušenje raspršivanjem obuhvata dve faze, atomizaciju tečnosti pomoću raspršivača i kontakt između rasprsnute tečnosti i medijuma za sušenje, najčešće toplog vazduha. Osušeni prah se odvaja od medijuma za sušenje u ciklonskom separatoru.

Različiti dizajni atomizera, komora za sušenje, sistema za zagrevanje vazduha i sakupljanja praha prilagođeni su sušenju mleka, jaja, kafe, kakaoa, čajeva, soka od paradajza, sladoleda, putera, kremova, jogurta i sireva u prahu, voćnih sokova, mesnih

ekstrakata, ekstrakata kvasca, inkapsuliranih aroma i proizvoda od pšeničnog i kukuruznog skroba. U zavisnosti od principa rada, izdvajaju se četiri tipa atomizera (Fellows, 2009):

1. Centrifugalni atomizer. Tečnost pada na centar rotirajućeg diska perifernom brzinom 90-200 m/s. Nastale kapljice, prečnika 50-60  $\mu\text{m}$ , odbacuju se sa ivice diska, formirajući na taj način uniformni sprej.

2. Atomizer sa mlaznicom pod pritiskom. Tečnost se pri visokim pritiscima usmerava kroz male otvore mlaznice u cilju formiranja veoma sitnih kapljica veličine 180 do 250  $\mu\text{m}$ . Žljebovi unutar mlaznice uzrokuju raspršivanje u obliku konusa, čime je zapremina komore za sušenje u potpunosti iskorišćena.

3. Atomizer sa mlaznicom i dva fluida. Komprimovani vazduh uspostavlja turbulenciju koja uzrokuje raspršivanje tečnosti. Radni pritisak niži je od pritiska u mlaznici, ali proizvodi se širi opseg kapljica.

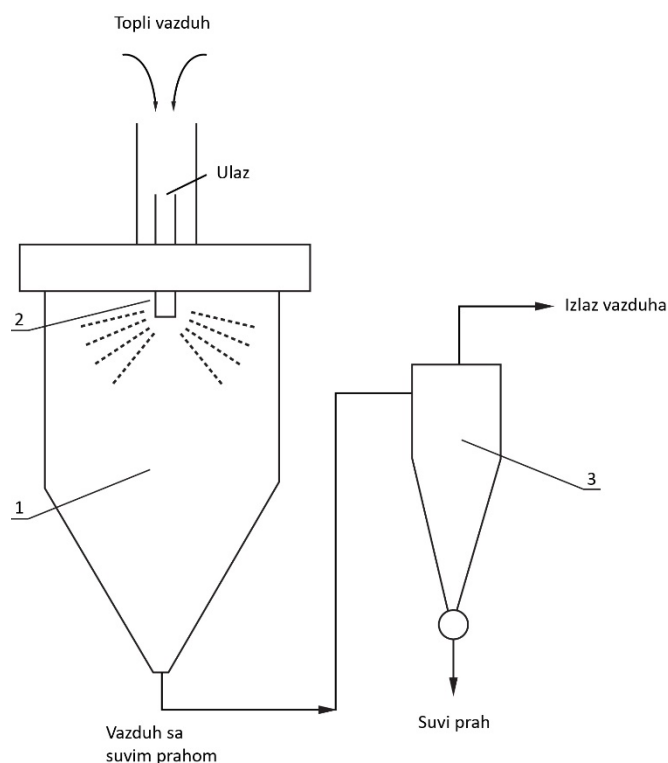
4. Ultrazvučni atomizer sa mlaznicom. Tečnost se atomizira u dva stepena. U prvom stepenu tečnost se atomizira pomoću mlaznice, a u drugom koristi ultrazvučnu energiju u cilju indukcije dalje kavitacije.

Atomizeri sa mlaznicama podložni su blokiranju usled lepljenja čestica. Abrazivni materijali postepeno šire otvore mlaznica i na taj način povećavaju prosečnu veličinu čestica.

Primena sušenja raspršivanjem na proizvode od voća i povrća je ograničena. Svaki proizvod tretira se individualno i sušare su dizajnirane tako da se prilagođavaju specifičnostima svakog proizvoda (slika 5). Voćni sokovi, pulpe i paste suše se uz dodatak aditiva. Ne postoji standardizovan dizajn sušenja, a posebna pažnja posvećuje se dizajnu sušare imajući u vidu higroskopnost i termoplastičnost osušenog proizvoda. Sušenje pulpe paradajza primer je komplikovanog postupka usled lepljivosti praha paradajza. U ovom slučaju, nakon raspršivanja tečnog koncentrata u struji vazduha temperature 138-150°C u sušaru se uvodi hladan vazduh u izduvni kraj sušare ili se zidovi sušare hlade do temperature 38-50°C (Das Gupta i Jayaraman, 2006).

Prednosti i nedostaci sušara sa raspršivanjem. Sušenje raspršivanjem karakteriše velika brzina sušenja usled velike površine kapljica koje su u kontaktu sa toplim vazduhom. Osnovne prednosti sušenja raspršivanjem su mogućnost kontinualne proizvodnje velikih razmera, mali radni troškovi i jednostavnost procesa i održavanja. Visoka investiciona ulaganja i zahtevi za relativno visok sadržaj vlage materijala, što podrazumeva i velike utroške energije i velike gubitke tokom isparavanja, predstavljaju nedostatke ovog tipa

sušenja. Trakaste sušare i sušare sa fluidizovanim slojem sve više zamenjuju sprej sušare usled veće kompatibilnosti i energetske efikasnosti.



Slika 5. Sušara sa raspršivanjem: 1. komora za sušenje; 2. mehanizam za disperziju (atomizaciju) tečnosti; 3. ciklon za skupljanje praha osušenog materijala (Jelen, 2005)

#### 2.2.4 Ostale tehnike sušenja

Pored navedenih tehnika sušenja, u industrijskoj upotrebi su i druge tehnike sušenja kao što su sušenje na suncu, solarno sušenje, osmotsko sušenje, konvektivno sušenje toplotnim pumpama, mikrotalasno sušenje i sušenje u peni.

##### 2.2.4.1 Sušenje na suncu

Metoda sušenja na suncu veoma je jednostavna jer koristi energiju zračenja sunca. Materijal za sušenje postavlja se po ravnim krovovima, poljima i drugim pogodnim površinama i prevrće se s vremena na vreme do postizanja željene vlažnosti. Ovakav tradicionalan način sušenja ujedno je i najjeftiniji način konzervisanja namirnica. Više od 250.000.000 t voća i žitarica godišnje suši se pomoću sunčeve energije (Fellows, 2009). Porast cene fosilnih goriva usled velike potrošnje i oskudice, doveo je do porasta interesovanja za tehniku sušenja na suncu.

#### **2.2.4.2 Solarno sušenje**

Solarno sušenje se zasniva se na prikupljanju energije sunčevog zračenja i zagrevanju vazduha koji se koristi za sušenje materijala.

Zadatak solarnih sušara je zagrevanje vazduha energijom zračenja sunca i dovođenje zagrejanog vazduha u kontakt sa materijalom. Solarne sušare klasifikuju se na osnovu režima zagrevanja ili načina upotrebe solarne energije. U solarne sušare spadaju direktne i indirektne solarne sušare, hibridni i mešani sistemi.

#### **2.2.4.3 Osmotsko sušenje**

Osmotsko sušenje je postupak uklanjanja vode potapanjem materijala u hipertonične rastvore. Usled većeg osmotskog pritiska i manje aktivnosti vode ( $a_w$ ) rastvora dolazi do migracije vlage iz materijala. Prirodni ćelijski zid materijala ponaša se kao semipermeabilna membrana, usled čega dolazi do difuzije supstanci iz hipertoničnog rastvora u materijal i obrnuto. Procesom osmotskog sušenja može se dostići i više od 50% smanjenja mase svežeg materijala pomoću koncentrovanog rastvora šećera (Erle i Schubert, 2001). Ova tehnika koristi se i kao predtretman, odnosno predkoncentrisanje materijala, u cilju smanjenja potrošnje energije i štete uzrokovane toplotom kod drugih postupaka sušenja.

Veliki broj skorašnjih istraživanja bazira se na korišćenju osmotskih agenasa koji se dodaju rastvorima, uticaju promenljivih parametara na proces sušenja, kombinacijom osmotskog sa drugim stabilizacionim tehnikama sušenja kao i na kvalitetu dobijenih proizvoda. Osmotski agensi ne smeju biti toksični i moraju imati zadovoljavajući ukus i dobru rastvorljivost. Kao osmotski agens najčešće se koristi šećer u različitim koncentracijama (Erle i Schubert, 2001). Kuhinjska so je odličan agens za sušenje povrća. Gubitak mase povećava se porastom koncentracije osmotskog rastvora, vremena potapanja, temperature i specifične površine materijala, upotrebom vakuuma i mešanjem. Povećanje temperature tokom osmotskog sušenja utiče na strukturu tkiva materijala, što dalje uzrokuje značajno povećanje brzine unosa rastvorene supstance upotrebljenog agensa i brži gubitak vode iz materijala (Lazarides, 2001).

Delimično sušenje voća i povrća osmotskim sušenjem koristi različite osmotske agense i obično prethodi konvektivnom sušenju toplim vazduhom, fluidizovanom sušenju koje koristi visoke temperature, vakuum sušenju i sušenju zamrzavanjem. Cilj delimičnog sušenja je smanjenje vremena sušenja i upotrebe energije, kao i unapređenje senzorskih karakteristika osušenog proizvoda.

Prednosti i nedostaci osmotskog sušenja. Prednosti osmotskog sušenja u odnosu na druge tehnike sušenja su minimalno toplotno oštećenje proizvoda, očuvanje boje, manja

diskoloracija voća usled enzimatskog i oksidativnog potamnjenja, manja potrošnja energije s obzirom da se voda može ukloniti bez promene faze. Proizvod dobijen osmotskim sušenjem nije dovoljno osušen da bi se sačuvao od kvarenja i zbog toga su neophodni dodatni tretmani kako bi se produžio njegov rok upotrebe (Erle i Schubert, 2001). Tokom osmotskog sušenja dolazi i do gubitka rastvorljivih supstanci, zavisno od vrste materijala koji se tretira (Mayor i sar., 2006).

#### **2.2.4.4 Konvektivno sušenje toplotnim pumpama**

Sistem toplotnih pumpi dovodi vazduh za sušenje iznad isparivača rashladnog sistema. Vazduh se hladi ispod tačke rose i na taj način vodena para iz vazduha kondenzuje. Sušare sa toplotnim pumpama koje recirkulišu sav vazduh su najrasprostranjenije, međutim dostupni su i tipovi pumpi koji ne recirkulišu vazduh. Oba tipa mogu biti veoma energetska efikasna.

Prednosti i nedostaci konvektivnog sušenja toplotnim pumpama. Osnovne prednosti upotrebe toplotnih pumpi su unapređenje termičke efikasnosti i ekonomičnosti konvektivnog postupka sušenja toplim vazduhom. Nedostaci sušenja uz pomoć toplotnih pumpi su velika investiciona ulaganja, dizajn i integracija sistema (Chua i sar., 2010).

#### **2.2.4.5 Mikrotalasno sušenje**

Tokom mikrotalasnog sušenja materijal se zagreva usled interakcije hemijskih konstituenata i energije zračenja. Sušare koje rade na principu mikrotalasnog sušenja rade pri energiji zračenja 915 i 2450 MHz (Chandrasekaran i sar., 2013). Prednosti mikrotalasnih sušara su izuzetan kvalitet proizvoda koji nastaje kao rezultat uniformnog zagrevanja materijala, selektivna apsorpcija zračenja od strane slobodne vode i jednostavno kontrolisanje procesa.

#### **2.2.4.6 Sušenje u peni**

Sušenje u peni je u osnovi kontaktno sušenje u tankom sloju stabilizovane pene na normalnom atmosferskom pritisku. Pena se priprema dodatkom stabilizatora i ubrizgavanjem gasa u materijal koji je u tečnom agregatnom stanju. Dobijena pena suši se kontinualno na trakastim sušarama. Pena, debljine 2-3 mm, suši se u dva stepena, najpre paralelnim, a zatim unakrsnim strujanjem vazduha. Osnovni uslov za uspešno sušenje u peni je formiranje pene zadovoljavajuće konzistencije i dobre sposobnosti formiranja filma. Komponente koje se dodaju voću i povrću u tečnom agregatnom stanju radi formiranja pene su glicerol-monostearat, rastvor proteina soje i propilen-monostearat. Vreme i temperatura sušenja zavise od materijala koji se suši. Većina voćnih sokova zahteva 15 min.

sušenja i temperaturu sušenja oko 71°C, za dobijanje osušenog proizvoda sa približno 2% vlage (Das Gupta i Jayaraman, 2006). Sa druge strane, brzina strujanja i vlažnost vazduha nemaju značajan efekat na ukupno vreme sušenja.

Prednosti i nedostaci sušenja u peni. Prednosti sušenja u peni su brže uklanjanje vlage iz materijala, mogućnost sušenja na atmosferskom pritisku u struji toplog vazduha za relativno kratko vreme. Takođe, sušenje u peni je skoro tri puta brže nego sušenje sloja u tečnom stanju približno iste debljine (Fellows, 2009). Velika brzina sušenja i primena niskih temperatura tokom sušenja u peni rezultuje proizvodom visokog kvaliteta. Međutim, sušenje u peni ograničeno je na određenu vrstu proizvoda, kao što su praškasti proizvodi od voća za pripremu instant napitaka. Nedostatak sušenja u peni su i velika investiciona ulaganja usled potrebe za velikom radnom površinom za postizanje većeg stepena sušenja.

## 2.3 FIZIČKE, HEMIJSKE I BIOLOŠKE OSOBINE SVEŽEG I OSUŠENOG KOŠTIČAVOG VOĆA

### 2.3.1 Hemijski sastav koštičavog voća

Hemijski sastav voća veoma je značajan u tehnološkom smislu s obzirom da direktno utiče na način konzervisanja koji će se primeniti, koje reakcije mogu da se očekuju tokom postupka prerade kao i na to koja se količina proizvoda može očekivati nakon prerade. Pod hemijskim sastavom voća podrazumeva se sadržaj svih komponenata voća uključujući i vodu. Hemijski sastav voća karakterističan je za svaku vrstu i sortu voća (tabela 1).

Tabela 1. Hemijski sastav koštičavog voća (USDA, 2020)

Karakteristika	Jedinica	Višnja	Trešnja	Kajsija	Šljiva	Breskva
Voda	g	86,13	82,25	86,35	87,23	88,87
Energija	kcal	50	63	48	46	39
Proteini	g	1,00	1,06	1,40	0,70	0,91
Ukupni lipidi (masti)	g	0,2	0,30	0,20	0,39	0,28
Ugljeni hidrati	g	12,18	16,01	11,12	11,42	9,54
Vlakna (ukupna dijetalna)	g	1,6	2,1	2	1,4	1,5
Ukupni šećeri	g	8,49	12,82	9,24	9,92	8,39
Ca	mg	16	13	13	6	6
Fe	mg	0,32	0,36	0,39	0,17	0,25
Mg	mg	9	11	10	7	9
P	mg	15	21	23	16	20
K	mg	173	222	259	157	190
Na	mg	3	0	1	0	0

Karakteristika	Jedinica	Višnja	Trešnja	Kajsija	Šljiva	Breskva
Zn	mg	0,10	0,07	0,20	0,10	0,170
Cu	mg	0,104	0,06	0,078	0,057	0,068
Se	µg	0	0	0,1	0	0,1
Vitamin C	mg	10	7	10	9,5	6,6
Tiamin	mg	0,030	0,027	0,030	0,028	0,024
Riboflavin	mg	0,040	0,033	0,040	0,026	0,031
Niacin	mg	0,400	0,154	0,600	0,417	0,806
Vitamin B6	mg	0,044	0,049	0,054	0,029	0,025
Ukupni folati	µg	8	4	9	5	4
Folna kiselina	µg	0	0	0	0	0
Holin	mg	6,1	6,1	2,8	1,9	6,1
Vitamin B12	µg	0	0	0	0	0
Vitamin A	µg	64	3	96	17	16
Retinol	µg	0	0	0	0	0
β-karoten	µg	770	38	1094	190	162
α-karoten	µg	0	0	19	0	0
β-kriptoksantin	µg	0	0	104	35	67
Likopen	µg	0	0	0	0	0
Lutein i zeaksantin	µg	85	85		73	91
Vitamin E	mg	0,07	0,07	0,89	0,26	0,73
Vitamin D (D <sub>2</sub> i D <sub>3</sub> )	µg	0	0	0	0	0
Vitamin K	µg	2,1	2,1	0	6,4	2,6
Ukupne zasićene masne kiseline	g	0,068	0,038	0,027	0,017	0,019
Ukupne mononezasićene masne kiseline	g	0,082	0,047	0,170	0,134	0,067
Ukupne polinezasićene masne kiseline	g	0,090	0,052	0,077	0,044	0,086

Maseni odnos kiselina i šećera u plodovima višnje iznosi 1:6, što ovom voću daje osvežavajući slatki ukus. Karakteristična crvena boja višnje potiče od antocijana (Blando i Oomah, 2019), a pored ovih pigmenata manjoj meri prisutni su flavoni i u tragovima karoteni i ksantofili (Šumić, 2014). Višnje predstavljaju bogat izvor prirodnih antioksidanata, posebno polifenola (Wojdyło i sar., 2014).

Trešnje sadrže najmanju količinu vode u odnosu na druge vrste koštičavog voća. Osnovne nutritivne komponente u trešnjama čine ugljeni hidrati i njihov udeo zavisi od sorte, fiziološkog stanja voća i agroklimatskih uslova uzgoja (Alonso i Alique, 2006). Sadrže veću količinu ugljenih hidrata i ukupnih šećera u poređenju sa ostalim vrstama koštičavog voća. Trešnje predstavljaju bogat izvor fenola, flavonoida i antocijana (Ballistreri i sar., 2013; Bastos i sar., 2015). Ove komponente doprinose značajnom antioksidativnom profilu



trešanja. Trešnje sadrže značajne količine pantotenske kiseline, vitamina B<sub>6</sub>, folata, vitamina B<sub>12</sub> i vitamina A (Alonso i Alique, 2006).

Glavni ugljeni hidrat plodova kajsije je saharoza, zatim glukoza i fruktoza, dok se sorbitol nalazi u niskim koncentracijama. Jabučna i limunska kiselina najzastupljenije su organske kiseline u plodovima kajsije. Glavna fenolna jedinjenja u kajsiji su hlorogena kiselina, neohlorogena kiselina, rutin, katehin i epikatehin, sa velikim razlikama među sortama u pogledu koncentracije ovih jedinjenja. Glavni karotenoid prisutan u plodovima kajsije je  $\beta$ -karoten, kojeg ima najviše u kajsijama u poređenju sa drugim vrstama koštičavog voća, a zatim  $\gamma$ -karoten i  $\beta$ -kriptoksantin koji se nalaze u različitim koncentracijama u zavisnosti od sorte (Roussos i sar., 2015a).

Šljive zajedno sa još nekim voćnim vrstama kao što su jabuke, višnje i kruške, prirodno sadrže šećerni alkohol sorbitol, koji se koristi u proizvodnji slatkih dijetetskih proizvoda kao zamena za šećer (Donen, 1939; Vlahović, 2015). Saharoza, glukoza i fruktoza su glavni ugljeni hidrati plodova šljive. Jabučna kiselina je dominantna organska kiselina u plodovima šljive.

Najveći procenat vode među vrstama koštičavog voća nalazi se u breskvi. Glavni šećeri u breskvama su saharoza, glukoza, fruktoza i sorbitol, a među glavnim organskim kiselinama su jabučna i limunska (Bassi i sar., 2015). Breskve predstavljaju važan izvor antioksidanata i bioaktivnih jedinjenja. Doprinos fenolnih jedinjenja i antocijana antioksidativnoj aktivnosti breskve mnogo je važniji od doprinosa vitamina C ili karotenoida (Bassi i sar., 2015).

### 2.3.2 Voda

Mikroorganizmi predstavljaju glavne uzročnike kvarenja hrane, a za njihov rast i razvoj neophodna je voda koja se u voću i povrću nalazi u velikom procentu. Iz tog razloga, sadržaj vlage osušenog materijala predstavlja najznačajniji parametar bezbednosti osušenog proizvoda. S obzirom da sušenje predstavlja uklanjanje vlage iz materijala koji se suši, neophodno je proizvod osušiti do sadržaja vlage koji obezbeđuje bezbednost osušenog proizvoda u predviđenom roku upotrebe. Pravilnikom o kvalitetu proizvoda od voća, povrća i pečurki i pektinskih preparata, sadržaj vlage u sušenim šljivama ograničen je na maksimalno 27%; u sušenim smokvama do 25% vode, a u suvom grožđu do 19% (Sl. list SFRJ, 1/79).

Voda u hrani može biti prisutna kao slobodna ili vezana (Vereš, 1991; Šumić, 2014). Pod pojmom slobodna voda podrazumeva se voda koja ima neznačajno manji napon pare u odnosu na napon pare nad površinom vode iste temperature. Vezana voda ima znatno

manji napon pare u odnosu na napon pare nad površinom vode iste temperature. Praktično se ne može povući oštra granica između slobodne i vezane vode. Najveći procenat slobodne vode sadrže namirnice u tečnom agregatnom stanju, kao što su na primer voćni sokovi, mleko i vino. Procenat vode u namirnicama koje sadrže veliku količinu masti je mali, pri čemu je sva ta količina vode ili slobodna ili vezana mehanički, odnosno moguće je njeno uklanjanje mehaničkim delovanjem, kao na primer presovanjem. Najmanji sadržaj slobodne vode imaju namirnice koje sadrže malo vode, a mnogo proteina i ugljenih hidrata, kao što su na primer sušeno voće, sušeno povrće i brašno (Stanišić, 1988).

### 2.3.3 Aktivnost vode

Aktivnost vode (engl. Water Activity,  $a_w$ ), uz sadržaj vlage, predstavlja najbitniji parametar bezbednosti i održivosti osušene hrane. Kao i sadržaj vlage,  $a_w$  indirektno vrednost ukazuje na mikrobiološke, hemijske i fizičke osobine hrane (Chirife i Fontana, 2007). Definiše se kao odnos pritiska vodene pare iznad namirnice ( $p_w$ ) i pritiska vodene pare čiste vode na istoj temperaturi ( $p_{w0}$ ):

*Jednačina 1:*

$$a_w = \left( \frac{p_w}{p_{w0}} \right)_T$$

Mikroorganizme, kao glavne uzročnike kvarenja hrane, karakteriše optimalna i minimalna vrednost aktivnosti vode koja je neophodna za njihov rast. Smanjenjem  $a_w$  vrednosti ispod optimalne usporava se rast i razmnožavanje mikroorganizama, dok se smanjenjem ispod minimalne u potpunosti sprečava njihov rast i razmnožavanje. Proizvod se može smatrati biološki stabilnim pri  $a_w$  vrednosti 0,6 i nižoj (Šumić, 2014). Minimalne  $a_w$  vrednosti neophodne za rast mikroorganizama, kao i za proizvodnju toksina prikazane su u tabeli 2.

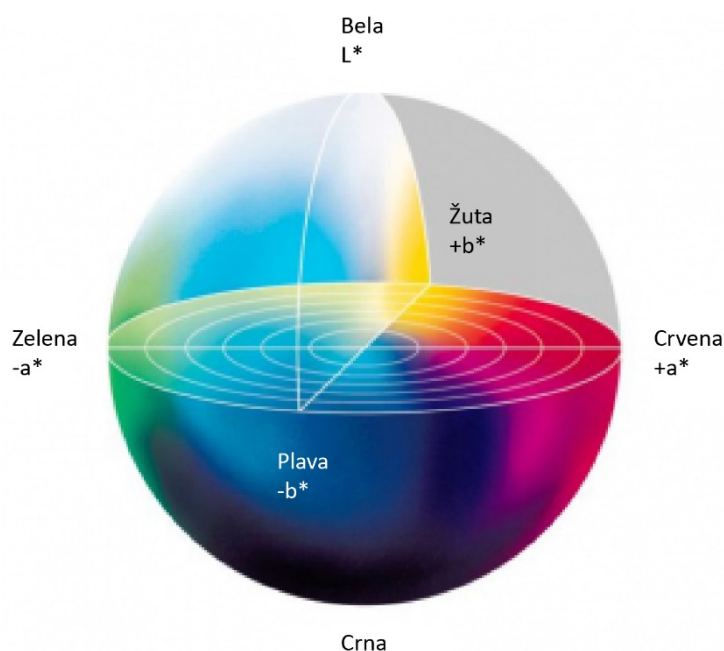
Tabela 2. Minimalne  $a_w$  vrednosti potrebne za rast mikroorganizama i za proizvodnju toksina  
(Taoukis and Richardson, 2007)

Mikroorganizam	Minimum $a_w$ potreban za rast	Minimum $a_w$ potreban za proizvodnju toksina
Bakterije		
<i>Aeromonas hydrophila</i>	0,97	
<i>Bacillus cereus</i>	0,93-0,95	
<i>Campylobacter jejuni</i>	0,98	
<i>Clostridium botulinum</i>		
Type A	0,93-0,95	0,94-0,95
Type B	0,93-0,94	0,94
Type E	0,95-0,97	0,97
<i>Clostridium perfringens</i>	0,93-0,95	
<i>Escherichia coli</i>	0,95	
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,92-0,94	
<i>Salmonella</i> spp.	0,92-0,95	
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,86	0,87-0,90 (Enterotoksin A)
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	0,94	
<i>Yersinia enterocolitica</i>	0,95	
Plesni		
<i>Aspergillus clavatus</i>	0,85	0,99 (Patulin)
<i>Aspergillus flavus</i>	0,78-0,80	0,83-0,87
<i>Aspergillus ochraceus</i>	0,77-0,83	0,83-0,87 (Ohratoksin)
	0,76-0,81	0,80-0,88 (Penicilinska kiselina)
<i>Aspergillus Parasiticus</i>	0,82	0,87 (Aflatoksin)
<i>Byssochlamys nivea</i>	0,84	
<i>Penicillium cyclopium</i>	0,82-0,87	0,97 (Penicilinska kiselina)
	0,81-0,85	0,87-0,90 (Ohratoksin)
<i>Penicillium expansum</i>	0,83-0,85	0,99 (Patulin)
<i>Penicillium islandicum</i>	0,83	
<i>Penicillium martensii</i>	0,79-0,83	0,99 (Penicilinska kiselina)
<i>Penicillium patulinum</i>	0,81-0,85	0,85-0,95 (Patulin)
<i>Penicillium ovoidatum</i>	0,83	0,83-0,86 (Ohratoksin)
<i>Stachybotrys atra</i>	0,94	0,94
<i>Trichothecium roseum</i>	0,90	

### 2.3.4 Boja

Boja voća je veoma značajna pri izboru voća od strane potrošača. Svojom raznolikošću i intenzitetom u mnogome utiče na izbor voća za konzumaciju. Iz navedenih razloga, smatra se veoma bitnim parametrom kvaliteta svežeg voća i proizvoda od voća (Artés i sar., 2002). Boja osušenog voća ukazuje dodatno i na kvalitet procesa sušenja i poželjno je da se boja osušenog voća razlikuje od originalne boje svežeg voća u što je moguće manjoj meri.

Postoje razni sistemi za definisanje boje, a među najpoznatijima je standardni sistem koji je preporučila CIE Internacionalna komisija za osvetljenje (engl. International Commission on Illumination) (Škaljac, 2014). CIE  $L^*a^*b^*$  bojeni prostor zasnovan je na trodimenzionalnom bojenom prostoru sa tri kolorne koordinate,  $L^*$ ;  $a^*$  i  $b^*$  u kojem se boja predstavlja sferično, kao na slici 6.



Slika 6. CIE  $L^*a^*b^*$  bojeni prostor (Chiang i sar., 2018)

Koordinata  $L^*$  smeštena je na centralnoj osi CIE  $L^*a^*b^*$  bojenog prostora i predstavlja merilo svetloće boje. Koordinata  $L^*$  je ahromatična i ima opseg od crne boje (0) na dnu, do bele boje (100) na vrhu. Koordinate  $a^*$  i  $b^*$  su hromatične i pokazuju pravac i udaljenost od centra obojene sfere. Koordinata  $a^*$  označava zelenu boju kada je negativna ( $-a^*$ ), a crvenu boju kada je pozitivna ( $+a^*$ ). Koordinata  $b^*$  označava plavu boju kada je negativna ( $-b^*$ ), a žuti kada je pozitivna ( $+b^*$ ).

Ukupna promena boje ( $\Delta E$ ) predstavlja parametar koji se računa pomoću izmerenih vrednosti  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  pomoću jednačine:

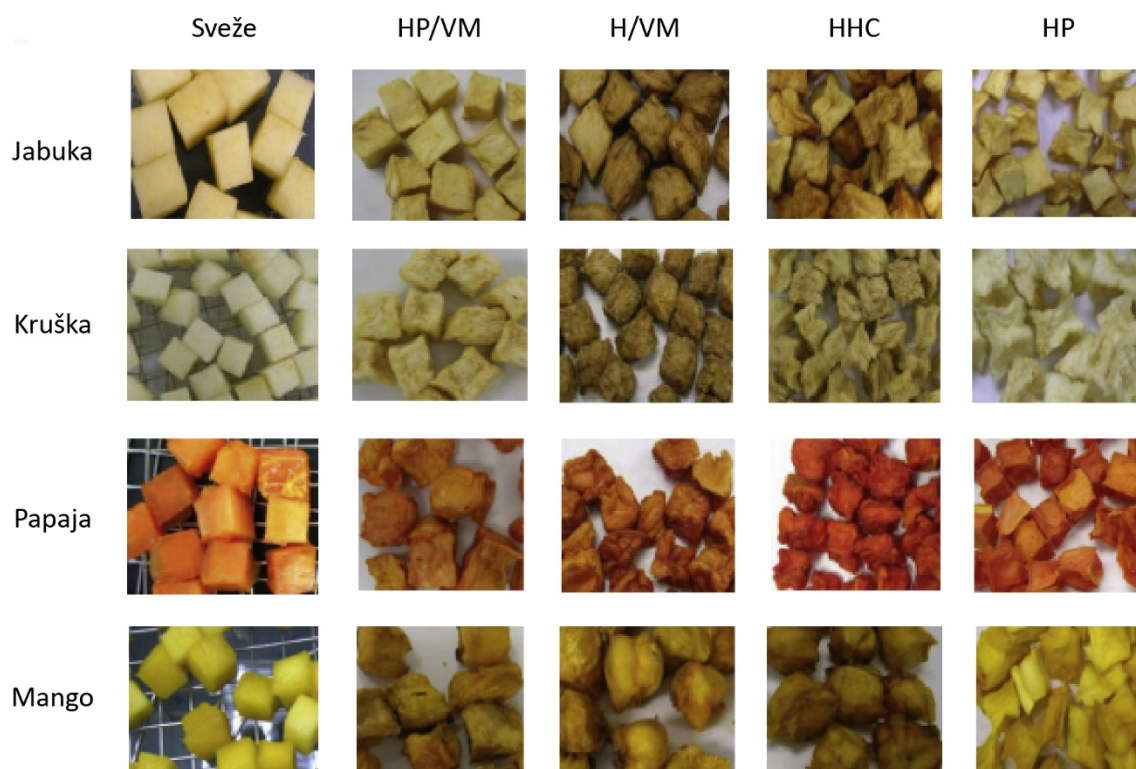
Jednačina 2:

$$\Delta E = \sqrt{[(L^*_0 - L^*)^2 + (a^*_0 - a^*)^2 + (b^*_0 - b^*)^2]}$$

gde su  $L^*_0$ ,  $a^*_0$  i  $b^*_0$  parametri boje nekog kontrolnog uzorka, a  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  parametri boje uzorka.

Pomoću vrednosti  $\Delta E$  može se uspešno utvrditi ukupna promena boje osušenih uzoraka voća u odnosu na sveže uzorke, što predstavlja značajan parametar kvaliteta u pogledu ispitivanja uticaja parametara sušenja na kvalitet osušenog voća.

Primer značajnosti ispitivanja  $\Delta E$  osušenog voća prikazan je u istraživanju Chong i sar. (2013) gde je, pored ostalih parametara, ispitana promena boje u uzorcima jabuke, kruške, papaje i manga osušenih kombinovanim tehnikama sušenja (HP/VM-vakuum-mikrotalasno sušenje toplotnim pumpama; H/VM-vakuum-mikrotalasno sušenje toplim vazduhom; HHC-sušenje toplim-hladnim vazduhom; HP-sušenje toplotnim pumpama). Zabeleženo je da je vrednost  $\Delta E$  u uzorcima kruške i manga osušenih primenom kombinovanih tehnikama bila veća u poređenju sa istim uzorcima osušenih kontinualnim konvektivnim sušenjem korišćenjem toplotnih pumpi. Uzorci papaje osušeni vakuum-mikrotalasnim sušenjem korišćenjem toplotnih pumpi, pokazali su najveću vrednost  $\Delta E$ , dok je sušenje na principu naizmenične primene toplog i hladnog vazduha uticalo na najveću vrednost  $\Delta E$  u uzorcima jabuke. Rezultati istraživanja prikazani su na slici 7.



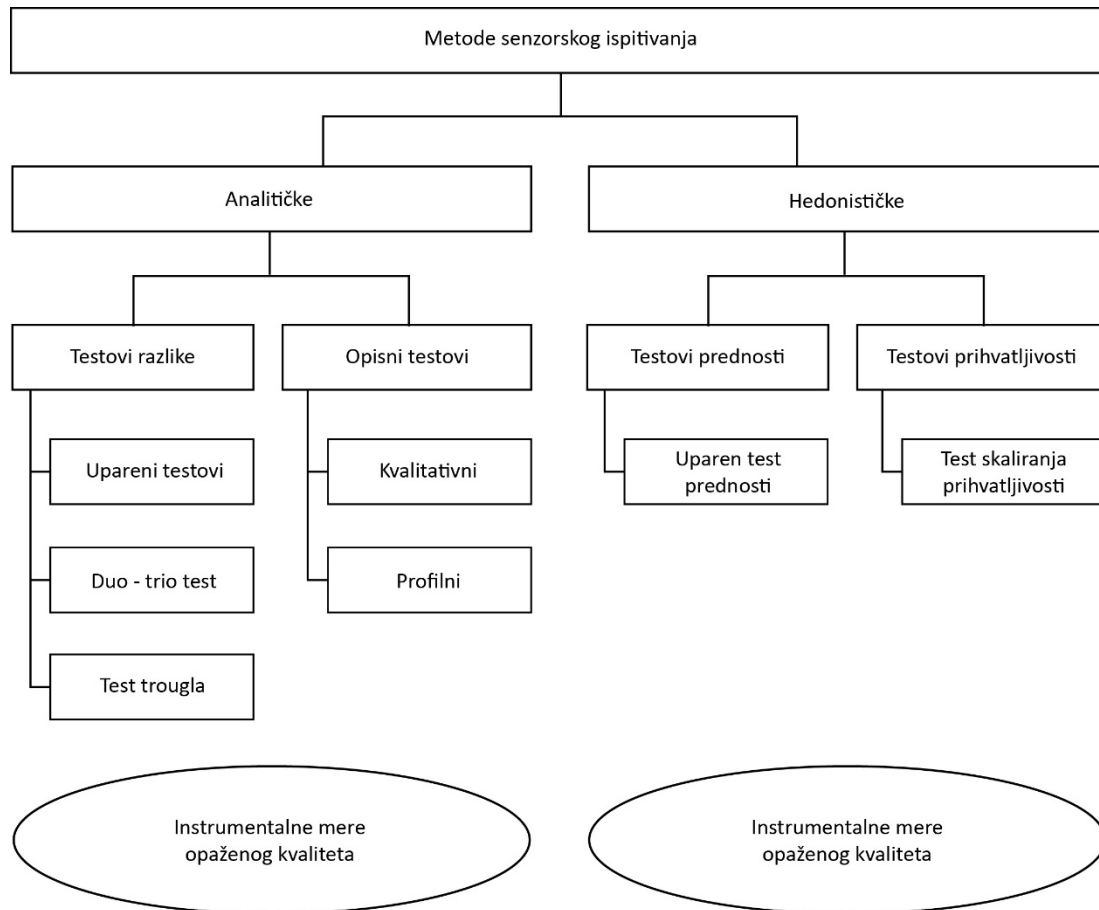
Slika 7. Promena boje u uzorcima jabuke, kruške, papaje i manga osušenim različitim tehnikama sušenja (HP/VM-vakuum-mikrotalasno sušenje toplotnim pumpama; H/VM-vakuum-mikrotalasno sušenje toplim vazduhom; HHC-sušenje toplim-hladnim vazduhom; HP-sušenje toplotni pumpama) u istraživanju Chong i sar. (2013)

### 2.3.5 Tekstura

Pored izgleda (boje, veličine i oblika) i arome voća, tekstura se smatra jednim od tri glavna faktora koji utiču na prihvatljivost od strane potrošača (Bourne, 2009). Visoke temperature koje se primenjuju tokom procesa sušenja utiču na narušavanje ćelijskog integriteta i degradaciju ćelijskih zidova (Kunzek et al., 1999) i samim tim i na teksturalne osobine osušenog proizvoda. Veoma je poželjno da osušeni proizvodi ne budu previše krhki, a ni previše čvrsti.

Tekstura je usko povezana sa drugim parametrima kvaliteta. Aktivnost vode i sadržaj vlage značajno utiču na teksturalna svojstva hrane. Hrana sa visokim sadržajem vlage i većom aktivnošću vode ima sočnu, nežnu i žvakljivu teksturu. Nasuprot tome, usled smanjenja sadržaja vode dolazi do pojave nepoželjnih osobina teksture kao što su tvrdoća, suvoća i žilavost (Chirife i Fontana, 2007).

Ispitivanja teksture mogu biti senzorska i instrumentalna. Senzorska ispitivanja izvodi obučena grupa stručnjaka i na ovaj način se obezbeđuje objektivno ispitivanje senzorskih osobina proizvoda (Šumić, 2014). Klasifikacija glavnih postupaka senzorskog ispitivanja teksture prikazana je na slici 8.



Slika 8. Klasifikacija senzorskih metoda ispitivanja teksture (Kilcast, 2000)

Razlikuju se tri vrste uređaja za instrumentalno ispitivanje teksture: uređaji za presecanje, penetometri i kompresimetri (Szczesniak, 1973).

**Uređaji za presecanje** koriste se za presecanje uzorka pomoću sečiva nalik nožu ili žice. Koriste se uglavnom za ispitivanje teksture mesa i proizvoda od mesa, sira i povrća koje sadrži vlakna, a takođe je ispitana i njegova primena za proizvode poput paradajza i ananasa.

**Penetometri** predstavljaju jednu od najstarijih i najcenjenijih grupa instrumenata za merenje teksture. Rad penetometra zasniva se na principu prodiranja u materijal koji se ispituje, obično suženom sondom u obliku šipke ili sondom oblika konusa i merenjem sile koja je potrebna za prodiranje do određene ili ukupne dubine materijala koji se ispituje. Što

je veća vrednost primenjene sile, to je veća otpornost materijala, što ukazuje na veću čvrstoću i tvrdoću materijala. Postoje penetrometri sa jednom sondom ili sa više sondi montiranih na jednoj ploči.

**Kompresimetri**, kao što i sam naziv ovih uređaja ukazuje, testiraju otpornost hrane na kompresiju, odnosno sabijanje. Za razliku od penetrometara, u slučaju određivanja sile kompresije ne dolazi do bušenja materijala koji se ispituje.

Instrumentalno određivanje teksture sprovodi se i na mastikometrima, konzistometrima, viskozimetrima, uređajima za ekstruziju i drugim. Definicije parametara teksture prikazane su u tabeli 3.

Tabela 3. Definicije parametara teksture (Szczesniak, 2002)

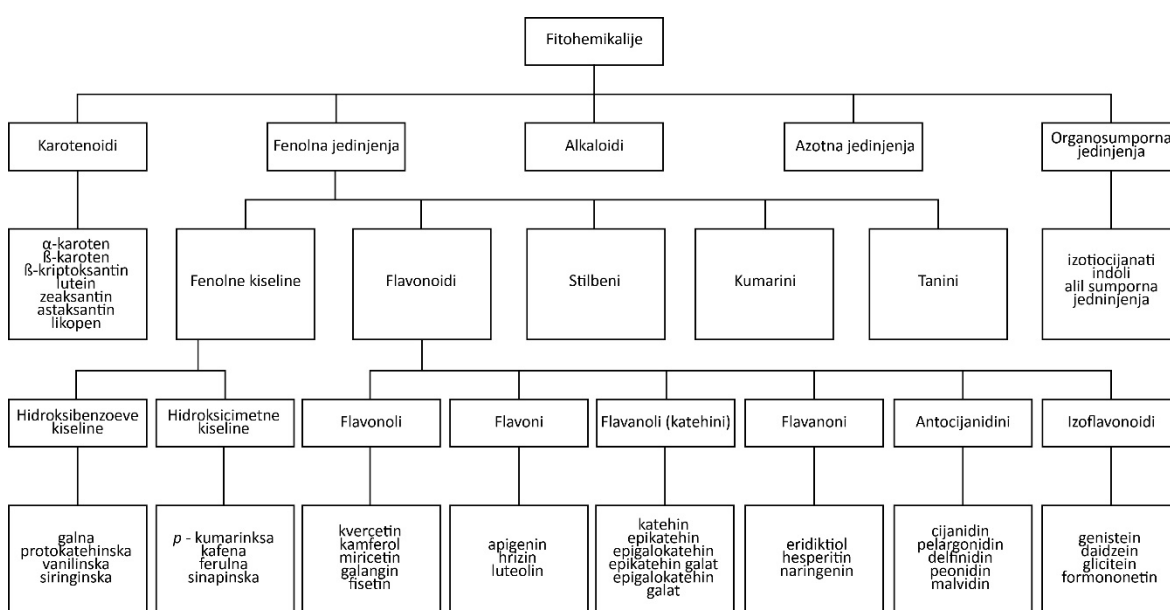
Parametar	Fizička osobina	Senzorska osobina
Primarni		
Tvrdoća	Sila potrebna za postizanje date deformacije.	Sila potrebna za sabijanje supstance između molarnih zuba (u slučaju čvrste hrane) ili između jezika i nepca (u slučaju polučvrste hrane.
Kohezivnost	Opseg do kojeg se materijal može deformisati pre nego što pukne.	Stepen do kojeg je supstanca pritisnuta između zuba pre nego što se polomi.
Elastičnost	Brzina kojom se deformisani materijal vraća u svoje nedeformisano stanje, nakon prestanka delovanja sile koja ga deformiše.	Stepen do kojeg se proizvod vraća u prvobitno stanje nakon što se pritisne između zuba.
Adhezivnost	Rad neophodan za prevazilaženje privlačnih sila između površine hrane i površine ostalih materijala sa kojima hrana dolazi u kontakt.	Sila potrebna za uklanjanje materijala koji se lepi za usta (obično nepce) tokom normalnog procesa ishrane.
Sekundarni		
Frakturabilnost (lomljivost)	Sila kojom se materijal lomi: proizvod visokog stepena tvrdoće i niskog stepena kohezivnosti.	Sila kojom se uzorak drobi, puca ili razbija.
Žvakljivost	Energija potrebna za žvakanje čvrste hrane do stanja spremnog za gutanje: proizvod tvrdoće, kohezivnosti i elastičnosti.	Dužina vremena (u sekundama) potrebnog za žvakanje uzorka, pri konstantnoj brzini primenjene sile, kako bi se doveo u stanje pogodno za gutanje.
Gumljivost	Energija potrebna za dezintegraciju polučvrste hrane do stanja spremnog za gutanje: proizvod niskog stepena tvrdoće i visokog stepena kohezivnosti.	Gustina koja se zadržava tokom žvakanja; energija potrebna za dezintegraciju polučvrste hrane do stanja spremnog za gutanje.



## 2.3.6 Polifenolna jedinjenja

### 2.3.6.1 Fenolna jedinjenja

Fitohemikalije predstavljaju komponente biljaka koje poseduju biološku aktivnost i imaju uticaj na zdravlje ljudi (Dillard i German, 2000). Fitohemikalije, između ostalih, obuhvataju grupu fenolnih jedinjenja koja predstavljaju važnu komponentu u ishrani ljudi, odlikuju se dobrom antioksidativnom aktivnošću (Khan i sar., 2018). Grupi fenolnih jedinjenja čine fenolne kiseline, stilbeni, kumarini, tanini, a kao najvažnija grupa fenolnih jedinjenja izdvajaju se flavonoidi (slika 9).

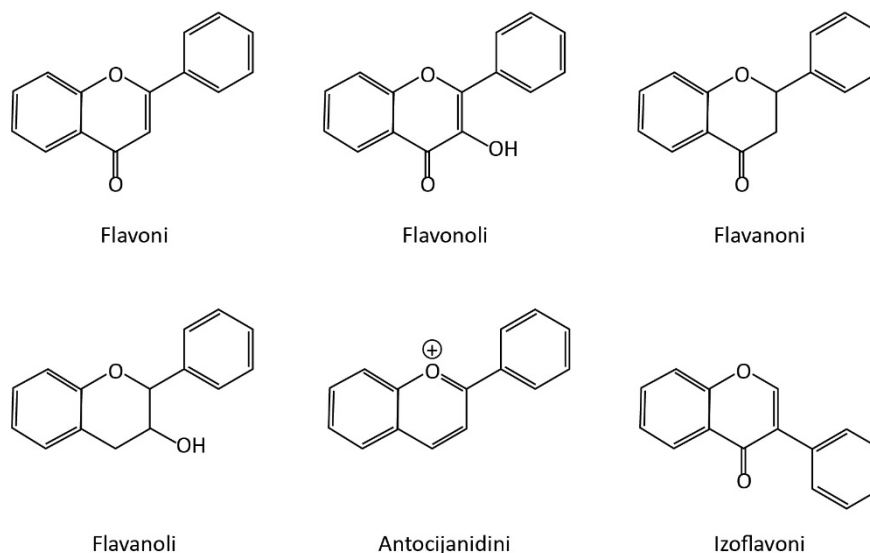


Slika 9. Klasifikacija fitohemikalija (Liu, 2004)

### 2.3.6.2 Flavonoidi

Termin flavonoid odnosi se na klasu sekundarnih biljnih metabolita iz grupe polifenolnih jedinjenja. Identifikovano je više od 6000 prirodnih flavonoida iz različitih biljnih izvora (Tepić, 2012). Flavonoidi su klasifikovani u šest grupa: flavonoli, flavoni, flavanoli, flavanoni, antocijanidini i izoflavonoidi (slika 10). Flavonoidi su veoma osetljivi na povišene temperature, vrlo se lako razgrađuju i dobijaju tamnu boju, pa iz tog razloga predstavljaju bitan parametar kvaliteta osušenog voća. Sadržaj fenola i flavonoida ispitan je u mnogim istraživanjima, pa je tako uticaj temperature sušenja na sadržaj fenolnih jedinjenja, askorbinske kiseline i antioksidativne aktivnosti osušenih uzoraka šljive ispitan u istraživanju Piga i sar. (2003) i zabeleženo je da je temperatura značajno uticala na

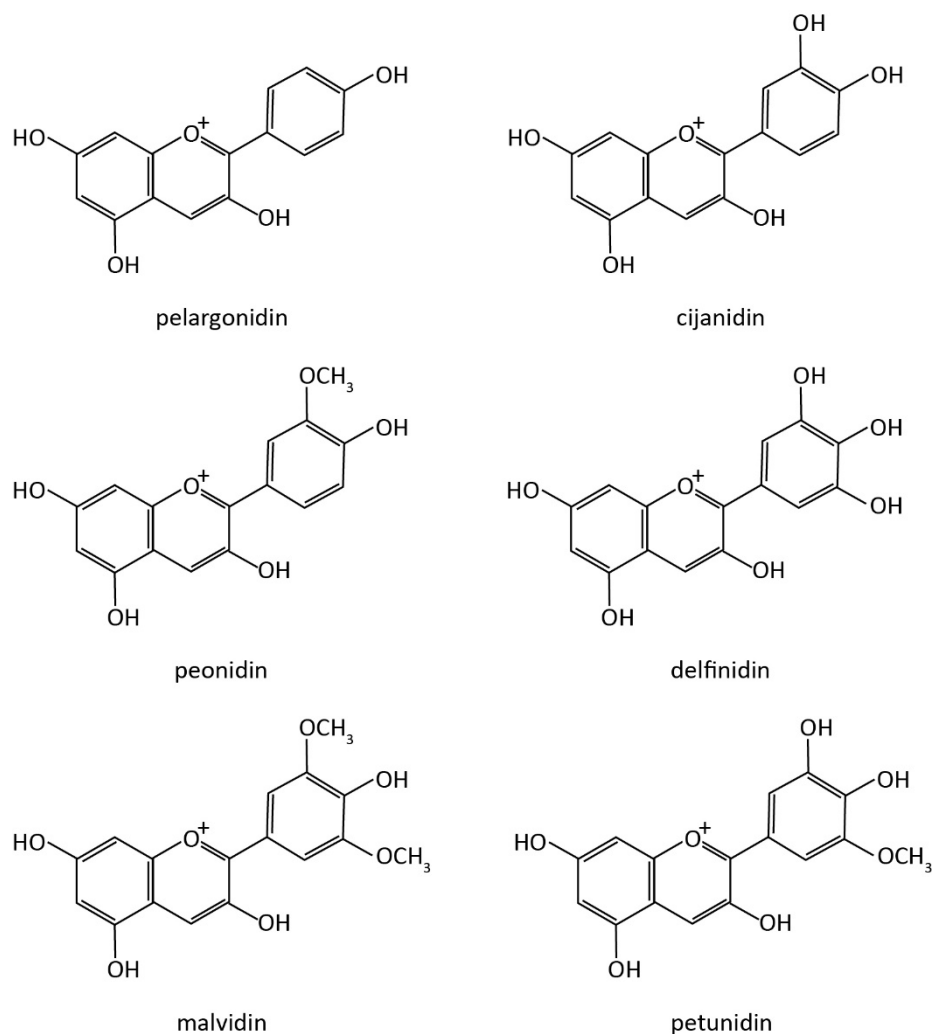
degradaciju ovih komponenata tokom procesa sušenja. U istraživanju Zielinska i Michalska (2016) ispitan je uticaj različitih tehnika sušenja na sadržaj polifenola, antocijana i antioksidativne aktivnosti borovnice, a takođe je uticaj temperature sušenja na sadržaj polifenola i antioksidativne aktivnosti kajsije ispitan u istraživanju Madrau i sar. (2009). I dalje se intenzivno ispituju i optimizuju procesi različitih tehnika sušenja, a sve u cilju očuvanja ovih veoma bitnih bioaktivnih jedinjenja voća.



Slika 10. Strukturne formule nekih od najvažnijih fenolnih jedinjenja (Tsao i McCallum, 2010)

### 2.3.6.3 Antocijani

Antocijani predstavljaju glukozide antocijanidina, a njihovom kiselim hidrolizom oslobađaju se aglikon (antocijanidin) i šećer. Antocijanidini su slabije rastvorljivi u vodi od svojih odgovarajućih glukozida (antocijana) i zato se ne nalaze slobodni u prirodi (Belitz i Grosch, 1987). Antocijani imaju karakterističnu  $C_6C_3C_6$  strukturu i predstavljaju komponente iz grupe flavonoida koje su odgovorne za boju u rasponu od narandžaste i crvene do različitih nijansi plave i ljubičaste (Wrolstad i sar., 2005). Najčešće prisutni antocijanidini prikazani su na slici 11.



Slika 11. Najčešći antocijanidini (Markakis, 1982)

Različiti faktori kao što su pH vrednost, temperatura, kiseonik, svetlost, prisustvo askorbinske kiseline, šećera i njihovih razgradnih produkata, metala i sumpor dioksida utiču na stabilnost antocijana. U pogledu procesa sušenja voća, faktori koji najviše utiču na stabilnost antocijana su temperatura procesa i prisustvo kiseonika, s obzirom na njihovu visoku osetljivost na povišene temperature i oksidaciju. Iz ovog razloga se sadržaj antocijana smatra bitnim parametrom kvaliteta procesa sušenja.

U voće koje sadrži antocijane kao dominantne pigmente spadaju višnja, jagoda, kupina, trešnja, grožđe, malina, ribizla, borovnica i šljiva. Antocijani prisutni u pojedinim vrstama voća prikazani su u tabeli 4.

Tabela 4. Antocijani u voću (Niketić-Aleksić, 1988)

Voćna vrsta	Latinski naziv	Antocijani
Višnja	<i>Prunus cerasus</i>	Cijanidin-3-soforozid, cijanidin-3-rutinozid, cijanidin-3-glukozid, cijanidin-3-glukozilrutinozid
Trešnja	<i>Prunus avium</i>	Cijanidin-3-glukozid, cijanidin-3-rutinozid, cijanidin-3-galaktozid.
Crvena ribizla	<i>Ribes rubrum</i>	Delfinidin-3-glukozid, cijanidin-3-rutinozid, cijanidin-3-ksilozilrutinozid, cijanidin-3-glukozilrutinozid, cijanidin-3-soforozid.
Crna ribizla	<i>Ribes nigrum</i>	Cijanidin-3-glukozid, cijanidin-3-rutinozid, delfinidin-3-glukozid.
Grožđe	<i>Vitis vinifera</i>	Delfinidin, peonidin, petunidin, malvidin, petonidin, cijanidin-3-glukozid.
	<i>Vitis labrusca</i>	Malvidin, peonidin, petunidin, cijanidin, delfinidin-3-5-diglukozid.
Šljiva	<i>Prunus domestica</i>	Cijanidin-3-glukozid, cijanidin-3-rutinozid, peonidin-3-glukozid, peonidin-3-rutinozid.
Malina	<i>Rubus occidentalis</i>	Cijanidin-3-glukozid, cijanidin-3-rutinozid, cijanidin-3-glukozilrutinozid, cijanidin-3-soforozid.
Kupina	<i>Rubus fruticosus</i>	Cijanidin-3-glukozid, cijanidin-3-rutinozid.
Jagoda	<i>Fragaria sp.</i>	Pelargonidin-3-glukozid, pelargonidin-3-galaktozid, cijanidin-3-glukozid.
Borovnica	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Pelargonidin-3-glukozid, cijanidin-3-glukozid, delfinidin-3-glukozid, delfinidin-3-galaktozid, malvinidin-3-glikozid.

### 2.3.7 Antioksidativna aktivnost

Slobodni radikali predstavljaju atome, jone ili molekule, koji u svojoj strukturi imaju jedan ili više nesparenih elektrona. Upravo prisustvo nesparenih elektrona predstavlja uzrok njihove nestabilnosti i visoke i neselektivne reaktivnosti. Usled visoke hemijske reaktivnosti, slobodni radikali lako stupaju u reakciju, međusobno ili sa drugim molekulima. Unošenje dovoljne količine antioksidanata veoma je važno upravo iz razloga što endogeni antioksidativni sistem odbrane organizma nije dovoljan da u potpunosti spreči produkciju slobodnih radikala i oksidativni stres (Tumbas, 2010).

Značaj antioksidativnih komponenata u prevenciji raznih bolesti je veoma važan. Polifenolna jedinjenja spadaju u fitohemikalije sa najvećom antioksidativnom aktivnošću. Parametri procesa sušenja utiču na antioksidativne osobine materijala imajući u vidu da oni utiču na sadržaj polifenolnih jedinjenja, vitamina C i drugih antioksidativnih jedinjenja (Šumić, 2014). Analitičke metode merenja antioksidativne aktivnosti mogu se podeliti u tri kategorije: spektrometrijske metode, elektrohemijski testovi i hromatografske metode.

### 2.3.8 Mikotoksini

Mikotoksini su sekundarni produkti metabolizma nekih vrsta filamentoznih plesni. Sintetišu se enzimatskim reakcijama od velikog broja biohemijski jednostavnih međuprodukata primarnog metabolizma (Kocić-Tanackov, 2012). Mikotoksini se mogu naći u svim životnim namirnicama, a naročito u žitaricama, začinima i drugim poljoprivrednim proizvodima i kod ljudi i životinja mogu izazvati različite nepoželjne efekte, od promena na nivou ćelija do kancerogenih oboljenja (Škrinjar i Tešanović, 2007). Za rast i razmnožavanje plesni neophodne su hranljive materije koje se nalaze u skoro svim namirnicama za ljudsku ishranu, uključujući i voće. Mikotoksini predstavljaju termostabilna jedinjenja, pa temperaturni režimi koji se obično koriste u prehrambenoj industriji mogu samo delimično dovesti do njihovog razaranja (Milićević i sar. 2014).

U voću se mogu naći različite vrste mikotoksina koji su ispitani od strane mnogih autora (MacDonald i sar., 1999; Drusch i Ragab, 2003). Tako je na primer prisustvo *Fusarium* toksina (ENN i BEA) ispitano u uzorcima jezgrastog voća i osušenog voća u studiji autora Tolosa i sar. (2013). Na osnovu ispitivanja Tolosa i sar. (2013), prosečni sadržaj BEA i ENN A, A1, B, B1 u ispitivanom osušenom voću iznosio je 0,007; 0,242; 0,011; 0,058; 0,022 mg/kg, redom.

## 2.4 STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

### 2.4.1 Analiza glavnih komponentata

Analiza glavnih komponentata (engl. Principal Component Analysis, PCA) smatra se jednom od najstarijih i najpoznatijih tehnika višeparametarske analize.

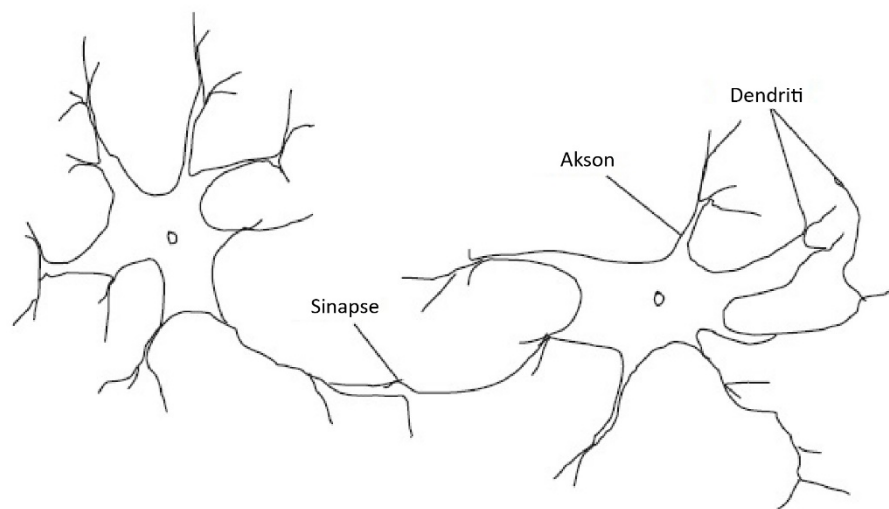
Osnovna ideja analize glavnih komponentata je smanjenje dimenzionalnosti skupa podataka koji se sastoji od velikog broja međusobno povezanih promenljivih, pri tom zadržavajući što je moguće više varijacija prisutnih u skupu podataka. Ovo se postiže transformacijom skupa podataka u novi skup promenljivih, glavnih komponentata (engl. Principal Components), koje nisu u korelaciji, a koje su uređene tako da prvih nekoliko opisuje većinu varijacija prisutnih u svim originalnim promenljivim.

Mnoga istraživanja na temu primene PCA intenzivno se sprovode poslednjih nekoliko decenija. Ovo je potvrđeno i činjenicom da je Web of Science identifikovao preko 2000 članaka objavljenih u dve godine 1999. i 2000, a koji uključuju fraze „analiza glavnih komponentata“ u njihovim naslovima, sažecima ili ključnim rečima (Jolliffe, 2010). Citiraju se knjige ili članci iz raznih polja nauke: poljoprivrede, biologije, hemije, klimatologije, demografije, ekologije, ekonomije, istraživanjima hrane, genetike, geologije,

meteorologije, okeanografije, psihologije, kontrole kvaliteta itd. PCA analiza se široko primenjuje u oblasti ispitivanja voća i proizvoda od voća, pa su tako na primer autori Wu i sar. (2005) ispitivali promene u koncentracijama šećera i organskih kiselina tokom sazrevanja plodova breskve pomoću PCA analize. Karakterizaciju fenolnih jedinjenja, organskih kiselina i slobodnih aminokiselina dunje u zavisnosti od dela ploda (pulpa i kora), geografskog porekla i godine branja, primenom PCA analize ispitali su Silva i sar. (2005).

#### 2.4.2 Veštačke neuronske mreže

Dizajn veštačkih neuronskih mreža inspirisan je biološkim neuronskim mrežama ljudskog mozga (slika 12). Veštačke neuronske mreže koriste se kao pogodna metoda za izradu jednostavnog empirijskog modela jednačina koji opisuje raspoložive eksperimentalne podatke, bez potrebe razumevanja unutrašnjih relacija u samom sistemu. Na ovaj način, veštačke neuronske mreže daju mogućnost prevazilaženja ograničenja koja se javljaju u konvencionalnom postavljanju modela (Shanmuganathan, 2016). Iz tog razloga veštačke neuronske mreže imaju veliku primenu u raznim oblastima kao što su medicina, inženjerstvo, nauka, u pogledu analize podataka, obrade signala, analize električnih kola, analize medicinskih testova, postavljanju dijagnoza, prepoznavanju govora, spektralnoj analizi i slično (Jokić, 2010).

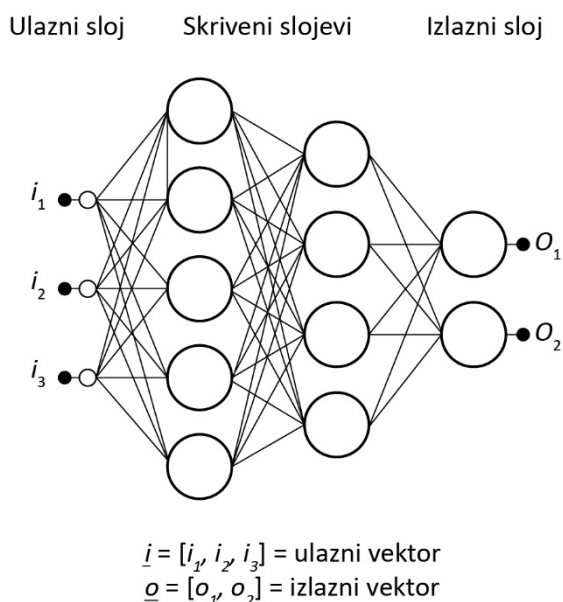


Slika 12. Biološki neuron (Shanmuganathan, 2016)

Smatra se da su mnoge kognitivne funkcije mozga još uvek nepoznate, međutim sledeće karakteristike uzete su u obzir i opisane kao uobičajene funkcije u stvarnim i veštačkim neuronskim mrežama (Shanmuganathan, 2016):

- Učenje i prilagođavanje;
- Generalizacija;
- Masovni paralelizam;
- Robusnost;
- Asocijativno skladištenje informacija;
- Prostorno-vremenska obrada informacija.

Višeslojni perceptron (Multi Layer Perceptron, MLP) (slika 13) sastoji se od sistema jednostavnih međusobno povezanih neurona ili čvorova i predstavlja model koji obezbeđuje nelinearno mapiranje između ulaznog i izlaznog vektora podataka. Neuroni su međusobno povezani vezama, okarakterisanih težinskim koeficijentima (engl. weights), odsečcima (engl. biases) i izlaznim signalima koji predstavljaju funkciju sume ulaza u neuron modifikovani jednostavnim nelinearnim prenosom, odnosno aktivacionom funkcijom. Višeslojni perceptron predstavlja sumu brojnih jednostavnih nelinearnih prenosnih funkcija koje omogućavaju višeslojnom perceptronu da dobro aproksimira nelinearnoj funkciji (Gardner i Dorling, 1988).



Slika 13. Višeslojni perceptron sa dva skrivena sloja (Gardner i Dorling, 1998)

Efikasno modelovanje, simulacija, predviđanje, optimizacija, kontrola, kao i dijagnostifikovanje kvarova sistema predstavljaju veoma važne korake u tehnologiji sušenja. Ovi postupci omogućavaju inženjerima, dizajnerima, menadžerima u pogonu i istraživačima da pronađu najprikladniju tehniku, kao i odgovarajuće uslove sušenja za određeni proizvod. Pronalaženje odnosa između ulaznih i izlaznih parametara procesa sušenja pomoću matematičkih, statističkih, numeričkih i analitičkih tehnika veoma je kompleksno. Međutim, statističke metode, kao što su veštačke neuronske mreže, pružaju mogućnost prevazilaženja problema rešavanja nelinearnih jednačina i opisivanje složenih, često i loše definisanih procesa, koristeći prethodno prikupljene podatke, kako bi predstavile ponašanje sistema, čak i ako svi mehanizmi i principi rada sistema koji utiču na njihovo ponašanje nisu jasni. Kao posledica ovakve mogućnosti primene, veštačke neuronske mreže imaju veliku primenu u opisivanju nelinearnih jednačina između promenljivih, čak i sa ograničenim, nepotpunim, neintegrisanim, nesigurnim, dinamičnim, višedimenzionalnim i nelinearnim izvorima podataka, zahvaljujući većoj sposobnosti učenja (Aghbashlo i sar., 2015)

U oblasti tehnologije sušenja voća veštačke neuronske mreže detaljno su ispitane od strane mnogih autora. Hussain i sar. (2002) ispitali su predviđanje formiranja pora, odnosno poroznost jabuke i kruške, tokom sušenja primenom hibridne neuronske mreže. Veštačke neuronske mreže primenjene su za predviđanje prenosa toplote i mase tokom sušenja kasave i manga u istraživanju Hernandez-Perez i sar. (2004). U istraživanju Ceylan i Aktas (2008) ispitano je modelovanje sušare za lešnike, sa toplotnim pumpama, primenom veštačkih neuronskih mreža. Modelovanje sušenja jabuke veštačkim neuronskim mrežama ispitali su Khoshhal i sar. (2010). Primena veštačkih neuronskih mreža na sušenje jabuke u kriškama ispitana je u studiji Samadi i sar. (2013). Poređenje primene veštačkih neuronskih mreža i metode odzivnih površi predviđanju parametara kvaliteta soka od nara osušenog sprej sušenjem u studiji Youssefi i sar. (2009) i na osnovu rezultata zabeleženo je da je veštačka neuronska mreža pokazala veću tačnost predviđanja što je pripisano univerzalnoj sposobnosti opisivanja nelinearnosti sistema, dok su metode odzivnih površi (engl. Response Surface Methodology, RSM) bile ograničene na polinom drugog reda.

### **2.4.3 Modelovanje procesa**

Sušenje u tankom sloju podrazumeva sušenje materijala postavljenog u formi jednog sloja čestica ili komada uzorka koji je dovoljno tanak. Modeli koji opisuju sušenje u tankom sloju mogu se podeliti na teorijske, semi-teorijske i empirijske. Teorijski modeli uzimaju u obzir samo unutrašnju otpornost materijala na prenos vlage tokom sušenja, dok semi-



teorijski i empirijski modeli uzimaju u obzir samo spoljašnju otpornost materijala na prenos vlage između proizvoda i vazduha koji se koristi za sušenje. Teorijski modeli jasno objašnjavaju ponašanje materijala pri sušenju i mogu se široko primenjivati, iako uključuju mnoge pretpostavke koje uzrokuju značajne greške. Najčešće korišćeni teorijski modeli zasnivaju se na drugom Fikovom zakonu nestacionarne difuzije. Slično njima, semi-teorijski modeli zasnovani su na drugom Fikovom zakonu i modifikaciji njegovih pojednostavljenih oblika. Semi-teorijski modeli izvedeni analogno sa Njutnovim zakonom hlađenja su jednostavniji i za njih je potrebno manje pretpostavki, usled mogućnosti korišćenja nekih eksperimentalnih podataka. Empirijski modeli imaju slične karakteristike sa semi-teorijskim modelima, u velikoj meri zavise od eksperimentalnih uslova i daju ograničenu informaciju o sušenju proizvoda (Erbay i Icier, 2010).

Postoji mnogo različitih empirijskih modela koji se često nazivaju modeli sušenja u tankom sloju, kao što su Newton-ov, Page-ov, Henderson-Pabis-ov, logaritamski (engl. Logarithmic), dvo-parametarski (engl. Two-term), eksponencijalni dvo-parametarski (engl. Two-term exponential) i Wang i Sing-ov model. Prihvatljivost ovih modela za opisivanje procesa sušenja, odnosno slaganje eksperimentalnih podataka sa primenjenim modelom, uglavnom se određuje koeficijentom determinacije  $R^2$  i smanjenom  $\chi^2$  vrednosti. Empirijski modeli ne pružaju fizički uvid u proces sušenja. Takođe, ovi modeli važe samo za određeni materijal i stanje procesa (Kumar i Karim, 2019). Modelovanje procesa sušenja uspešno se primenjuje u oblasti sušenja voća. Autori Vega-Gálvez i sar. (2009) istražili su kinetiku konvektivnog sušenja borovnice i odredili da su logaritamski i modifikovani Page-ov (engl. Modified Page) modeli najbolje opisali proces sušenja. U studiji autora Doymaz (2008) zabeleženo je da je Wang i Singh-ov model dao najbolje rezultate u pogledu konvektivnog sušenja jagode. Darıcı i Şen (2015) ispitivali su kinetiku konvektivnog sušenja kivija i kao rezultat zabeležili da model Midilli i sar. najbolje opisuje proces sušenja.

## 3 EKSPERIMENTALNI DEO

### 3.1 Plan eksperimenta

Plan eksperimenta u okviru ove doktorske disertacije definisan je na sledeći način:

- Odabir koštičavog voća (višnja, trešnja, kajsija, šljiva i breskva) za sušenje.
- Sušenje odabranog koštičavog voća konvektivnim sušenjem, vakuum sušenjem i liofilizacijom.
- Komparativna analiza fizičkih, hemijskih i bioloških osobina (sadržaja vlage,  $a_w$  vrednost, ukupna promena boje, teksturalne osobine, sadržaj ukupnih fenola, ukupnih flavonoida i ukupnih monomernih antocijana, antioksidativna aktivnost), kao i sadržaj mikotoksina u svežim i osušenim uzorcima odabranog koštičavog voća.
- Primena statističkih metoda obrade podataka za opisivanje funkcionalne zavisnosti primenjenih parametara sušenja i fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenog odabranog koštičavog voća:
  - Primena analize glavnih komponentata (engl. Principal Component Analysis, PCA) u cilju boljeg uvida u sličnosti i razlike između konvektivno osušenog, vakuum osušenog i liofilizovanog odabranog koštičavog voća na osnovu sadržaja vlage,  $a_w$  vrednosti, ukupne promene boje,

- teksturalnih osobina, sadržaja ukupnih fenola, ukupnih flavonoida i ukupnih monomernih antocijana i antioksidativne aktivnosti.
- Primena veštačke neuronske mreže (Artificial Neural Network, ANN) za opisivanje i optimizaciju procesa vakuum sušenja odabranog koštičavog voća.
  - Matematičko modelovanje procesa vakuum sušenja odabranog koštičavog voća primenom empirijskih matematičkih modela.
  - Projektovanje, konstrukcija, instaliranje i testiranje prototipa inovativne vakuum sušare koja koristi ejektorski sistem umesto vakuum pumpe za postizanje vakuuma u cilju smanjenja troškova investicije i održavanja.
- Uporedna analiza fizičkih, hemijskih i bioloških osobina istog koštičavog voća osušenog na dve sušare, u prototipu inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom i u vakuum sušari sa vakuum pumpom.

## **3.2 Koštičavo voće**

Koštičavo voće ubrano je u stadijumu tehnološke zrelosti optimalnom za sušenje, sa oglednih polja na Rimskim šančevima, Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu.

### **3.2.1 Višnja Feketićka**

Plod višnje sorte Feketićka je okrugao, srednje veličine (7,6 g) i sa dugom peteljkom. Plodovi su sočni i skoro u potpunosti crni. Ukus plodova je pun i bogat, a plodovi su srednje čvrsti (Ognjanov i sar., 2016).

### **3.2.2 Višnja Erdi Botermo**

Plod višnje sorte Erdi Botermo je krupan (6,5 g) okruglastog oblika, tamnocrvene boje. Peteljka je srednje duga (3,7 cm) i lako se odvaja od ploda. Meso je tamnocrvene boje, srednje čvrsto, sočno, slatko-nakiselog ukusa i prijatne arome (Milatović i sar., 2011).

### **3.2.3 Trešnja Lapins**

Plod trešnje sorte Lapins je krupan (8 g), okruglasto-srčastog oblika, tamnocrvene boje. Peteljka je srednje duga (3,9 cm) i lako se odvaja od ploda, pri čemu sok ne curi. Meso je tamnocrvene boje, čvrsto, hrskavo, sočno, slatko-nakiselog ukusa (Milatović i sar., 2011).

### 3.2.4 Trešnja Sweet Heart

Plod trešnje sorte Sweet Heart je krupan (7,5 g), okruglasto-srčastog oblika, intenzivno crvene boje. Peteljka je kratka (3,5 cm). Meso je crvene boje, čvrsto, sočno, prijatnog ukusa, aromatično, visokokvalitetno (Milatović i sar., 2011).

### 3.2.5 Kajsija Buda

Plod kajsije sorte Buda je vrlo krupan (80-90 g), okruglastog oblika, malo spljošten sa strane. Osnovna boja je narandžasta sa malo crvene boje (10-15%). Meso je dobrog kvaliteta (Milatović, 2013). Sve do 2017. godine vodila se pod šifrom DM-1, a te godine je priznata za novu sortu (Keserović i sar., 2018).

### 3.2.6 Kajsija NS4

Plod kajsije sorte NS4 je vrlo krupan (65-70 g), okruglasto-ovalnog oblika. Osnovna boja pokožice je narandžasta. Dopunska boja je intenzivno crvena, jednolično raspoređena, pokriva 30-60% površine ploda (Milatović, 2013). Plodovi su vrlo privlačnog izgleda. Meso je narandžaste boje, srednje čvrsto, sočno, slatko-nakiselo, sa vrlo prijatnom aromom. Kvalitet ploda je veoma dobar.

### 3.2.7 Šljiva Toptaste

Plod je plavo-ljubičaste boje, duguljastog oblika. Meso ploda je sočno, žute boje, vrlo dobrog ukusa i arome (Dugalić, 2015).

### 3.2.8 Šljiva Anna Spath

Plod šljive sorte Anna Spath je srednje krupan do krupan (od 26 do 48 g), loptasto-jajast. Pokožica je tanka, čvrsta, tamnoljubičasta, prekrivena pepeljkom. Meso je žuto-zelenkasto, sočno, slatko-nakiselo i aromatično (Mišić, 1979).

### 3.2.9 Breskva Lela

Plodovi breskve sorte Lela su okruglasti i ujednačeni, a osnovna boja je krem. Sjajno rumenilo prekriva površinu ploda oko 60%. Plodovi imaju prosečnu masu približno 200 g. Meso je krem-bele boje, srednje čvrsto, slatko-nakiselog ukusa, sočno, aromatično i lako se odvaja od koštice (Barać, 2020).

### 3.2.10 Breskva Fairtime

Plodovi breskve sorte Fairtime su srednje krupni (oko 191 g). Pokožica je izrazito žute boje sa delovima svetlozelenih i svetlocrvenih površina. Meso plodova ove sorte breskve je svetložute boje (Della Strada, 1984).

## 3.3 Priprema uzoraka

Koštice svih plodova uklonjene su ručno, a plodovi su pre sušenja pripremani postupcima uobičajenim u industriji u cilju simuliranja industrijskih uslova proizvodnje:

- U Eksperimentu 1. (fizičke, hemijske i biološke osobine osušenog koštičavog voća) višnje, trešnje i šljive stavljene su na sušenje odmah nakon vađenja koštice, dok su kajsije i breskve nakon vađenja koštice pre sušenja isečene na polovine i četvrtine, redom. Uzorci namenjeni konvektivnom i vakuum sušenju nisu prethodno zamrzavani, dok su uzorci namenjeni za liofilizaciju zamrznuti na  $-20^{\circ}\text{C}$  do sušenja u skladu sa zahtevom tehnike sušenja.
- U Eksperimentu 2. (veštačke neuronske mreže), u kojem je primenjena veštačka neuronska mreža za optimizaciju procesa vakuum sušenja na primeru trešnje, uzorci su nakon vađenja koštice zamrznuti i skladišteni na  $-20^{\circ}\text{C}$  do sušenja.
- U Eksperimentu 3. (poređenje fizičkih, hemijskih i bioloških karakteristika osušenog voća dobijenog u vakuum sušari sa pumpom i vakuum sušari sa ejektorom), iz voća su uklonjene koštice i uzorci su zamrznuti i skladišteni na  $-20^{\circ}\text{C}$  do sušenja. Pre zamrzavanja kajsije su narezane na kriške debljine 3 mm.

## 3.4 Sušare

### 3.4.1 Projektovanje prototipa inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom

Inovacija primene ejektorskog sistema na vakuum sušaru uspešno je realizovana u okviru inovacionog projekta „Razvoj prototipa vakuum sušare sa ejektorskim sistemom“ (br. 1068) u okviru Programa za transfer tehnologije, Fonda za inovacionu delatnost Republike Srbije. Prototip inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom je projektovan, konstruisan, instaliran i testiran u laboratoriji istraživačke grupe za Tehnologiju proizvoda od voća i povrća Tehnološkog fakulteta Novi Sad, Univerziteta u Novom Sadu, prema projektnom zadatku prikazanom u tabeli 5.

Tabela 5. Projektni zadatak izrade prototipa laboratorijske vakuum sušare sa ejektorskim sistemom

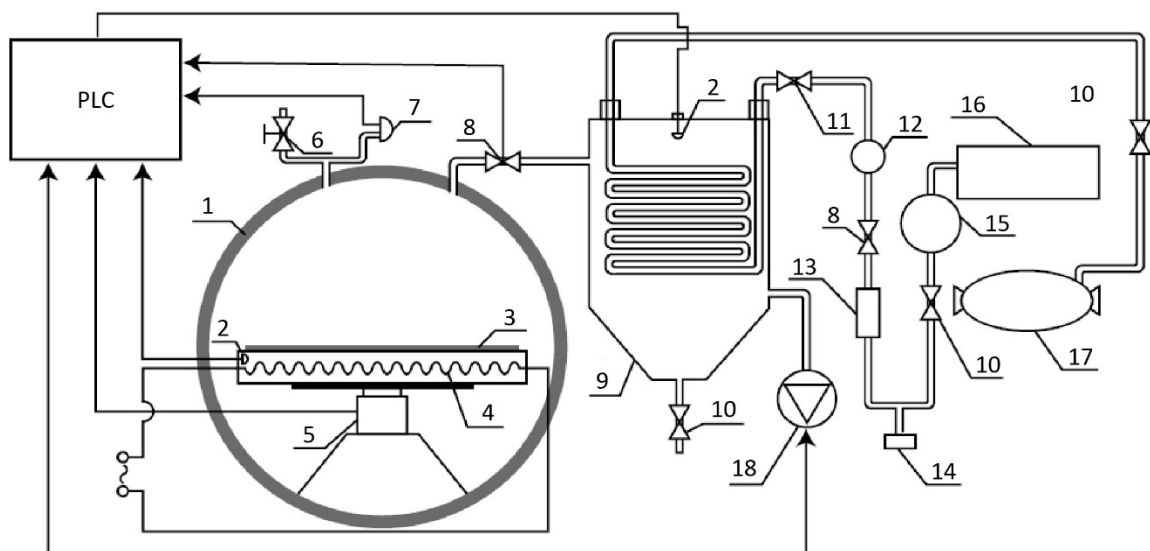
R.br.	Delovi prototipa	Opis
1	Radna komora	Konstruisati radnu komoru sa vratima.
2	Platoi	Unutar komore ugraditi tri grejna platoa sa grejačima ukupne korisne površine 0,6 m <sup>2</sup> sa ukupnim masenim opterećenjem 5 kg/m <sup>2</sup> .
3	Ejektorski sistem	Instalirati ejektor, centrifugalnu pumpu, rezervoaru za vodu i hladnjak.
4	Senzori	Ugraditi senzore za merenje pritiska ( $\pm 0,5$ mbar) i temperaturu ( $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ).
5	Upravljačka jedinica	Omogućiti automatsko upravljanje procesom pomoću PLC (engl. Programmable Logic Controller) upravljačke jedinice.
6	Softver	Instalirati i podesiti softver za upravljanje procesom pomoću PLC upravljačke jedinice, ulazni parametri kojima se upravlja su pritisak u komori i temperatura grejnih platoa. Omogućiti beleženje vremena trajanja procesa, pritiska u komori i temperature grejnog platoa u toku procesa.
Radni parametri		
1	Temperatura grejnih platoa	Omogućiti zagrevanje platoa do temperature između 40 i 80°C i održavanje temperature platoa u toku trajanja procesa, uz homogeno temperaturno polje po celoj površini platoa.
2	Pritisak u komori	Omogućiti minimalni radni pritisak u komori 50 mbar ili niži i dostizanje radnog pritiska za najviše 15 minuta od startovanja procesa i održavanje radnog pritiska u toku trajanja procesa.
3	Temperatura vode u rezervoaru	Omogućiti hlađenje vode u rezervoaru ejektorskog sistema na temperaturu između 0 i 5°C i održavanje temperature vode u toku trajanja procesa.
Ostali uslovi		
1	Buka	Maksimalna buka koju stvara prototip ne sme prelaziti 40 dB.
2	Konstruktivni materijali	Materijali u kontaktu sa hranom moraju biti pogodni za prehrambenu industriju.

### 3.4.2 Vakuum sušara sa vakuum pumpom

Vakuum sušenje je sprovedeno u prototipu vakuum sušare sa vakuum pumpom projektovanom, konstruisanom, instaliranom i testiranom u laboratoriji predmeta

Tehnologija proizvoda od voća i povrća Tehnološkog fakulteta Novi Sad, Univerziteta u Novom Sadu. Prototip vakuum sušare sa vakuum pumpom detaljno je opisan u doktorskoj disertaciji Šumić (2014). Prototip se sastoji iz cilindrične komore izgrađene od čelika zapremine približno 70 l, vakuum pumpe koja obezbeđuje pritisak u komori od 2 mbar i kondenzatora. Aluminijska grejna ploča fiksirana je u posebnom ramu unutar komore i u njoj se nalazi grejač i merna ćelija koja omogućava merenje mase tokom sušenja. Prototip vakuum sušare sa vakuum pumpom opremljen je sa PLC upravljačkom jedinicom koja registruje sve radne parametre, pritisak u vakuum komori, temperaturu grejne ploče, promenu mase sirovine koja se suši, kao i temperaturu kondenzatora tokom procesa vakuum sušenja. Na ovaj način sistem kontroliše nivo električne energije koja se isporučuje grejačima kako bi se obezbedila temperatura ne veća od 75°C. Najvažnije tehničke karakteristike koje se odnose na uređaj su sledeće: opseg radne temperature od 25 do 75°C; osetljivost senzora za merenje temperature  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ; maksimalno opterećenje 1000 g; preciznost merenja mase 0,1 g; raspon radnog pritiska od 2 do 1000 mbar, osetljivost senzora za merenje pritiska  $\pm 0,5$  mbar.

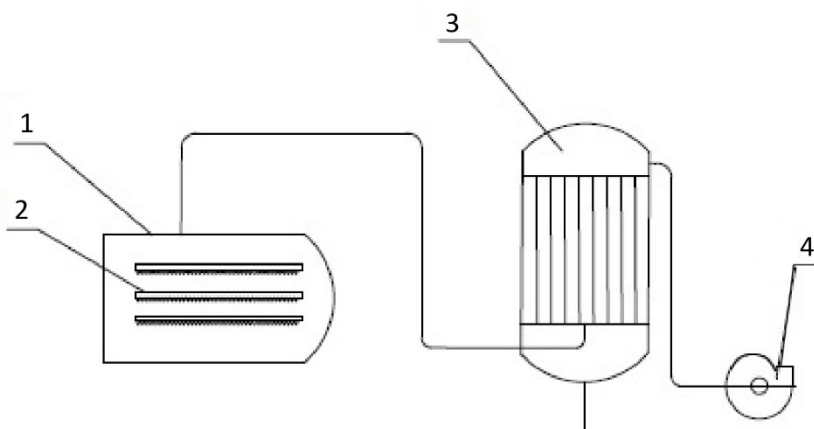
Tokom sušenja uzorci su bili ravnomerno raspoređeni na grejnoj ploči u tankom sloju. Proces sušenja prekidan je po postizanju zadatog uslova da promena mase uzorka u toku pola sata nije veća od jednog grama. Prototip vakuum sušare prikazan je na slici 14.



Slika 14. Šematski prikaz vakuum sušare sa vakuum pumpom: 1. komora; 2. senzor za merenje temperature; 3. lesa; 4. grejač; 5. merna ćelija za masu; 6. ventil; 7. senzor za merenje pritiska; 8. elektromagnetni ventil; 9. kondenzator; 10. ventil; 11. ekspanzioni ventil; 12. indikator protoka; 13. isparivač; 14. prijemnik; 15. kontrola pritiska; 16. kondenzator; 17. kompresor; 18. vakuum pumpa (Šumić, 2014)

### 3.4.3 Liofilizator

Liofilizacija uzoraka sprovedena je u liofilizatoru instaliranom u laboratoriji Katedre za inženjerstvo konzervisane hrane, Tehnološkog fakulteta Novi Sad, Univerziteta u Novom Sadu. Ovaj uređaj za liofilizaciju uključuje komoru za sušenje, vakuum pumpu i kondenzator (slika 15). Vakuum komora sadrži tri grejne ploče koje su postavljene jedna ispod druge. Vakuum pumpa obezbeđuje pritisak u komori od 0,01 mbar. Kondenzator postiže temperaturu do  $-50^{\circ}\text{C}$ . Sistem je opremljen sensorima za merenje temperature u policama i sensorima za merenje temperature koji se stavljaju u materijal koji se suši, senzor za merenje temperature u kondenzatoru i senzor za merenje pritiska u vakuum komori. Procesom se upravlja pomoću PLC upravljačke jedinice koja registruje temperaturu grejnih ploča, temperaturu proizvoda, pritisak u vakuum komori i temperaturu kondenzatora. Najvažnije tehničke karakteristike koje se odnose na uređaj su sledeće: opseg radne temperature od  $-40$  do  $40^{\circ}\text{C}$ ; osetljivost senzora za merenje temperature  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ , maksimalna masa uzorka za sušenje 500 g; opseg radnog pritiska od 0,01 do 1000 mbar, osetljivost senzora za merenje pritiska  $\pm 1$  mbar (Šumić i sar., 2016).



Slika 15. Šematski prikaz liofilizatora: 1. rashladna komora; 2. grejna ploča; 3. kondenzator; 4. vakuum pumpa

### 3.4.4 Konvektivna sušara

Konvektivno sušenje je sprovedeno u eksperimentalnoj konvektivnoj sušari u laboratoriji predmeta Tehnologija proizvoda od voća i povrća Tehnološkog fakulteta Novi Sad, Univerziteta u Novom Sadu. Sušara za konvektivno sušenje opremljena je radnom komorom sa jednom policom za postavljanje uzoraka. Senzori za merenje temperature



postavljeni su unutar radne komore, a regulator temperature nalazi se na prednjoj strani komore. Temperaturni opseg sušare je 50-100°C. Zagrevanje vazduha omogućeno je električnim grejačem. Sušenje je sprovedeno pri atmosferskom pritisku.

### **3.5 Analitičke metode ispitivanja svežeg i osušenog koštičavog voća**

U svežem koštičavom voću urađene su analize sadržaja masti, proteina i ukupnih šećera, određivanje udela koštice i nasipne mase.

#### **3.5.1 Određivanje masti**

Sadržaj masti određen je u svežim uzorcima. Postupak određivanja sadržaja masti sproveden je po metodi Soxhlet ekstrakcije (De Castro i Priego-Capote, 2010), korišćenjem dietil etra kao rastvarača.

#### **3.5.2 Određivanje proteina**

Sadržaj proteina u svežim uzorcima određen je metodom po Kijeladlu opisanom u studiji Marcó i sar. (2002).

#### **3.5.3 Određivanje ukupnih šećera**

Sadržaj ukupnih šećera u svežim uzorcima analiziran je prema Luff-Schoorl metodi (Sl. list SFRJ, 29/83).

Sva merenja sadržaja masti, proteina i ukupnih šećera ponavljana su tri puta i rezultati su izraženi kao srednja vrednost u procentima.

#### **3.5.4 Određivanje udela koštice**

Udeo koštice u svežem voću analiziran je merenjem mase uzoraka sa i bez koštice. Udeo je izračunat na osnovu razlike između ove dve vrednosti i izražen je u procentima.

#### **3.5.5 Određivanje nasipne mase**

Nasipna masa svežih uzoraka izmerena je postavljanjem svežeg voća na površinu prethodno utvrđene površine. Rezultat je izražen u kg svežeg voća po kvadratnom metru površine (kg/m<sup>2</sup>).

U svežem i osušenom koštičavom voću urađene su analize sadržaja vlage, aktivnosti vode, ukupne promene boje, teksture, sadržaja ukupnih fenola, ukupnih flavonoida i ukupnih monomernih antocijana i sadržaja mikotoksina.

### 3.5.6 Određivanje vlage

Sadržaj suve materije određen je gravimetrijskom analizom, sušenjem uzorka na temperaturi  $105 \pm 0,5^\circ\text{C}$  do konstantne mase (Sl. list SFRJ, 29/83). Sadržaj vlage izračunat je oduzimanjem procenta sadržaja suve materije od 100%. Sva merenja ponavljana su tri puta i rezultati su izraženi kao srednja vrednost vlage u procentima.

### 3.5.7 Određivanje aktivnosti vode

Aktivnost vode ( $a_w$  vrednost) određena je postavljanjem približno 2,5 g usitnjenog uzorka u plastičnu mernu posudu merne ćelije sa sondom unutar  $a_w$ -metra (LabSwift, Novasina, Švajcarska). Nakon dostizanja ravnotežne vlažnosti  $a_w$  vrednost se očitava sa displeja  $a_w$ -metra. Sva merenja za  $a_w$  vrednost ponavljana su tri puta.

### 3.5.8 Određivanje ukupne promene boje $\Delta E$

Ukupna promena boje izmerena je pomoću kolorimetra Minolta Chroma Meter CR-400 sa otvorom 8 mm na mernoj glavi i standardnim nastavkom za merenje CR-A33b (Konica Minolta Inc., Osaka, Japan). Karakteristike boje iskazane su u CIE  $L^*a^*b^*$  (CIE, 1976) sistemu zasnovanom na tri koordinate  $L^*$  (svetloća boje),  $a^*$  (udeo crvene boje ( $+a^*$ ) ili zelene boje ( $-a^*$ )) i  $b^*$  (udeo žute boje ( $+b^*$ ) ili plave boje ( $-b^*$ )), preko kojih se definiše boja uzoraka. Izmerene vrednosti  $L^*a^*b^*$  očitavaju se neposredno sa uređaja. Sva merenja boje ponavljana su deset puta.

$\Delta E$  se računa pomoću jednačine 2:

$$\Delta E = \sqrt{[(L^*_0 - L^*)^2 + (a^*_0 - a^*)^2 + (b^*_0 - b^*)^2]}$$

gde su  $L^*_0$ ,  $a^*_0$  i  $b^*_0$  parametri boje nekog kontrolnog uzorka, a  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  parametri boje uzorka.

### 3.5.9 Određivanje teksture

Tekstura svežih i osušenih uzoraka analizirana je na uređaju Texture Analyzer (TE32, Stable Micro Systems, UK). Priprema svežih uzoraka za analizu teksture bila je ista kao i priprema za proces sušenja. Kod sušene višnje i trešnje nije bilo posebne pripreme uzoraka dok su osušene kajsije, šljive i breskve prethodno isečene na komade dimenzija  $2 \times 2 \times 1$  cm. Sve analize teksture urađene su na sobnoj temperaturi. Sva merenja teksturalnih karakteristika ponavljana su 12 puta.

### **Sila presecanja**

Sila presecanja izmerena je korišćenjem nastavka Craft Knife Adapter. Podešavanja parametra na uređaju su bila sledeća: brzina testa – 1,0 mm/s; opterećenje 5 kg. Sila presecanja izražena je kao sila (g) potrebna za presecanje uzoraka.

### **Sila probijanja**

Sila probijanja izmerena je korišćenjem nastavka nerđajuće cilindrične sonde veličine 2 mm. Podešavanja parametra na uređaju bila su sledeća: brzina testa – 2,0 mm/s; opterećenje 5 kg. Uzorak je postavljen centralno u odnosu na cilindričnu sondu. Sila probijanja izražena je kao sila (g) potrebna za probijanje uzoraka.

### **Analiza profila teksture (engl. Texture Profile Analysis, TPA)**

Parametri TPA testa izmereni su na način koji je opisao Bourne (1978), korišćenjem nastavka cilindrične ploče prečnika 36 mm. Uzorci su sabijani dva puta do 40% njihove prvobitne debljine konstantnom brzinom od 1 mm/s. TPA testom određene su tvrdoća, elastičnost, kohezivnost i žvakljivost uzoraka. Tvrdoća i žvakljivost su iskazani kao sila (g) po jedinici kompresije uzorka, dok su elastičnost i kohezivnost bezdimenzionalne vrednosti. Tvrdoća je definisana najvećom vrednosti sile tokom prvog sabijanja, elastičnost kao brzina kojom se deformisani uzorak vraća u prvobitno stanje nakon prestanka sile deformisanja, kohezivnost je izračunata kao odnos površine ispod druge krive i površine ispod prve krive, a žvakljivost je dobijena množenjem vrednosti tvrdoće, kohezivnosti i elastičnosti (Bianchi i sar., 2016).

#### **3.5.10 Priprema ekstrakata za određivanje polifenola i antioksidativne aktivnosti**

Približno 10 g svežeg, odnosno 5 g osušenog uzorka, usitnjeno je u mlinu IKA A11 basic (model A11BS000, Nemačka) pre ekstrakcije. Usitnjeni uzorci preneti su u erlenmajer zapremine 50 mL, preliveni sa 25 mL rastvora ekstrakcionog sredstva (metanola) i prekriveni folijom. Nakon toga, erlenmajeri sa uzorcima postavljeni su na šejker (UNIMAX 1010, Heidolph, Nemačka) i mešani tokom 24 h u mraku na sobnoj temperaturi, pri 100 rpm. Nakon toga, uzorci su kvantitativno preneseni u odmerne tikvice zapremine 50 mL i tikvice su dopunjene ekstrakcionim sredstvom do ukupne zapremine 50 ml. Sadržaj tikvice zatim je profiltriran kroz kvalitativni filter papir (plava traka). Ovako pripremljeni ekstrakti čuvani su u frižideru (4°C) do momenta analiziranja i korišćeni su za analizu sadržaja ukupnih fenola, ukupnih flavonoida, ukupnih monomernih antocijana i antioksidativne aktivnosti.

### 3.5.11 Određivanje sadržaja ukupnih fenola

Sadržaj ukupnih fenola u prethodno pripremljenim ekstraktima određen je spektrofotometrijski, metodom po Folin-Ciocalteu (Singleton i Rossi, 1965), koristeći galnu kiselinu kao standard. Sadržaj ukupnih fenola izražen je kao ekvivalent galne kiseline (mg GAE/100 g SM osušenih uzoraka voća).

### 3.5.12 Određivanje sadržaja ukupnih flavonoida

Sadržaj ukupnih flavonoida u prethodno pripremljenim ekstraktima određen je spektrofotometrijski, kolorimetrijskom metodom sa aluminijum-hloridom (Harborne, 1998). Sadržaj ukupnih flavonoida izražen je kao ekvivalent katehina (mg CE/100 g SM osušenih uzoraka voća).

### 3.5.13 Određivanje sadržaja ukupnih monomernih antocijana

Sadržaj ukupnih monomernih antocijana ispitivanih uzoraka određen je VIS spektrofotometrijom (Giusti i Wrolstad, 2001). Metoda je zasnovana na pH-diferencijalnoj metodi opisanoj u studiji Fuleki i Francis (1968). Apsorbanca ekstrakata izmerena je na 510 i 700 nm u 0,025M puferu kalijum-hlorida (pH 1,0) i 0,4M puferu natrijum acetata (pH 4,5) u odnosu na slepu probu (destilovana voda). Sadržaj ukupnih monomernih antocijana izražen je u ekvivalentima cijanidin-3-glukozida (mg CGE/100 g SM osušenih uzoraka voća).

### 3.5.14 Određivanje antioksidativne aktivnosti

#### FRAP test

Sposobnost uzorka da redukuje  $\text{Fe}^{3+}$  jone (engl. Ferric ion Reducing Antioxidant Power, FRAP) određena je modifikovanom metodom koja je u originalu prikazana u studiji Benzie i Strain (1996). FRAP reagens sveže je pripremljen od 300 mM sirćetnog pufera (pH 3,6), 10 mM 2,4,6-tripiridil-s-triazina (TPTZ) u 40 mmol/L HCl rastvora i 20 mM/L  $\text{FeCl}_3$  vodenog rastvora u odnosu 10:1:1 (v/v/v). Prethodno pripremljeni ekstrakti i FRAP reagens su pomešani (0,1 mL + 2,9 mL) i inkubirani u mraku na temperaturi 37°C u vremenu od 10 min. Nakon inkubacije izmerena je apsorbanca uzorka na 593 nm. Rezultati su izraženi kao mg ekvivalenta  $\text{Fe}^{2+}$  jona po g suve materije (mg  $\text{Fe}^{2+}$ /g SM).

#### DPPH test

Sposobnost uzorka da neutrališe 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) slobodne radikale izmerena je korišćenjem modifikovane metode originalno prezentovane u studiji Brand-Williams i sar. (1995). Metanolni rastvor DPPH reagensa (65  $\mu\text{M}$ ) sveže je pripremljen i podešen dodavanjem metanola kako bi se dobila apsorbanca 0,70 ( $\pm 0,01$ ). Prethodno

pripremljeni ekstrakt i DPPH reagens pomešani su (0,1 mL + 2,9 mL) u plastičnim kivetama dimenzije 10 mm i inkubirani na sobnoj temperaturi u vremenu od 60 min. Merenje neutralisanja slobodnih radikala sprovedeno je na 517 nm. Rezultati su izraženi kao mg Trolox ekvivalenta po g suve materije (mg Trolox/g SM).

#### **ABTS test**

Sposobnost neutralizacije ABTS<sup>+</sup> radikala određena je modifikovanom metodom opisana u studiji Re i sar. (1999). Rastvor ABTS reagensa sveže je pripremljen mešanjem 7mM vodenog rastvora 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina) diamonijumova so (ABTS) i 2,45 mM kalijum persulfata u odnosu 1:1 (v/v) i inkubacijom u mraku na sobnoj temperaturi u vremenu od 16 h. ABTS reagens razblažen je sa 300 mM acetatnim puferom (pH 3,6) kako bi se apsorbance na 0,734 podesila na 0,70 (±0,01). Prethodno pripremljeni ekstrakt i ABTS reagens pomešani su (0,1 mL + 2,9 mL) i inkubirani u mraku, na sobnoj temperaturi u vremenu od 300 min. Nakon inkubacije apsorbance uzorka izmerena je na 734 nm. Rezultati su izraženi kao mg Trolox ekvivalenta po g suve materije (mg Trolox/g SM).

Za spektrofotometrijsko merenje apsorbance korišćen je UV/VIS spektrofotometar (6300 Spectrophotometer, Jenway, UK).

Sva merenja sadržaja ukupnih fenola, ukupnih flavonoida, ukupnih monomernih antocijana i antioksidativne aktivnosti ponavljana su tri puta.

#### **3.5.14.1 Relativni indeks antioksidativne aktivnosti**

Vrednosti RACI indeksa (engl. Relative Antioxidant Activity Index) izračunate su na osnovu jednačine 3. Kao mera korišćena je centralna tendencija za poređenje antioksidativne aktivnosti (AO) kompleksnih uzoraka, prema sledećoj jednačini:

*Jednačina 3:*

$$\text{Normalna ocena} = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

gde  $x$  predstavlja sirove podatke,  $\mu$  srednju vrednost, a  $\sigma$  standardnu devijaciju. Prosečna vrednost normalnih ocena izračunata za različite antioksidativne (AO) testove daje jednu jedinstvenu bezdimenzionu vrednost za određeni uzorak, koja se naziva RACI (engl. Relative Antioxidant Activity Index, RACI) (Sun i Ho, 2001).

### 3.5.15 Određivanje mikotoksina

Analiza mikotoksina urađena je u Laboratoriji za analizu hrane, Departmana za Bioanalizu na Univerzitetu u Gentu (Belgija). Analizirani su mikotoksini beauvericin (BEA), eniatin A (ENN A), eniatin A1 (ENN A1), eniatin B (ENN B), eniatin B1 (ENN B1). Analiza mikotoksina u ispitivanim uzorcima sprovedena je prema metodi opisanoj u studiji Decler i sar. (2016).

Primarni rastvori pripremljeni su rastvaranjem čvrstog standarda u acetonitrilu (1 mg/ml). Svi rastvori, izuzev valinomicina (VAL), čuvani su na -20°C dok je VAL čuvan na 4°C. Radni rastvori od 10 µg/mL pripremljeni su sa acetonitrilom, čuvani na 4°C i obnavljani na mesečnom nivou. Rastvori mešavina BEA i ENN-a pripremani su pre svakog eksperimenta rastvaranjem radnog rastvora u acetonitrilu.

Približno 2 g usitnjenog i homogenizovanog uzorka (M20-grinder, Ika Werke, Štaufen, Nemačka) prebačeno je u epruvete za ekstrakciju (50 ml). Svakom uzorku dodato je 10 µg/kg unutrašnjeg VAL standarda, koji je kratko promešan (0,5 min) na vorteks aparatu. Nakon 30 min ekvilibracije, dodato je 10 mL acetonitrila kao ekstrakcionog rastvarača. Uzorak je ekstrahovan u trajanju od 20 min u šejkeru (Agitelec, J. Toulemonde i Cie, Pariz, Francuska) i zatim centrifugiran 10 min na 4000 x g. Alikvot od 8 mL supernatanta prebačen je i uparen do suva pod blagom strujom azota u isparivaču Turbovap LV (Biotage, Šarlot, SAD). Ekstrakti su rekonstituisani sa 300 µL rastvarača za ubrizgavanje (eluent A/eluent B, 20:80, v/v), snažno promešani na aparatu i filtrirani kroz Ultrafree-MC centrifugalni filter (Millipore, Bedford, Masačusets, SAD) pre ubrizgavanja u LC-MS/MS sistem. Mobilna faza sastojala se iz eluenta A (voda/organski rastvarač, 95:5, v/v) i eluenta B (organski rastvarač/voda, 98:2, v/v), u koje su dodati 1 mM amonijum acetat i 0,3% mravlja kiselina.

### 3.6 Reagensi

U eksperimentalnom radu korišćeni su sledeći reagensi:

- Galna kiselina - Sigma-Aldrich GmbH, Steinheim, Nemačka;
- Folin-Ciocalteu reagens - Sigma-Aldrich GmbH, Steinheim, Nemačka;
- (±)-Katehin - Sigma-Aldrich GmbH, Steinheim, Nemačka;
- 2,4,6-Tris (2-piridil)-s-triazin (TPTZ) - Sigma-Aldrich GmbH, Steinheim, Nemačka;
- 2,2-Difenil-2-pikril-hidrazil-hidrat (DPPH) - Sigma-Aldrich GmbH, Steinheim, Nemačka;
- 2,2'-Azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina) diamonijumova so (ABTS) - Sigma-Aldrich GmbH, Steinheim, Nemačka;

- Trolox (6-hidroksi-2,5,7,8-tetramethylhroman-2-karboksilna kiselina) - Sigma-Aldrich GmbH, Milano, Italy;
- BEA, ENN A, ENN A1, ENN B, ENN B1 (1 mg, čvrsti standard) i valinomicin (VAL) (10 mg, čvrsti standard) - Sigma-Aldrich, Diegem, Belgija;

Voda za analizu sadržaja mikotoksina prečišćena je na aparatu Milli-Q® SP Reagent water system - Millipore Corp, Brisel, Belgija.

Ultrafree®-MC centrifugalni filtri (0,22 µm) nabavljeni su od proizvođača Millipore, Bedford, Masačustets, SAD.

Sve ostale hemikalije i reagensi upotrebljeni u eksperimentalnom radu bili su analitičke čistoće.

### 3.7 Metode statističke obrade podataka

#### 3.7.1 Metoda analize glavnih komponenta

Za analizu i strukturiranje rezultata primenjena je PCA analiza koja je urađena u programu Statistica 10.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

#### 3.7.2 Metoda za određivanje centralne tendencije - standardne ocene

Rangiranje između uzoraka sprovedeno je na osnovu odnosa sirovih podataka i ekstremnih vrednosti za svaki primenjeni test (Brlek i sar., 2013) na osnovu jednačina:

Jednačina 4:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - \min_i x_i}{\max_i x_i - \min_i x_i}, \forall i$$

u slučaju „što veće, to bolje“ kriterijuma (korišćenog za sadržaj ukupnih fenola, ukupnih flavonoida, ukupnih monomernih antocijana, FRAP, DPPH i ABTS parametara) ili

Jednačina 5:

$$\bar{x}_i = 1 - \frac{x_i - \min_i x_i}{\max_i x_i - \min_i x_i}, \forall i$$

u slučaju „što manje, to bolje“ kriterijuma (korišćenog za sadržaj vlage i aktivnost vode), gde  $x_i$  predstavlja sirove podatke.

### 3.7.3 Metoda veštačke neuronske mreže

Višeslojni perceptron model (engl. Multi Layer Perceptron, MLP), sa tri sloja korišćen je za modelovanje. Ovaj model pokazao se sposobnim za aproksimaciju nelinearnih funkcija (Hu i Weng, 2009; Momenzadeh i sar., 2011; Atsamnia i sar., 2017; Pavlić i sar., 2019). Korišćena arhitektura ANN modela bila je unapredno predviđanje (engl. feedforward), sa algoritmom za učenje unazadnom propagacijom (engl. backpropagation). Eksperimentalna baza podataka za ANN nasumično je podeljena na podatke za učenje, validaciju i testiranje (sa 60%, 20% i 20% eksperimentalnih podataka, redom). Tokom ciklusa učenja ulazni parametri više puta su prezentovani mreži (Shankar i Bandyopadhyay, 2007; Valous i sar., 2010; Grieu i sar., 2011; Benković i sar., 2015; Nadian i sar., 2015). Algoritam Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) korišćen je kao iterativna metoda za rešavanje slobodne nelinearne optimizacije ANN modelovanja. Broj koraka koji se ponavljaju (epohe) tokom izgradnje ANN izabran je da iznosi 10.000. Koeficijenti povezani sa skrivenim i izlaznim slojem (težinskih koeficijenata (engl. weights) i odsečaka (engl. biases)) grupisani su u matrice  $W_1$  i  $B_1$ , i  $W_2$  i  $B_2$ , redom (Marić i sar., 2020):

Jednačina 6:

$$Y = f_1(W_2 \cdot f_2(W_1 \cdot X + B_1) + B_2)$$

Težinski koeficijenti određeni su tokom ciklusa ANN učenja, koji ih ažurira koristeći procedure optimizacije kako bi se umanjile greške između mrežnog i eksperimentalnog izlaza (Trelea i sar., 1997; Shao i sar., 2007; Basheer i Hajmeer, 2000; Benković i sar., 2015; Marić i sar., 2020).

Numerička verifikacija razvijenih modela testirana je pomoću koeficijenta determinacije ( $R^2$ ), srednje apsolutne greške (engl. Mean Absolute Error, MAE), korena srednje kvadratne greške (engl. Root Mean Squared Error, RMSE), relativne apsolutne greške (engl. Relative Absolute Error, RAE) i korena relativne kvadratne greške (engl. Root Relative Squared Error, RRSE).

Relativni uticaj (engl. Relative Importance, RI) ulaznih promenljivih na izlazne promenljive određen je jednačinom koju su definisali Yoon i sar. (1993):

Jednačina 7:

$$RI_{ij}[\%] = \frac{\sum_{k=0}^n (w_{ik} \cdot w_{kj})}{\sum_{k=0}^m |w_{ik} \cdot w_{kj}|} \cdot 100\%$$



Gde  $RI_{ij}$  predstavlja relativni uticaj  $i_{th}$  ulazne promenljive na  $j_{th}$  izlaznu promenljivu,  $w_{ik}$  predstavljaju težinski koeficijent između  $i_{th}$  ulaznog i  $k_{th}$  skrivenog neurona, i  $w_{kj}$  je težinski koeficijent između  $k_{th}$  skrivenog neurona i  $j_{th}$  izlazne promenljive.

### 3.7.4 Matematički modeli

Eksperimentalni podaci svakog procesa sušenja, za svaki uzorak, izraženi kao bezdimenzionalna vlažnost (MR) uzoraka u određenom vremenu sušenja mogu se izračunati pomoću jednačine:

*Jednačina 8:*

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e}$$

gde su  $M_t$ ,  $M_0$  i  $M_e$  sadržaj vlage materijala u vremenu  $t$ , početna vlažnost materijala (u vremenu  $t = 0$ ) i ravnotežna vlažnost materijala.

Međutim, često je teško odrediti ravnotežnu vlažnost materijala u biološkim materijalima, s obzirom da je veoma mala i u većini slučajeva se može zanemariti. U skladu sa tim, bezdimenzionalna vlažnost materijala može se jednostavnije izraziti kao odnos sadržaja vlage u vremenu  $t$  i početne vlažnosti materijala (u vremenu  $t = 0$ ):

*Jednačina 9:*

$$MR = \frac{M_t}{M_0}$$

Masa uzoraka tokom vakuum sušenja beležena je na svakih 10 min. pomoću programabilnog logičkog kontrolera (Programmable Logic Controller, PLC). Na osnovu ovih zapisa vrednosti mase, procenat sadržaja vlage (engl. Moisture Content, MC) izračunat je za svaku tačku sušenja u intervalima od 10 min.

Statistički parametri korišćeni za opisivanje fitovanja modela bili su koeficijent determinacije  $R^2$ , srednja apsolutna relativna greška (engl. average absolute relative deviations, AARD); koren srednje kvadratne greške (engl. root mean square errors, RMSE) i redukovani hi-kvadrata ( $\chi^2$ ). Jednačine za izračunavanje AARD, RMSE i  $\chi^2$  prikazane su u sledećim jednačinama:

Jednačina 10:

$$\text{AARD} = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|\text{MC}_{pre,i} - \text{MC}_{exp,i}|}{\text{MC}_{exp,i}}$$

Jednačina 11:

$$\text{RMSE} = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{MC}_{pre,i} - \text{MC}_{exp,i})^2 \right]^{1/2}$$

Jednačina 12:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\text{MC}_{pre,i} - \text{MC}_{exp,i})^2}{N - z}$$

gde je  $\text{MC}_{exp,i}$   $i$ th eksperimentalno dobijeni sadržaj vlage,  $\text{MC}_{pre,i}$   $i$ th je predviđeni sadržaj vlage,  $N$  je broj posmatranja, a  $z$  je broj podesivih parametara u jednačini modela. Model se smatra najboljim kada su vrednosti AARD, RMSE i  $\chi^2$  minimalne, dok je vrednost  $R^2$  maksimum.

Za matematičko modelovanje eksperimentalnih podataka, upotrebljeno je 7 matematičkih modela: Henderson-Pabis-ov, modifikovani Henderson Pabis-ov (engl. Modified Henderson-Pabis), pojednostavljene Fikove difuzije (engl. Simplified Fick's diffusion), Pelegov (engl. Peleg's), logaritamski (engl. Logarithmic), dvo-parametarski (engl. Two-term) i Midilli i sar. prikazani u tabeli 6.

Modelovanje procesa sušenja primenom model jednačina izvedeno je korišćenjem programa Statistica 10.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

Tabela 6. Matematički modeli za aproksimaciju eksperimentalnih podataka

Model	Jednačina	Referenca
Henderson-Pabis-ov	$MR = a \cdot e^{-kt}$	Henderson i Pabis (1961)
Modifikovani Henderson Pabis-ov	$MR = a \cdot e^{-kt} + b \cdot e^{-gt} + c \cdot e^{-ht}$	Karathanos (1999)
Pojednostavljeni Fikov model difuzije	$MR = a \cdot e^{\left(-c \frac{t}{L^2}\right)}$	Diamante i Munro (1991)
Pelegov	$MR = MR_0 - \frac{t}{k_1 + k_2 t}$	Mercali i sar. (2010)
Logaritamski	$MR = a \cdot e^{-kt} + b$	Yagcioglu (1999)
Dvo-parametarski	$MR = a \cdot e^{-k_1 t} + b \cdot e^{-k_2 t}$	Henderson (1974)
Midilli i sar.	$MR = a \cdot e^{-kt^n} + b \cdot t$	Midilli i sar. (2002)

### 3.7.5 Statistička analiza podataka

Svi eksperimentalno dobijeni rezultati su obrađeni izraženi su kao srednja vrednost  $\pm$  standardna devijacija (SD). Svi rezultati statistički su testirani analizom varijanse (engl. Analysis of Variance, ANOVA), a značajnost razlike ocenjena je Tukey testom ( $p < 0,05$ ). Statistička analiza urađena je u programu Minitab 16 Trial.

## 4 REZULTATI I DISKUSIJA

### 4.1 Prototip inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom

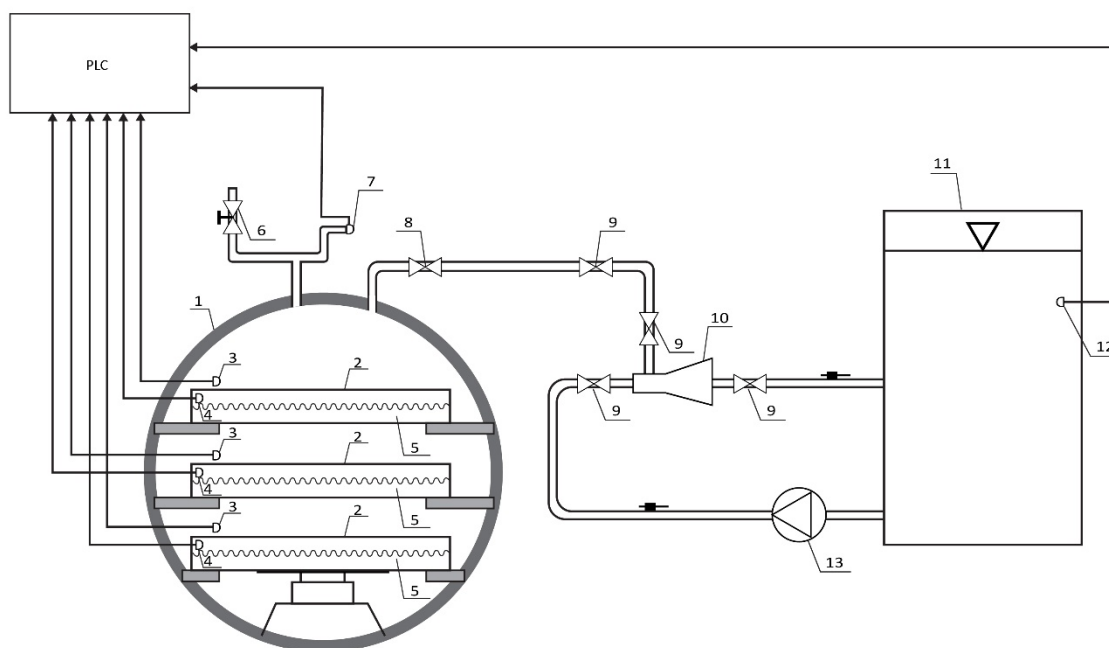
Prototip inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom sastoji se iz cilindrične komore i ejektorskog sistema (slike 16 i 17). Komora dimenzija  $\phi 600$  mm i debljine zida 4 mm, napravljena je od nerđajućeg čelika (Č.4580). Vrata komore napravljena su od istog materijala, dimenzija  $\phi 600$  mm i imaju ugrađeno staklo dimenzija  $\phi 100$  mm u cilju lakšeg vizuelnog kontrolisanja procesa sušenja. U komori sušare ugrađene su grejne ploče dimenzija 500x400 mm od tehničkog aluminijuma sa ugrađenim grejačima snage 200 W koji omogućuju zagrevanje materijala do 80°C.

Ejektorski sistem sastoji se iz ejektora, centrifugalne pumpe, cevi i rezervoara za hlađenje vode. Četvorostepena centrifugalna pumpa (model CR5-12 proizvođača Grundfos iz Danske) može da ostvari natpritisak od 0,572 MPa (5,72 bar), što omogućava protok vode u ejektoru oko 10 m<sup>3</sup>/h. Rezervoar sadrži 120 l hladne vode temperature do 5°C. Tokom sušenja, voda se u rezervoaru hladi pomoću cevnog izmenjivača toplote koji je ugrađen u rezervoar i kroz koji struji rashladni fluid (freon).

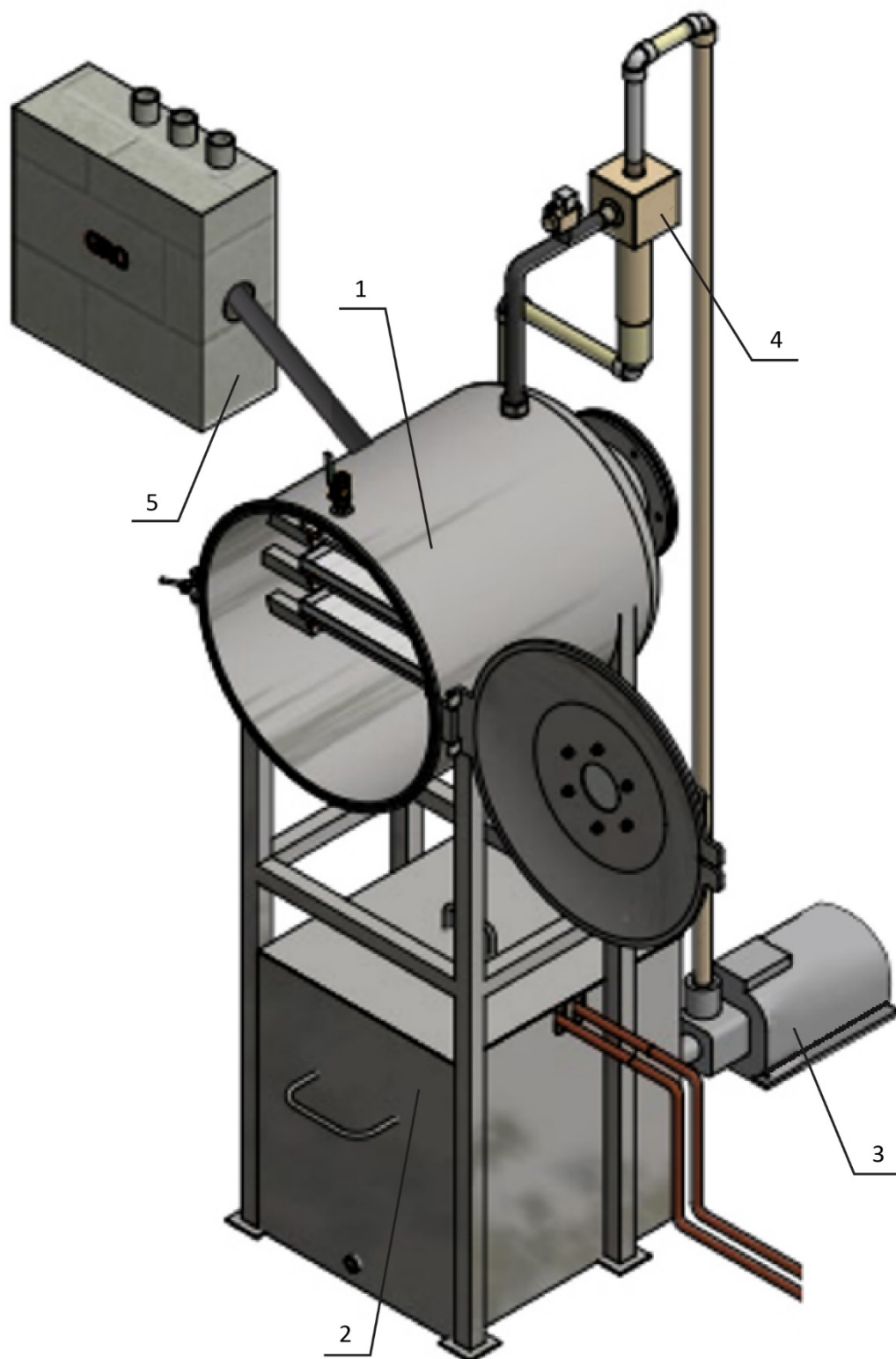
Prototip inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom opremljen je programabilnim logičkim kontrolerom (engl. Programmable Logic Controller, PLC) koji

omogućava automatsko upravljanje procesom sušenja. PLC ima mogućnost merenja i memorisanja apsolutnog pritiska, temperature vode rezervoara, temperature grejnih ploča i temperature uzorka koji se suši. Pritisak se meri pomoću senzora za merenje pritiska (model GRQ000A00 proizvođača Georgin iz Francuske), temperatura vode rezervoara pomoću senzora za merenje temperature (model TS-01\_PT100 proizvođača Nigos iz Srbije), temperatura grejnih ploča i temperatura uzorka koji se suši pomoću senzora za merenje temperature (model TS-03\_PT100 proizvođača Nigos iz Srbije). Pomoću PLC-a upravlja se radom ejektorskog sistema i grejača, pa se na taj način u radnoj komori postiže apsolutni pritisak 20 mbar i održava zadata vrednost temperature grejne ploče tokom sušenja.

Najbitnije tehničke karakteristike uređaja su opseg radne temperature od 20 do 80°C, opseg radnog pritiska od 20-1000 mbar, maksimalna masa uzorka za sušenje 5 kg, osetljivost senzora za merenje temperature  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  i osetljivost senzora za merenje pritiska  $\pm 0,5$  mbar.



Slika 16. Šematski prikaz prototipa inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom: 1. komora; 2. grejna ploča; 3. senzor za merenje temperature uzorka; 4. senzor za merenje temperature grejne ploče; 5. grejač; 6. odušni ventil; 7. senzor za merenje pritiska; 8. nepovratni ventil; 9. zaporni element; 10. ejektor; 11. rezervoar ohlađene vode; 12. senzor za merenje temperature vode u rezervoaru; 13. centrifugalna pumpa



Slika 17. 3D prikaz prototipa inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom: 1. komora; 2. rezervoar ohlađene vode; 3. centrifugalna pumpa; 4. ejektor; 5. PLC upravljačka jedinica

Centrifugalna pumpa povlači vodu iz rezervoara prethodno ohlađene vode na temperaturu 5°C i usmerava je preko cevi u ejektor. Voda prolazi kroz ejektor, odnosno kroz venturi cev, pri čemu dobija ubrzanje i po zakonitostima Bernulijeve jednačine smanjuje pritisak u komori u kojoj se uzorak suši na zadatoj temperaturi. Smanjenjem pritiska u komori, odnosno stvaranjem vakuuma, ubrzava se isparavanje vode iz sirovine koja se suši. Oslobođena vodena para se odvodi pomoću ejektora, mešanjem pare sa vodom koja prostrujava kroz ejektor. Ovako nastala smeša vode i pare ulazi putem cevi u rezervoar ohlađene vode u kom se para kondenzuje. Centrifugalna pumpa konstantno povlači vodu iz rezervoara i na taj način se ciklus sušenja odigrava kontinualno. Temperatura vode u rezervoaru ne sme prelaziti temperaturu 5°C, kako bi se obezbedili konstantni uslovi rada ejektorskog sistema pošto dolazi do narušavanja vakuuma pri povećanju temperature rashladnog fluida.

Osnovne prednosti prototipa inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom u odnosu na vakuum sušaru sa vakuum pumpom su:

- Značajno manja ulaganja u opremu, s obzirom da ne postoji potreba za kondenzatorom i vakuum pumpom za postizanje vakuuma. Primenjen je ejektorski sistem koji zahteva značajno manja ulaganja u pogledu same opreme.
- Značajno manji troškovi održavanja opreme s obzirom da ejektorski sistem nema pokretnih delova.

Prototip inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom i koštičavo voće osušeno u prototipu inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom prikazani su na slikama 18 i 19.



*Slika 18. Prototip inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom*





Slika 19. Koštičavo voće osušeno u prototipu inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom

#### **4.2 Rezultati ispitivanja fizičkih, hemijskih i bioloških osobina svežeg i osušenog koštičavog voća**

Planom eksperimenta predviđeno je sušenje po dve sorte sledećih pet voćnih vrsta koštičavog voća: višnja (Feketička i Erdi Botermo); trešnja (Lapins i Sweet Heart); kajsija (Buda i NS4); šljiva (Toptaste i Anna Spath) i breskva (Lela i Fairtime) u konvektivnoj sušari, vakuum sušari sa vakuum pumpom i liofilizatoru.

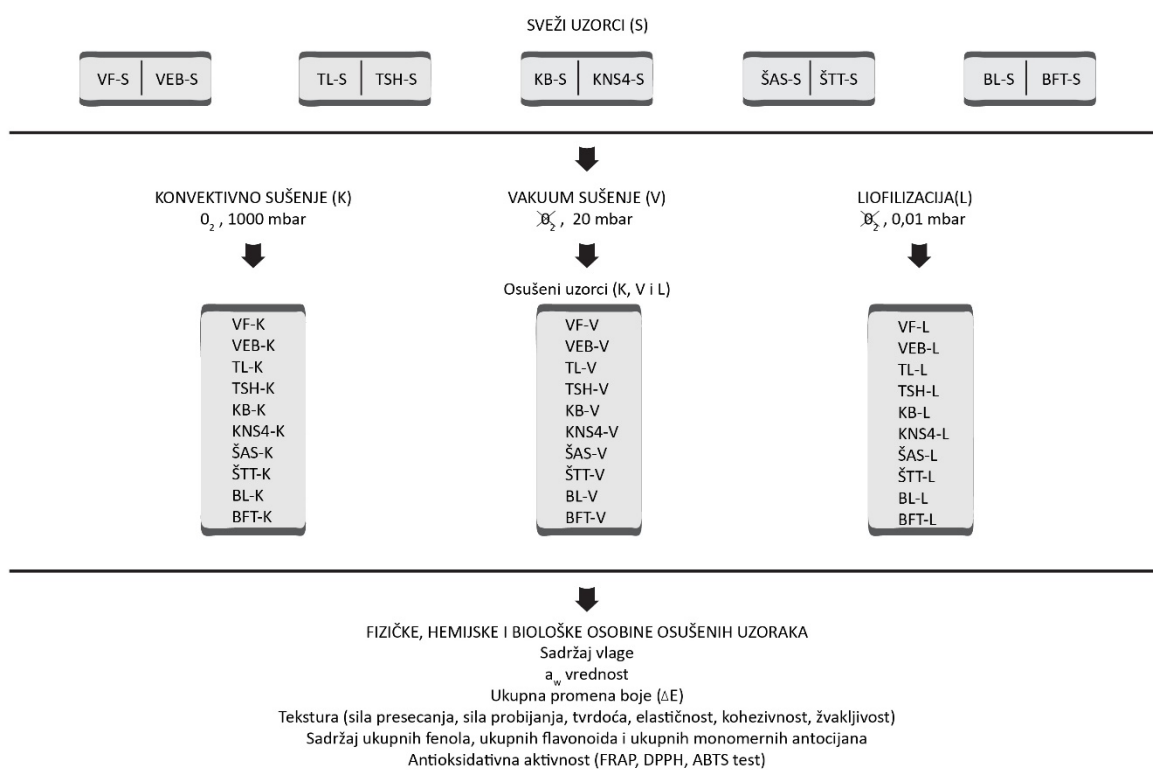
U okviru plana eksperimenta analizirano je ukupno 40 uzoraka koštičavog voća i to: 10 svežih (S) uzoraka (VF-S; VEB-S; TL-S; TSH-S; KB-S; KNS4-S; ŠAS-S; ŠTT-S; BL-S, BFT-S), 10 konvektivno (K) osušenih uzoraka (VF-K; VEB-K; TL-K; TSH-K; KB-K; KNS4-K; ŠAS-K; ŠTT-K; BL-K, BFT-K), 10 vakuum (V) osušenih uzoraka (VF-V; VEB-V; TL-V; TSH-V; KB-V; KNS4-V; ŠAS-V; ŠTT-V; BL-V, BFT-V) i 10 liofilizovanih (L) uzoraka (VF-L; VEB-L; TL-L; TSH-L; KB-L; KNS4-L; ŠAS-L; ŠTT-L; BL-L, BFT-L). Puni nazivi uzoraka dati su u tabeli 7.

Tokom procesa sušenja, kao ulazni parametri praćeni su temperatura, pritisak i vreme sušenja. Opseg vrednosti parametara sušenja odabran je na osnovu prethodnog iskustva u oblasti sušenja (Šumić i sar., 2016a; Šumić i sar., 2016b; Šumić i sar., 2017; Tepić Horecki i sar., 2018), a takođe su usklađeni sa opsegom parametara koji se koriste u industrijskim uslovima proizvodnje osušenog voća. Vreme, odnosno završna tačka vakuum sušenja

određena je postizanjem tačke ravnoteže (zabeležena razlika u masi uzorka manja od 1,0 g u trajanju od 30 min). Vrednosti ovih ulaznih parametara sušenja prikazane su u tabeli 8.

U svim svežim uzorcima i uzorcima osušenim različitim tehnikama analizirani su sledeći fizički, hemijski i biološki parametri: sadržaj vlage,  $a_w$  vrednost, ukupna promena boje ( $\Delta E$ ), teksturalne osobine (sila presecanja, sila probijanja, tvrdoća, elastičnost, kohezivnost i žvakljivost), sadržaj ukupnih fenola, ukupnih flavonoida i ukupnih monomernih antocijana i antioksidativna aktivnost (FRAP, DPPH i ABTS test). U svih 40 ispitanih uzoraka analiziran je i sadržaj mikotoksina BEA i ENN (A, A1, B, B1).

Plan eksperimenta prikazan je na slici 20.



Slika 20. Grafički prikaz plana Eksperimenta 1 (fizičke, hemijske i biološke osobine osušenog koštičavog voća)

Tabela 7. Puni nazivi svežih i osušenih uzoraka višnje, trešnje, kajsije, šljive i breskve osušenih konvektivnim sušenjem, vakuum sušenjem i liofilizacijom

Br. uzorka	Vrsta voća	Sorta voća	Stanje	Skraćenica
1	Višnja	Feketička	Sveže (S)	VF-S
2		Erdi Botermo		VEB-S
3	Trešnja	Lapins		TL-S
4		Sweet Heart		TSH-S
5	Kajsija	Buda		KB-S
6		NS4		KNS4-S
7	Šljiva	Anna Spath		ŠAS-S
8		Toptaste		ŠTT-S
9	Breskva	Lela		BL-S
10		Fairtime		BFT-S
11	Višnja	Feketička	Konvektivno osušeno (K)	VF-K
12		Erdi Botermo		VEB-K
13	Trešnja	Lapins		TL-K
14		Sweet Heart		TSH-K
15	Kajsija	Buda		KB-K
16		NS4		KNS4-K
17	Šljiva	Anna Spath		ŠAS-K
18		Toptaste		ŠTT-K
19	Breskva	Lela		BL-K
20		Fairtime		BFT-K
21	Višnja	Feketička	Vakuum osušeno (V)	VF-V
22		Erdi Botermo		VEB-V
23	Trešnja	Lapins		TL-V
24		Sweet Heart		TSH-V
25	Kajsija	Buda		KB-V
26		NS4		KNS4-V
27	Šljiva	Anna Spath		ŠAS-V
28		Toptaste		ŠTT-V
29	Breskva	Lela		BL-V
30		Fairtime		BFT-V
31	Višnja	Feketička	Liofilizovano (L)	VF-L
32		Erdi Botermo		VEB-L
33	Trešnja	Lapins		TL-L
34		Sweet Heart		TSH-L
35	Kajsija	Buda		KB-L
36		NS4		KNS4-L

Br. uzorka	Vrsta voća	Sorta voća	Stanje	Skraćenica
37	Šljiva	Anna Spath		ŠAS-L
38		Toptaste		ŠTT-L
39	Breskva	Lela		BL-L
40		Fairtime		BFT-L

Tabela 8. Uslovi konvektivnog sušenja, vakuum sušenja i liofilizacije

Broj uzorka	Voće (vrsta/sorta)	Uzorak	T [°C]	P [mbar]	t [h]
11	Višnja/Feketička	VF-K	78	1000	24
12	Višnja/Erdi Botermo	VEB-K	78	1000	24
13	Trešnja/Lapins	TL-K	78	1000	25
14	Trešnja/Sweet Heart	TSH-K	78	1000	23
15	Kajsija/Buda	KB-K	78	1000	17
16	Kajsija/NS4	KNS4-K	78	1000	18
17	Šljiva/Anna Spath	ŠAS-K	78	1000	24
18	Šljiva/Toptaste	ŠTT-K	78	1000	24
19	Breskva/Lela	BL-K	78	1000	22
20	Breskva/Fairtime	BFT-K	78	1000	21
21	Višnja/Feketička	VF-V	60	20	11
22	Višnja/Erdi Botermo	VEB-V	60	20	11
23	Trešnja/Lapins	TL-V	60	20	13
24	Trešnja/Sweet Heart	TSH-V	60	20	16
25	Kajsija/Buda	KB-V	60	20	19
26	Kajsija/NS4	KNS4-V	60	20	19
27	Šljiva/Anna Spath	ŠAS-V	60	20	29
28	Šljiva/Toptaste	ŠTT-V	60	20	28
29	Breskva/Lela	BL-V	60	20	27
30	Breskva/Fairtime	BFT-V	60	0,01	27
31	Višnja/Feketička	VF-L	-30	0,01	72
32	Višnja/Erdi Botermo	VEB-L	-30	0,01	72
33	Trešnja/Lapins	TL-L	-30	0,01	72
34	Trešnja/Sweet Heart	TSH-L	-30	0,01	72
35	Kajsija/Buda	KB-L	-30	0,01	72
36	Kajsija/NS4	KNS4-L	-30	0,01	72
37	Šljiva/Anna Spath	ŠAS-L	-30	0,01	72
38	Šljiva/Toptaste	ŠTT-L	-30	0,01	72
39	Breskva/Lela	BL-L	-30	0,01	72
40	Breskva/Fairtime	BFT-L	-30	0,01	72

Karakterizacija svežeg koštičavog voća prikazana je u tabeli 9.

Tabela 9. Karakterizacija svežeg koštičavog voća

Svež uzorak	Sadržaj masti (%)	Sadržaj proteina (%)	Sadržaj ukupnih šećera (%)	Udeo koštice (%)	Nasipna masa (kg/m <sup>2</sup> )
VF	0,33	0,98	11,18	14,18	12,50
VET	0,19	1,07	10,92	12,36	15,13
TCL	0,31	1,20	11,52	9,57	17,08
TSH	0,19	1,38	11,08	11,62	15,25
KDM	0,30	1,15	2,33	3,65	28,17*/12,91**
KNS4	0,26	1,30	2,77	3,22	30,60*/13,88**
ŠTT	0,50	1,02	10,93	5,43	28,83*/11,67**
ŠAS	0,44	1,59	10,42	5,00	24,26*/11,45**
BL	0,40	1,37	3,88	6,90	42,00*/22,50**/17,50***
BFT	0,22	1,34	4,05	4,97	35,00*/25,88**/16,82***

Napomena:

VF - Višnja Feketička; VET - Višnja Erdi Botermo; TCL – Trešnja Lapins; TSH – Trešnja Sweet Heart; KDM – Kajsija DM; KNS4 – Kajsija NS4; ŠTT – Šljiva Toptaste; ŠAS – Šljiva Anna Spath; BL – Breskva Lela; BFT – Brskva Fairtime.

\*ceo plod; \*\*polutka; \*\*\*čtvrtina

#### 4.2.1 Sadržaj vlage

Najniži sadržaj vlage (77,81%) u svežem ispitivanom voću zabeležen je u uzorku šljive sorte Anna Spath, dok je najveća vrednost sadržaja vlage (88,77%) izmerena u svežem uzorku kajsije sorte NS4. Sadržaj vlage u svežim šljivama (79,93%), prezentovan u istraživanju autora Tarhan (2007), u saglasnosti je sa opsegom sadržaja vlage koji je zabeležen u svežem ispitivanom svežem voću u okviru ovog istraživanja. U osušenim uzorcima višnje sorte Erdi Botermo i trešnje sorte Lapins, primenjena tehnika sušenja značajno je uticala ( $p < 0,05$ ) na sadržaj vlage. U uzorcima višnje i trešnje, najniži i najviši sadržaj vlage zabeležen je u konvektivno i vakuum osušenom uzorku, redom. Takođe je zabeleženo da je, u slučaju sušenja obe ispitivane sorte šljive (Anna Spath i Toptaste) i breskve sorte Lela, primenjena tehnika sušenja značajno uticala ( $p < 0,05$ ) na sadržaj vlage (tabela 10).

#### 4.2.2 Aktivnost vode

Najniža  $a_w$  vrednost svežeg ispitivanog voća (0,903) zabeležena je u uzorku kajsije sorte Buda, dok je najviša  $a_w$  vrednost (0,988) izmerena u svežem uzorku breskve sorte Fairtime. Primenjena tehnika sušenja uticala je na  $a_w$  vrednost u slučaju svih ispitivanih vrsta i sorti voća. Najniže  $a_w$  vrednosti, u pogledu svih ispitivanih vrsta voća, zabeležene su u liofilizovanim uzorcima: višnje sorte Erdi Botermo, trešnje sorte Lapins, kajsije sorte NS4, šljive sorte Toptaste i breskve sorte Lela. Najviše  $a_w$  vrednosti izmerene su u vakuum osušenim uzorcima: višnje sorte Erdi Botermo, trešnje sorte Lapins, kajsije sorte Buda, šljive sorte Anna Spath i breskve sorte Lela (tabela 10).

#### 4.2.3 Ukupna promena boje

Ukupna promena boje ( $\Delta E$ ) izmerena je poređenjem vrednosti  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  osušenih uzoraka sa istim vrednostima  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  svežeg ispitivanog voća, pa su iz tog razloga vrednosti  $\Delta E$  za sveže voće u tabeli 10 prikazane kao „0,00“. Za vrednost  $\Delta E$  manju od 1,0 se pretpostavlja da nije senzorno uočljiva (Šumić, 2014). U osušenim uzorcima višnje, najniža vrednost  $\Delta E$  zabeležena je u konvektivno osušenim uzorcima obe ispitivane sorte, Feketička i Erdi Botermo, dok je najviša vrednost  $\Delta E$  izmerena u liofilizovanim uzorcima obe ispitivane sorte višnje. Značajno različite ( $p < 0,05$ ) vrednosti  $\Delta E$  dobijene su u različitim sortama vakuum osušenih uzoraka trešnje, Lapins i Sweet Heart. U uzorcima trešnje sorti Lapins i Sweet Heart, najniže vrednosti  $\Delta E$  zabeležene su u vakuum osušenim i liofilizovanim uzorcima, redom, dok su najviše vrednosti  $\Delta E$  zabeležene u liofilizovanim i konvektivno osušenim uzorcima, redom. U uzorcima osušene kajsije sorte Buda kao i u osušenim uzorcima breskve sorte Lela primenjena tehnika sušenja značajno je uticala ( $p < 0,05$ ) na vrednosti  $\Delta E$ . Ukupna promena boje vakuum osušene breskve ispitana je u istraživanju Kwon i sar. (2013) gde je vrednost  $\Delta E$  iznosila 14,31, što je veća vrednost u poređenju sa  $\Delta E$  (7,39) zabeleženom u uzorcima vakuum osušene breskve sorte Lela, a manje od vrednosti  $\Delta E$  (36,92) izmerene u vakuum osušenom uzorku breskve sorte Fairtime, u okviru ovog istraživanja. U obe ispitivane sorte kajsije, Buda i NS4, najniže vrednosti  $\Delta E$  zabeležene su u vakuum osušenim uzorcima, dok su najveće vrednosti  $\Delta E$  izmerene u liofilizovanim uzorcima kajsije (tabela 10).

Razlike između konvektivno osušenog, vakuum osušenog i liofilizovanog voća najjasnije se mogu videti na primeru breskve sorte Buda (slika 21).



*Slika 21. Uzorci breskve sorte Buda osušene konvektivnim sušenjem, vakuum sušenjem i liofilizacijom*

Tabela 10. Eksperimentalno određene vrednosti sadržaja vlage,  $a_w$  vrednosti i  $\Delta E$  uzoraka svežih, konvektivno osušenih, vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka višnje, trešnje, kajsije, šljive i breskve

Analize	Sadržaj vlage (%)		$a_w$ vrednost		$\Delta E$	
	VF	VEB	VF	VEB	VF	VEB
Uzorak						
VF-S/VEB-S	83,37±0,06 <sup>A,b</sup>	86,64±0,36 <sup>A,a</sup>	0,929±0,007 <sup>A,a</sup>	0,936±0,001 <sup>A,a</sup>	0,00	0,00
VF-K/VEB-K	13,41±0,17 <sup>C,a</sup>	11,20±0,51 <sup>D,b</sup>	0,278±0,004 <sup>D,b</sup>	0,350±0,000 <sup>C,a</sup>	3,15±0,58 <sup>B,a</sup>	4,73±1,70 <sup>B,a</sup>
VF-V/VEB-V	15,60±0,88 <sup>B,b</sup>	21,29±0,76 <sup>B,a</sup>	0,376±0,003 <sup>B,b</sup>	0,540±0,003 <sup>B,a</sup>	23,44±5,28 <sup>A,a</sup>	7,83±2,26 <sup>B,b</sup>
VF-L/VEB-L	14,71±0,15 <sup>B,b</sup>	15,11±0,10 <sup>C,a</sup>	0,309±0,006 <sup>C,a</sup>	0,255±0,000 <sup>D,b</sup>	27,52±4,99 <sup>A,a</sup>	26,80±4,93 <sup>A,a</sup>
Uzorak	TL	TSH	TL	TSH	TL	TSH
TL-S/TSH-S	83,17±0,17 <sup>A,a</sup>	82,00±0,03 <sup>A,b</sup>	0,949±0,003 <sup>A,a</sup>	0,939±0,003 <sup>A,a</sup>	0,00	0,00
TL-K/TSH-K	9,05±0,36 <sup>D,a</sup>	9,12±0,004 <sup>C,a</sup>	0,406±0,001 <sup>C,a</sup>	0,349±0,003 <sup>C,b</sup>	23,17±0,14 <sup>B,a</sup>	21,06±1,74 <sup>A,b</sup>
TL-V/TSH-V	15,36±0,30 <sup>B,a</sup>	14,72±0,24 <sup>B,b</sup>	0,465±0,001 <sup>B,a</sup>	0,419±0,003 <sup>B,b</sup>	17,93±1,44 <sup>B,a</sup>	15,90±5,75 <sup>AB,a</sup>
TL-L/TSH-L	12,05±0,05 <sup>C,b</sup>	14,48±0,02 <sup>B,a</sup>	0,292±0,000 <sup>D,a</sup>	0,268±0,004 <sup>D,b</sup>	29,07±5,46 <sup>A,a</sup>	11,07±6,32 <sup>B,b</sup>
Uzorak	KB	KNS4	KB	KNS4	KB	KNS4
KB-S/KNS4-S	87,77±0,16 <sup>A,b</sup>	88,77±0,08 <sup>A,a</sup>	0,903±0,003 <sup>A,b</sup>	0,948±0,006 <sup>A,a</sup>	0,00	0,00
KB-K/KNS4-K	17,11±0,67 <sup>B,a</sup>	14,15±0,98 <sup>B,b</sup>	0,368±0,001 <sup>D,b</sup>	0,411±0,001 <sup>C,a</sup>	36,21±3,26 <sup>B,b</sup>	47,76±1,97 <sup>A,a</sup>
KB-V/KNS4-V	16,23±0,39 <sup>B,a</sup>	14,36±0,24 <sup>B,b</sup>	0,670±0,001 <sup>B,a</sup>	0,544±0,000 <sup>B,b</sup>	13,67±1,84 <sup>C,b</sup>	18,28±1,50 <sup>B,a</sup>
KB-L/KNS4-L	16,55±0,22 <sup>B,a</sup>	7,66±0,44 <sup>C,b</sup>	0,425±0,000 <sup>C,a</sup>	0,255±0,001 <sup>D,b</sup>	43,50±1,47 <sup>A,b</sup>	49,43±1,85 <sup>A,a</sup>
Uzorak	ŠTT	ŠAS	ŠTT	ŠAS	ŠTT	ŠAS
ŠTT-S/ŠAS-S	77,98±0,30 <sup>A,a</sup>	77,81±0,12 <sup>A,a</sup>	0,975±0,007 <sup>A,a</sup>	0,973±0,001 <sup>A,a</sup>	0,00	0,00
ŠTT-K/ŠAS-K	7,99±0,05 <sup>C,b</sup>	13,11±0,05 <sup>C,a</sup>	0,404±0,001 <sup>C,a</sup>	0,395±0,003 <sup>C,a</sup>	4,76±0,77 <sup>B,b</sup>	11,72±0,52 <sup>A,a</sup>
ŠTT-V/ŠAS-V	19,03±0,40 <sup>B,b</sup>	48,71±0,19 <sup>B,a</sup>	0,564±0,000 <sup>B,b</sup>	0,791±0,001 <sup>B,a</sup>	5,25±2,06 <sup>B,a</sup>	7,22±1,72 <sup>B,a</sup>
ŠTT-L/ŠAS-L	6,54±0,04 <sup>D,b</sup>	11,65±0,13 <sup>D,a</sup>	0,256±0,006 <sup>D,a</sup>	0,258±0,003 <sup>D,a</sup>	8,36±1,57 <sup>A,a</sup>	5,76±3,07 <sup>B,a</sup>



Analize	Sadržaj vlage (%)		a <sub>w</sub> vrednost		ΔE	
	Uzorak	BL	BFT	BL	BFT	BL
BL-S/BFT-S	88,23±0,21 <sup>A,a</sup>	87,95±0,08 <sup>A,a</sup>	0,973±0,001 <sup>A,b</sup>	0,988±0,001 <sup>A,a</sup>	0,00	0,00
BL-K/BFT-K	10,48±0,02 <sup>C,b</sup>	14,96±0,04 <sup>B,a</sup>	0,471±0,001 <sup>C,a</sup>	0,451±0,003 <sup>B,b</sup>	42,91±3,46 <sup>A,a</sup>	34,23±2,65 <sup>A,b</sup>
BL-V/BFT-V	12,45±0,06 <sup>B,b</sup>	14,99±0,24 <sup>B,a</sup>	0,522±0,003 <sup>B,a</sup>	0,339±0,000 <sup>C,b</sup>	7,39±2,65 <sup>C,b</sup>	36,92±3,22 <sup>A,a</sup>
BL-L/BFT-L	9,14±0,06 <sup>D,b</sup>	11,65±0,29 <sup>C,a</sup>	0,266±0,000 <sup>D,b</sup>	0,287±0,004 <sup>D,a</sup>	22,62±0,28 <sup>B,a</sup>	24,82±3,13 <sup>B,a</sup>

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

Velika slova A, B, C i D – razlike između svežih, konvektivno osušenih, vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka u okviru jedne sorte voća

Mala slova a i b – razlike između dve sorte u okviru jedne vrste voća i jedne tehnike sušenja

#### 4.2.4 Teksturalne osobine

U cilju dobijanja što boljeg uvida u teksturalne osobine svežeg i osušenog ispitivanog voća, u okviru istraživanja analizirani su sledeći parametri teksture: sila presecanja, sila probijanja, tvrdoća, elastičnost, kohezivnost i žvakljivost (tabele 11 i 12).

##### 4.2.4.1 Sila presecanja

Najniža vrednost sile presecanja svežeg ispitivanog voća zabeležena je u uzorku kajsije sorte Buda (10,9 g), dok je sila presecanja potrebna za presecanje svežeg uzorka šljive sorte Anna Spath zabeležena kao najveća (506,6 g). Najniža vrednost sile presecanja (147,4 g) u pogledu osušenih uzoraka zabeležena je u liofilizovanom uzorku kajsije sorte NS4, dok je najveća vrednost (3856,7 g) ovog parametra izmerena u liofilizovanom uzorku breskve sorte Toptaste. Takođe je zabeleženo da je i najveća i najmanja vrednost sile presecanja u pogledu svih osušenih uzoraka zabeležena u liofilizovanim uzorcima. Primenjena tehnika sušenja značajno je uticala ( $p < 0,05$ ) na silu presecanja uzoraka osušene kajsije sorte NS4.

##### 4.2.4.2 Sila probijanja

U pogledu svežeg ispitivanog voća, najniža i najviša sila probijanja zabeležena je u uzorku višnje sorte Feketička (92,4 g) i breskve sorte Fairtime (749,1 g), redom. U svim konvektivno osušenim uzorcima ispitivanog voća, sila probijanja imala je vrednost veću od 5000 g. Svi konvektivno osušeni uzorci bili su previše tvrdi pa iz tog razloga ova analiza teksture nije mogla biti sprovedena. S obzirom da je za analizu merenja vrednosti sile probijanja korišćen teg od 5000 g, sve vrednosti sile probijanja za konvektivno osušene uzorke okarakterisane su kao vrednosti „iznad 5000 g“. U ispitivanim uzorcima šljive, zabeležena je najmanja i najveća vrednost sile probijanja i to u vakuum osušenom uzorcima šljive sorte Toptaste (509,3 g) i u liofilizovanom uzorku šljive sorte Anna Spath (2852,9 g), redom. Na osnovu vrednosti sile probijanja za osušene uzorke višnje sorte Erdi Botermo, trešnje sorte Lapins, trešnje sorte Sweet Heart, šljive sorte Anna Spath, šljive sorte Toptaste, breskve sorte Lela i breskve sorte Fairtime, zabeleženo je da je primenjena tehnika sušenja značajno uticala ( $p < 0,05$ ) na vrednost sile probijanja.

##### 4.2.4.3 Tvrdoća

Najveća i najmanja vrednost tvrdoće u pogledu svežeg ispitivanog voća zabeležena je u uzorcima breskve sorte Fairtime (2041,7 g) i višnje sorte Feketička (210,2 g), redom. Vakuum osušena šljiva sorte Anna Spath i konvektivno osušena šljiva sorte Toptaste su uzorci u kojima je zabeležena najniža (252,4 g) i najviša vrednost (6377,8 g) tvrdoće, redom,

u svim ispitivanim osušenim uzorcima. Primenjena tehnika sušenja značajno je uticala ( $p < 0,05$ ) na tvrdoću uzoraka trešnje sorte Sweet Heart i kajsije sorte NS4.

Tabela 11. Eksperimentalno određene vrednosti sile presecanja, sile probijanja i tvrdoće, konvektivno osušene, vakuum osušene i liofilizovane višnje, trešnje, kajsije, šljive i breskve

Analize	Sila presecanja (g)		Sila probijanja (g)		Tvrdoća (g)	
	VF	VEB	VF	VEB	VF	VEB
Uzorak						
VF-S/VEB-S	168,6±55,3 <sup>C,b</sup>	310,5±151,0 <sup>B,a</sup>	92,4±11,2 <sup>C,a</sup>	94,6±20,1 <sup>D,a</sup>	210,2±65,9 <sup>C,b</sup>	401,5±67,7 <sup>B,a</sup>
VF-K/VEB-K	1602,7±1085,0 <sup>B,b</sup>	2723,5±906,7 <sup>A,a</sup>	>5000,0 <sup>A</sup>	>5000,0 <sup>A</sup>	2263,2±810,2 <sup>A,b</sup>	3102,3±894,5 <sup>A,a</sup>
VF-V/VEB-V	2680,3±1032,5 <sup>AB,a</sup>	988,0±319,9 <sup>B,b</sup>	1730,7±1030,9 <sup>B,a</sup>	664,7±247,9 <sup>C,b</sup>	1129,5±311,7 <sup>B,a</sup>	341,5±136,5 <sup>B,b</sup>
VF-L/VEB-L	3569,4±1430,6 <sup>A,a</sup>	2867,8±1242,7 <sup>A,a</sup>	1171,6±398,1 <sup>B,b</sup>	1747,8±549,1 <sup>B,a</sup>	654,5±151,3 <sup>BC,a</sup>	673,6±450,5 <sup>B,a</sup>
Uzorak	TL	TSH	TL	TSH	TL	TSH
TL-S/TSH-S	228,7±124,4 <sup>B,a</sup>	216,3±72,21 <sup>B,a</sup>	135,3±45,0 <sup>D,b</sup>	191,1±38,2 <sup>D,a</sup>	728,6±124,9 <sup>B,a</sup>	810,0±118,8 <sup>C,a</sup>
TL-K/TSH-K	3194,6±998,1 <sup>A,a</sup>	3372,0±1853,2 <sup>A,a</sup>	>5000,0 <sup>A</sup>	>5000,0 <sup>A</sup>	1800,5±1121,1 <sup>A,a</sup>	2237,9±814,7 <sup>A,a</sup>
TL-V/TSH-V	777,4±443,1 <sup>B,a</sup>	911,0±159,6 <sup>B,a</sup>	675,6±224,6 <sup>C,a</sup>	696,7±202,0 <sup>C,a</sup>	405,9±144,5 <sup>B,a</sup>	396,1±126,3 <sup>C,a</sup>
TL-L/TSH-L	3718±1337,7 <sup>A,a</sup>	2705,9±692,6 <sup>A,b</sup>	1096,5±233,1 <sup>B,a</sup>	1368,6±576,2 <sup>B,a</sup>	786,8±235,0 <sup>B,b</sup>	1454,8±340,8 <sup>B,a</sup>
Uzorak	KB	KNS4	KB	KNS4	KB	KNS4
KB-S/KNS4-S	10,9±3,10 <sup>C,a</sup>	11,2±4,59 <sup>C,a</sup>	351,2±75,0 <sup>C,a</sup>	148,4±41,2 <sup>C,b</sup>	1107,1±749,7 <sup>AB,a</sup>	549,9±181,5 <sup>C,b</sup>
KB-K/KNS4-K	1986,2±1198,6 <sup>A,b</sup>	3535,1±1059,1 <sup>A,a</sup>	>5000,0 <sup>A</sup>	>5000,0 <sup>A</sup>	1851,3±1562,7 <sup>A,a</sup>	2109,1±1742,2 <sup>B,a</sup>
KB-V/KNS4-V	896,1±595,2 <sup>B,a</sup>	1205,5±291,7 <sup>B,a</sup>	884,1±383,4 <sup>B,a</sup>	921,5±293,8 <sup>B,a</sup>	478,9±19,6 <sup>B,a</sup>	422,6±174,9 <sup>C,a</sup>
KB-L/KNS4-L	1764,1±523,9 <sup>A,a</sup>	147,4±76,5 <sup>C,b</sup>	1102,7±533,9 <sup>B,a</sup>	790,4±274,9 <sup>B,a</sup>	213,9±151,7 <sup>B,b</sup>	3466,0±1337,5 <sup>A,a</sup>
Uzorak	ŠTT	ŠAS	ŠTT	ŠAS	ŠTT	ŠAS
ŠTT-S/ŠAS-S	442,4±141,7 <sup>B,a</sup>	506,6±220,4 <sup>B,a</sup>	610,1±130,1 <sup>C,a</sup>	420,5±86,4 <sup>C,b</sup>	1914,2±1194,0 <sup>B,a</sup>	1731,2±1215,2 <sup>AB,a</sup>
ŠTT-K/ŠAS-K	3800,7±938,9 <sup>A,a</sup>	2787,3±1214,9 <sup>A,b</sup>	>5000,0 <sup>A</sup>	>5000,0 <sup>A</sup>	6377,8±3549,0 <sup>A,a</sup>	3427,3±2874,7 <sup>A,b</sup>
ŠTT-V/ŠAS-V	332,7±137,9 <sup>B,b</sup>	528,2±186,1 <sup>B,a</sup>	509,3±163,2 <sup>C,a</sup>	611,4±358,5 <sup>C,a</sup>	277,4±215,3 <sup>B,a</sup>	252,4±128,0 <sup>B,a</sup>
ŠTT-L/ŠAS-L	3856,7±1979,3 <sup>A,a</sup>	2827,6±1425,8 <sup>A,a</sup>	2556,7±844,9 <sup>B,a</sup>	2852,9±713,9 <sup>B,a</sup>	960,5±419,1 <sup>B,a</sup>	805,6±716,9 <sup>B,a</sup>

Analize	Sila presecanja (g)		Sila probijanja (g)		Tvrdoća (g)	
	Uzorak	BL	BFT	BL	BFT	BL
BL-S/BFT-S	127,8±44,3 <sup>B,a</sup>	117,6±36,1 <sup>C,a</sup>	480,4±67,6 <sup>C,b</sup>	749,1±160,2 <sup>C,a</sup>	1691,1±488,8 <sup>A,a</sup>	2041,7±717,1 <sup>B,a</sup>
BL-K/BFT-K	2734,1±1226,9 <sup>A,a</sup>	2726,6±1529,9 <sup>A,a</sup>	>5000,0 <sup>A</sup>	>5000,0 <sup>A</sup>	2604,9±1711,3 <sup>A,a</sup>	719,3±538,0 <sup>B,b</sup>
BL-V/BFT-V	2800,1±1324,5 <sup>A,a</sup>	1165,1±1081,5 <sup>B,b</sup>	2710,4±1603,0 <sup>B,a</sup>	1384,0±757,9 <sup>B,b</sup>	2425,0±1809,8 <sup>A,a</sup>	787,6±660,6 <sup>B,b</sup>
BL-L/BFT-L	369,2±189,6 <sup>B,a</sup>	424,5±266,1 <sup>BC,a</sup>	1181,3±370,7 <sup>C,a</sup>	825,5±237,2 <sup>C,b</sup>	1062,1±548,8 <sup>A,b</sup>	6153,2±3015,0 <sup>A,a</sup>

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

Velika slova A, B, C i D – razlike između svežih, konvektivno osušenih, vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka u okviru jedne sorte voća

Mala slova a i b – razlike između dve sorte u okviru jedne vrste voća i jedne tehnike sušenja

#### 4.2.4.4 Elastičnost

Elastičnost svežeg ispitivanog voća varirala je između vrednosti 0,29 i 0,94, zabeleženih u uzorcima kajsije sorte NS4 i višnje sorte Feketička. Elastičnost osušenih uzoraka varirala je između vrednosti 0,28 do 0,80 zabeleženih u liofilizovanom uzorku breskve sorte Fairtime i konvektivno osušenom uzorku višnje sorte Feketička, redom. Na osnovu dobijenih rezultata za konvektivno osušene uzorke višnje sorte Feketička, trešnje sorte Lapins i kajsije sorte NS4, zabeleženo je da je primenjena tehnika sušenja značajno uticala ( $p < 0,05$ ) na elastičnost.

#### 4.2.4.5 Kohezivnost

Najniža kohezivnost u svežim ispitivanim uzorcima (0,13 g) zabeležena je u liofilizovanom uzorku šljive sorte Lela, dok je najveća vrednost (0,71 g) izmerena u liofilizovanom uzorku šljive sorte Anna Spath. Najniža kohezivnost svih osušenih uzoraka (0,24 g) zabeležena je u liofilizovanom uzorku kajsije sorte NS4, dok je najveća vrednost (0,95 g) izmerena u liofilizovanom uzorku šljive sorte Toptaste. Zabeleženo je da je primenjena tehnika sušenja značajno uticala ( $p < 0,05$ ) na kohezivnost osušenih uzoraka kajsije sorte NS4 i breskve sorte Fairtime.

#### 4.2.4.6 Žvkljivost

Žvkljivost svežeg ispitivanog voća varirala je između vrednosti 26,5 g i 806,8 g zabeleženih u uzorcima kajsije sorte NS4 i breskve sorte Toptaste. Žvkljivost osušenih uzoraka varirala je između 79,4 g u liofilizovanom uzorku kajsije sorte Buda i konvektivno osušenom uzorku višnje sorte Erdi Botermo.

Tabela 12. Eksperimentalno određene vrednosti elastičnosti, kohezivnosti i žvkljivosti, konvektivno osušene, vakuum osušene i liofilizovane višnje, trešnje, kajsije, šljive i breskve

Analize	Elastičnost		Kohezivnost		Žvkljivost	
	Uzorak	VF	VEB	VF	VEB	VF
VF-S/VEB-S	0,94±0,24 <sup>A,a</sup>	0,79±0,03 <sup>A,b</sup>	0,63±0,05 <sup>B,a</sup>	0,62±0,04 <sup>A,a</sup>	124,2±45,6 <sup>B,b</sup>	196,79±34,1 <sup>B,a</sup>
VF-K/VEB-K	0,80±0,06 <sup>A,a</sup>	0,75±0,04 <sup>A,b</sup>	0,76±0,06 <sup>A,a</sup>	0,69±0,04 <sup>AB,b</sup>	1390,1±548,9 <sup>A,a</sup>	1637,5±546,4 <sup>A,a</sup>
VF-V/VEB-V	0,61±0,05 <sup>B,b</sup>	0,70±0,10 <sup>A,a</sup>	0,54±0,04 <sup>B,b</sup>	0,61±0,04 <sup>A,a</sup>	352,7±67,6 <sup>B,a</sup>	143,4±50,9 <sup>B,b</sup>
VF-L/VEB-L	0,42±0,13 <sup>C,a</sup>	0,48±0,13 <sup>B,a</sup>	0,73±0,16 <sup>A,a</sup>	0,61±0,15 <sup>A,a</sup>	189,5±50,2 <sup>B,a</sup>	196,1±127,2 <sup>B,a</sup>
Uzorak	TL	TSH	TL	TSH	TL	TSH
TL-S/TSH-S	0,76±0,03 <sup>A,a</sup>	0,75±0,07 <sup>A,a</sup>	0,45±0,05 <sup>B,a</sup>	0,45±0,08 <sup>C,a</sup>	252,0±52,3 <sup>B,a</sup>	271,16±141,1 <sup>B,a</sup>
TL-K/TSH-K	0,34±0,13 <sup>C,b</sup>	0,72±0,13 <sup>A,a</sup>	0,72±0,26 <sup>A,a</sup>	0,73±0,05 <sup>A,a</sup>	475,2±197,6 <sup>A,b</sup>	1199,6±588,3 <sup>A,a</sup>
TL-V/TSH-V	0,78±0,10 <sup>A,a</sup>	0,74±0,07 <sup>A,a</sup>	0,60±0,02 <sup>AB,a</sup>	0,56±0,03 <sup>B,b</sup>	193,6±82,4 <sup>B,a</sup>	162,4±53,9 <sup>B,a</sup>
TL-L/TSH-L	0,47±0,09 <sup>B,b</sup>	0,57±0,03 <sup>B,a</sup>	0,63±0,10 <sup>A,a</sup>	0,50±0,02 <sup>BC,b</sup>	224,6±73,5 <sup>B,b</sup>	412,45±85,1 <sup>B,a</sup>

Analize	Elastičnost		Kohezivnost		Žvkljivost	
	Uzorak	KB	KNS4	KB	KNS4	KB
KB-S/KNS4-S	0,35±0,10 <sup>A,a</sup>	0,29±0,03 <sup>C,b</sup>	0,27±0,07 <sup>C,a</sup>	0,18±0,05 <sup>C,b</sup>	197,2±252,0 <sup>B,a</sup>	26,5±15,5 <sup>B,b</sup>
KB-K/KNS4-K	0,46±0,17 <sup>A,a</sup>	0,49±0,16 <sup>B,a</sup>	0,74±0,10 <sup>B,a</sup>	0,66±0,11 <sup>A,a</sup>	690,5±601,2 <sup>A,a</sup>	685,6±570,0 <sup>A,a</sup>
KB-V/KNS4-V	0,37±0,05 <sup>A,b</sup>	0,68±0,12 <sup>A,a</sup>	0,92±0,06 <sup>A,a</sup>	0,53±0,04 <sup>B,b</sup>	162,2±23,2 <sup>B,a</sup>	154,8±76,8 <sup>B,a</sup>
KB-L/KNS4-L	0,40±0,13 <sup>A,a</sup>	0,31±0,06 <sup>C,b</sup>	0,86±0,09 <sup>A,a</sup>	0,24±0,06 <sup>C,b</sup>	79,4±76,1 <sup>B,b</sup>	239,3±82,8 <sup>B,a</sup>
Uzorak	ŠTT	ŠAS	ŠTT	ŠAS	ŠTT	ŠAS
ŠTT-S/ŠAS-S	0,66±0,08 <sup>A,b</sup>	0,79±0,04 <sup>A,a</sup>	0,59±0,09 <sup>B,b</sup>	0,71±0,04 <sup>A,a</sup>	806,8±655,2 <sup>B,a</sup>	623,1±216,5 <sup>B,a</sup>
ŠTT-K/ŠAS-K	0,53±0,10 <sup>AB,a</sup>	0,59±0,19 <sup>C,a</sup>	0,50±0,18 <sup>B,b</sup>	0,64±0,12 <sup>A,a</sup>	1588,7±1088,0 <sup>A,a</sup>	1219,1±953,0 <sup>A,a</sup>
ŠTT-V/ŠAS-V	0,49±0,07 <sup>B,b</sup>	0,64±0,15 <sup>BC,a</sup>	0,76±0,36 <sup>AB,a</sup>	0,63±0,06 <sup>A,a</sup>	89,0±63,3 <sup>C,a</sup>	107,0±60,3 <sup>B,a</sup>
ŠTT-L/ŠAS-L	0,34±0,20 <sup>C,b</sup>	0,77±0,10 <sup>AB,a</sup>	0,95±0,31 <sup>A,a</sup>	0,66±0,06 <sup>A,b</sup>	321,1±240,5 <sup>BC,a</sup>	436,7±466,2 <sup>B,a</sup>
Uzorak	BL	BFT	BL	BFT	BL	BFT
BL-S/BFT-S	0,58±0,38 <sup>A,a</sup>	0,47±0,14 <sup>B,a</sup>	0,13±0,03 <sup>C,b</sup>	0,17±0,03 <sup>D,a</sup>	141,5±109,6 <sup>C,a</sup>	157,9±66,1 <sup>B,a</sup>
BL-K/BFT-K	0,67±0,18 <sup>A,a</sup>	0,74±0,26 <sup>A,a</sup>	0,62±0,09 <sup>A,b</sup>	0,91±0,27 <sup>A,a</sup>	1054,5±692,6 <sup>A,a</sup>	513,5±368,7 <sup>A,b</sup>
BL-V/BFT-V	0,67±0,18 <sup>A,a</sup>	0,70±0,15 <sup>A,a</sup>	0,53±0,18 <sup>AB,a</sup>	0,60±0,15 <sup>B,a</sup>	672,4±370,3 <sup>AB,a</sup>	322,4±284,6 <sup>AB,b</sup>
BL-L/BFT-L	0,71±0,62 <sup>A,a</sup>	0,28±0,05 <sup>C,b</sup>	0,45±0,16 <sup>B,a</sup>	0,39±0,13 <sup>C,a</sup>	400,4±400,4 <sup>BC,a</sup>	616,2±342,3 <sup>A,a</sup>

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

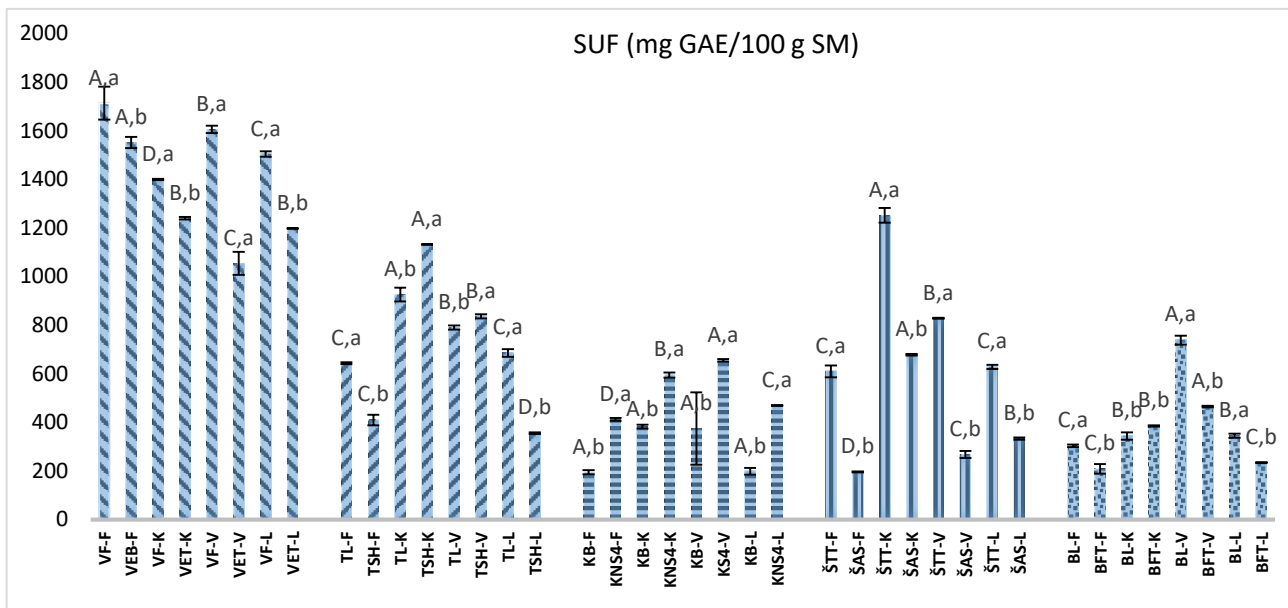
Velika slova A, B, C i D – razlike između svežih, konvektivno osušenih, vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka u okviru jedne sorte voća

Mala slova a i b – razlike između dve sorte u okviru jedne vrste voća i jedne tehnike sušenja

#### 4.2.5 Sadržaj ukupnih fenola (SUF)

Najniži sadržaj ukupnih fenola u svim uzorcima svežeg ispitivanog voća zabeležen je u svežem uzorku kajsije sorte Buda (194,94 mg GAE/100 g SM), dok je najveći sadržaj ukupnih fenola zabeležen u svežem uzorku višnje sorte Feketička (1713,23 mg GAE/100 g SM). Ukupan sadržaj fenola u trešnjama ispitivanih u radu autora Serradilla i sar. (2011) varirao je između 59,05 i 117 mg galne kiseline/100 g svežeg uzorka). Sadržaj ukupnih fenola u svim osušanim uzorcima varirao je između vrednosti 199,27 mg GAE/100 g SM, zabeležene u liofilizovanom uzorku kajsije sorte Buda, i 1605,34 mg GAE/100 g SM, izmerene u vakuum osušenom uzorku trešnje sorte Feketička. Statističkom obradom podataka došlo se do zaključka da je primenjena tehnika sušenja značajno uticala ( $p < 0,05$ ) na sadržaj ukupnih fenola u osušanim uzorcima višnje sorte Feketička, trešnje sorti Lapins i Sweet Heart, kajsije sorte NS4, šljive sorti Anna Spath i Toptaste i breskve sorte Fairtime. Kwon i sar. (2013) istražili su sušenje breskve u vakuumu i zabeležili ukupan sadržaj fenola 4,03 mg GAE/g u uzorku osušene breskve, što predstavlja sličan rezultat sa izmerenim vrednostima za sadržaj ukupnih fenola

u vakuum osušenim uzorcima breskve sorti Fairtime i Lela (7,4 mg GAE/g i 4,7 mg GAE/g, redom) u okviru ovog istraživanja (slika 22).



Slika 22. Eksperimentalno određene vrednosti sadržaja ukupnih fenola u svežim, konvektivno osušenim, vakuum osušenim i liofilizovanim uzorcima višnje, trešnje, kajsije, šljive i breskve

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

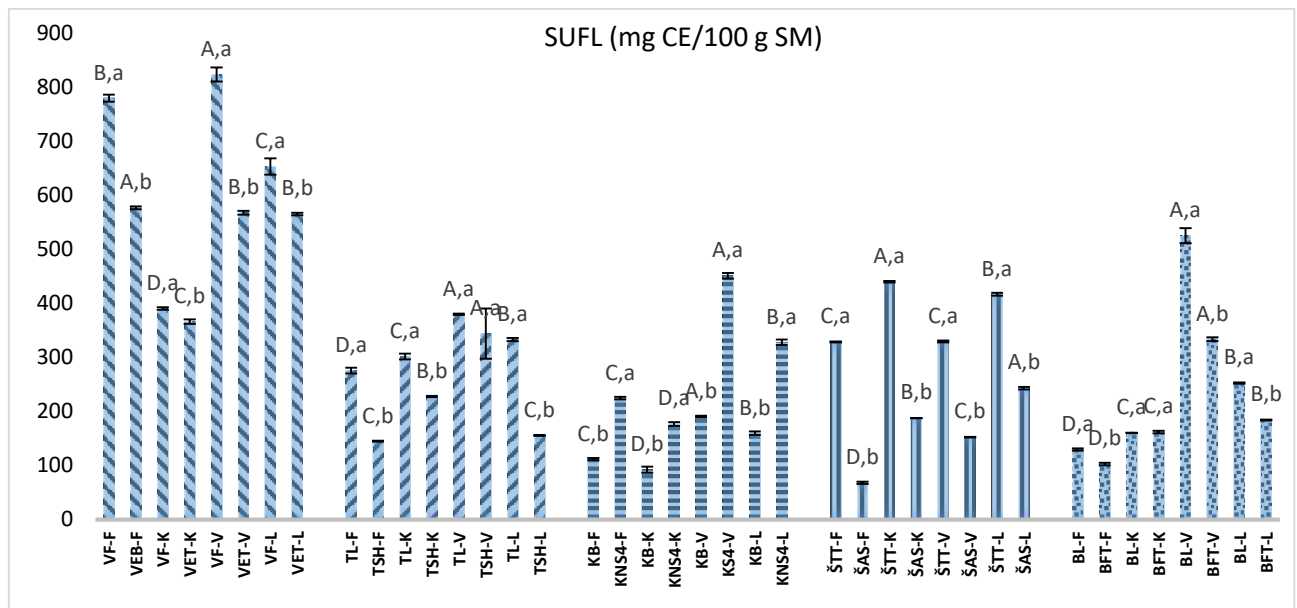
Velika slova A, B, C i D – razlike između svežih, konvektivno osušenih, vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka u okviru jedne sorte voća

Mala slova a i b – razlike između dve sorte u okviru jedne vrste voća i jedne tehnike sušenja

#### 4.2.6 Sadržaj ukupnih flavonoida (SUFL)

Sadržaj ukupnih flavonoida svežeg ispitivanog voća varirao je između 68,44 mg CE/100 g SM zabeležen u svežoj šljivi sorte Anna Spath i 780,26 mg CE/100 g SM, izmeren u uzorku sveže višnje sorte Feketička. U istom uzorku sveže višnje sorte Feketička, ujedno je zabeležen najveći sadržaj i ukupnih fenola i ukupnih flavonoida. U konvektivno osušenim uzorcima kajsije sorte Buda i vakuum osušenim uzorcima višnje sorte Feketička zabeležen je najmanji (9,42 mg CE/100 g SM) i najveći (824,32 mg CE/100 g SM) sadržaj flavonoida, redom. Na osnovu dobijenih rezultata za osušene uzorke višnje sorte Feketička, trešnje sorti Lapins i Sweet Heart, kajsije sorti Buda i NS4, šljive sorti Anna Spath i Toptaste i breskve sorti Lela i Fairtime, statistička obrada podataka pokazala je da je primenjena tehnika sušenja značajno uticala ( $p < 0,05$ ) na sadržaj ukupnih flavonoida (slika 23).





Slika 23. Eksperimentalno određene vrednosti sadržaja ukupnih flavonoida u svežim, konvektivno osušanim, vakuum osušanim i liofilizovanim uzorcima višnje, trešnje, kajsije, šljive i breskve

Napomena:

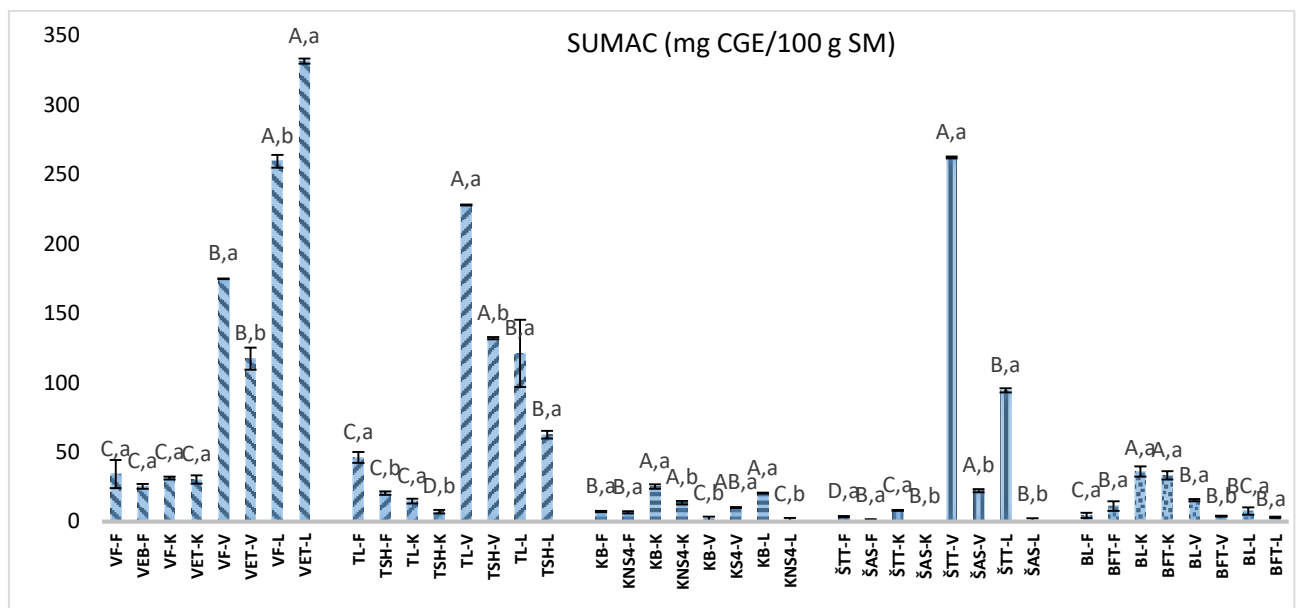
Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

Velika slova A, B, C i D – razlike između svežih, konvektivno osušanih, vakuum osušanih i liofilizovanih uzoraka u okviru jedne sorte voća

Mala slova a i b – razlike između dve sorte u okviru jedne vrste voća i jedne tehnike sušenja

#### 4.2.7 Sadržaj ukupnih monomernih antocijana (SUMAC)

Najmanji sadržaj ukupnih monomernih antocijana u pogledu svežih uzoraka ispitivanog voća zabeležen je u svežem uzorku šljive sorte Anna Spath (1,07 mg CGE/100 g SM), dok je u svežem uzorku trešnje sorte Lapins zabeležen najveći sadržaj ovih komponenata (46,31 mg CGE/100 g SM). Sadržaj ukupnih monomernih antocijana u svim osušanim ispitivanim uzorcima varirao je između 0,29 mg CGE/100 g SM, zabeležen u konvektivno osušenom uzorku šljive sorte Anna Spath, i 262,15 mg CGE/100 g SM, izmeren u vakuum osušenom uzorku šljive sorte Toptaste. U osušanim uzorcima višnje sorti Feketićka i Erdi Botermo, trešnje sorti Lapins i Sweet Heart, kajsije sorte NS4 i šljive sorte Toptaste, primenjena tehnika sušenja značajno je uticala na sadržaj ukupnih monomernih antocijana (slika 24).



Slika 24. Eksperimentalno određene vrednosti sadržaja ukupnih monomernih antocijana u svežim, konvektivno osušenim, vakuum osušenim i liofilizovanim uzorcima višnje, trešnje, kajsije, šljive i breskve

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

Velika slova A, B, C i D – razlike između svežih, konvektivno osušenih, vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka u okviru jedne sorte voća

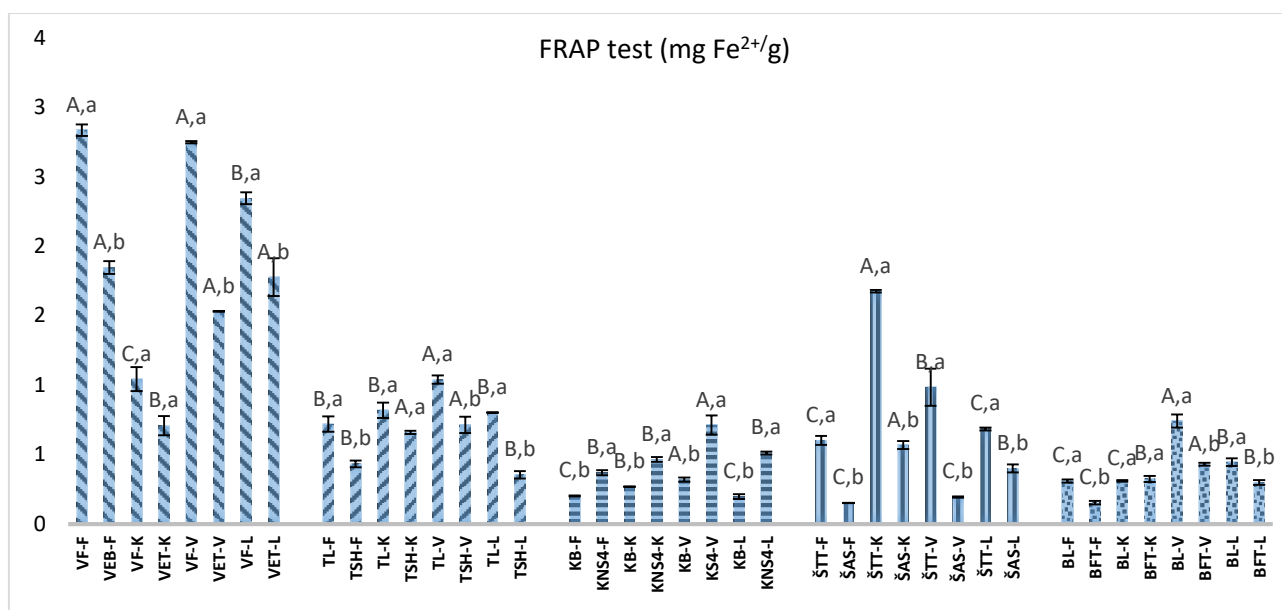
Mala slova a i b – razlike između dve sorte u okviru jedne vrste voća i jedne tehnike sušenja

#### 4.2.8 Antioksidativna aktivnost

Antioksidativna aktivnost svežih višanja, zabeležena u istraživanju Serradilla i sar. (2011) bila je u opsegu od 317,92 do 439,10 mg Trolox/100 g svežeg uzorka. Takođe, Wojdyło i sar. (2014) analizirali su antioksidativnu aktivnost, koristeći FRAP i ABTS testove, u uzorcima sveže višnje (61,31 i 159,052 mg Trolox/g SM, redom); u konvektivno osušenim uzorcima višnje (od 31,807 do 41,591 mg Trolox/g SM i od 80,348 do 119,589 mg Trolox/g SM, redom), u vakuum-mikrotalasno osušenim uzorcima višnje (od 36,860 do 47,458 mg Trolox/g SM i od 117,036 do 171,178 mg Trolox/g SM, redom) i u uzorcima liofilizovane višnje (60,227 i 151,293 mg Trolox/g SM). U okviru ovog istraživanja, tri antioksidativna testa, FRAP, DPPH i ABTS, analizirana su u cilju ispitivanja antioksidativne aktivnosti svežeg i osušenog ispitivanog voća (slike 25-27).

#### 4.2.8.1 FRAP test

Najniža antioksidativna aktivnost, određena FRAP testom, u pogledu svih svežih uzoraka ispitivanog voća zabeležena je u svežem uzorku šljive sorte Anna Spath (0,1521 mg Fe<sup>2+</sup>/g SM), dok je u svežem uzorku trešnje sorte Lapins izmerena najveća vrednost antioksidativne aktivnosti (0,7197 mg Fe<sup>2+</sup>/g SM). Antioksidativna aktivnost svih osušenih uzoraka bila je u opsegu između 0,1953 mg Fe<sup>2+</sup>/g SM, zabeležena u vakuum osušenom uzorku šljive sorte Anna Spath, i 2,7481 mg Fe<sup>2+</sup>/g SM, izmerena u vakuum osušenom uzorku trešnje sorte Feketička. Primenjena tehnika sušenja značajno je uticala ( $p < 0,05$ ) na antioksidativnu aktivnost, određenu FRAP testom, osušenih uzoraka višnje sorte Feketička, kajsije sorte Buda, šljive sorte Anna Spath i breskve sorte Lela (slika 25).



Slika 25. Eksperimentalno određene vrednosti antioksidativne aktivnosti određene FRAP testom u svežim, konvektivno osušenim, vakuum osušenim i liofilizovanim uzorcima višnje, trešnje, kajsije, šljive i breskve

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

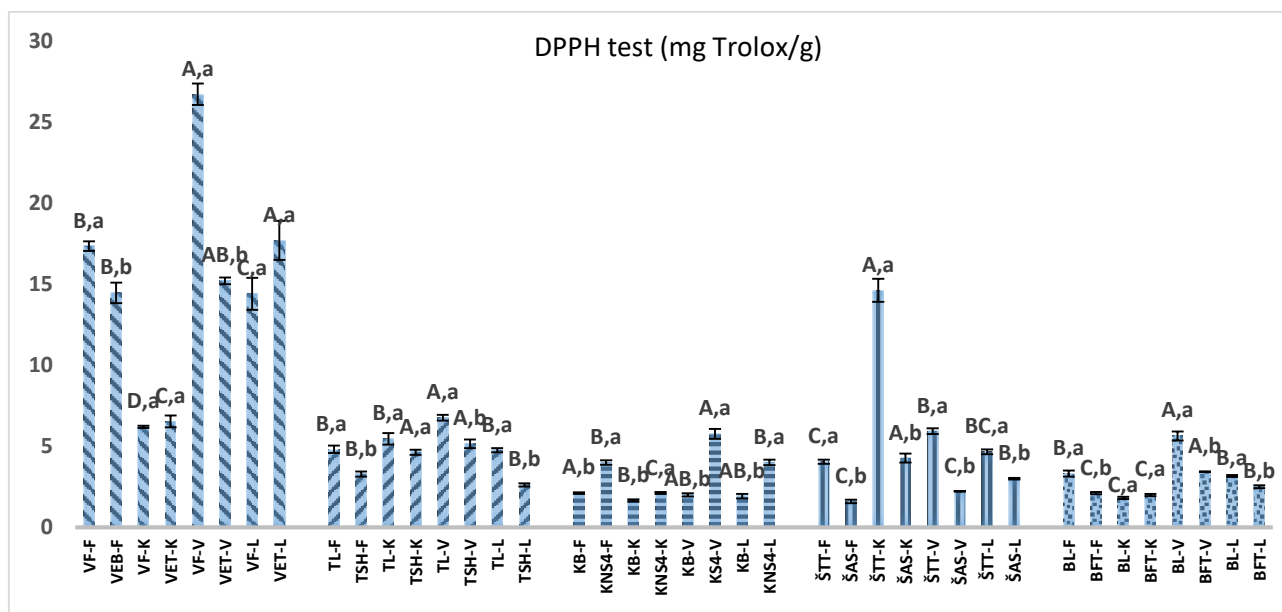
Velika slova A, B, C i D – razlike između svežih, konvektivno osušenih, vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka u okviru jedne sorte voća

Mala slova a i b – razlike između dve sorte u okviru jedne vrste voća i jedne tehnike sušenja

#### 4.2.8.2 DPPH test

Antioksidativna aktivnost, određena DPPH testom, u svim svežim ispitivanim uzorcima iznosila je između 1,5947 mg Trolox/g SM (zabeležena u svežem uzorku šljive sorte Anna Spath) i 17,3361 mg Trolox/g SM, izmerena u svežem uzorku višnje sorte Feketička. Antioksidativna aktivnost svih osušenih

uzoraka bila je u opsegu između 1,6505 mg Trolox/g SM, dobijena u konvektivno osušenom uzorku kajsije sorte Buda, i 26,7122 mg Trolox/g SM, zabeležena u konvektivno osušenom uzorku breskve sorte Toptaste. Na osnovu dobijenih rezultata uzoraka osušene višnje sorte Feketička, kajsije sorte NS4, šljive sorte Anna Spath, breskve sorti Lele i Fairtime, statistička obrada podataka pokazala je da je primenjena tehnika sušenja značajno uticala ( $p < 0,05$ ) na antioksidativnu aktivnost, određenu DPPH testom (slika 26).



Slika 26. Eksperimentalno određene vrednosti antioksidativne aktivnosti određene DPPH testom u svežim, konvektivno osušenim, vakuum osušenim i liofilizovanim uzorcima višnje, trešnje, kajsije, šljive i breskve

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

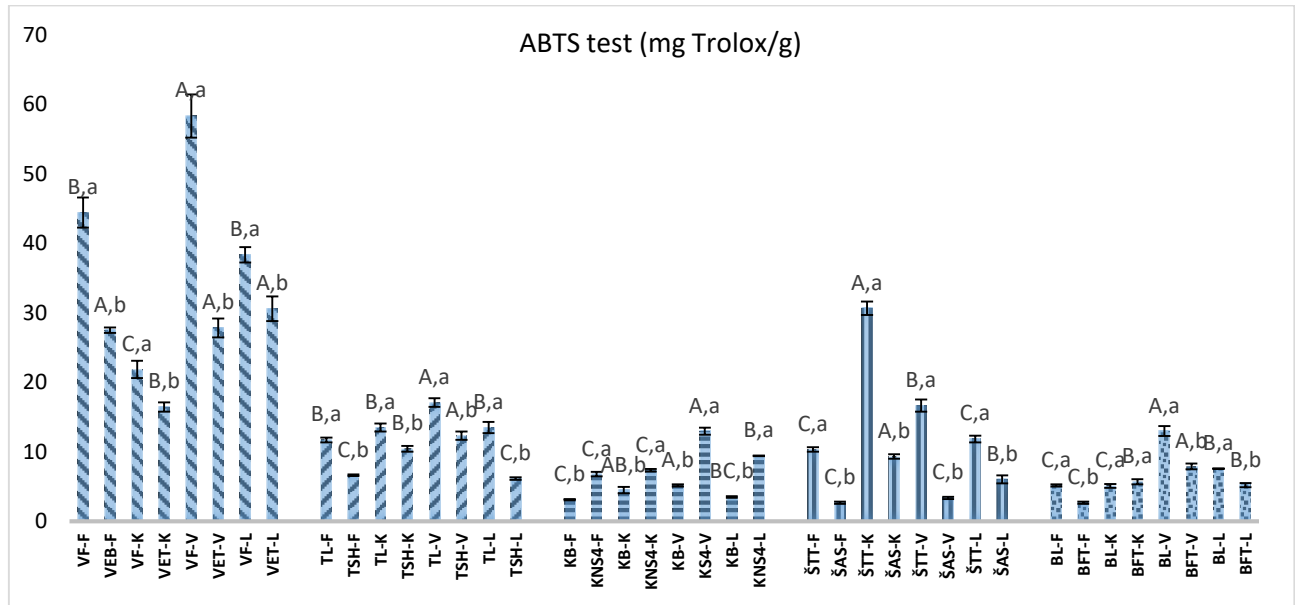
Velika slova A, B, C i D – razlike između svežih, konvektivno osušenih, vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka u okviru jedne sorte voća

Mala slova a i b – razlike između dve sorte u okviru jedne vrste voća i jedne tehnike sušenja

#### 4.2.8.3 ABTS test

Antioksidativna aktivnost, određena ABTS testom, ispitivanih uzoraka svežeg voća bila je u opsegu između 2,6720 mg Trolox/g SM, izmerena u svežem uzorku šljive sorte Anna Spath i 11,7142 mg Trolox/g SM, zabeležena u svežem uzorku trešnje sorte Lapins. Antioksidativna aktivnost svih osušenih uzoraka varirala je između 3,3675 mg Trolox/g SM, zabeležena u vakuum osušenim uzorcima višnje sorte Feketička, i 58,3583 mg Trolox/g SM, izmerena u konvektivno osušenim uzorcima šljive sorte Toptaste. Takođe je statistička obrada podataka pokazala da je primenjena tehnika sušenja značajno

uticala ( $p < 0,05$ ) na antioksidativnu aktivnost, određenu ABTS testom, osušenih uzoraka višnje sorte Feketićka, trešnje sorte Sweet Heart, kajsije sorte NS4, šljive sorti Anna Spath i Toptaste i breskve sorte Lela (slika 27).



Slika 27. Eksperimentalno određene vrednosti antioksidativne aktivnosti određene FRAP testom (a), DPPH testom (b) i ABTS testom (c) u svežim, konvektivno osušanim, vakuum osušanim i liofilizovanim uzorcima višnje, trešnje, kajsije, šljive i breskve

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

Velika slova A, B, C i D – razlike između svežih, konvektivno osušenih, vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka u okviru jedne sorte voća

Mala slova a i b – razlike između dve sorte u okviru jedne vrste voća i jedne tehnike sušenja

#### 4.2.8.4 Relativni indeks antioksidativne aktivnosti.

Vrednosti RACI indeksa (engl. Relative Antioxidant Activity Index) izračunate su na osnovu jednačine 3. i prikazane su u tabeli 16. Promena vrednosti antioksidativne aktivnosti u osušanim uzorcima trešnje može se objasniti uticajem različitih parametara (temperatura i pritisak) tokom sušenja u vakuumu, pa je tako u uzorku 1 (50°C, 20 mbar, 7,5 h) zabeležena najveća vrednost RACI (3,023) u poređenju sa ostalim uzorcima. Nakon uzorka 1, po najvećoj vrednosti RACI izdvajaju se uzorak 18 (65°C, 20 mbar, 8,5 h) sa vrednosti RACI od 1,943 i uzorak 12 (60°C, 20 mbar, 7,8 h) u kojem je zabeležena vrednost RACI od 1,871. Može se primetiti da su najniže ispitivane vrednosti pritiska i temperature rezultovale najvećom RACI vrednosti, što se može objasniti očuvanjem bioaktivnih

komponentata i u isto vreme i zadržavanjem antioksidativne aktivnosti u uslovima vakuum sušenja pri nižim pritiscima i temperaturama.

#### 4.2.9 Sadržaj mikotoksina

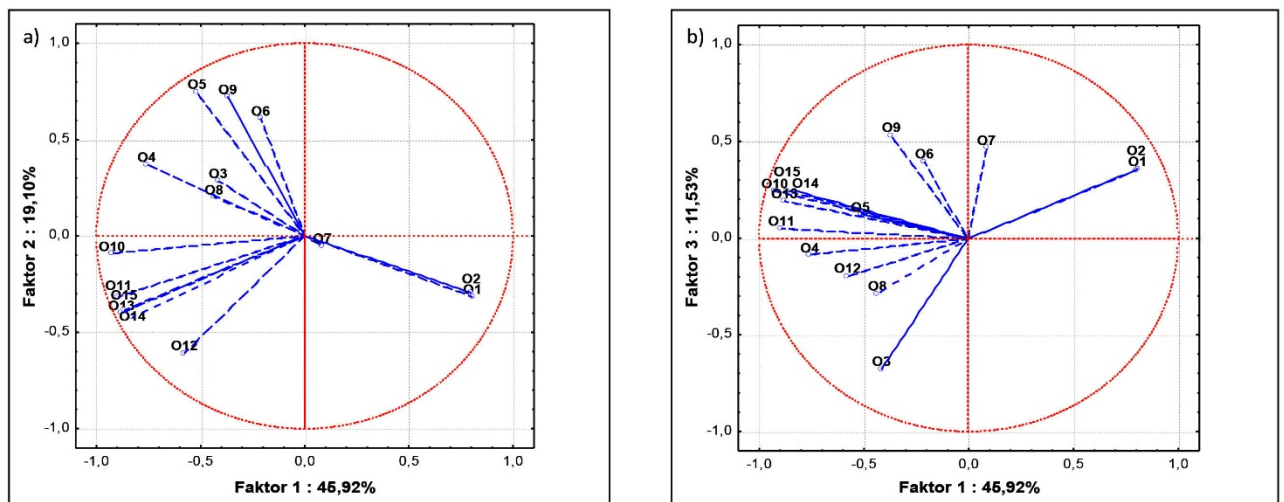
U okviru ovog istraživanja, prisustvo BEA i ENN A, A1, B, B1 ispitano je u uzorcima svežeg i osušenog voća. Na osnovu dobijenih rezultata, nije zabeleženo prisustvo ovih mikotoksina ni u jednom od ispitivanih uzoraka.

### 4.3 Rezultati statističke obrade podataka

#### 4.3.1 Rezultati analize glavnih komponentata

Analiza glavnih komponentata (engl. Principal Component Analysis, PCA) primenjena je u okviru ovog istraživanja u cilju boljeg uvida u sličnosti između konvektivno osušenog, vakuum osušenog i liofilizovanog ispitivanog voća na osnovu njegovih fizičkih, hemijskih i bioloških osobina. Ova multivarijabilna statistička analiza primenjena je u cilju razlikovanja uzoraka osušenih različitim tehnikama sušenja, a takođe i pronalaženja povezanosti između ispitivanih fizičkih, hemijskih i bioloških parametara uzoraka. Parametri korišćeni za PCA analizu bili su: sadržaj vlage,  $a_w$  vrednost, ukupna promena boje ( $\Delta E$ ), teksturalne osobine (sila presecanja, sila probijanja, tvrdoća, elastičnost, kohezivnosti i žvkljivost), sadržaj ukupnih fenola, ukupnih flavonoida i ukupnih monomernih antocijana i antioksidativna aktivnost (FRAP, DPPH i ABTS test).

Analiza glavnih komponentata primenjena je u cilju smanjenja broja dimenzija kompleksnog sistema od 15 analiziranih odziva (sadržaj vlage,  $a_w$  vrednost,  $\Delta E$ , sila presecanja, sila probijanja, tvrdoća, elastičnost, kohezivnosti, žvkljivost, sadržaj ukupnih fenola, ukupnih flavonoida i ukupnih monomernih antocijana, FRAP, DPPH i ABTS test). Na osnovu dobijenih rezultata može se videti da PC1 i PC2 zajedno opisuju 65,02% ukupne varijanse (slika 28a), dok PC2 i PC3 zajedno opisuju 57,45% ukupne varijanse (slika 28b) ukupne varijanse modela. PC1 se nalazi u negativnoj korelaciji sa svim ispitivanim parametrima izuzev sadržaja vlage,  $a_w$  vrednosti i elastičnosti. Sa druge strane, PC2 se nalazi u negativnoj korelaciji sa svim ispitivanim fizičkim parametrima, a u pozitivnoj korelaciji sa svim teksturalnim karakteristikama, osim elastičnosti i  $\Delta E$ . U skladu sa navedenim, PC3 se nalazi u negativnoj korelaciji sa silom presecanja, kohezivnosti,  $\Delta E$  i sadržajem ukupnih monomernih antocijana, dok je u pozitivnoj korelaciji sa silom presecanja, tvrdoćom, žvkljivosti, sadržajem ukupnih flavonoida i antioksidativnom aktivnosti u pogledu sva tri ispitana testa.



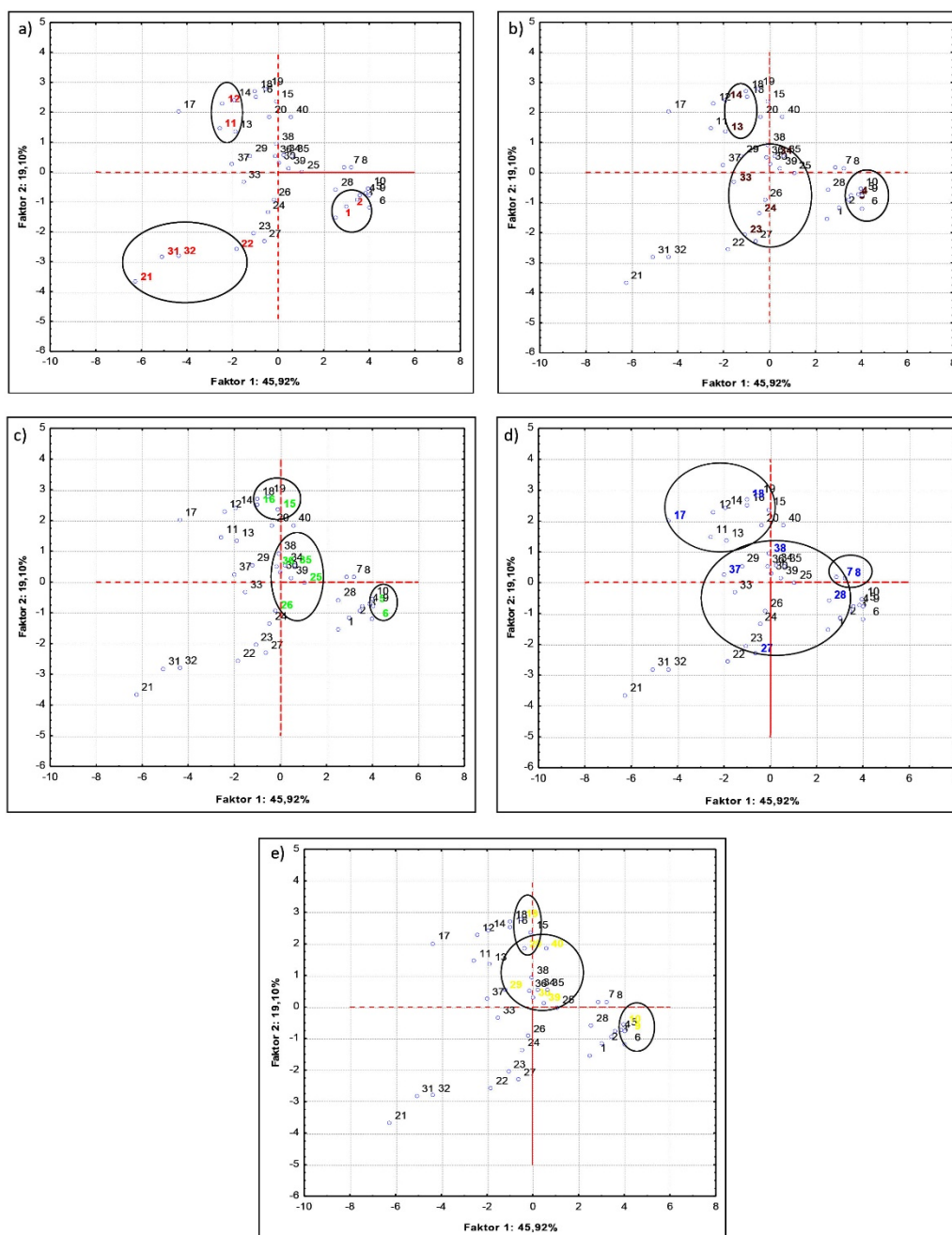
Slika 28. Rezultati PCA analize, PC1 i PC2 (a) i PC1 i PC3 (b) grafici za grupišuće promjenjive (fizičko-hemijske osobine i biološka aktivnost)

Napomena:

O-odziv; O1-sadržaj vlage (%); O2-aktivnost vode; O3-ukupna promena boje; O4-sila presecanja (g); O5-sila probijanja (g); O6-tvrdoća (g); O7- elastičnost; O8- kohezivnost; O9- žvkljivost (g); O10-sadržaj ukupnih fenola (mg GAE/100 g); O11-sadržaj ukupnih flavonoida (mg CE/100 g); O12-sadržaj ukupnih monomernih antocijana (mg CGE/100 g); O13-FRAP test (mg Fe<sup>2+</sup>/g); O14-DPPH test (mg Trolox/g); O15-ABTS test (mg Trolox/g).

Raspodela uzoraka u mnogome je zavisila od vrste voća i tehnike sušenja, s obzirom da je moguće izdvojiti tri grupe uzoraka: sveže; konvektivno osušeno; vakuum osušeno i liofilizovano ispitivano voće za svaku ispitivanu vrstu (slika 29). Najjasnije razlike ove tri grupe uzoraka mogu se videti kod uzoraka višnje, trešnje i kajsije (slika 29a,b,c), dok se grupe svežeg voća jasno izdvajaju od ostalih grupa kod svih vrsta ispitivanog voća. Grupa svežih uzoraka okarakterisana je visokim vrednostima sadržaja vlage i  $a_w$  vrednosti, što se moglo pretpostaviti s obzirom da su u pitanju sveži uzorci i da se ova dva parametra nalaze u korelaciji. Na osnovu ovakvog grupisanja svežih uzoraka, dobijeni su očekivani rezultati, odnosno da će se grupe konvektivno osušenog voća nalaziti u kvadrantu suprotnom od onog gde se nalazi grupa svežih uzoraka, pa se tako grupa konvektivno osušenog voća nalazi u suprotnom gornjem levom kvadrantu, za višnju (slika 29a), trešnju (slika 29b) i kajsiju (slika 29c). Međutim, u slučaju šljive (slika 29d) i breskve (slika 29e) konvektivno osušeni uzorci nalaze se i u levom i u desnom suprotnom gornjem kvadrantu. Može se videti da grupe uzoraka konvektivno osušenih višanja i trešanja, kao i kajsija karakteriše najveća vrednost  $\Delta E$  i svih ispitivanih teksturalnih osobina osim elastičnosti. Najjasnije izdvojena grupa vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka zabeležena je kod uzoraka višnje (slika 29a) u donjem levom kvadrantu, suprotno od grupe svežih i konvektivno osušenih uzoraka. Grupe vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka kod drugih vrsta voća ispitano u okviru ovog

istraživanja izdvojile su se manje jasno u poređenju sa grupom vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka višnje (slika 29b,c,d,e).



Slika 29. Rezultati PCA analize, PC1 i PC2 za grupisanje uzoraka svežeg, konvektivno osušenog, vakuum osušenog i liofilizovanog ispitivanog voća, sa istaknutim grupama uzoraka višnje (a), trešnje (b), kajsije (c), šljive (d) i breskve (e)



### 4.3.2 Rezultati određivanja centralne tendencije - standardne ocene

Vrednosti SS za osam ispitivanih izlaznih promenljivih (sadržaj vlage,  $a_w$  vrednost, sadržaj ukupnih fenola, ukupnih flavonoida i ukupnih monomernih antocijana i antioksidativna aktivnost određena pomoću FRAP, DBBH i ABTS testa) izračunate su u cilju pronalaženja vrednosti procesnih promenljivih (temperatura i pritisak) koje daju optimalne vrednosti izlaznih promenljivih. Optimalni opsezi izlaznih parametara prikazani su u tabeli 13, dok su vrednosti SS prikazane u tabeli 16.

Tabela 13. Vrednosti optimizacije vakuum sušenja trešnje

	SV	$a_w$	SUF	SUFL	SUMAC	FRAP	DPPH	ABTS
Polaritet	-	-	+	+	+	+	+	+
Minimum	11,31	0,27	85,73	23,42	5,29	0,21	0,57	1,55
Maksimum	75,82	0,93	718,07	342,44	239,35	3,78	4,50	10,15
Srednja vrednost	/*	/*	364,80	94,86	89,72	1,69	1,90	5,42
Standardna devijacija	/*	/*	136,77	40,59	66,55	0,86	0,91	2,38
Težinski koeficijent	0,25	0,25	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ev HSD test).

SV-sadržaj vlage (%);  $a_w$  aktivnost vode; SUF-sadržaj ukupnih fenola (mg GAE/100 g); SUFL-sadržaj ukupnih flavonoida (mg CE/100 g); SUMAC-sadržaj ukupnih monomernih antocijana (mg CGE/100 g); FRAP test (mg Fe<sup>2+</sup>/g); DPPH test (mg Trolox/g); ABTS test (mg Trolox/g).

\*RACI vrednosti se računaju na osnovu srednjih vrednosti i standardnih devijacija pokazatelja bioaktivne komponente i antioksidativne aktivnosti. S obzirom da SV i  $a_w$  vrednosti ne ulaze u proračun za RACI, srednje vrednosti i standardne devijacije za ove parametre nisu navedene u Tabeli 13.

Vrednosti SS za uzorke trešnje dobijaju se sumiranjem normalnih ocena (engl. normal scores) za sve promenljive, pomnoženih sa njihovom težinskim koeficijentima:

Jednačina 13:

$$SS(T, p) = w_1 \cdot \overline{MC} + w_2 \cdot \overline{a_w} + w_3 \cdot \overline{TP} + w_4 \cdot \overline{TF} + w_5 \cdot \overline{MAC} + w_6 \cdot \overline{FRAP} + w_7 \cdot \overline{DPPH} + w_8 \cdot \overline{ABTS}$$

Maksimum funkcije  $SS(T, p)$  predstavlja optimalne vrednosti parametara procesa, a takođe pokazuje i optimalne uslove za dobijanje optimalnih izlaznih promenljivih. Vrednost funkcije  $SS$  blizu 1 pokazuje tendenciju ispitivanih parametara procesa ka optimalnim vrednostima.

Optimalni parametri procesa dostignuti su: u uzorku 1 (50°C, 20 mbar, 7,5 h), gde je zabeležena najveća vrednost  $SS$  (0,924) u poređenju sa ostalim uzorcima. Posle uzorka 1, po vrednosti  $SS$  slede uzorak 18 (65°C, 20 mbar, 8,5 h), sa  $SS$  vrednosti od 0,904 i uzorak 12 (60°C, 20 mbar, 7,8 h) u kojem je zabeležena vrednost  $SS$  od 0,843. Najviše vrednosti  $SS$  dobijene su u uzorcima sa najvišim vrednostima RACI.

### 4.3.3 Rezultati primene veštačke neuronske mreže

Uzorci trešnje u okviru ovog eksperimenta osušeni su u vakuum sušari sa vakuum pumpom vakuum sušenjem. Trešnja je izabrana za ovaj eksperiment na osnovu analize fizičkih, hemijskih i bioloških osobina i klaster analize iz prethodnog eksperimenta 1 (fizičke, hemijske i biološke osobine osušenog koštičavog voća) kao reprezentativna vrsta koštičavog voća koja zadovoljava sve kriterijume u pogledu svih ispitivanih analiza kvalitativnih osobina i klaster analiza. Primenjen je eksperimentalni dizajn Hyper-Graeco-Latin Square sa dva numerička faktora na pet nivoa i dva dodatna referentna eksperimenta. Na osnovu ovog dizajna, ispitano je 27 uzoraka vakuum osušene trešnje. Vrednosti ulaznih parametara vakuum sušenja, temperature i pritiska, prikazani su u tabeli 14. U svim vakuum osušenim uzorcima ispitani su sledeći izlazni parametri sušenja: sadržaj vlage,  $a_w$  vrednost, sadržaj ukupnih fenola, ukupnih flavonoida i ukupnih monomernih antocijana i antioksidativna aktivnost određena pomoću FRAP, DPPH i ABTS testa. Ovi parametri izabrani su na osnovu tehnoloških kriterijuma, prema kojima se sadržaj vlage i  $a_w$  vrednost smatraju bitnim parametrima bezbednosti osušenog proizvoda, dok su kao bitni parametri kvaliteta osušenog proizvoda ispitani sadržaji ukupnih fenola, ukupnih flavonoida i ukupnih monomernih antocijana i antioksidativna aktivnost (FRAP, DPPH i ABTS test).

Tabela 14. Uslovi vakuum sušenja trešnje

Broj uzorka	T [°C]	p [mbar]	t [h]
1	50	20	7,5
2	50	65	13,4
3	50	110	11,0
4	50	155	13,2
5	50	200	10,5
6	55	20	9,5
7	55	65	14,0
8	55	110	16,5
9	55	155	16,5
10	55	200	14,0
11	60	20	7,8
12	60	20	7,8
13	60	20	7,8
14	60	65	10,5
15	60	110	11,3
16	60	155	12,8
17	60	200	15,2
18	65	20	8,5
19	65	65	9,2
20	65	110	12,5
21	65	155	13,2
22	65	200	12,2
23	70	20	7,7
24	70	65	9,7
25	70	110	11,8
26	70	155	13,2
27	70	200	11,8

Napomena:

Završna tačka sušenja za svaki eksperiment određena je postizanjem tačke ravnoteže, koja je definisana kao tačka sušenja u kojoj je zabeležena razlika u masi uzorka manja od 1,0 g u trajanju od 30 min. Zbog toga, vreme sušenja nije posmatrano kao ulazni parametar.

#### 4.3.3.1 Fizičke, hemijske i biološke osobine vakuum osušene trešnje

Sadržaj vlage u uzorcima vakuum osušene trešnje varirao je između vrednosti 11,31 i 75,82%, zabeleženim u uzorku 18 (65°C, 20 mbar, 8,5 h) i uzorku 10 (55°C, 200 mbar, 14 h), redom (tabela 15). Ova dva uzorka trešnje osušena su na minimalnom i maksimalnom primenjenom pritisku, redom,

tokom procesa vakuum sušenja i takođe na 10°C razlike u temperaturi. Zbog toga se ovako značajna razlika ( $p < 0,05$ ) u sadržaju vlage između ova dva uzorka mogla i očekivati. Završna tačka sušenja, za svaki eksperiment, određena je postizanjem tačke ravnoteže koja je definisana kao tačka sušenja u kojoj je zabeležena razlika u masi uzorka manja od 1,0 g u trajanju od 30 min. Stanje ravnoteže tokom sušenja u funkciji je primenjene temperature i pritiska, pa se zbog toga u slučaju primenjene više temperature i nižeg pritiska stanje ravnoteže postiže na nižim vrednostima sadržaja vlage u uzorku. Ovo takođe važi i za obrnuti slučaj, tj. u uslovima niže temperature i visokog pritiska, kada se stanje ravnoteže postiže pri višim vrednostima sadržaja vlage u uzorku. Na ovaj način mogu se objasniti rezultati dobijeni za minimalne i maksimalne vrednosti sadržaja vlage u vakuum osušenim uzorcima trešnje. U istraživanju Ouaabou i sar. (2018) ispitana je valorizacija procesa solarnog sušenja tokom proizvodnje osušene trešnje i zabeleženo je da je konačan sadržaj vlage konvencionalno osušene trešnje iznosio  $23 \pm 3\%$ , što predstavlja rezultat u skladu sa rezultatima dobijenim u okviru ovog istraživanja. Najveća  $a_w$  vrednost u pogledu svih osušenih uzoraka, zabeležena u uzorku 10 (55°C, 200 mbar, 14 h), što je ujedno isti uzorak u kojem je zabeležena i najveća vrednost sadržaja vlage. Ovakav rezultat se mogao očekivati, s obzirom da se ova dva parametra nalaze u korelaciji. Ovako visoka  $a_w$  vrednost (0,927) zabeležena u uzorku 10 (55°C, 200 mbar, 14 h) uzrokovana je kombinacijom najvećeg primenjenog pritiska i niže primenjene temperature sušenja. Sličan uticaj visokog pritiska na  $a_w$  vrednost osušenog proizvoda opisana je u istraživanju autora Šumić i sar. (2013), gde je optimizovan proces vakuum sušenja višnje i zaključeno je da  $a_w$  vrednost osušenog proizvoda raste sa porastom vrednosti primenjenog pritiska do vrednosti pritiska 400 mbar. Pri pritiscima iznad 400 mbar, porast pritiska nije pokazao značajan uticaj na  $a_w$  vrednost.

Najveće vrednosti sadržaja ukupnih fenola, flavonoida i monomernih antocijana (tabela 15) i takođe vrednosti antioksidativne aktivnosti (tabela 16) određene pomoću tri testa (FRAP, DBBH i ABTS) zabeležene su u uzorku 1 (50°C, 20 mbar, 7,5 h), što ukazuje na to da parametri sušenja najpovoljnije utiču na očuvanje bioaktivnih komponenata i u isto vreme i antioksidativne aktivnosti trešnje tokom vakuum sušenja. Uzorci 5 (50°C, 200 mbar, 10,5 h) i 9 (55°C, 155 mbar, 16,5 h) su uzorci sa najnižim sadržajem ukupnih flavonoida i monomernih antocijana i antioksidativne aktivnosti određene pomoću FRAP i DPPH testa i najnižim sadržajem ukupnih fenola i antioksidativne aktivnosti određene pomoću ABTS testa, redom. Ovi rezultati mogu se objasniti negativnim uticajem većeg sadržaja kiseonika pri većim vrednostima primenjenog pritiska tokom vakuum sušenja (155 i 200 mbar u uzorcima 5 i 9, redom), što je dalje rezultovalo degradacijom bioaktivnih komponenata i u isto vreme antioksidativne aktivnosti ovih uzoraka. U istraživanjima Franceschinis i sar. (2015), sadržaj ukupnih monomernih antocijana u uzorcima trešnje osušene zamrzavanjem, odnosno liofilizacijom (-84°C, 0,04 mbar, 48 h) iznosio je 121 i 211 mg CGE/100 g SM u uzorcima osušenim u formi diskova i kockica, redom. Ovi rezultati su u skladu sa rezultatima dobijenim u ovom istraživanju s obzirom da je,

preračunato na suhu materiju, opseg sadržaja ukupnih monomernih antocijana varirao između 6,31 i 338,63 mg CGE/100 g SM.

Tabela 15. Eksperimentalno određene vrednosti sadržaja vlage,  $a_w$  vrednosti, sadržaja ukupnih fenola, flavonoida i monomernih antocijana osušenih uzoraka trešnje

Broj uzorka	SV	$a_w$ vrednost	SUF	SUFL	SUMAC
1	17,23±1,45 <sup>lm</sup>	0,407±0,000 <sup>p</sup>	718,07±13,48 <sup>a</sup>	342,44±8,36 <sup>a</sup>	239,35±14,61 <sup>a</sup>
2	29,36±0,68 <sup>ij</sup>	0,673±0,000 <sup>l</sup>	452,66±10,67 <sup>de</sup>	155,31±4,30 <sup>c</sup>	128,30±12,11 <sup>c</sup>
3	55,57±1,73 <sup>c</sup>	0,827±0,000 <sup>fg</sup>	331,38±12,92 <sup>hij</sup>	86,25±1,07 <sup>ij</sup>	56,50±3,76 <sup>ef</sup>
4	41,23±0,59 <sup>fg</sup>	0,835±0,004 <sup>f</sup>	269,99±4,49 <sup>kl</sup>	78,01±1,07 <sup>jk</sup>	48,15±7,94 <sup>efg</sup>
5	68,09±3,10 <sup>b</sup>	0,916±0,001 <sup>b</sup>	87,60±1,29 <sup>n</sup>	23,42±0,72 <sup>o</sup>	5,29±1,05 <sup>i</sup>
6	17,29±1,76 <sup>lm</sup>	0,369±0,008 <sup>q</sup>	487,85±10,11 <sup>cd</sup>	121,96±8,78 <sup>de</sup>	126,91±5,01 <sup>c</sup>
7	43,36±0,67 <sup>ef</sup>	0,782±0,006 <sup>i</sup>	264,38±1,12 <sup>l</sup>	80,16±1,79 <sup>jk</sup>	93,24±21,29 <sup>d</sup>
8	47,82±0,97 <sup>de</sup>	0,818±0,003 <sup>gh</sup>	211,22±6,18 <sup>m</sup>	48,26±0,27 <sup>m</sup>	46,48±17,95 <sup>efg</sup>
9	74,02±1,00 <sup>ab</sup>	0,903±0,002 <sup>c</sup>	85,73±1,12 <sup>n</sup>	30,77±1,79 <sup>no</sup>	13,15±6,05 <sup>hi</sup>
10	75,82±2,12 <sup>a</sup>	0,927±0,003 <sup>a</sup>	192,27±15,72 <sup>m</sup>	38,47±0,72 <sup>mn</sup>	17,39±3,13 <sup>ghi</sup>
11	17,32±0,47 <sup>kl</sup>	0,271±0,001 <sup>t</sup>	493,09±11,23 <sup>cd</sup>	155,07±0,36 <sup>ef</sup>	207,62±2,93 <sup>cd</sup>
12	24,16±0,55 <sup>jk</sup>	0,280±0,000 <sup>st</sup>	614,38±37,62 <sup>b</sup>	186,12±7,17 <sup>b</sup>	212,08±20,40 <sup>a</sup>
13	20,43±0,47 <sup>kl</sup>	0,283±0,001 <sup>s</sup>	477,74±11,23 <sup>cd</sup>	117,06±0,36 <sup>ef</sup>	116,61±2,93 <sup>cd</sup>
14	28,71±1,02 <sup>ij</sup>	0,682±0,003 <sup>l</sup>	413,73±10,11 <sup>f</sup>	104,40±1,26 <sup>gh</sup>	118,28±7,94 <sup>ef</sup>
15	40,99±1,67 <sup>fg</sup>	0,816±0,000 <sup>h</sup>	313,41±1,72 <sup>ij</sup>	81,59±1,43 <sup>jk</sup>	53,16±7,10 <sup>ef</sup>
16	53,03±1,05 <sup>cd</sup>	0,869±0,001 <sup>d</sup>	354,96±6,18 <sup>gh</sup>	99,15±1,79 <sup>h</sup>	49,26±6,68 <sup>ef</sup>
17	56,17±2,84 <sup>c</sup>	0,878±0,002 <sup>d</sup>	270,88±2,25 <sup>kl</sup>	65,71±1,97 <sup>l</sup>	57,61±1,67 <sup>e</sup>
18	11,31±0,36 <sup>m</sup>	0,293±0,001 <sup>r</sup>	621,11±7,31 <sup>b</sup>	152,89±4,30 <sup>c</sup>	218,48±18,79 <sup>a</sup>
19	34,34±1,07 <sup>hi</sup>	0,606±0,001 <sup>n</sup>	453,79±0,65 <sup>de</sup>	118,74±3,05 <sup>def</sup>	177,84±2,50 <sup>b</sup>
20	34,96±0,87 <sup>ghi</sup>	0,731±0,001 <sup>k</sup>	303,82±1,97 <sup>jk</sup>	64,04±0,36 <sup>l</sup>	42,86±2,41 <sup>efgh</sup>
21	36,64±2,48 <sup>gh</sup>	0,857±0,004 <sup>e</sup>	316,17±5,90 <sup>ij</sup>	67,62±0,72 <sup>jl</sup>	24,77±8,80 <sup>fghi</sup>
22	57,71±0,34 <sup>c</sup>	0,910±0,002 <sup>bc</sup>	348,93±19,43 <sup>ghi</sup>	74,31±2,33 <sup>kl</sup>	37,57±8,35 <sup>efgh</sup>
23	12,24±1,26 <sup>m</sup>	0,283±0,002 <sup>s</sup>	513,68±12,35 <sup>c</sup>	127,81±2,15 <sup>d</sup>	189,53±2,50 <sup>ab</sup>
24	19,41±0,12 <sup>kl</sup>	0,436±0,007 <sup>o</sup>	434,70±9,55 <sup>ef</sup>	109,90±1,07 <sup>fg</sup>	139,44±7,51 <sup>c</sup>
25	27,84±7,18 <sup>l</sup>	0,644±0,002 <sup>m</sup>	427,96±10,67 <sup>ef</sup>	110,50±1,62 <sup>fg</sup>	52,32±7,10 <sup>ef</sup>
26	36,41±1,27 <sup>gh</sup>	0,760±0,000 <sup>j</sup>	374,57±2,53 <sup>g</sup>	73,00±1,07 <sup>kl</sup>	50,93±18,37 <sup>ef</sup>
27	38,67±1,15 <sup>fgh</sup>	0,826±0,003 <sup>fg</sup>	368,81±8,98 <sup>g</sup>	95,93±0,72 <sup>hi</sup>	48,84±0,42 <sup>efg</sup>

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

SV-sadržaj vlage (%);  $a_w$  aktivnost vode; SUF-sadržaj ukupnih fenola (mg GAE/100 g); SUFL-sadržaj ukupnih flavonoida (mg CE/100 g); SUMAC-sadržaj ukupnih monomernih antocijana (mg CGE/100 g).

Tabela 16. Eksperimentalno određene FRAP, DPPH, ABTS vrednosti osušenih uzoraka trešnje i vrednosti RACI i SS

Broj uzorka	FRAP	DPPH	ABTS	RACI	SS
1	3,7185±0,0927 <sup>a</sup>	4,5041±0,3181 <sup>a</sup>	10,1539±0,1558 <sup>a</sup>	3,023	0,924
2	2,2625±0,0388 <sup>c</sup>	2,5562±0,2148 <sup>cd</sup>	6,3340±0,3494 <sup>efg</sup>	0,747	0,540
3	1,4836±0,0798 <sup>e</sup>	1,7419±0,1383 <sup>efgh</sup>	4,5601±0,3396 <sup>hij</sup>	-0,288	0,267
4	0,7184±0,0896 <sup>ij</sup>	1,4475±0,1161 <sup>ghij</sup>	3,2699±0,2504 <sup>k</sup>	-0,710	0,270
5	0,2130±0,0191 <sup>k</sup>	0,5719±0,0338 <sup>k</sup>	1,5524±0,0275 <sup>m</sup>	-1,642	0,034
6	2,0796±0,1584 <sup>cd</sup>	2,1358±0,3810 <sup>defg</sup>	7,2125±0,4622 <sup>bcde</sup>	0,598	0,693
7	1,2028±0,1003 <sup>efgh</sup>	1,2399±0,0969 <sup>hijk</sup>	3,0183±0,3331 <sup>kl</sup>	-0,557	0,302
8	0,9056±0,0368 <sup>hi</sup>	1,0068±0,0498 <sup>ijk</sup>	2,7565±0,1603 <sup>klm</sup>	-0,988	0,225
9	0,2998±0,0163 <sup>k</sup>	0,5847±0,0408 <sup>k</sup>	1,5513±0,2121 <sup>m</sup>	-1,575	0,023
10	0,5182±0,0386 <sup>jk</sup>	0,8252±0,0370 <sup>jk</sup>	1,9480±0,0275 <sup>lm</sup>	-1,289	0,039
11	2,3251±0,1271 <sup>cd</sup>	3,0245±0,4804 <sup>cde</sup>	7,3712±0,3535 <sup>bcde</sup>	1,165	0,795
12	2,9228±0,0972 <sup>b</sup>	3,7377±0,2363 <sup>b</sup>	9,8592±0,0936 <sup>a</sup>	1,871	0,843
13	2,0051±0,1271 <sup>cd</sup>	2,4072±0,4804 <sup>cde</sup>	7,0708±0,3535 <sup>bcde</sup>	0,566	0,710
14	2,0000±0,1325 <sup>cd</sup>	2,1198±0,2730 <sup>defg</sup>	6,3454±0,4565 <sup>efg</sup>	0,336	0,502
15	1,4972±0,1127 <sup>e</sup>	1,5131±0,1475 <sup>ghij</sup>	5,3479±1,2212 <sup>fgh</sup>	-0,322	0,326
16	1,8070±0,1132 <sup>d</sup>	2,0080±0,2084 <sup>defg</sup>	6,1867±0,5591 <sup>efg</sup>	0,001	0,294
17	1,3634±0,0488 <sup>ef</sup>	1,1725±0,2327 <sup>hijk</sup>	3,7270±0,2900 <sup>jk</sup>	-0,629	0,210
18	3,7812±0,0864 <sup>a</sup>	3,9985±0,1575 <sup>ab</sup>	9,4342±0,2831 <sup>a</sup>	1,943	0,904
19	2,7094±0,0693 <sup>b</sup>	2,6626±0,2397 <sup>cd</sup>	7,9889±0,4075 <sup>bc</sup>	0,944	0,583
20	1,1139±0,0114 <sup>fgh</sup>	1,1473±0,0277 <sup>hijk</sup>	3,3277±0,1845 <sup>k</sup>	-0,714	0,336
21	1,0199±0,1536 <sup>ghi</sup>	1,2048±0,0890 <sup>hijk</sup>	3,7902±0,0615 <sup>jk</sup>	-0,704	0,281
22	1,4786±0,1081 <sup>e</sup>	1,5024±0,0732 <sup>ghij</sup>	3,9593±0,2669 <sup>ijk</sup>	-0,450	0,209
23	2,7619±0,0787 <sup>b</sup>	2,8755±0,1383 <sup>c</sup>	8,1306±0,3977 <sup>b</sup>	1,142	0,813
24	2,6197±0,1967 <sup>b</sup>	2,6414±0,1851 <sup>cd</sup>	7,6376±0,2720 <sup>bcd</sup>	0,742	0,681
25	1,9137±0,0614 <sup>d</sup>	2,2848±0,2770 <sup>def</sup>	6,5494±0,3244 <sup>def</sup>	0,241	0,503
26	1,2205±0,0013 <sup>efg</sup>	1,2112±0,1301 <sup>hijk</sup>	6,7931±0,1971 <sup>cde</sup>	-0,296	0,371
27	1,8155±0,0778 <sup>d</sup>	1,6621±0,1419 <sup>fghi</sup>	5,1325±0,4306 <sup>ghi</sup>	-0,132	0,349

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

FRAP test (mg Fe<sup>2+</sup>/g); DPPH test (mg Trolox/g); ABTS test (mg Trolox/g).

U vakuum osušenim uzorcima trešnje ispitane su i sledeće teksturalne osobine: sila presecanja, sila probijanja, tvrdoća, elastičnost, kohezivnost i žvkljivost. Na osnovu rezultata teksturalnih analiza

(tabela 17), zabeleženo je da su minimalne vrednosti svih ispitivanih teksturalnih parametara (sile presecanja, sile probijanja, tvrdoće, elastičnosti, kohezivnosti i žvakljivosti) dobijene u uzorcima osušenim na pritisku 200 mbar, tačnije u uzorku 27 (70°C, 200 mbar, 11,8 h); uzorku 5 (50°C, 200 mbar, 10,5), uzorku 22 (65°C, 200 mbar, 12,2 h), uzorku 10 (55°C, 200 mbar, 14,0 h) i uzorku 22 (65°C, 200 mbar, 12,2 h), redom. Takođe se može videti da su maksimumi vrednosti svih ispitivanih teksturalnih osobina zabeleženi u uzorcima osušenim na pritiscima 20 i 65 mbar, što su u isto vreme najniži primenjeni pritisci u okviru ovog ispitivanja. Ovo ukazuje da je pritisak uticao značajno na teksturalne osobine trešnje tokom vakuum sušenja. U pogledu uticaja temperature na teksturalne osobine vakuum osušene trešnje, zabeleženo je da su ujedno minimalne i maksimalne vrednosti svih ispitivanih parametara dobijene u uzorcima osušenim na skoro svim ispitivanim temperaturama, 50, 55, 60 i 70°C. Ovi rezultati ukazuju da je temperatura takođe uticala na teksturalne karakteristike osušenih uzoraka u temperaturnom rangu koji je ispitivan u okviru ovog istraživanja. Uticaj pritiska i temperature na čvrstoću višnje tokom vakuum sušenja ispitana je u radu Šumić i sar. (2013), gde je pokazano da su linearni uslovi temperature i pritiska sušenja i kvadratni uslovi pritiska značajno ( $p < 0,0001$ ) uticali na čvrstoću osušenih višanja. Uticaj primenjenog vakuuma na teksturalne osobine, između ostalih parametara, može se videti takođe u istraživanju Zielinska i Michalska (2016), gde je ispitano mikrotalasno sušenje borovnice i zabeleženo je da su tvrdoća i žvakljivost borovnice proizvedene sušenjem toplim vazduhom bile nekoliko puta veće u poređenju sa borovnicama proizvedenim mikrotalasnim sušenjem ili kombinacijom sušenja vrućim vazduhom i mikrotalasnog vakuum sušenja, takođe poređenjem uzoraka osušenih pri istim temperaturama. U istraživanju Yongsawatdigul i Gunasekaran (1996), u kojem je ispitano mikrotalasno vakuum sušenje brusnice zaključeno je da je mikrotalasno vakuum sušenje rezultovalo boljim kvalitetom proizvoda, u pogledu teksture i boje, u poređenju sa konvencionalno osušenim uzorcima vrućim vazduhom.

Tabela 17. Teksturalne osobine vakuum osušene trešnje

Broj uzorka	Sila presecanja (g)	Sila probijanja (g)	Tvrdoća (g)	Elastičnost	Kohezivnost	Žvkljivost (g)
1	3450,11±466 <sup>b</sup>	405,68±102 <sup>b</sup>	744,71±190 <sup>e</sup>	0,93±0,12 <sup>b</sup>	0,81±0,07 <sup>ab</sup>	563,12±182 <sup>b</sup>
2	919,57±149 <sup>ghij</sup>	135,41±28 <sup>ghi</sup>	371,15±120 <sup>e</sup>	4,42±4,69 <sup>a</sup>	0,87±0,07 <sup>a</sup>	1251,64±1271 <sup>ab</sup>
3	1489,50±123 <sup>defgh</sup>	66,80±11 <sup>ij</sup>	585,73±261 <sup>e</sup>	0,75±0,08 <sup>b</sup>	0,67±0,04 <sup>cdef</sup>	287,94±107 <sup>b</sup>
4	1519,13±291 <sup>defgh</sup>	63,59±6 <sup>ij</sup>	1128,06±124 <sup>de</sup>	0,86±0,10 <sup>b</sup>	0,72±0,05 <sup>bcdef</sup>	701,38±174 <sup>b</sup>
5	1438,23±117 <sup>defgh</sup>	34,43±8 <sup>j</sup>	776,98±42 <sup>e</sup>	0,65±0,02 <sup>b</sup>	0,61±0,06 <sup>f</sup>	307,25±39 <sup>b</sup>
6	4355,46±228 <sup>a</sup>	297,45±77 <sup>cd</sup>	3400,07±271 <sup>b</sup>	0,77±0,11 <sup>b</sup>	0,68±0,08 <sup>bcdef</sup>	1794,29±320 <sup>ab</sup>
7	1567,66±160 <sup>def</sup>	47,23±8 <sup>j</sup>	711,07±219 <sup>e</sup>	0,66±0,05 <sup>b</sup>	0,64±0,03 <sup>def</sup>	301,20±83 <sup>b</sup>
8	1716,92±319 <sup>cde</sup>	62,49±10 <sup>ij</sup>	504,32±205 <sup>e</sup>	0,74±0,14 <sup>b</sup>	0,67±0,04 <sup>def</sup>	265,40±168 <sup>b</sup>
9	1833,46±207 <sup>cde</sup>	74,12±9 <sup>hij</sup>	659,57±125 <sup>e</sup>	0,75±0,15 <sup>b</sup>	0,63±0,04 <sup>ef</sup>	323,01±136 <sup>b</sup>
10	1078,98±199 <sup>fghij</sup>	54,07±3 <sup>ij</sup>	965,51±133 <sup>e</sup>	0,62±0,03 <sup>b</sup>	0,64±0,02 <sup>def</sup>	387,69±57 <sup>b</sup>
11	3124,52±392 <sup>b</sup>	260,24±48 <sup>cde</sup>	2778,78±1576 <sup>bc</sup>	0,81±0,11 <sup>b</sup>	0,68±0,07 <sup>bcdef</sup>	1456,51±704 <sup>ab</sup>
12	2001,33±305 <sup>cd</sup>	227,30±31 <sup>def</sup>	948,78±365 <sup>e</sup>	0,95±0,05 <sup>b</sup>	0,81±0,02 <sup>ab</sup>	734,37±293 <sup>b</sup>
13	2293,82±179 <sup>c</sup>	186,78±25 <sup>efg</sup>	1003,52±613 <sup>e</sup>	1,44±1,48 <sup>ab</sup>	0,75±0,07 <sup>abcde</sup>	829,58±542 <sup>b</sup>
14	745,04±63 <sup>ij</sup>	84,96±17 <sup>hij</sup>	881,03±497 <sup>e</sup>	0,86±0,17 <sup>b</sup>	0,70±0,05 <sup>bcdef</sup>	553,23±333 <sup>b</sup>
15	1386,79±228 <sup>defgh</sup>	77,83±15 <sup>hij</sup>	414,76±143 <sup>e</sup>	0,85±0,09 <sup>b</sup>	0,71±0,02 <sup>bcdef</sup>	251,45±103 <sup>b</sup>
16	1049,50±171 <sup>fghij</sup>	53,97±9 <sup>ij</sup>	397,58±102 <sup>e</sup>	0,80±0,20 <sup>b</sup>	0,65±0,03 <sup>def</sup>	197,04±25 <sup>b</sup>
17	1070,39±205 <sup>fghij</sup>	69,80±5 <sup>ij</sup>	648,67±130 <sup>e</sup>	0,79±0,03 <sup>b</sup>	0,68±0,02 <sup>bcdef</sup>	347,71±77 <sup>b</sup>
18	1543,88±182 <sup>defg</sup>	385,27±81 <sup>b</sup>	4595,18±1216 <sup>a</sup>	0,85±0,03 <sup>b</sup>	0,70±0,08 <sup>bcdef</sup>	2786,00±940 <sup>a</sup>
19	1301,39±181 <sup>efghi</sup>	60,64±6 <sup>ij</sup>	483,72±246 <sup>e</sup>	0,84±0,16 <sup>b</sup>	0,67±0,07 <sup>cdef</sup>	291,54±216 <sup>b</sup>
20	1068,87±42 <sup>fghij</sup>	65,29±11 <sup>ij</sup>	433,03±136 <sup>e</sup>	0,92±0,27 <sup>b</sup>	0,72±0,09 <sup>bcdef</sup>	280,36±111 <sup>b</sup>
21	1518,37±192 <sup>defgh</sup>	43,87±5 <sup>j</sup>	739,81±75 <sup>e</sup>	2,89±4,50 <sup>ab</sup>	0,72±0,09 <sup>bcdef</sup>	1920,74±3323 <sup>ab</sup>
22	1430,04±398 <sup>defg</sup>	88,75±25 <sup>hij</sup>	309,41±51 <sup>e</sup>	0,69±0,12 <sup>b</sup>	0,63±0,06 <sup>ef</sup>	139,28±51 <sup>b</sup>
23	4174,70±680 <sup>a</sup>	323,81±29 <sup>bc</sup>	2218,23±861 <sup>cd</sup>	0,89±0,09 <sup>b</sup>	0,80±0,04 <sup>abc</sup>	1583,77±628 <sup>ab</sup>
24	1562,07±300 <sup>def</sup>	564,11±48 <sup>a</sup>	750,16±421 <sup>e</sup>	0,87±0,08 <sup>b</sup>	0,77±0,08 <sup>abcd</sup>	474,79±225 <sup>b</sup>
25	907,17±149 <sup>hij</sup>	155,68±37 <sup>fgh</sup>	681,87±142 <sup>e</sup>	1,38±1,11 <sup>ab</sup>	0,67±0,04 <sup>bcdef</sup>	676,67±655 <sup>b</sup>
26	1373,41±130 <sup>defghi</sup>	49,37±6 <sup>j</sup>	363,99±105 <sup>e</sup>	0,83±0,06 <sup>b</sup>	0,67±0,04 <sup>cdef</sup>	192,52±50 <sup>b</sup>
27	612,91±74 <sup>j</sup>	62,73±9 <sup>ij</sup>	313,49±94 <sup>e</sup>	0,83±0,11 <sup>b</sup>	0,69±0,02 <sup>bcdef</sup>	175,00±29 <sup>b</sup>

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

#### 4.3.3.2 Modelovanje sušenja trešnje u vakuumu veštačkim neuronskim mrežama

Optimalni broj neurona u skrivenom sloju neuronske mreže bio je 6 (primenjen je višeslojni perceptron model (engl. Multi Layer Perceptron, MLP), a neuronska mreža bila je MLP 2-6-8).



Optimizacija mreže sprovedena je na osnovu performansi ANN modela, u cilju dobijanja visokih vrednosti koeficijenta determinacije  $R^2$  (ostvorena vrednost bila je 0,853) i niskih vrednosti sume kvadrata razlika (engl. Sum of Squares, SOS) (tabela 18).

Tabela 18. Rezime modela veštačke neuronske mreže (prikazane su vrednosti performansi i grešaka), za cikluse učenja, testiranja i validacije modela

Naziv mreže	MLP 2-6-8
Performanse ciklusa učenja ( $R^2$ )	0,800
Performanse ciklusa testiranja ( $R^2$ )	0,973
Performanse ciklusa validacije ( $R^2$ )	0,979
Greška ciklusa učenja	2858,486
Greška ciklusa testiranja	1351,789
Greška ciklusa validacije	2185,766
Algoritam učenja	BFGS 32
Funkcija greške, suma kvadrata greške (engl. Sum of Squares)	SOS
Aktivaciona funkcija skrivenog sloja - tangens hiperbolikus	Tanh
Aktivaciona funkcija skrivenog sloja - eksponencijalna funkcija	Exponential

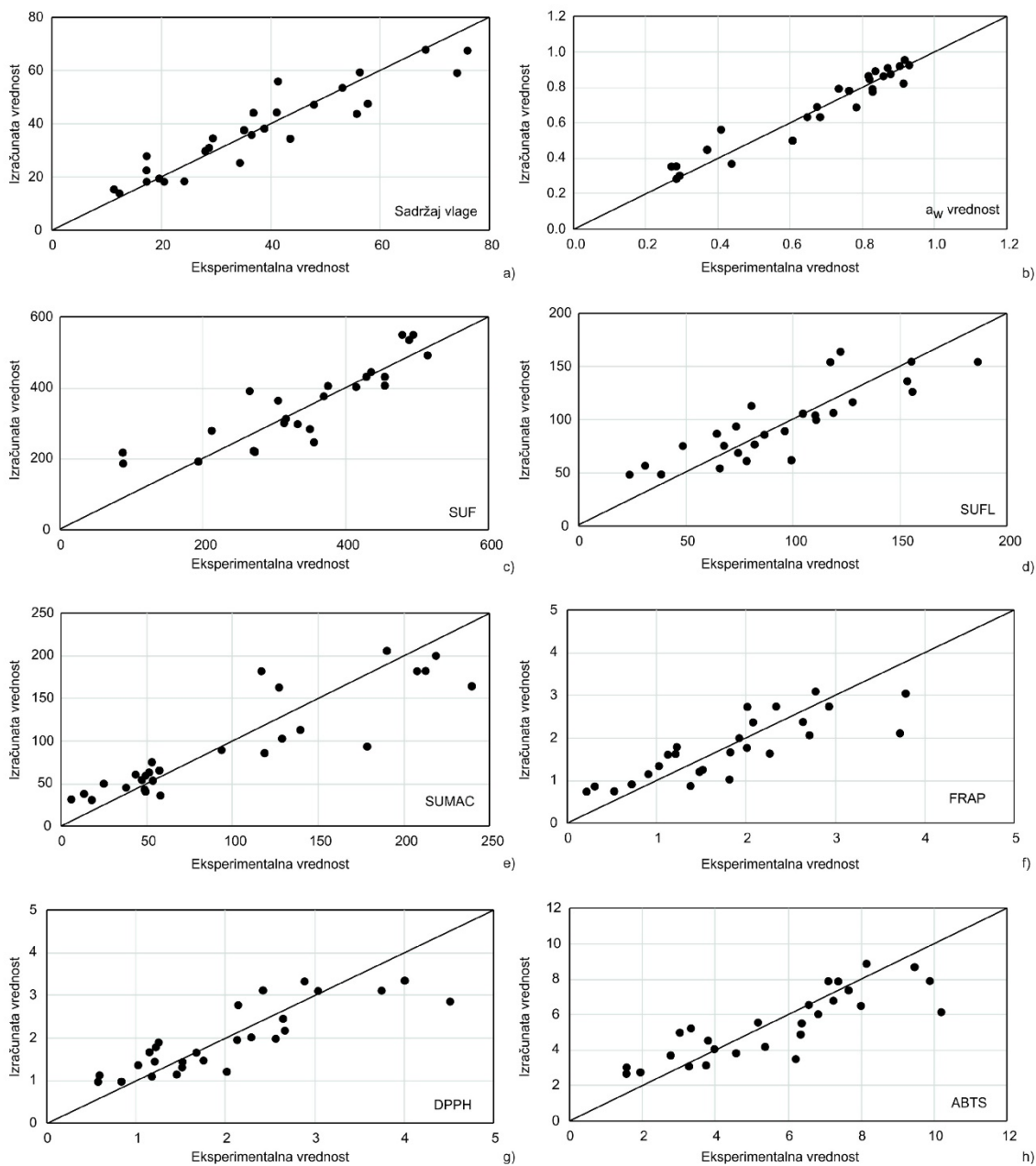
Poklapanja između eksperimentalno dobijenih vrednosti i izlaza izračunatih modelom, koji su prikazani kao performanse ANN, tokom ciklusa učenja, testiranja i validacije, prikazani su u tabeli 19.

Tabela 19. Koeficijenti determinacije ( $R^2$ ) između eksperimentalno dobijenih vrednosti i izlaza ANN, tokom ciklusa učenja, testiranja i validacije mreže

Parametar	SV	$a_w$	SUF	SUFL	SUMAC	FRAP	DPPH	ABTS
Polaritet	0,856	0,953	0,763	0,744	0,865	0,728	0,763	0,743
Minimum	0,900	0,958	1,000	0,997	0,979	0,997	1,000	0,959
Maksimum	0,992	0,999	0,987	0,982	0,999	0,916	0,985	0,976

ANN model pokazao je prilično dobre osobine za predviđanje izlaznih promenljivih, za širok spektar procesnih promenljivih, kao što se može videti sa slike 30, gde su prikazane eksperimentalno izmerene vrednosti i vrednosti predviđene ANN modelom.

Tačnost ANN modela vizuelno se može proceniti odstupanjem tačaka od dijagonalne linije na graficima prezentovanim na slici 30. Za ANN model, predviđene vrednosti bile su veoma blizu izmerenim vrednostima u većini slučajeva, što se vidi i po vrednostima  $R^2$  (slika 30).



Slika 30. Eksperimentalno određene vrednosti i vrednosti izlaznih parametara predviđene modelom ispitane su za a) sadržaj vlage; b)  $a_w$  vrednost; c) sadržaj ukupnih fenola; d) sadržaj ukupnih flavonoida; e) sadržaj ukupnih monomernih antocijana; f) FRAP test; g) DPPH test i h) ABTS test

Napomena:

SV (%); SUF (mg GAE/100 g); SUFL (mg CE/100 g); SUMAC (mg CGE/100 g); FRAP (mg  $Fe^{2+}$ /g); DPPH (mg Trolox/g); ABTS (mg Trolox/g).

Vrednosti promenljivih predviđene ANN modelom bile su veoma bliske željenim vrednostima u većini slučajeva. Sume kvadrata grešaka (engl. Sum of Squares, SOS) dobijene tokom računanja izlaznih promenljivih u ANN modelu bile su istog reda veličine kao i eksperimentalne greške prezentovane u literaturi (Basheer i Hajmeer, 2000; Benković i sar., 2015).

Razvijeni ANN model bio je kompleksan (sa 74 težinskih koeficijenata (engl. weights) i odsečaka (engl. biases) usled izrazite nelinearne prirode sistema jednačina (Chattopadhyay i Rangarajan, 2014; Benković i sar., 2015). Vrednosti  $R^2$  između eksperimentalno dobijenih vrednosti i vrednosti izlaznih promenljivih izračunatih korišćenjem ANN modela, kao što su sadržaj vlage,  $a_w$  vrednost, sadržaj ukupnih fenola, flavonoida i monomernih antocijana, FRAP, DPPH i ABTS vrednosti iznosili su: 0,892; 0,963; 0,855; 0,842; 0,915; 0,819; 0,855 i 0,833, redom, tokom ciklusa učenja.

Tabela 20 predstavlja elemente matrice  $W_1$  i vektora  $B_1$  (prikazan u koloni „odsečak“), a tabela 21 predstavlja elemente matrice  $W_2$  i vektora  $B_2$  (prikazan u koloni „odsečak“) za skriveni sloj, koje se koriste u proračunu u jednačini 6.

Tabela 20. Elementi matrice  $W_1$  i vektora  $B_1$  (prikazan u koloni „odsečak“)

	1	2	3	4	5	6
T	-1,426	-0,827	-0,205	-0,263	-1,762	1,771
p	-1,630	-0,303	-0,467	-0,596	0,483	-3,317
Odsečak	0,850	0,578	-0,748	-0,591	0,796	-1,085

Tabela 21. Elementi matrice  $W_2$  i vektora  $B_2$  (prikazan u koloni „odsečak“)

	SV	$a_w$	SUF	SUFL	SUMAC	FRAP	DPPH	ABTS
1	-0,949	-0,883	1,024	1,295	1,279	0,922	1,076	1,002
2	0,064	0,963	-0,229	-0,329	-0,390	-0,011	-0,035	-0,004
3	1,103	1,076	-0,505	0,120	-0,233	-0,630	-0,227	-0,669
4	0,510	0,910	0,268	-0,234	-0,299	-0,123	-0,190	-0,229
5	0,681	-0,222	-0,920	-0,839	-0,610	-0,955	-0,960	-1,174
6	-1,185	-2,247	-0,208	-0,230	0,463	0,071	0,144	-0,040
Odsečak	-1,155	-1,167	-0,543	-0,512	-0,594	-1,039	-0,758	-1,111

Napomena:

SV-sadržaj vlage (%);  $a_w$  aktivnost vode; SUF-sadržaj ukupnih fenola (mg GAE/100 g); SUFL-sadržaj ukupnih flavonoida (mg CE/100 g); SUMAC-sadržaj ukupnih monomernih antocijana (mg CGE/100 g); FRAP test (mg  $Fe^{2+}$ /g); DPPH test (mg Trolox/g); ABTS test (mg Trolox/g).

Kvalitet poklapanja vrednosti modela ispitan je i prikazan u tabeli 22, u kojoj koeficijenti determinacije  $R^2$  treba da budu što bliži 1, dok vrednosti ostalih statističkih testova (srednja apsolutna greška (engl. Mean Absolute Error, MAE), koren srednje kvadratne greške (engl. Root Mean Squared Error, RMSE), relativna apsolutna greška (engl. Relative Absolute Error, RAE) i koren relativne kvadratne greške (engl. Root Relative Squared Error, RRSE)) treba da budu što niži, kako bi se postiglo dobro poklapanje izračunatih vrednosti sa eksperimentalno dobijenim vrednostima (Montgomery, 1984; Madamba, 2002).

Tabela 22. Izračunati parametri tačnosti modela za primenjenu veštačku neuronsku mrežu

	$R^2$	MAE	RMSE	RAE	RRSE
SV	0,89170	5,10590	6,55226	0,01352	0,36435
$a_w$	0,96346	0,05048	0,05529	0,00021	0,00431
SUF	0,85525	52,14378	62,32544	0,09191	1,49800
SUFL	0,84237	18,13021	21,48783	0,02811	0,59942
SUMAC	0,91488	24,30226	28,69112	0,01746	0,25579
FRAP	0,81950	0,44128	0,44309	0,00043	0,00653
DPPH	0,85484	0,43399	0,45041	0,00065	0,01327
ABTS	0,83304	1,07006	1,15188	0,00168	0,03321

Napomena:

$R^2$ -koeficijent determinacije; MAE-srednja apsolutna greška (engl. Mean Absolute Error); RMSE-koren srednje kvadratne greške (engl. Root Mean Squared Error); RAE-relativna apsolutna greška (engl. Relative Absolute Error); RRSE- koren relativne kvadratne greške (engl. Root Relative Squared Error).

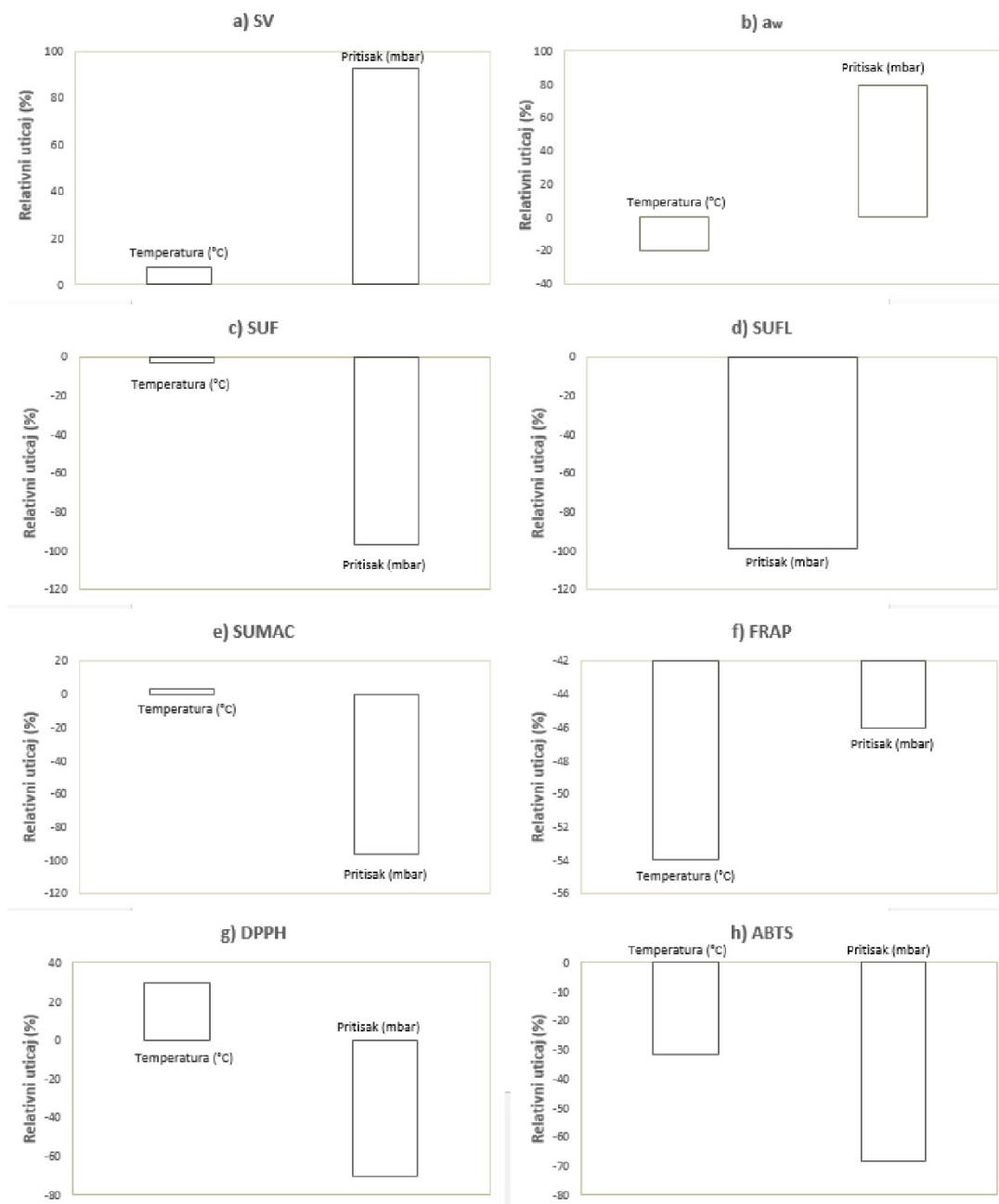
SV-sadržaj vlage (%);  $a_w$ -aktivnost vode; SUF-sadržaj ukupnih fenola (mg GAE/100 g); SUFL-sadržaj ukupnih flavonoida (mg CE/100 g); SUMAC-sadržaj ukupnih monomernih antocijana (mg CGE/100 g); FRAP test (mg  $Fe^{2+}$ /g); DPPH test (mg Trolox/g); ABTS test (mg Trolox/g).

Na osnovu izračunatih vrednosti parametara za veštačku neuronsku mrežu (tabela 22), može se primetiti da su koeficijenti determinacije  $R^2$  za sve ispitivane izlazne promenljive imali vrednosti između 0,820 (FRAP test) i 0,964 ( $a_w$  vrednost), pa se može konstatovati da se ovaj ANN model može primeniti za adekvatno opisivanje ponašanja  $a_w$  vrednosti u slučaju sušenja trešnje u vakuumu. Takođe, srednja vrednost  $R^2$  (0,872), ukazuje na to da se ispitivani ANN model u ovom istraživanju može uspešno primeniti na opisivanje procesa sušenja trešnje u vakuumu, za sortu Lapins u opsegu temperatura između 50 i 70°C i pritisaka između 20 i 200 mbar. U istraživanju Movagharnejad i Nikzad (2007), zabeleženo je da se primena ANN modela može razmotriti kao alternativa za opisivanje ponašanja paradajza tokom sušenja. Takođe, optimalni ANN model mogao je da se koristi za predviđanje sedam izlaznih parametara sa vrednostima RMSE manjim od 0,042,  $R^2$  vrednostima većim

od 0,93 u prikazanom istraživanju o predviđanju parametara procesa i proizvoda u procesu sušenja narandže raspršivanjem, primenom veštačkih neuronskih mreža, autora Chegini i sar. (2008). Vrednosti  $R^2$  i RMSE iznosile su 0,999 i 0,0078895, redom, u istraživanju autora Menlik i sar. (2010) u kojem je ispitano sušenje jabuke zamrzavanjem i primena veštačkih neuronskih mreža.

Optimizacija ANN izlaza sprovedena je korišćenjem rezultata prikazanih u tabeli 20 i tabeli 21, primenjenim u jednačini 6. Izračunate maksimalne vrednosti za sadržaj ukupnih fenola, flavonoida i monomernih antocijana, FRAP, DPPH i ABTS iznosile su: 603,378 mg GAE/100 g; 305,898 mg GAE/100 g; 170,890 mg GAE/100 g; 2,210 mg  $Fe^{2+}$ /g; 2,966 mg Trolox/g i 6,484 mg Trolox/g, redom, dok su izračunate minimalne vrednosti za sadržaj vlage i  $a_w$  vrednost iznosile: 25,97 % i 0,517, redom (tabela 23). Vrednosti optimalnih izlaza dobijeni su primenom parametara procesa: 70°C i 20 mbar. Ovi rezultati su u dobroj korespodenciji sa vrednostima RACI i SS.

Metoda particioniranja težinskih koeficijenata (engl. Method of Weights Partitioning) autora Yoon i sar. (1993) omogućava određivanje relativnog uticaja (engl. Relative Importance, RI) ulaznih parametara na izlazne parametre u ANN modelu. Težinski koeficijenti između ulaznih promenljivih i skrivenog sloja i između skrivenog sloja i izlaznih promenljivih koriste se da bi se izračunao relativni uticaj pojedinih ulaznih parametara na izlazne promenljive (slika 31).



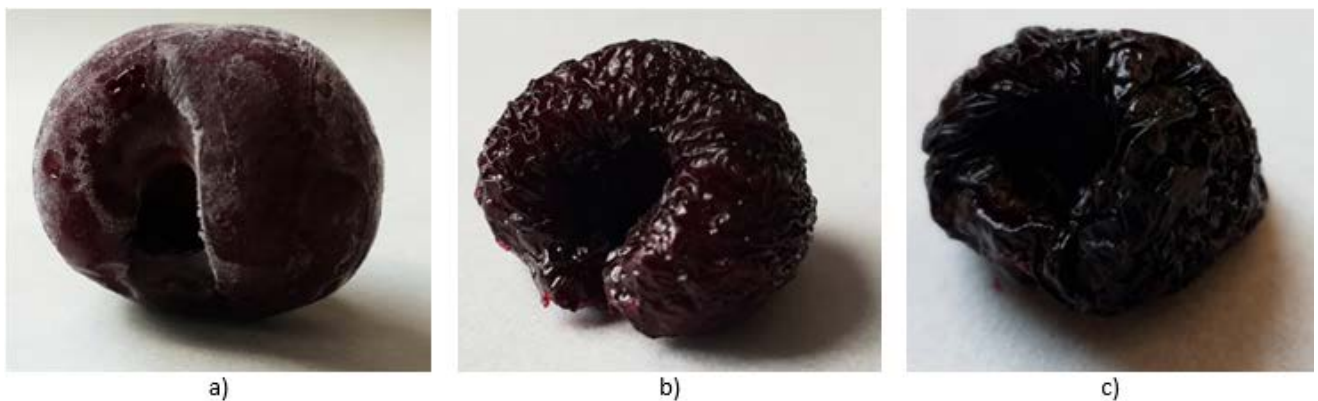
Slika 31. Izračunate vrednosti relativnih uticaj  $T$  i  $p$  ( $RI(T)$  i  $RI(p)$ ) za a) sadržaj vlage; b)  $a_w$  vrednost; c) sadržaj ukupnih fenola; d) sadržaj ukupnih flavonoida; e) sadržaj ukupnih monomernih antocijana; f) FRAP test; g) DPPH test i h) ABTS test

Napomena:

SV-sadržaj vlage (%);  $a_w$  aktivnost vode; SUF-sadržaj ukupnih fenola (mg GAE/100 g); SUFL-sadržaj ukupnih flavonoida (mg CE/100 g); SUMAC-sadržaj ukupnih monomernih antocijana (mg CGE/100 g); FRAP test (mg  $Fe^{2+}$ /g); DPPH test (mg Trolox/g); ABTS test (mg Trolox/g).

Na osnovu slike 31, može se zapaziti da je u domenu ispitivanih temperatura (50-70°C) i pritisaka (20-200 mbar), pritisak imao veći uticaj od temperature. Ovo potvrđuju i vrednosti praćenih fizičko-hemijskih parametara, s obzirom da su maksimalne vrednosti sadržaja vlage i  $a_w$  vrednosti, a takođe i najniže vrednosti ukupnog sadržaja fenola, flavonoida i monomernih antocijana i antioksidativne aktivnosti (FRAP, DPPH i ABTS) zabeleženi na višim ispitivanim pritiscima (155 i 200 mbar). Srednje vrednosti RI za pritisak varirale su između 46 i 99% dok je ovaj opseg za vrednosti RI za temperaturu bio niži (između 1 i 54%). Jedan od razloga za veći uticaj pritiska u poređenju sa temperaturom, primenjenih u ovom istraživanju, na bioaktivne komponente (ukupne fenole, flavonoide i monomerne antocijane), a takođe i na antioksidativnu aktivnost (ABTS, FRAP i DPPH test) je i osetljivost ovih komponenata na kiseonik (Castellari i sar., 2000; Pérez-Vicente i sar., 2004). Iz ovog razloga niži sadržaj kiseonika, primenjen tokom vakuum sušenja, pozitivno je uticao na očuvanje ispitivanih komponenata. Takođe, tokom vakuum sušenja, isparavanje vlage je brže što je razlika pritisaka na površini vode koja se nalazi u materijalu i okolne atmosfere veća, što ima značajan uticaj na sadržaj vlage i  $a_w$  vrednost, kao što se može videti na slici 31.

Fotografija zamrznute trešnje pre sušenja; trešnje osušene optimalnim uslovima RACI (50°C i 20 mbar) i trešnja osušena na optimalnim uslovima ANN (70°C i 20 mbar) prikazana je na slici 32.



Slika 32. Zamrznuta trešnja pre sušenja (a), trešnja osušena na RACI optimalnim uslovima (50°C i 20 mbar) (b) i trešnja osušena na ANN optimalnim uslovima (70°C i 20 mbar) (c)

#### 4.3.3.3 Eksperimentalna verifikacija ANN modela u laboratorijskim ispitivanjima

U cilju testiranja tačnosti razvijenih ANN modela, sprovedena je eksperimentalna verifikacija ANN modela. Testirana je optimalna vrednost temperature i pritiska (u skladu sa proračunima za RACI, SS i ANN), centralni eksperiment (60°C i 110 mbar) i prethodno netestirana dva eksperimenta u ANN proračunu (53°C i 40 mbar; 67°C i 180 mbar). Posmatrani su izlazi ANN (sadržaja vlage,  $a_w$  vrednost,

sadržaja ukupnih fenola, flavonoida i monomernih antocijana, FRAP, DPPH, ABTS) i rezultati su prikazani u tabeli 23.

Na osnovu dobijenih rezultata modela, dobro predviđanje eksperimentalnih rezultata dobijeno je posebno za antioksidativnu aktivnost, a razlike između eksperimentalnih i predviđenih vrednosti izražene su u vidu  $R^2$  vrednosti (tabela 23).



Tabela 23. Eksperimentalna verifikacija predviđanja izlaznih promenljivih ANN modela

	Optimalni					Eksperimentalni				
	ANN	RACI i SS	Centralni eksperiment	Dodatni eksperimenti		ANN	RACI i SS	Centralni eksperiment	Dodatni eksperimenti	
T	70	50	60	53	67	70	50	60	53	67
p	20	20	110	40	180	20	20	110	40	180
SV	25,972	27,965	46,088	31,179	66,452	12,24	17,23	40,99	26,398	76,722
a <sub>w</sub>	0,517	0,566	0,816	0,633	0,955	0,283	0,407	0,816	0,552	1,122
SUF	603,378	593,188	330,053	541,699	219,959	513,680	718,065	313,413	620,160	258,520
SUFL	305,898	308,173	140,569	273,696	79,728	127,812	342,443	81,595	245,574	66,081
SUMAC	170,890	165,366	68,488	139,849	37,335	189,532	239,351	53,158	136,289	33,716
FRAP	2,210	2,109	1,195	1,918	0,793	2,762	3,719	1,497	1,672	0,651
DPPH	2,966	2,867	1,583	2,566	1,107	2,876	4,504	1,513	2,925	0,955
ABTS	6,484	6,176	3,875	5,726	2,864	8,131	10,154	5,348	5,288	2,595
R <sup>2</sup>	0,923	0,994	0,972	0,989	0,988					

Napomena:

SV-sadržaj vlage (%); a<sub>w</sub> aktivnost vode; SUF-sadržaj ukupnih fenola (mg GAE/100 g); SUFL-sadržaj ukupnih flavonoida (mg CE/100 g); SUMAC-sadržaj ukupnih monomernih antocijana (mg CGE/100 g); FRAP test (mg Fe<sup>2+</sup>/g); DPPH test (mg Trolox/g); ABTS test (mg Trolox/g).

#### 4.3.4 Rezultati matematičkog modelovanja

Empirijske modele jednostavno je primeniti za opisivanje krive sušenja. Konstanta i koeficijenti sušenja u empirijskim modelima izračunati su regresionom analizom. Sedam matematičkih modela, prikazanih u tabeli 24, primenjeno je za aproksimaciju eksperimentalnih podataka 27 vakuum osušenih uzoraka trešnje. Kao glavni kriterijum za ocenu uspešnosti aproksimacije eksperimentalnih podataka sušenja matematičkim modelima uzete su maksimalne vrednosti koeficijenta determinacije  $R^2$  i minimalne vrednosti srednje apsolutne relativne greške (engl. Average Absolute Relative Deviations, AARD), vrednosti korena srednje kvadratne greške (engl. Root Mean Square Errors, RMSE) i redukovano  $\chi^2$ .

Tabela 24. Prosečne vrednosti izračunatih parametara tačnosti modela i statističkih parametara za sve ispitivane modele

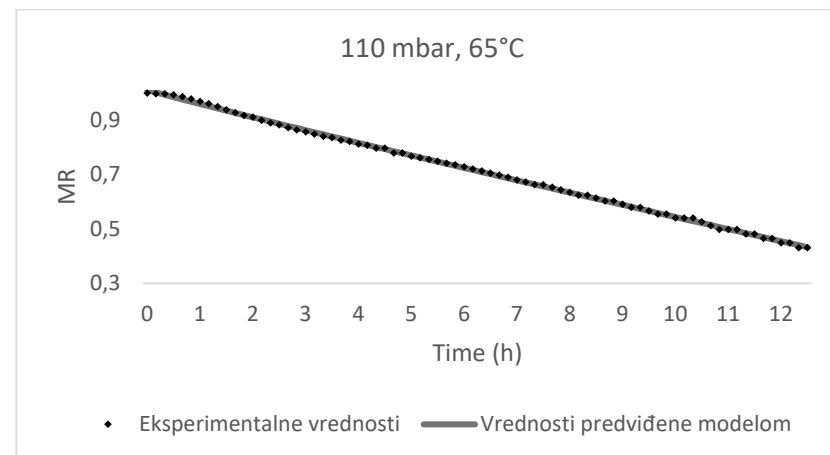
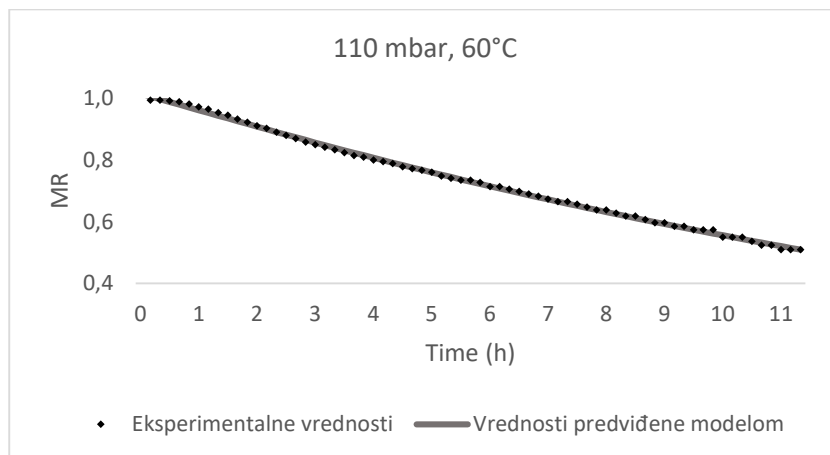
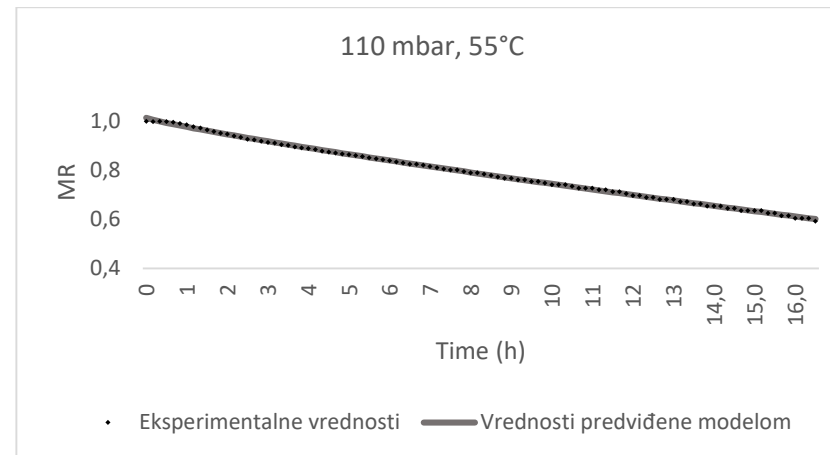
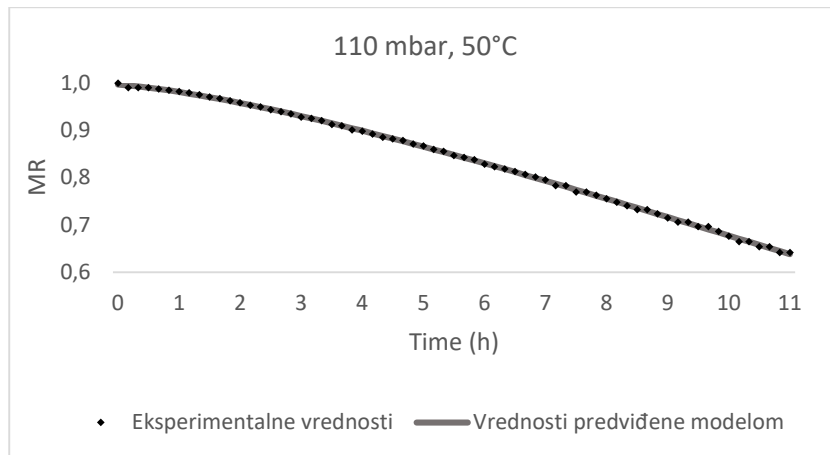
Model	$R^2$	AARD (%)	RMSE	$\chi^2$
Henderson-Pabis-ov	0,9758	4,75	0,0261	0,0004
Modifikovani Henderson Pabis-ov	0,9762	4,73	0,0261	0,0005
Pojednostavljeni Fikov model difuzije	0,9753	4,78	0,0262	0,0005
Pelegov	0,9961	1,27	0,0090	0,0002
Logaritamski	0,9948	1,75	0,0115	0,0005
Dvo-parametarski	0,9764	4,33	0,0244	0,0005
Midilli i sar.	0,9985	0,90	0,0061	0,0001

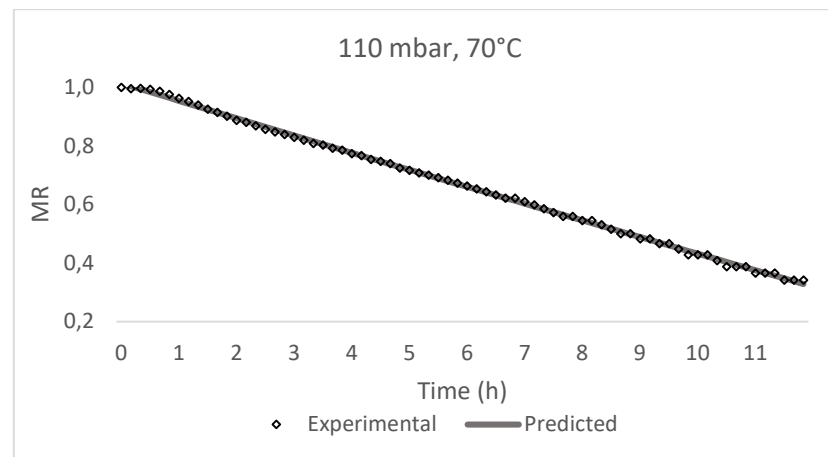
Vrednosti  $R^2$ , AARD, RMSE  $\chi^2$  svih ispitivanih modela bile su u opsegu između 0,9753 i 0,9985; 0,90% i 4,78%; 0,0061 i 0,0262; 0,0001 i 0,0005, redom. Najveća vrednosti  $R^2$  (0,9985) i najniža vrednost AARD (0,90%), RMSE (0,0061) i  $\chi^2$  (0,0001) dobijeni su za model Midilli i sar., što ukazuje na to da je ovaj model najpogodniji za opisivanje vakuum sušenja trešnje (tabela 25). Parametri modela i statistički parametri dobijeni za modele Henderson-Pabis-ov, modifikovani Henderson Pabis-ov, pojednostavljeni Fikov model difuzije, Pelegov, logaritamski i dvo-parametarski, prikazani su u prilogu ove disertacije u tabelama 33-38. Najniža vrednost  $R^2$  (0,9753) i takođe najveća vrednost AARD (4,78%), RMSE (0,0262) i  $\chi^2$  (0,0005) za modele u svim eksperimentima zabeleženi su za pojednostavljeni Fikov model difuzije i ovi rezultati ukazuju da je ovaj model najmanje pogodan za opisivanje procesa sušenja trešanja vakuum tehnikom. U istraživanju Tepić Horecki i sar. (2018), Midilli i sar. model takođe je izabran kao najpogodniji model za opisivanje vakuum sušenja drenjine. U istraživanju Doymaz i İsmail (2011) Page-ov model izabran je kao najbolji za opisivanje sušenja višnje u tankom sloju. Sacilik i Elicin (2006) zaključili su da je logaritamski model dao bolje rezultate u odnosu na druge ispitivane modele za opisivanje sušenja organske jabuke u tankom sloju.

Tabela 25. Parametri modela i statistički parametri dobijeni za model Midilli i sar.

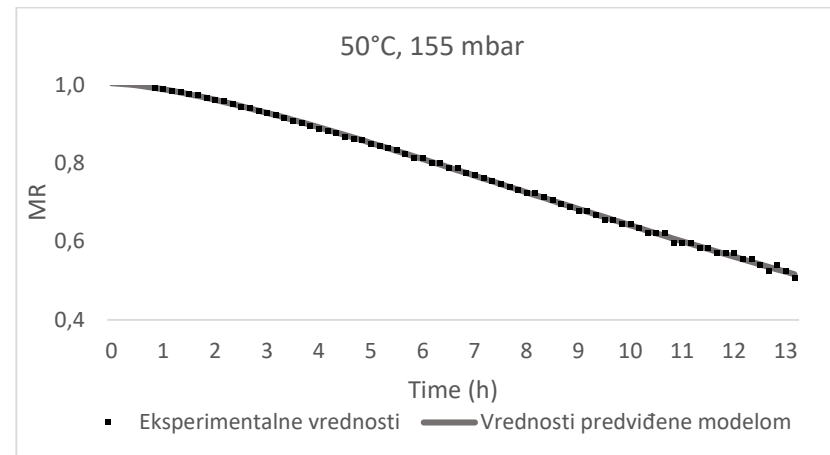
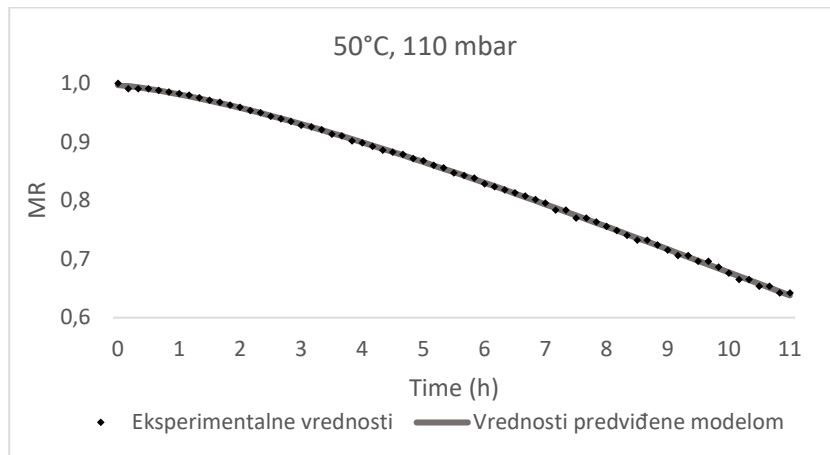
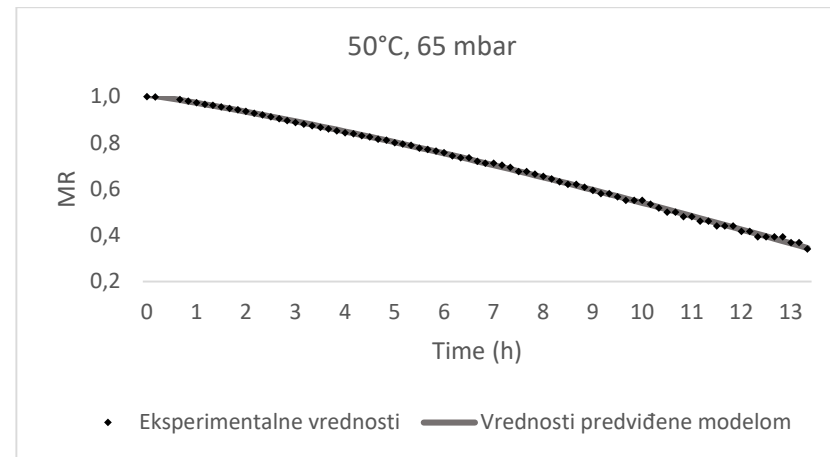
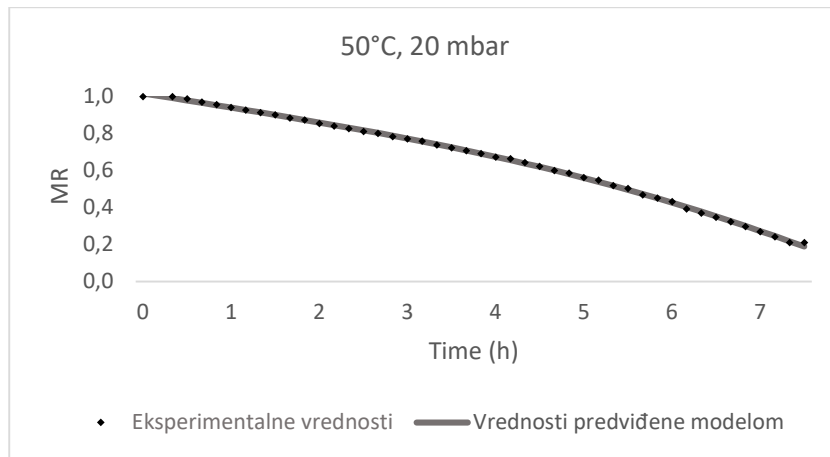
T (°C)	P (mbar)	Regresioni koeficijenti				R <sup>2</sup>	AARD (%)	RMSE	χ <sup>2</sup>
		a	k (h <sup>-1</sup> )	n	b (h <sup>-1</sup> )				
50	20	1,02	0,0004	3,32	-0,0768	0,9994	0,95	0,0061	0,000145
	65	1,01	0,0020	1,86	-0,0333	0,9992	0,75	0,0057	0,000074
	110	1,00	0,0093	1,50	-0,0066	0,9996	0,22	0,0022	0,000035
	155	1,01	0,0165	1,45	0,0009	0,9994	0,41	0,0038	0,000050
	200	1,01	0,0437	1,13	0,0284	0,9971	0,26	0,0029	0,000048
65	20	0,99	0,0144	1,79	-0,0273	0,9991	1,38	0,0075	0,000139
	65	1,02	0,0351	0,84	-0,0158	0,9982	0,65	0,0060	0,000074
	110	1,01	0,0252	0,81	-0,0118	0,9990	0,36	0,0037	0,000038
	155	0,99	0,0000	10,68	-0,0096	0,9956	0,30	0,0033	0,000035
	200	1,00	0,0129	0,75	-0,0033	0,9981	0,14	0,0017	0,000021
60	20	1,00	0,0046	1,97	-0,0738	0,9991	1,22	0,0071	0,000162
	20	1,00	0,0017	2,48	-0,0627	0,9992	0,91	0,0061	0,000139
	20	1,00	0,0124	1,83	-0,0468	0,9983	1,71	0,0099	0,000225
	65	1,01	0,0099	0,74	-0,0589	0,9988	0,84	0,0067	0,000112
	110	1,01	0,0520	1,04	-0,0018	0,9983	0,69	0,0062	0,000096
	155	1,01	0,0387	0,63	-0,0167	0,9979	0,46	0,0050	0,000067
	200	1,01	0,0210	0,78	-0,0125	0,9987	0,35	0,0037	0,000042
65	20	0,99	0,0402	1,53	-0,0283	0,9978	3,30	0,0131	0,000272
	65	1,02	0,0524	0,76	-0,0361	0,9964	1,22	0,0100	0,000192
	110	1,01	0,0148	0,80	-0,0378	0,9991	0,62	0,0052	0,000072
	155	1,01	0,0405	0,88	-0,0156	0,9990	0,53	0,0048	0,000063
	200	1,01	0,0406	0,89	-0,0006	0,9979	0,39	0,0042	0,000061
70	20	0,99	0,0274	1,77	-0,0318	0,9985	2,45	0,0106	0,000246
	65	1,00	0,0323	1,37	-0,0278	0,9990	1,37	0,0077	0,000140
	110	1,01	0,0188	0,97	-0,0418	0,9991	0,85	0,0062	0,00009
	155	1,01	0,0317	1,32	0,0067	0,9968	0,95	0,0093	0,000122
	200	1,02	0,0568	0,92	-0,0095	0,9986	0,66	0,0060	0,000088

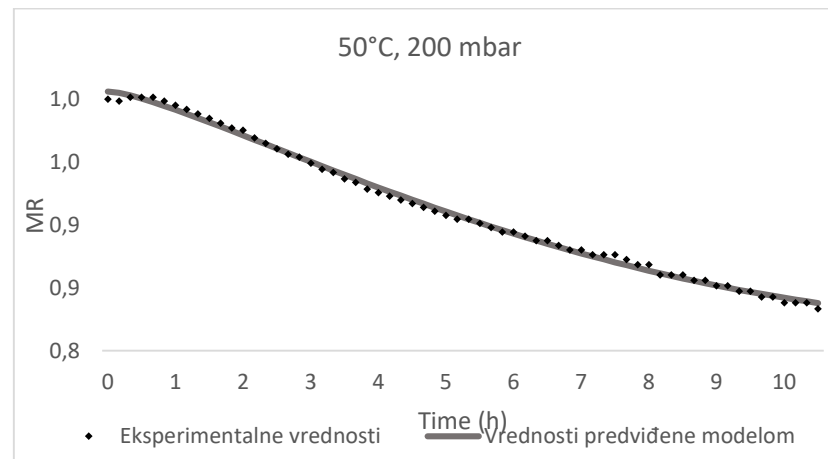
Uzorak 3 (50°C, 110 mbar, 11h) zabeležen je kao uzorak sa najvećom vrednošću R<sup>2</sup> dobijenom za Midilli i sar. model, koji je izabran kao najbolji model koji opisuje vakuum sušenje trešnje. Odnos eksperimentalnih i predviđenih vrednosti za ovaj uzorak, za pritisak 110 mbar i pet ispitivanih temperatura (50, 55, 60, 65 i 70°C) i za temperaturu 50°C i pet ispitivanih pritisaka (20, 65, 110, 155 i 200 mbar) prezentovan je na slikama 33 i 34, redom.





Slika 33. Eksperimentalne i predviđene vrednosti za Midilli i sar. model za uzorke osušene na temperaturi 50°C





Slika 34. Eksperimentalne i predviđene vrednosti za Midilli i sar. model za uzorke osušene na temperaturi 50°C

Ispitujući uticaj temperature i pritiska, u pogledu izabranog najboljeg modela Midilli i sar., zabeleženo je da su najniža primenjena temperatura (50°C) i pritisak (110 mbar) rezultovali najvećom srednjom vrednošću  $R^2$  (0,9989, 0,9990, redom). Na ovim uslovima zabeleženo je najbolje fitovanje eksperimentalno dobijenih rezultata, u pogledu  $R^2$ , sa modelom Midilli i sar. Zabeleženo je takođe da je temperatura 50°C uticala na najnižu srednju vrednost AARD (0,52%), RMSE (0,0041) i temperatura 55°C na najnižu srednju vrednosti  $\chi^2$  (0,000061), dok je pritisak 200 mbar uticao na najnižu srednju vrednost AARD (0,36%), RMSE (0,0037) i  $\chi^2$  (0,000052), za model Midilli i sar. Na osnovu literaturnih podataka, Henríquez i sar. (2014) zaključili su da dvo-parametarski model ima najbolje poklapanje na 110°C, Page-ov model na 120°C dok Midilli–Kucuk model ima najbolje poklapanje na 130°C, ali veoma slično statističko poklapanje vrednosti u poređenju sa onim dobijenim dvo-parametarskim modelom. Na osnovu vrednosti  $k$  ( $\text{h}^{-1}$ ) (konstante brzine sušenja) dobijene za Midilli i sar. model, zabeleženo je da su veće prosečne vrednosti ove konstante (za istu temperaturu i različite pritiske) dobijene za veće temperature 65 i 70°C, što je u skladu sa rezultatima istraživanja autora Meisami-Asl i sar. (2009), u kojem je ispitivano matematičko modelovanje sadržaja vlage u kriškama jabuke tokom sušenja i veće srednje vrednosti za koeficijent  $k$  su takođe zabeležene za više vrednosti ispitivane temperature. Takođe, Shi i sar. (2013) ispitivali su matematičko modelovanje sušenja u tankom sloju toplotnim pumpama povrća jakon u kriškama i takođe dobili veće vrednosti koeficijenta  $k$  za Midilli i sar. model za veće ispitivane temperature, pri istoj brzini sušenja. U oba ova istraživanja, zabeleženo je da je najpogodniji model za opisivanje krive sušenja jabuka u tankom sloju i ponašanje jakona tokom sušenja u tankom sloju bio Midilli i sar. model. Srednja vrednost koeficijenta  $k$ , posmatrana za isti pritisak i različite primenjene temperature, za Midilli i sar. model bila je najveća za pritisak 200 mbar, dok je najniža vrednost ovog parametra za različite temperature na istim pritiscima bila najniža na pritisku 20 mbar.

U cilju prikazivanja uticaja parametara sušenja, temperature i pritiska na koeficijente modela Midilli i sar., primenjena je regresiona analiza. Na ovaj način prikazana je veza između koeficijenata modela ( $a$ ,  $k$ ,  $n$  i  $b$ ) i parametara sušenja (temperature i pritiska). Na osnovu navedenog, regresione jednačine za Midilli i sar. prikazane su u tabeli 26.



Tabela 26. Zavisnost koeficijenata Midilli i sar. modela od temperature i pritiska

Jednačina (a, b, k, n)=f (T)	R <sup>2</sup>
$a = -0,0008 \cdot T^3 + 0,0104 \cdot T^2 - 0,0388 \cdot T + 1,05$	0,8214
$k = 0,0012 \cdot T^3 - 0,0071 \cdot T^2 + 0,0163 \cdot T - 0,0104$	0,9923
$n = -0,1142 \cdot T^3 + 1,2125 \cdot T^2 - 4,2833 \cdot T + 6,502$	0,9998
$b = -0,0031 \cdot T^3 - 0,0313 \cdot T^2 + 0,1188 \cdot T - 0,168$	0,9961
Jednačina (a, b, k, n)=f (p)	R <sup>2</sup>
$a = 0,3925 \cdot p^3 + 4,2739 \cdot p^2 - 14,434 \cdot p + 96,83$	0,9918
$k = 0,0025 \cdot p^3 - 0,0248 \cdot p^2 + 0,0964 \cdot p - 0,0638$	0,5760
$n = 0,0485 \cdot p^3 + 0,5032 \cdot p^2 - 1,731 \cdot p + 2,74$	0,7642
$b = 0,1084 \cdot p^3 + 0,123 \cdot p^2 + 3,314 \cdot p - 2,9242$	0,7887

#### 4.4 Uporedna analiza fizičkih, hemijskih i bioloških osobina voća osušenog vakuum sušarom sa vakuum pumpom i prototipom inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom

Planom eksperimenta predviđeno je sušenje odabranih vrsta koštičavog voća, višnje i kajsije u vakuum sušari (VS) sa vakuum pumpom (P) i u prototipu inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom (E) na različitim temperaturama i najnižim vrednostima pritiska koje pojedina sušara može da postigne. Uzorci višnje (V1, V2, V3, V4 i V5) i kajsije (K1, K2, K3, K4 i K5) osušeni su na različitim temperaturama (40, 50, 60, 70 i 80°C, redom) u obe sušare, do konstantne mase. U osušanim uzorcima analizirane su sledeće fizičke, hemijske i biološke osobine: sadržaj vlage,  $a_w$  vrednost, sadržaj ukupnih fenola i ukupnih flavonoida i antioksidativna aktivnost (FRAP, DPPH i ABTS test). U osušanim uzorcima višnje analiziran je i sadržaj ukupnih monomernih antocijana. Uslovi vakuum sušenja višnje i kajsije prikazani su u tabeli 27, a rezultati ispitivanih analiza u osušanim uzorcima višnje prikazani su u tabelama 28, 29 i 30, dok su rezultati ispitivanih analiza u osušanim uzorcima kajsije prikazani u tabelama 31 i 32.

Tabela 27. Uslovi vakuum sušenja višnje i kajsije osušene u vakuum sušari sa vakuum pumpom i u prototipu vakuum sušare sa ejektorskim sistemom

Uzorak	T (°C)	p (mbar)	t (h)
V1-P	40	20	5,3
V1-E	40	20	5,3
V2-P	50	20	5,1
V2-E	50	20	5,1
V3-P	60	20	4,0
V3-E	60	20	4,0
V4-P	70	20	3,4
V4-E	70	20	3,4
V5-P	80	20	3,8
V5-E	80	20	3,8
K1-P	40	20	9,7
K1-E	40	20	9,7
K2-P	50	20	8,6
K2-E	50	20	8,6
K3-P	60	20	8,3
K3-E	60	20	8,3
K4-P	70	20	6,9
K4-E	70	20	6,9
K5-P	80	20	6,2
K5-E	80	20	6,2

Sadržaj vlage u uzorcima višnje osušenim na višim ispitivanim temperaturama (60, 70 i 80°C) bio je viši u uzorcima osušenim u vakuum sušari sa vakuum pumpom (VS-P) u poređenju sa uzorcima osušenim u prototipu inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom (VS-E). U uzorcima višnje osušenim na nižim ispitivanim temperaturama (40 i 50°C) sadržaj vlage bio je viši u uzorcima osušenim u VS-E na nivou statističke značajnosti ( $p < 0,05$ ). Na osnovu rezultata sadržaja vlage u okviru ovog istraživanja zabeleženo je da svi uzorci višnje osušeni i u VS-P i u VS-E ispunjavaju uslove kvaliteta i bezbednosti prema kojima sušeno voće ne sme sadržati više od 27% vode (Sl. list SFRJ, 1/79). U pogledu ispitivanog parametra  $a_w$  vrednosti zabeleženo je da je kod uzoraka višnje osušenih na svim ispitivanim temperaturama izmeren viši sadržaj vlage u uzorcima osušenim u VS-P u poređenju sa uzorcima osušenim u VS-E. Ovi rezultati ukazuju na to da je u pogledu ispitivanog parametra  $a_w$  vrednosti, prototip inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom dao bolje rezultate u poređenju sa vakuum sušarom sa vakuum pumpom. Zabeleženo je da u slučaju osušenih uzoraka višnje svi uzorci istraživanja ispunjavaju zahteve kvaliteta i bezbednosti u pogledu sadržaja  $a_w$  vrednosti. Na osnovu dobijenih rezultata merenja teksture, odnosno vrednosti za silu presecanja i

probijanja, zabeleženo je da se tekstura uzoraka višnje osušenih u VS-P i VS-E ne razlikuju na nivou statističke značajnosti ( $p < 0,05$ ) ni za jednu vrednost ispitivane temperature, što ukazuje na to da je u pogledu teksture osušenih uzoraka, prototip inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom dao jednako dobre rezultate kao i vakuum sušara sa vakuum pumpom. U pogledu sadržaja bioaktivnih komponenata u osušanim uzorcima višnje, u svim uzorcima koji su sušeni u VS-E zabeležen je veći sadržaj ukupnih fenola, dok su u pogledu sadržaja ukupnih flavonoida i monomernih antocijana postignuti bolji rezultati, odnosno veće vrednosti sadržaja ovih komponenata u uzorcima višnje osušanim u VS-P. U skladu sa ostalim rezultatima, zabeleženi rezultati antioksidativne aktivnosti određene pomoću FRAP, DPPH i ABTS testa ukazuju da su uzorci višnje osušene u VS-P i VS-E vrlo sličnih i zadovoljavajućih bioloških osobina.

Tabela 28. Eksperimentalno određene vrednosti sadržaja vlage,  $a_w$  vrednosti i teksture (sile presecanja i sile probijanja) u uzorcima višnje osušene u VS-P i VS-E

	SV		$a_w$		SP		SPr	
	E	P	E	P	E	P	E	
V1	19,78±0,25 <sup>b</sup>	22,91±0,52 <sup>a</sup>	0,521±0,000 <sup>a</sup>	0,417±0,001 <sup>b</sup>	3,9±0,6 <sup>a</sup>	3,4±0,6 <sup>a</sup>	0,8±0,2 <sup>a</sup>	1,0±0,4 <sup>a</sup>
V2	14,95±0,23 <sup>b</sup>	17,20±0,28 <sup>a</sup>	0,381±0,001 <sup>a</sup>	0,362±0,000 <sup>b</sup>	3,8±0,8 <sup>a</sup>	5,0±0,5 <sup>a</sup>	0,9±0,3 <sup>a</sup>	1,1±0,3 <sup>a</sup>
V3	14,35±0,57 <sup>a</sup>	12,70±0,43 <sup>b</sup>	0,285±0,002 <sup>a</sup>	0,258±0,002 <sup>b</sup>	5,1±0,5 <sup>a</sup>	5,4±0,3 <sup>a</sup>	1,2±0,6 <sup>a</sup>	1,3±0,4 <sup>a</sup>
V4	14,37±0,18 <sup>a</sup>	12,61±0,47 <sup>b</sup>	0,289±0,007 <sup>a</sup>	0,259±0,001 <sup>b</sup>	5,3±0,2 <sup>a</sup>	4,6±0,5 <sup>a</sup>	1,0±0,2 <sup>a</sup>	1,0±0,1 <sup>a</sup>
V5	11,61±0,26 <sup>a</sup>	10,40±0,32 <sup>b</sup>	0,250±0,001 <sup>a</sup>	0,232±0,000 <sup>b</sup>	4,6±0,7 <sup>a</sup>	4,3±0,9 <sup>a</sup>	1,0±0,1 <sup>a</sup>	0,9±0,1 <sup>a</sup>

Napomena:

SV-sadržaj vlage (%);  $a_w$  aktivnost vode; SP-sila presecanja (kg); SPr-sila probijanja (kg).

Tabela 29. Eksperimentalno određene vrednosti sadržaja ukupnih fenola, ukupnih flavonoida i ukupnih monomernih antocijana u uzorcima višnje osušene u VS-P i VS-E

	SUF		SUFL		SUMAC	
	P	E	P	E	P	E
V1	2528±0,01 <sup>b</sup>	2617±0,04 <sup>a</sup>	2063±10 <sup>a</sup>	2034±21 <sup>b</sup>	697±0,004 <sup>b</sup>	710±0,003 <sup>a</sup>
V2	2317±0,02 <sup>b</sup>	2377±0,02 <sup>a</sup>	2051±18 <sup>a</sup>	1935±1 <sup>b</sup>	830±0,008 <sup>a</sup>	736±0,005 <sup>b</sup>
V3	2765±0,03 <sup>a</sup>	2601±0,03 <sup>b</sup>	2254±27 <sup>a</sup>	2058±16 <sup>b</sup>	834±0,01 <sup>b</sup>	892±0,005 <sup>a</sup>
V4	2322±0,03 <sup>a</sup>	2327±0,03 <sup>a</sup>	2254±06 <sup>a</sup>	2014±18 <sup>b</sup>	823±0,007 <sup>a</sup>	693±0,006 <sup>b</sup>
V5	2495±0,01 <sup>b</sup>	2552±0,01 <sup>a</sup>	2020±13 <sup>a</sup>	1903±9 <sup>b</sup>	810±0,008 <sup>a</sup>	791±0,004 <sup>b</sup>

Napomena:

SUF-sadržaj ukupnih fenola (mg GAE/100 g); SUFL-sadržaj ukupnih flavonoida (mg CE/100 g); SUMAC-sadržaj ukupnih monomernih antocijana (mg CGE/100 g).

Tabela 30. Eksperimentalno određene vrednosti antioksidativne aktivnosti (FRAP, DPPH i ABTS test) uzoraka višnje osušene u VS-P i VS-E

	FRAP		DPPH		ABTS	
	P	E	P	E	P	E
V1	18,16±0,15 <sup>b</sup>	20,08±0,21 <sup>a</sup>	18,49±0,10 <sup>b</sup>	19,19±0,22 <sup>a</sup>	95,5±0,4 <sup>b</sup>	99,5±0,8 <sup>a</sup>
V2	16,43±0,04 <sup>b</sup>	17,06±0,05 <sup>a</sup>	18,65±0,05 <sup>b</sup>	19,12±0,05 <sup>a</sup>	83,9±1,0 <sup>a</sup>	85,8±0,6 <sup>a</sup>
V3	16,30±0,09 <sup>b</sup>	16,60±0,08 <sup>a</sup>	26,70±0,09 <sup>a</sup>	23,27±0,16 <sup>b</sup>	106,1±0,7 <sup>a</sup>	92,2±0,7 <sup>b</sup>
V4	18,77±0,14 <sup>a</sup>	17,34±0,18 <sup>b</sup>	28,47±0,24 <sup>a</sup>	28,25±0,28 <sup>a</sup>	98,7±0,2 <sup>a</sup>	95,3±0,8 <sup>b</sup>
V5	18,32±0,03 <sup>a</sup>	16,27±0,07 <sup>b</sup>	28,24±0,31 <sup>a</sup>	25,97±0,19 <sup>b</sup>	100,9±1,4 <sup>a</sup>	95,9±1,0 <sup>b</sup>

Napomena:

FRAP test (mg Fe<sup>2+</sup>/g); DPPH test (mg Trolox/g); ABTS test (mg Trolox/g).

Sadržaj vlage u uzorcima kajsije osušenim na nižim ispitivanim temperaturama (50 i 60°C) bio je viši u uzorcima osušenim u vakuum sušari sa vakuum pumpom (VS-P) u poređenju sa uzorcima osušenim u prototipu inovativne vakuum sušare sa ejektorskim sistemom (VS-E). U uzorcima kajsije osušenim na višim ispitivanim temperaturama, sadržaj vlage je bio viši u uzorcima osušenim u VS-E, međutim ne na nivou statističke značajnosti ( $p < 0,05$ ). U istraživanju Hussain i Yasmin (2010) zabeležen je sadržaj vlage između 10,61 i 15,10% u ispitivanim uzorcima različitih sorti sušene kajsije. Takođe Witherspoon i Jackson (1996) prikazali su sadržaj vlage u osušenim kajsijama između 10 i 25%. Kao i u slučaju višnje, tako i u slučaju kajsije, na osnovu rezultata sadržaja vlage u okviru ovog istraživanja zabeleženo je da svi uzorci kajsije osušeni u VS-P i u VS-E ispunjavaju uslove kvaliteta i bezbednosti prema kojima sušeno voće ne sme sadržati više od 27% vode (Sl. list SFRJ, 1/79). Kao i u slučaju sadržaja vlage, tako je i  $a_w$  vrednost uzoraka kajsije osušene na nižim temperaturama (50 i 60°C) bila veća u uzorcima osušenim u VS-P u poređenju sa uzorcima osušenim u VS-E. Takođe,  $a_w$  vrednost uzoraka kajsije osušene na najvećoj primenjenoj temperaturi bila je veća u uzorcima kajsije osušene u VS-E u poređenju sa uzorcima osušenim u VS-P. U uzorcima kajsije osušenim na temperaturama 60 i 70°C,  $a_w$  vrednost uzoraka osušenih u VS-E bila je veća u poređenju sa uzorcima osušenim u VS-P, s tim što između uzoraka osušenih na 70°C nije bilo statistički značajne razlike između uzoraka. S obzirom da bi konvektivno osušeno voće trebalo da se čuva u opsegu  $a_w$  vrednosti od 0,45 do 0,54, a liofilizovano voće između 0,46 i 0,63 (Šumić, 2014), zaključeno je da svi osušeni uzorci kajsije u okviru ovog istraživanja ispunjavaju ove zahteve kvaliteta i bezbednosti. Takođe je kao i u slučaju osušenih uzoraka višnje zabeleženo da se tekstura (sila presecanja i sila probijanja) uzoraka kajsije osušenih u VS-P i VS-E ne razlikuju na nivou statističke značajnosti ( $p < 0,05$ ) pri svim ispitivanim temperaturama sušenja (40-80°C). U pogledu ispitivanog sadržaja bioaktivnih komponenata i antioksidativne

aktivnosti osušenih uzoraka kajsije zabeleženo je da uzorci osušeni u VS-E pri višim ispitivanim temperaturama (60, 70 i 80°C) imaju veći sadržaj ukupnih fenola i veću antioksidativnu aktivnost određenu FRAP i DPPH testom u poređenju sa uzorcima osušenih u VS-P. U uzorcima kajsije osušenim u VS-P zabeležen je veći sadržaj flavonoida u svim ispitivanim uzorcima u poređenju sa uzorcima kajsije osušenih u VS-E pri istim uslovima temperature, pritiska i vremena. Poređenjem uzoraka kajsije osušenim na 40 i 60°C u VS-P i VS-E nije zabeležena značajna razlika ( $p < 0,05$ ) u sadržaju ukupnih flavonoida. Sadržaj antioksidativne aktivnosti određene DPPH testom u uzorcima kajsije osušene na temperaturi 80°C bila je veća u uzorcima osušenim u VS-P, međutim ne na nivou statističke značajnosti ( $p < 0,05$ ). Na osnovu antioksidativnog ABTS testa, uzorci kajsije osušeni u VS-E na temperaturi 60°C imali su veću antioksidativnu aktivnost u poređenju sa uzorcima osušenim u VS-P dok su u slučaju ostalih uzoraka veći sadržaji ABTS testom zabeleženi u uzorcima osušenim u VS-P. Između uzoraka osušenih u VS-P i VS-E na temperaturi 40°C nije postojala značajna razlika ( $p < 0,05$ ) na osnovu antioksidativnog DPPH testa. Igual i sar. (2012) zabeležili su sadržaj ukupnih fenola 64,73; 64,90; 60,00; 81,00 mg GAE/100 g svežeg uzorka u uzorcima kajsije osušenim na toplom vazduhu na 40°C; na toplom vazduhu na 60°C; na toplom vazduhu u kombinaciji sa mikrotalasnim sušenjem i mikrotalasnim sušenjem, redom.

Tabela 31. Eksperimentalno određene vrednosti sadržaja vlage,  $a_w$  vrednosti i teksture (sile presecanja i sile probijanja) uzoraka kajsije osušene u VS-P i VS-E

	SV		$a_w$		SP		SPr	
	P	E	P	E	P	E	P	E
K1	10,76±0,35 <sup>a</sup>	8,99±0,29 <sup>b</sup>	0,405±0,002 <sup>a</sup>	0,291±0,002 <sup>b</sup>	4,4±0,6 <sup>a</sup>	4,2±0,9 <sup>a</sup>	1,1±0,2 <sup>a</sup>	1,1±0,2 <sup>a</sup>
K2	11,11±0,89 <sup>a</sup>	7,69±0,48 <sup>b</sup>	0,357±0,001 <sup>a</sup>	0,296±0,002 <sup>b</sup>	3,2±0,4 <sup>a</sup>	3,0±0,6 <sup>a</sup>	0,9±0,2 <sup>a</sup>	0,9±0,1 <sup>a</sup>
K3	7,96±0,76 <sup>a</sup>	9,03±0,34 <sup>a</sup>	0,294±0,004 <sup>b</sup>	0,313±0,003 <sup>a</sup>	4,0±0,6 <sup>a</sup>	4,1±0,5 <sup>a</sup>	0,8±0,3 <sup>a</sup>	0,9±0,2 <sup>a</sup>
K4	7,51±0,55 <sup>a</sup>	8,04±0,70 <sup>a</sup>	0,231±0,004 <sup>a</sup>	0,240±0,005 <sup>a</sup>	4,0±0,6 <sup>a</sup>	3,9±0,4 <sup>a</sup>	0,9±0,2 <sup>a</sup>	1,0±0,2 <sup>a</sup>
K5	6,26±0,89 <sup>a</sup>	6,62±0,16 <sup>a</sup>	0,176±0,004 <sup>a</sup>	0,166±0,001 <sup>b</sup>	3,5±0,5 <sup>a</sup>	3,9±0,8 <sup>a</sup>	0,9±0,2 <sup>a</sup>	0,9±0,2 <sup>a</sup>

Napomena:

SV-sadržaj vlage (%);  $a_w$  aktivnost vode; SP-sila presecanja (kg); SPr-sila probijanja (kg).

Tabela 32. Eksperimentalno određene vrednosti sadržaja ukupnih fenola i ukupnih flavonoida i antioksidativna aktivnost (FRAP, DPPH i ABTS test) uzoraka kajsije osušene u VS-P i VS-E

	SUF		SUFL		FRAP		DPPH		ABTS	
	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E
K1	227,54±2,4 <sup>a</sup>	198,66±2,8 <sup>b</sup>	396±7 <sup>a</sup>	387±5 <sup>a</sup>	1,81±0,01 <sup>a</sup>	1,77±0,01 <sup>b</sup>	5,42±0,11 <sup>a</sup>	5,29±0,02 <sup>a</sup>	4,830±0,08 <sup>a</sup>	4,674±0,08 <sup>a</sup>
K2	303,12±5,5 <sup>a</sup>	286,97±1,5 <sup>b</sup>	431±6 <sup>a</sup>	386±3 <sup>b</sup>	2,08±0,03 <sup>a</sup>	1,92±0,02 <sup>b</sup>	6,84±0,04 <sup>a</sup>	6,18±0,09 <sup>b</sup>	7,218±0,12 <sup>a</sup>	6,801±0,07 <sup>b</sup>
K3	268,96±0,5 <sup>b</sup>	290,11±2,3 <sup>a</sup>	439±7 <sup>a</sup>	428±4 <sup>a</sup>	1,82±0,00 <sup>b</sup>	1,92±0,01 <sup>a</sup>	6,09±0,02 <sup>b</sup>	6,89±0,11 <sup>a</sup>	6,100±0,09 <sup>b</sup>	6,980±0,10 <sup>a</sup>
K4	235,08±1,9 <sup>b</sup>	255,30±1,9 <sup>a</sup>	401±6 <sup>a</sup>	386±7 <sup>b</sup>	1,85±0,01 <sup>a</sup>	1,86±0,02 <sup>a</sup>	5,49±0,06 <sup>b</sup>	5,78±0,00 <sup>a</sup>	5,710±0,05 <sup>a</sup>	5,329±0,00 <sup>b</sup>
K5	228,41±3,1 <sup>b</sup>	303,30±2,1 <sup>a</sup>	392±6 <sup>a</sup>	378±3 <sup>b</sup>	1,87±0,01 <sup>b</sup>	1,96±0,01 <sup>a</sup>	5,52±0,05 <sup>a</sup>	5,44±0,07 <sup>a</sup>	5,332±0,04 <sup>a</sup>	5,166±0,06 <sup>b</sup>

Napomena:

SUF-sadržaj ukupnih fenola (mg GAE/100 g); SUFL-sadržaj ukupnih flavonoida (mg CE/100 g); FRAP test (mg Fe<sup>2+</sup>/g); DPPH test (mg Trolox/g); ABTS test (mg Trolox/g).

## 5 ZAKLJUČAK

U istraživanjima obuhvaćenim ovom disertacijom realizovana je inovacija u oblasti tehnike sušenja voća u vakuumu, ispitane su fizičke hemijske i biološke osobine voća osušenog različitim tehnikama sušenja i ispitana je mogućnost primene različitih metoda statističke obrade podataka za opisivanje korelacije primenjenih parametara sušenja i fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenog koštičavog voća.

Zaključci izvedeni na osnovu rezultata istraživanja prikazanih u okviru ove doktorske disertacije obuhvataju:

- Projektovan, konstruisan, instaliran i testiran inovativni prototip vakuum sušare sa ejektorskim sistemom u laboratoriji predmeta Tehnologija proizvoda od voća i povrća Tehnološkog fakulteta Novi Sad, Univerziteta u Novom Sadu. Inovacija je uspešno realizovana u okviru inovacionog projekta „Razvoj prototipa vakuum sušare sa ejektorskim sistemom“ (br. 1068) u okviru Programa za transfer tehnologije, Fonda za inovacionu delatnost Republike Srbije.
- Definisane fizičke, hemijske i biološke osobine (sadržaj vlage,  $a_w$  vrednost, ukupna promena boje ( $\Delta E$ ), teksturalne osobine (sila presecanja, sila probijanja, tvrdoća, elastičnost, kohezivnosti i žvakljivost uzoraka), sadržaj ukupnih fenola, ukupnih flavonoida i ukupnih monomernih antocijana i antioksidativna aktivnost (FRAP, DPPH i ABTS test)) konvektivno osušenog, vakuum osušenog i liofilizovanog koštičavog voća (višnja (Feketička i Erdi

Botermo), trešnja (Lapins i Sweet Heart), kajsija (Buda i NS4), šljiva (Toptaste i Anna Spath) i breskva (Lela i Fairtime)) sa sledećim zaključcima:

- Najniži sadržaj vlage (6,54%),  $a_w$  vrednosti (0,255) i ukupne promene boje (3,15) svih ispitivanih osušenih uzoraka koštičavog voća zabeležen je u liofilizovanom uzorku šljive sorte Toptaste, liofilizovanom uzorku višnje sorte Erdi Botermo i liofilizovanom uzorku kajsije sorte NS4; konvektivno osušenoj višnji Feketička, redom.
  - Na osnovu rezultata dobijenih za teksturalne osobine svih osušenih uzoraka koštičavog voća zaključeno je da je primenjena tehnika sušenja značajno uticala ( $p < 0,05$ ) na silu presecanja, tvrdoću, elastičnost i kohezivnost kajsije sorte NS4. S druge strane, sorta višnje nije značajno uticala ( $p < 0,05$ ) na silu presecanja, silu probijanja, tvrdoću, elastičnost i žvkljivost tokom vakuum sušenja.
  - Najveći sadržaj ukupnih fenola i flavonoida svih osušenih uzoraka koštičavog voća zabeležen je u vakuum osušanim uzorcima višnje sorte Feketička, dok je najveći sadržaj ukupnih monomernih antocijana zabeležen u vakuum osušenom uzorku šljive sorte Toptaste. Primenjena tehnika sušenja značajno je uticala ( $p < 0,05$ ) na sadržaj ukupnih fenola, flavonoida i monomernih antocijana u osušanim uzorcima višnje sorte Feketička, trešnje sorte Lapins, višnje sorte Sweet Heart i šljive sorte Toptaste.
  - Na osnovu rezultata dobijenih DPPH i ABTS antioksidativnim testovima, konvektivno osušene šljive sorte Toptaste imale su najveću antioksidativnu aktivnost dok je na osnovu FRAP testa zabeleženo da je vakuum osušena višnja sorte Feketička imala najveću antioksidativnu aktivnost. Primenjena tehnika sušenja značajno je uticala ( $p < 0,05$ ) na antioksidativnu aktivnost osušenih uzoraka višnje sorte Feketička, šljive sorte Anna Spath i breskve sorte Lela, na osnovu rezultata dobijenih sa sva tri antioksidativna testa.
  - Sadržaj mikotoksina (BEA i ENN A, A1, B, B1) u uzorcima svežeg i osušenog koštičavog voća ispitan je u Laboratoriji za analizu hrane, Departmana za Bioanalizu na Univerzitetu u Gentu (Belgija) i na osnovu dobijenih rezultata, nije zabeleženo prisustvo navedenih mikotoksina ni u jednom od ispitivanih uzoraka.
- Statističke metode obrade podataka (analiza glavnih komponentata (PCA), veštačke neuronske mreže (ANN) i modelovanje sušenja) uspešno su primenjene za opisivanje funkcionalne zavisnosti primenjenih parametara sušenja i fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenog voća, optimizaciju procesa sušenja kao i za pronalaženje modela koji najbolje opisuje proces sušenja.



- Analiza glavnih komponenata PCA uspešno je primenjena u pogledu razlikovanja uzoraka osušenih različitim tehnikama sušenja, a takođe i pronalaženja povezanosti između ispitivanih fizičkih, hemijskih i bioloških parametara uzoraka. Prve tri glavne komponente opisivale su 76,6% ukupne varijanse modela. Najveća razlika u grupama svežih, konvektivno osušenih i vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka zabeležena je kod svežih i osušenih uzoraka višnje sorti Feketićka i Erdi Botermo.
- Model veštačke neuronske mreže uspešno je primenjen za optimizaciju procesa vakuum sušenja trešnje u pogledu fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenih uzoraka:
  - Na osnovu rezultata dobijenih za fizičke, hemijske i biološke parametre vakuum osušene trešnje, zabeleženo je da je najniži sadržaj vlage i aktivnosti vode vakuum osušene trešnje zabeležen u uzorku koji je osušen na 65°C, 20 mbar i 8,5 h i na 60°C, 20 mbar i 7,8 h, redom. Takođe, najveći ukupni sadržaj fenola, flavonoida i monomernih antocijana i takođe najveća antioksidativna aktivnost određena pomoću sva tri testa zabeležena je u uzorku osušenom na 50°C, 20 mbar i 7,5 h. Zabeleženo je i da je minimum vrednosti svih ispitivanih parametara teksture (sila presecanja, sila probijanja, tvrdoća, elastičnost, kohezivnost i žvakljivost) zabeležen u uzorcima osušenim na pritisku od 200 mbar, dok je maksimum vrednosti za sve ispitivane teksturalne osobine zabeležen na nižim pritiscima (20 i 65 mbar), što ukazuje na to da je pritisak uticao značajno na teksturalne osobine trešnje tokom vakuum sušenja. Što se tiče uticaja temperature tokom vakuum sušenja, zabeleženo je da temperatura nije imala tako značajan uticaj kao pritisak na teksturalne osobine u temperaturnom opsegu ispitivanom u okviru istraživanja, u poređenju sa uticajem pritiska tokom vakuum sušenja trešnje.
  - Ispitan je uticaj procesnih parametara (temperature i pritiska) na izlazne parametre (sadržaj vlage, aktivnost vode, sadržaj ukupnih fenola, flavonoida i monomernih antocijana i antioksidativne aktivnosti (FRAP, DPPH i ABTS)) i proces vakuum sušenja optimizovan je pomoću RACI, standardnih ocena i veštačke neuronske mreže. RACI i standardna ocena bile su u korelaciji i na osnovu rezultata ovih analiza, kao optimalni uslovi za vakuum sušenje trešnje zabeleženi su 50°C i 20 mbar, (vrednosti polariteta za sadržaj vlage i aktivnost vode su smatrani negativnim pri određivanju optimalne vrednosti temperature i pritiska, a vrednosti polariteta za ostale parametre su smatrani pozitivnim). Na osnovu rezultata primenjene veštačke neuronske mreže koeficijent determinacije ( $R^2$ ) svih ispitivanih parametara varirao je između 0,820 (FRAP test) i 0,964 ( $a_w$  vrednost), a srednja vrednost  $R^2$  (0,872) ukazala je na to da ispitana neuronska mreža može uspešno da se primeni za opisivanje vakuum sušenja trešnje, sorte Lapins u opsegu

temperatura od 50 do 70°C i pritiska između 20 i 200 mbar ispitano u okviru ovog istraživanja.

- Tačnost ANN modela je ispitana tako što su testirana dva uzorka koji nisu bili deo eksperimentalnog plana (53°C i 40 mbar; 67°C i 180 mbar) i dobijeni su dobri rezultati predviđanja modela. Optimizovan proces vakuum sušenja predstavlja značajnu podlogu za mogućnost primene vakuum sušenja trešnje u industrijskim uslovima s obzirom da je na osnovu dobijene neuronske mreže moguće izračunati izlazne parametre za proizvoljne vrednosti temperature i pritiska kao ulaznih parametara. Takođe, na osnovu rezultata Yoon i sar. (1993) zabeleženo je da se u domenu ispitivanih ulaznih parametara, pritisak pokazao kao uticajni parametar u slučaju vakuum sušenja trešnje u okviru ovog istraživanja u poređenju sa uticajem temperature.
- Na osnovu rezultata dobijenih za matematičko modelovanje procesa vakuum sušenja trešnje zaključeno je da je najveća srednja vrednost  $R^2$  (0,9985) i najniža srednja vrednost AARD (0,94%), RMSE (0,5230) i  $\chi^2$  (0,0091) zabeležena za model Midilli i sar., a samim tim je ovaj model izabran kao najpogodniji za prezentovanje sušenja trešnje tokom vakuum sušenja.
- Na osnovu poređenja rezultata analiza sadržaja suve materije,  $a_w$  vrednosti, sile presecanja uzorka, sadržaja ukupnih fenola, sadržaja ukupnih flavonoida i antioksidativne aktivnosti (FRAP, DPPH i ABTS test) kajsije i višnje osušene u vakuum sušari sa vakuum pumpom i vakuum sušari sa ejektorskim sistemom, zaključeno je da vakuum sušara sa ejektorskim sistemom daje slične rezultate kao i vakuum sušara sa vakuum pumpom u pogledu svih ispitivanih fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenih uzoraka. S obzirom na prednosti koje vakuum sušara sa ejektorskim sistemom poseduje, u pogledu manjeg ulaganja u opremu i manjih troškova održavanja, uz dobijene rezultate da inovativna sušara daje slične rezultate ispitivanih fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenih uzoraka kao i vakuum sušara sa vakuum pumpom, zaključeno je da na osnovu svih kriterijuma u pogledu ekonomičnosti procesa i kvaliteta osušenog proizvoda, inovativna vakuum sušara predstavlja dobar izbor tehnike sušenja voća. Kriterijumi kvaliteta u pogledu fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenog voća ispunjeni su i kod vakuum sušare sa vakuum pumpom i u slučaju sušare sa ejektorskim sistemom, dok se u ekonomskom smislu ulaganja i održavanja svakako izdvaja inovativna sušara sa ejektorskim sistemom.

Rezultati dobijeni u okviru ove doktorske disertacije predstavljaju dobru osnovu za dalja istraživanja u različitim naučnim oblastima. S obzirom da su u okviru ovog istraživanja uspešno definisani uslovi sušenja pri kojima se optimalno mogu sačuvati bioaktivne komponente voća osušenog različitim tehnikama sušenja, započeta su dalja istraživanja u pravcu očuvanja ovih

komponentata u toku roka upotrebe proizvoda ispitivanjem pogodnih ambalažnih materijala za pakovanje osušenog voća kao i u pravcu primene različitih metoda ekstrakcije ovih komponentata iz osušenih uzoraka voća. Prvi rezultati iz pomenutih oblasti pokazali su uspešnu primenu ambalažnih materijala razvijenih u Laboratoriji za ambalažu i pakovanje Tehnološkog fakulteta Novi Sad u pogledu očuvanja fizičkih, hemijskih i bioloških osobina osušenih uzoraka u vremenskom periodu roka upotrebe osušenog voća. Takođe, uspešno su primenjene različite metode ekstrakcije bioaktivnih komponentata iz uzoraka voća osušenog na utvrđenim optimalnim uslovima sušenja. Ispitivani parametri ultrazvučne ekstrakcije bili su temperatura, vreme ekstrakcije, koncentracija etanola, snaga ultrazvuka i odnos rastvarač-droga. Metodom RSM dobijeni su optimalni parametri za ekstrakciju polifenola ultrazvučnom ekstrakcijom iz osušenog uzorka drenjine (Vakula i sar., 2019).

## 6 LITERATURA

1. Aghbashlo, M., Hosseinpour, S., Mujumdar, A. S. (2015). Application of artificial neural networks (ANNs) in drying technology: a comprehensive review. *Drying Technology*, 33, 1397-1462.
2. Alique, R., Martínez, M. A., Alonso, J. (2003). Influence of the modified atmosphere packaging on shelf life and quality of Navalinda sweet cherry. *European Food Research and Technology*, 217, 416-420.
3. Alonso, J., Alique, R. (2006). Sweet cherries. In: Hui, Y.H., Barta, J., Pilar Cano, M., Gusek, T., Sidhu, J.S., Sinha, N.K. (Eds.): *Handbook of fruits and fruit processing*. Blackwell Publishing Professional, Ames, Iowa, pp. 559-368.
4. Altemimi, A., Watson, D. G., Choudhary, R., Dasari, M. R., Lightfoot, D. A. (2016). Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from peaches and pumpkins. *PLoS One*, 11, e0148758
5. Artés, F., Mínguez, M.I., Hornero, D. (2002). Analysing changes in fruit pigments. In: MacDougall, D. B. (Ed.). *Colour in food improving quality*, CRC Press, Woodhead Publishing, Cambridge, England, pp. 248-282.
6. Atsamnia, D., Hamadache, M., Hanini, S., Benkortbi, O., Oukrif, D. (2017). Prediction of the antibacterial activity of garlic extract on *E. coli*, *S. aureus* and *B. subtilis* by determining the

- diameter of the inhibition zones using artificial neural networks. *LWT-Food Science and Technology*, 82, 287-295.
7. Ballistreri, G., Continella, A., Gentile, A., Amenta, M., Fabroni, S., Rapisarda, P. (2013). Fruit quality and bioactive compounds relevant to human health of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars grown in Italy. *Food Chemistry*, 140, 630-638.
  8. Barać, G., Milić, B., Magazin, N., Ognjanov, V., Keserović, Z., Ivanišević, D., Kalajdžić, M. (2020). Sorte i selekcije voćaka iz severozapadne Srbije i istočne Hrvatske. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Srbija.
  9. Basheer, I. A., Hajmeer, M. (2000). Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of Microbiological Methods*, 43, 3-31.
  10. Bassi, D., Mignani, I., Spinardi, A., Tura, D. (2015). Peach (*Prunus persica* (L.) Batsch). In: Preedy, V.R., Simmonds, S.J. (Eds.): *Nutritional Composition of fruit cultivars*, Elsevier, 535-572.
  11. Bastos, C., Barros, L., Dueñas, M., Calhella, R. C., Queiroz, M. J. R., Santos-Buelga, C., Ferreira, I. C. (2015). Chemical characterisation and bioactive properties of *Prunus avium* L.: The widely studied fruits and the unexplored stems. *Food chemistry*, 173, 1045-1053.
  12. Belibağlı, K. B., Dalgic, A. C. (2007). Rheological properties of sour-cherry juice and concentrate. *International Journal of Food Science & Technology*, 42, 773-776.
  13. Belitz H.D., Grosch W. (1987). *Food Chemistry*, Springer - Verlag, Berlin - Heidelberg.
  14. Benković, M., Tušek, A. J., Belščak-Cvitanović, A., Lenart, A., Domian, E., Komes, D., Bauman, I. (2015). Artificial neural network modelling of changes in physical and chemical properties of cocoa powder mixtures during agglomeration. *LWT-Food Science and Technology*, 64, 140-148.
  15. Benzie, I. F., Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70-76.
  16. Bianchi, T., Guerrero, L., Gratacós-Cubarsí, M., Claret, A., Argyris, J., Garcia-Mas, J., Hortós, M. (2016). Textural properties of different melon (*Cucumis melo* L.) fruit types: Sensory and physical-chemical evaluation. *Scientia Horticulturae*, 201, 46-56.
  17. Blando, F., Oomah, B. D. (2019). Sweet and sour cherries: Origin, distribution, nutritional composition and health benefits. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 517-529.
  18. Bourne, M. (2009). *Texture in solid and semisolid foods*. Food Engineering-Volume II, EOLSS Publications, pp. 224.
  19. Bourne, M. C. (1974). Textural changes in ripening peaches. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 7, 11-15.
  20. Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32, 62-66.
  21. Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28, 25-30.

22. Brlek, T., Pezo, L., Voća, N., Krička, T., Vukmirović, Đ., Čolović, R., Bodroža-Solarov, M. (2013). Chemometric approach for assessing the quality of olive cake pellets. *Fuel Processing Technology*, 116, 250-256.
23. Bubić, Š. (1977). *Specijalno voćarstvo*. Svjetlost, Sarajevo, Bosna i Hercegovina.
24. Bulatović, S., Mihajlović, B. (1988). *Voćarski priručnik*. Nolit, Beograd, Srbija.
25. Cantin, C. M., Moreno, M. A., Gogorcena, Y. (2009). Evaluation of the antioxidant capacity, phenolic compounds, and vitamin C content of different peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] breeding progenies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 4586-4592.
26. Castellari, M., Matricardi, L., Arfelli, G., Galassi, S., Amati, A. (2000). Level of single bioactive phenolics in red wine as a function of the oxygen supplied during storage. *Food Chemistry*, 69, 61-67.
27. Cevallos-Casals, B. A., Byrne, D., Okie, W. R., Cisneros-Zevallos, L. (2006). Selecting new peach and plum genotypes rich in phenolic compounds and enhanced functional properties. *Food Chemistry*, 96, 273-280.
28. Ceylan, I., Aktaş, M. (2008). Modeling of a hazelnut dryer assisted heat pump by using artificial neural networks. *Applied Energy*, 85, 841-854.
29. Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., Basak, T. (2013). Microwave food processing—A review. *Food Research International*, 52, 243-261.
30. Chattopadhyay, P. B., Rangarajan, R. (2014). Application of ANN in sketching spatial nonlinearity of unconfined aquifer in agricultural basin. *Agricultural Water Management*, 133, 81-91.
31. Chegini, G. R., Khazaei, J., Ghobadian, B., Goudarzi, A. M. (2008). Prediction of process and product parameters in an orange juice spray dryer using artificial neural networks. *Journal of Food Engineering*, 84, 534-543.
32. Chiang, C. Y., Chen, K. S., Chu, C. Y., Chang, Y. L., Fan, K. C. (2018). Color enhancement for four-component decomposed polarimetric SAR image based on a CIE-Lab encoding. *Remote Sensing*, 10, 545.
33. Chirife, J., Fontana, A. (2007). Introduction: Historical Highlights of Water Activity Research. In: Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana, A., Schmidt, S., Labuza, T. P. (Eds.): *Water Activity in Foods - Fundamentals and Applications*, Blackwell Publishing Professional, Iowa, 3-12.
34. Chong, C. H., Law, C. L., Figiel, A., Wojdyło, A., Oziembłowski, M. (2013). Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. *Food Chemistry*, 141, 3889-3896.
35. Chua, K. J., Chou, S. K., Yang, W. M. (2010). Advances in heat pump systems: A review. *Applied energy*, 87, 3611-3624.

36. Cinquanta, L., Di Matteo, M., Esti, M. (2002). Physical pre-treatment of plums (*Prunus domestica*). Part 2. Effect on the quality characteristics of different prune cultivars. *Food Chemistry*, 79, 233-238.
37. Damar, İ., Ekşi, A. (2012). Antioxidant capacity and anthocyanin profile of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) juice. *Food Chemistry*, 135, 2910-2914.
38. Darıcı, S., Şen, S. (2015). Experimental investigation of convective drying kinetics of kiwi under different conditions. *Heat and Mass Transfer*, 51, 1167-1176.
39. Das Gupta, D. K., Jayaraman, K. S. (2006). Drying of fruits and vegetables. In A. S. Mujumdar (Ed.), *Handbook of Industrial Drying*, Third Edition. CRC Press
40. De Castro, M. L., Priego-Capote, F. (2010). Soxhlet extraction: Past and present panacea. *Journal of Chromatography A*, 1217, 2383-2389.
41. Decler, M., Rajkovic, A., Sas, B., Madder, A., De Saeger, S. (2016). Development and validation of ultra-high-performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry methods for the simultaneous determination of beauvericin, enniatins (A, A1, B, B1) and cereulide in maize, wheat, pasta and rice. *Journal of Chromatography A*, 1472, 35-43.
42. Della Strada, G., Fideghelli, C., Monastra, F., Liverani A., Rivalta L. (1984). *Monografia di cultivar di pesco da consumo fresco*. I.S.F., Roma, Italy.
43. Diamante, L. M., Munro, P. A. (1991). Mathematical modelling of hot air drying of sweet potato slices. *International Journal of Food Science & Technology*, 26, 99-109.
44. Dillard, C. J., German, J. B. (2000). Phytochemicals: nutraceuticals and human health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1744-1756.
45. Donen, I. (1939). The role of sorbitol in the carbon-metabolism of the Kelsey plum: Changes in chemical composition during growth and storage. *Biochemical Journal*, 33, 1611-1620.
46. Doymaz, İ. (2008). Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47, 914-919.
47. Doymaz, İ., İsmail, O. (2011). Drying characteristics of sweet cherry. *Food and Bioproducts processing*, 89, 31-38.
48. Drusch, S., Ragab, W. (2003). Mycotoxins in fruits, fruit juices, and dried fruits. *Journal of Food Protection*, 66, 1514-1527.
49. Dugalić, K. (2015). *Promjene fizikalnih i kemijskih svojstava plodova šljiva tijekom zrenja*. Doktorska disertacija. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb, Hrvatska.
50. Erbay, Z., Icier, F. (2010). A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50, 441-464.
51. Erle, U., Schubert, H. (2001). Combined Osmotic and Microwave-Vacuum Dehydration of Apples and Strawberries. In: Fito, P., Chiralt, A., Manuel Barat, J., Spiess, W. E. L., Behnlian, D.

- (Eds.): Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation Applications in Food Industries, CRC Press.
52. Esti, M., Cinquanta, L., Sinesio, F., Moneta, E., Di Matteo, M. (2002). Physicochemical and sensory fruit characteristics of two sweet cherry cultivars after cool storage. *Food Chemistry*, 76, 399-405.
  53. Fan, X., Xi, Y., Zhao, H., Liu, B., Cao, J., Jiang, W. (2018). Improving fresh apricot (*Prunus armeniaca* L.) quality and antioxidant capacity by storage at near freezing temperature. *Scientia Horticulturae*, 231, 1-10.
  54. Fellows, P. J. (2009). *Food processing technology: principles and practice*. Elsevier.
  55. Franceschinis, L., Sette, P., Schebor, C., Salvatori, D. (2015). Color and bioactive compounds characteristics on dehydrated sweet cherry products. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 1716-1729.
  56. Fuleki, T., Francis, F. J. (1968). Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *Journal of Food Science*, 33, 72-77.
  57. Gardner, M. W., Dorling, S. R. (1998). Artificial neural networks (the multilayer perceptron)—a review of applications in the atmospheric sciences. *Atmospheric Environment*, 32, 2627-2636.
  58. Garofulić, I. E., Dragović-Uzelac, V., Jambrak, A. R., Jukić, M. (2013). The effect of microwave assisted extraction on the isolation of anthocyanins and phenolic acids from sour cherry Marasca (*Prunus cerasus* var. Marasca). *Journal of Food Engineering*, 117, 437-442.
  59. Giusti, M. M., Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1, F1-2.
  60. Goyal, R. K., Kingsly, A. R. P., Manikantan, M. R., Ilyas, S. M. (2007). Mathematical modelling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. *Journal of Food Engineering*, 79, 176-180.
  61. Grieu, S., Faugeroux, O., Traoré, A., Claudet, B., Bodnar, J. L. (2011). Artificial intelligence tools and inverse methods for estimating the thermal diffusivity of building materials. *Energy and Buildings*, 43, 543-554.
  62. Harborne, A. J. (1998). *Phytochemical methods a guide to modern techniques of plant analysis*. Springer Science & Business Media. Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 1-36.
  63. Henderson, S. M. (1974). Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the ASAE*, 17, 1167-1168.
  64. Henderson, S. M., Pabis, S. (1961). Grain drying theory, I. Temperature effect on drying constant. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 21-26.
  65. Henríquez, C., Córdova, A., Almonacid, S., Saavedra, J. (2014). Kinetic modeling of phenolic compound degradation during drum-drying of apple peel by-products. *Journal of Food Engineering*, 143, 146-153.



66. Hernandez-Perez, J. A., Garcia-Alvarado, M. A., Trystram, G., Heyd, B. (2004). Neural networks for the heat and mass transfer prediction during drying of cassava and mango. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5, 57-64.
67. stat.gov.rs Republički zavod za statistiku, RZS (2020)
68. statsoft.com/ StatSoft, Inc. (2010). STATISTICA (data analysis software system), verzija 10.0.
69. fdc.nal.usda.gov/ USDA (2020).
70. Hu, X., Weng, Q. (2009). Estimating impervious surfaces from medium spatial resolution imagery using the self-organizing map and multi-layer perceptron neural networks. *Remote Sensing of Environment*, 113, 2089-2102.
71. Hussain, A., Yasmin, A., Ali, J. (2010). Comparative study of chemical composition of some dried apricot varieties grown in northern areas of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 42, 2497-2502.
72. Hussain, M. A., Rahman, M. S., Ng, C. W. (2002). Prediction of pores formation (porosity) in foods during drying: generic models by the use of hybrid neural network. *Journal of Food Engineering*, 51, 239-248.
73. Igual, M., García-Martínez, E., Martín-Esparza, M. E., Martínez-Navarrete, N. (2012). Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. *Food Research International*, 47, 284-290.
74. Jelen, P. (2005). *Foods*, 2. Food Technology in Wiley, J. (ed.): Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley. 8-13.
75. Jokić, A. (2010). Modelovanje "cross-flow" mikrofiltracije suspenzija kvasca primenom koncepta neuronskih mreža i postupka odzivne površine. Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad, Srbija.
76. Jolliffe, I. T. (2010). *Principal Component Analysis*, Second Edition. Springer, New York, viii.
77. Karabulut, I., Topcu, A., Duran, A., Turan, S., Ozturk, B. (2007). Effect of hot air drying and sun drying on color values and  $\beta$ -carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 40, 753-758.
78. Karathanos, V. T. (1999). Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 39, 337-344.
79. Keserović, Z., Magazin, N., Milić, B., Dorić, M. (2016). Voćarstvo i vinogradarstvo (deo voćarstvo). Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Srbija.
80. Keserović, Z., Magazin, N., Milić, B., Igić, M., Miodragović, M., Kalajdžić, J. (2018). New apricot cultivar-'Buda'. *Voćarstvo*, 52, 27-31.
81. Khan, M. K., Ahmad, K., Hassan, S., Imran, M., Ahmad, N., Xu, C. (2018). Effect of novel technologies on polyphenols during food processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 361-381.

82. Khoo, G. M., Clausen, M. R., Pedersen, B. H., Larsen, E. (2011). Bioactivity and total phenolic content of 34 sour cherry cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 772-776.
83. Khoshhal, A., Dakhel, A. A., Etemadi, A., Zereski, S. (2010). Artificial neural network modeling of apple drying process. *Journal of Food Process Engineering*, 33, 298-313.
84. Kilcast, D. (2004). *Texture in food: Solid foods*. Elsevier.
85. Kim, D. O., Jeong, S. W., Lee, C. Y. (2003). Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry*, 81, 321-326.
86. Kingsly, R. P., Goyal, R. K., Manikantan, M. R., Ilyas, S. M. (2007). Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. *International Journal of Food Science & Technology*, 42, 65-69.
87. Kocić-Tanackov, S. (2012). Uticaj ekstrakata začina na rast plesni i biosintezu mikotoksina. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad, Srbija.
88. Kumar, C., Karim, M. A. (2019). Microwave-convective drying of food materials: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, 379-394.
89. Kunzek, H., Kabbert, R., Gloyna, D. (1999). Aspects of material science in food processing: changes in plant cell walls of fruits and vegetables. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A*, 208, 233-250.
90. Kurmanov, N., Shingissov, A., Kantureyeva, G., Nurseitova, Z., Tolysbaev, B., Shingisova, G. (2015). Research of plum drying process. In *CBU International Conference Proceedings (Vol. 3, 494-5)*.
91. Kwon, G. M., Kim, J. W., Youn, K. (2013). Effect of different pre-treatments on the physicochemical and antioxidant activities of cold-vacuum dried peaches. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 45, 466-472.
92. Lazarides, H. N. (2001). Reasons and Possibilities to Control Solids Uptake during Osmotic Treatment of Fruits and Vegetables. In: Fito, P., Chiralt, A., Manuel Barat, J., Spiess, W. E. L., Behnlian, D. (Eds.): *Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation Applications in Food Industries*, CRC Press.
93. Lin, R. R., Rao, V. N. M. (1982). Sensory, physical and chemical properties of canned peaches. *Journal of Food Science*, 47, 317-318.
94. Liu, H.R. (2004). Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. *International Research Conference on Food, Nutrition, and Cancer. The Journal of Nutrition*, 3479-3485.
95. MacDonald, S., Wilson, P., Barnes, K., Damant, A., Massey, R., Mortby, E., Shepherd, M. J. (1999). Ochratoxin A in dried vine fruit: method development and survey. *Food Additives & Contaminants*, 16, 253-260.

96. Madamba, P. S. (2002). The response surface methodology: an application to optimize dehydration operations of selected agricultural crops. *LWT-Food Science and Technology*, 35, 584-592.
97. Madrau, M. A., Piscopo, A., Sanguinetti, A. M., Del Caro, A., Poiana, M., Romeo, F. V., Piga, A. (2009). Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. *European Food Research and Technology*, 228, 441.
98. Marcó, A., Rubio, R., Compañó, R., Casals, I. (2002). Comparison of the Kjeldahl method and a combustion method for total nitrogen determination in animal feed. *Talanta*, 57, 1019-1026.
99. Marić, L., Malešić, E., Tušek, A. J., Benković, M., Valinger, D., Jurina, T., Kljusurić, J. G. (2020). Effects of drying on physical and chemical properties of root vegetables: Artificial neural network modelling. *Food and Bioproducts Processing*, 119, 148-160.
100. Markakis, P. (1982). *Anthocyanin as Food Colors*. Academic Press, INC, New York , New York, 5.
101. Martini, S., Conte, A., Tagliazucchi, D. (2017). Phenolic compounds profile and antioxidant properties of six sweet cherry (*Prunus avium*) cultivars. *Food Research International*, 97, 15-26.
102. 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, 253-262.
103. Meisami-Asl, E., Rafiee, S., Keyhani, A., Tabatabaeefar, A. (2009). Mathematical modeling of moisture content of apple slices (Var. Golab) during drying. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8, 804-809.
104. Menlik, T., Özdemir, M. B., Kirmaci, V. (2010). Determination of freeze-drying behaviors of apples by artificial neural network. *Expert Systems with Applications*, 37, 7669-7677.
105. Mercali, G. D., Tessaro, I. C., Noreña, C. P., Marczak, L. D. (2010). Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of bananas (*Musa sapientum*, *shum.*). *International Journal of Food Science & Technology*, 45, 2281-2289.
106. Midilli, A. D. N. A. N., Kucuk, H. A. Y. D. A. R., Yapar, Z. İ. Y. A. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying technology*, 20, 1503-1513.
107. Milatović, D. (2013). *Kajsija*. Naučno voćarsko društvo Srbije, Čačak, Srbija.
108. Milatović, D., Nikolić, M., Miletić, N. (2011). *Trešnja i višnja*. Naučno voćarsko društvo Srbije, Čačak, Srbija.
109. Miličević, D., Nedeljković-Trailović, J., Mašić, Zoran. (2014). Mikotoksini u lancu ishrane—analiza rizika i značaj za javno zdravstvo. *Tehnologija mesa*, 55, 22-38.
110. Mišić, P. (1979). *Šljiva*. Nolit, Beograd, Srbija.
111. Moharram, H. A., Youssef, M. M. (2014). Methods for determining the antioxidant activity: a review. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 11, 31-42.

112. Momenzadeh, L., Zomorodian, A., Mowla, D. (2011). Experimental and theoretical investigation of shelled corn drying in a microwave-assisted fluidized bed dryer using Artificial Neural Network. *Food and Bioproducts Processing*, 89, 15-21.
113. Montgomery, D. C. (1984). *Design and Analysis of Experiments: Graph. Darst.* Wiley.
114. Motavali, A., Najafi, G. H., Abbasi, S., Minaei, S., Ghaderi, A. (2013). Microwave–vacuum drying of sour cherry: comparison of mathematical models and artificial neural networks. *Journal of Food Science and Technology*, 50, 714-722.
115. Movagharnejad, K., Nikzad, M. (2007). Modeling of tomato drying using artificial neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 59, 78-85.
116. Mratinić, E. (2012). *Kajsija*. Partenon, Beograd, Srbija.
117. Muskovics, G., Felföldi, J., Kovács, E., Perlaki, R., Kállay, T. (2006). Changes in physical properties during fruit ripening of Hungarian sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 40, 56-63.
118. Nadian, M. H., Rafiee, S., Aghbashlo, M., Hosseinpour, S., Mohtasebi, S. S. (2015). Continuous real-time monitoring and neural network modeling of apple slices color changes during hot air drying. *Food and Bioproducts Processing*, 94, 263-274.
119. Niketić-Aleksić, G. (1988). *Tehnologija voća i povrća*. IRO „Naučna knjiga“ Beograd. Beograd, Srbija.
120. Ognjanov, V., Miodragović, M., Barać, G., Prvulović, D., Ljubojević, M., Dulić, J., Dorić, D. (2016). ‘Prima’ Sour Cherry. *HortScience*, 51, 202-205.
121. Ouaabou, R., Nabil, B., Hidar, N., Lahnine, L., Idlimam, A., Lamharrar, A., Idlimam, A., Lamharrar, A., Hanine, H., Mahrouz, M. (2018). Valorization of solar drying process in the production of dried Moroccan sweet cherries. *Solar Energy*, 172, 158-164.
122. Pavlić, B., Kaplan, M., Bera, O., Olgun, E. O., Canli, O., Milosavljević, N., Antić, B., Zeković, Z. (2019). Microwave-assisted extraction of peppermint polyphenols–Artificial neural networks approach. *Food and Bioproducts Processing*, 118, 258-269.
123. Pedisić, S., Levaj, B., Dragović-Uzelac, V., Kos, K. (2007). Physicochemical composition, phenolic content and antioxidant activity of sour cherry cv. Marasca during ripening. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 72, 295-300.
124. Pejkić, B., Ninkovski, I. (1987). *Kajsija*. Nolit, Beograd, Srbija.
125. Pérez-Vicente, A., Serrano, P., Abellán, P., García-Viguera, C. (2004). Influence of packaging material on pomegranate juice colour and bioactive compounds, during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 639-644.
126. Piga, A., Del Caro, A., Corda, G. (2003). From plums to prunes: influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3675-3681.

127. Pravilnik o kvalitetu proizvoda od voća, povrća i pečurki i pektinskih preparata (Sl. list SFRJ, 1/79)
128. Pravilnik o metodama uzimanja uzoraka i vršenja hemijskih i fizičkih analiza radi kontrole kvaliteta proizvoda od voća i povrća (Sl. list SFRJ, 29/83)
129. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1237.
130. Roussos, P., Denaxa, NK., Tsafouros, A., Efstathios, N., Intidhar, B. (2015a). Apricot (*Prunus armeniaca* L.). In: Preedy, V.R., Simmonds, S.J. (Eds.): *Nutritional Composition of fruit cultivars*, Elsevier, 19-48.
131. Roussos, P., Efstathios, N., Intidhar, B. (2015b). Plum (*Prunus domestica* L. and *P. salicina* Lindl.) In: Preedy, V.R., Simmonds, S.J. (Eds.): *Nutritional Composition of fruit cultivars*, Elsevier, 639-666.
132. Ruiz, D., Egea, J., Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A. (2005). Characterization and quantitation of phenolic compounds in new apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 9544-9552.
133. Sacilik, K., Elicin, A. K. (2006). The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *Journal of Food Engineering*, 73, 281-289.
134. Samadi, S. H., Ghobadian, B., Najafi, G., Motevali, A., Faal, S. (2013). Drying of apple slices in combined heat and power (CHP) dryer: comparison of mathematical models and neural networks. *Chemical Product and Process Modeling*, 8, 41-52.
135. Serradilla, M. J., Hernández, M., López-Corrales, M., Ruiz-Moyano, S., de Guía Córdoba, M., Martín, A. (2015). Composition of the Cherry (*Prunus avium* L. and *Prunus cerasus* L.; *Rosaceae*). In: Preedy, V.R., Simmonds, S.J. (Eds.): *Nutritional Composition of fruit cultivars*, 127-144.
136. Serradilla, M. J., Lozano, M., Bernalte, M. J., Ayuso, M. C., López-Corrales, M., González-Gómez, D. (2011). Physicochemical and bioactive properties evolution during ripening of 'Ambrunés' sweet cherry cultivar. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 199-205.
137. Shankar, T. J., Bandyopadhyay, S. (2007). Prediction of extrudate properties using artificial neural networks. *Food and Bioproducts Processing*, 85, 29-33.
138. Shanmuganathan, S. (2016). Artificial Neural Network Modelling: An Introduction. In: Shanmuganathan, S. i Samarasinghe, S. (Eds). *Artificial Neural Network Modelling*, Springer International Publishing Switzerland, pp. 1-14.
139. Shao, P., Jiang, S. T., Ying, Y. J. (2007). Optimization of molecular distillation for recovery of tocopherol from rapeseed oil deodorizer distillate using response surface and artificial neural network models. *Food and Bioproducts Processing*, 85, 85-92.

140. Shi, Q., Zheng, Y., Zhao, Y. (2013). Mathematical modeling on thin-layer heat pump drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices. *Energy Conversion and Management*, 71, 208-216.
141. Silva, B. M., Andrade, P. B., Martins, R. C., Valentão, P., Ferreres, F., Seabra, R. M., Ferreira, M. A. (2005). Quince (*Cydonia oblonga* Miller) fruit characterization using principal component analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 111-122.
142. Singleton, V. L., Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
143. Sochor, J., Zitka, O., Skutkova, H., Pavlik, D., Babula, P., Krska, B., Horna, A., Vojtech, A., Kizek, R. (2010). Content of phenolic compounds and antioxidant capacity in fruits of apricot genotypes. *Molecules*, 15, 6285-6305.
144. Sovilj, M. (2004). Difuzione operacije. Tehnološki fakultet, Novi Sad.
145. SRPS E.B2.138:1964 Višnja za industrijsku preradu, Institut za standardizaciju Srbije, Beograd.
146. Stanišić, S. (1988). Tehnološke operacije II (toplotne i difuzione operacije). Jugoslovenski institut prehrambenog inženjerstva, Novi Sad, Srbija.
147. Stéger-Máté, M. (2006). Speciality Fruits Unique to Hungary. In: Hui, Y.H., Barta, J., Pilar Cano, M., Gusek, T., Sidhu, J.S., Sinha, N.K. (Eds.): *Handbook of fruits and fruit processing*, Blackwell Publishing Professional, Iowa, 665-678.
148. Sun, T., Ho, C. T. (2001). Antiradical efficiency of tea components. *Journal of Food Lipids*, 8, 231-238.
149. Szczesniak, A. S. (1973). Instrumental methods of texture measurements. In: *Texture measurements of foods*, Springer, Dordrecht, pp. 71-108.
150. Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 215-225.
151. Škaljac, S. (2014). Uticaj različitih tehnoloških parametara na formiranje boje tradicionalne fermentisane kobasice (Petrovačka kobasica) tokom standardizacije bezbednosti i kvaliteta. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad, Srbija.
152. Škrinjar, M., Tešanović, D. (2007). Hrana u ugostiteljstvu i njeno čuvanje. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Srbija.
153. Šumić, Z. (2014). Optimizacija sušenja voća u vakuumu. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad, Srbija.
154. Šumić, Z., Tepić Horecki, A., Đilas, S., Jokić, S. (2014). Laboratorijska vakuum sušara za voće. Tehničko rešenje. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad, Srbija.
155. Šumić, Z., Tepić, A., Vidović, S., Jokić, S., Malbaša, R. (2013). Optimization of frozen sour cherries vacuum drying process. *Food Chemistry*, 136, 55-63.

156. Šumić, Z., Tepić, A., Vidović, S., Vakula, A., Vladić, J., Pavlić, B. (2017). Process optimization of chanterelle (*Cantharellus cibarius*) mushrooms vacuum drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, e12822.
157. Šumić, Z., Tepić, A., Vidović, S., Vladić, J., Pavlić, B. (2016a). Drying of shiitake mushrooms in a vacuum dryer and optimization of the process by response surface methodology (RSM). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10, 425-433.
158. Šumić, Z., Vakula, A., Tepić, A., Čakarević, J., Vitas, J., Pavlić, B. (2016b). Modeling and optimization of red currants vacuum drying process by response surface methodology (RSM). *Food Chemistry*, 203, 465-475.
159. Taoukis, P. S., Richardson, M. (2007). Principles of intermediate-moisture foods and related technology. *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*, Blackwell Publishing Professional, Iowa, 385-424.
160. Tarhan, S. (2007). Selection of chemical and thermal pretreatment combination for plum drying at low and moderate drying air temperatures. *Journal of Food Engineering*, 79, 255-260.
161. Tepić Horecki, A. (2019). Tehnologija proizvoda od voća i povrća. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Srbija.
162. Tepić Horecki, A., Vakula, A., Pavlić, B., Jokanović, M., Malbaša, R., Vitas, J., Jaćimović, V. Šumić, Z. (2018). Comparative drying of cornelian cherries: Kinetics modeling and physico-chemical properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42, e13562.
163. Tepić, A. (2012). Bojene materije voća i povrća. Tehnološki fakultet, Novi Sad.
164. Toğrul, İ. T., Pehlivan, D. (2003). Modelling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58, 23-32.
165. Tolosa, J., Font, G., Mañes, J., Ferrer, E. (2013). Nuts and dried fruits: Natural occurrence of emerging *Fusarium* mycotoxins. *Food Control*, 33, 215-220.
166. Tomás-Barberán, F. A., Gil, M. I., Cremin, P., Waterhouse, A. L., Hess-Pierce, B., Kader, A. A. (2001). HPLC– DAD– ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 4748-4760.
167. Trelea, I. C., Raoult-Wack, A. L., Trystram, G. (1997). Note: Application of neural network modelling for the control of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration) Nota: Aplicación del sistema de simulación de redes neurales para el control de la deshidratación osmótica. *Food Science and Technology International*, 3, 459-465.
168. Tsao, R., McCallum, J. (2010). Chemistry of Flavonoids. In: de la Rosa, L. A., Alvarez-Parrilla, E., González-Aguilar, G. (Eds). *Fruit and Vegetable Phytochemicals, Chemistry, Nutritional Value and Stability*, Wiley-Blackwell, Ames, Iowa, 131-154.
169. Tumbas, V. (2010). Antiradikalska i antiproliferativna aktivnost ekstrakata odabranih biljaka iz familija *Rosaceae* i *Ericaceae*. Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

170. Usenik, V., Fabčić, J., Štampar, F. (2008). Sugars, organic acids, phenolic composition and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Food Chemistry*, 107, 185-192.
171. Vakula, A., Šumić, Z., Zeković, Z., Tepić Horecki, A., Pavlić, B. (2019). Screening, influence analysis and optimization of ultrasound-assisted extraction parameters of cornelian cherries (*Cornus mas* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 43, e14226.
172. Valous, N. A., Mendoza, F., Sun, D. W. (2010). Emerging non-contact imaging, spectroscopic and colorimetric technologies for quality evaluation and control of hams: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 26-43.
173. Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Tello-Ireland, C., Miranda, M., Yagnam, F. (2009). Kinetic study of convective drying of blueberry variety O'Neil (*Vaccinium corymbosum* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69, 171-178.
174. Vereš, M. (1991). Osnovi konzervisanja namirnica. Naučna knjiga, Beograd.
175. Vlahović, B. (2015). Tržište agroindustrijskih proizvoda-specijalni deo. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Srbija.
176. Wang, J., Sheng, K. (2006). Far-infrared and microwave drying of peach. *LWT-Food Science and Technology*, 39, 247-255.
177. Wills, R. B., Scriven, F. M., Greenfield, H. (1983). Nutrient composition of stone fruit (*Prunus* spp.) cultivars: apricot, cherry, nectarine, peach and plum. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34, 1383-1389.
178. Witherspoon, J. M., Jackson, J. F. (1996). Analysis of fresh and dried apricot. In *Fruit Analysis*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 111-131.
179. Wojdyło, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., Oszmiański, J. (2014). Effect of convective and vacuum-microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 829-841.
180. Wrolstad, R. E., Acree, T. E., Decker, E. A., Penner, M. H., Reid, D. S., Schwartz, M. H., Shoemaker, C. F., Smith, D., Sporns, P. (2005). *Handbook of Food Analytical Chemistry*, Water, Proteins, Enzymes, Lipids, and Carbohydrates. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, F1.1.6.
181. Wu, B. H., Quilot, B., Génard, M., Kervella, J., Li, S. H. (2005). Changes in sugar and organic acid concentrations during fruit maturation in peaches, *P. davidiana* and hybrids as analyzed by principal component analysis. *Scientia Horticulturae*, 103, 429-439.
182. Wünsch, A., Hormaza, J. I. (2002). Cultivar identification and genetic fingerprinting of temperate fruit tree species using DNA markers. *Euphytica*, 125, 59.
183. Xing, S., Zhang, X., Gong, H. (2020). The effect of CO<sub>2</sub> concentration on sweet cherry preservation in modified atmosphere packagingtitle not given. *Czech Journal of Food Sciences*, 38, 103-108.



184. Yagcioglu, A. D. A. C. F. (1999). Drying characteristic of laurel leaves under different conditions. In Proceedings of the 7<sup>th</sup> International congress on agricultural mechanization and energy, 1999 (pp. 565-569). Faculty of Agriculture, Cukurova University.
185. Yongsawatdigul, J., Gunasekaran, S. (1996). Microwave-vacuum drying of cranberries: Part I. Energy use and efficiency. *Journal of Food Processing and Preservation*, 20, 121-143.
186. Yoon, Y., Swales Jr, G., Margavio, T. M. (1993). A comparison of discriminant analysis versus artificial neural networks. *Journal of the Operational Research Society*, 44, 51-60.
187. Youssefi, S., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, S. M. (2009). Comparison of artificial neural network (ANN) and response surface methodology (RSM) in the prediction of quality parameters of spray-dried pomegranate juice. *Drying Technology*, 27, 910-917.
188. Zielinska, M., Michalska, A. (2016). Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. *Food Chemistry*, 212, 671-680.

## **7 PRILOG**

Tabela 33. Parametri modela i statistički parametri dobijeni za Henderson-Pabis-ov model

T (°C)	p (mbar)	Regresioni koeficijenti		R <sup>2</sup>	AARD (%)	RMSE	χ <sup>2</sup>
		a	k				
50	20	1,12	0,1512	0,9241	12,42	0,0660	0,0015
	65	1,08	0,0689	0,9641	5,33	0,0372	0,0005
	110	1,04	0,0398	0,9794	1,62	0,0157	0,0002
	155	1,06	0,0497	0,9803	2,38	0,0213	0,0003
	200	1,01	0,0187	0,9897	0,52	0,0054	0,0001
55	20	1,12	0,1328	0,9369	12,41	0,0631	0,0011
	65	1,02	0,0467	0,9970	0,92	0,0078	0,0001
	110	1,01	0,0308	0,9985	0,47	0,0045	0,0000
	155	1,00	0,0114	0,9849	0,58	0,0061	0,0001
	200	1,00	0,0099	0,9951	0,22	0,0026	0,0000
60	20	1,10	0,1578	0,9472	10,86	0,0516	0,0000
	20	1,09	0,1311	0,9421	8,58	0,0523	0,0011
	20	1,11	0,1490	0,9402	10,58	0,0586	0,0013
	65	1,05	0,0937	0,9840	3,75	0,0249	0,0004
	110	1,02	0,0605	0,9978	0,75	0,0070	0,0001
	155	0,99	0,0365	0,9966	0,60	0,0064	0,0001
	200	1,01	0,0273	0,9982	0,44	0,0042	0,0000
65	20	1,13	0,1861	0,9456	17,83	0,0650	0,0013
	65	1,03	0,0870	0,9930	1,90	0,0139	0,0003
	110	1,04	0,0636	0,9912	2,03	0,0159	0,0002
	155	1,02	0,0545	0,9976	0,91	0,0076	0,0001
	200	1,00	0,0314	0,9964	0,52	0,0055	0,0001
70	20	1,14	0,1897	0,9304	18,16	0,0727	0,0016
	65	1,10	0,1315	0,9655	8,43	0,0447	0,0008
	110	1,06	0,0853	0,9843	3,79	0,0251	0,0004
	155	1,06	0,0585	0,9891	1,52	0,0131	0,0002
	200	1,02	0,0637	0,9981	0,84	0,0069	0,0001

Tabela 34. Parametri modela i statistički parametri dobijeni za modificovani Henderson Pabis-ov model

T (°C)	p (mbar)	Regresioni koeficijenti						R <sup>2</sup>	AARD (%)	RMSE	χ <sup>2</sup>
		a	k	b	g	c	h				
50	20	0,3713	0,1512	0,3701	0,1512	0,3739	0,1512	0,9241	12,42	0,0660	0,0017
	65	0,4269	0,0689	0,2045	0,0689	0,4478	0,0689	0,9642	5,33	0,0372	0,0005
	110	0,3449	0,0398	0,3448	0,0398	0,3457	0,0398	0,9794	1,62	0,0157	0,0003
	155	0,3514	0,0497	0,3534	0,0497	0,3583	0,0497	0,9803	2,38	0,0213	0,0003
	200	0,1622	-0,0417	0,4231	0,0360	0,4285	0,0360	0,9955	0,28	0,0035	0,0001
55	20	0,3729	0,1328	0,3733	0,1328	0,3731	0,1328	0,9369	12,41	0,0631	0,0012
	65	0,4433	0,0467	0,2771	0,0467	0,2995	0,0467	0,9970	0,92	0,0078	0,0001
	110	0,3503	0,0308	0,3368	0,0308	0,3213	0,0308	0,9985	0,47	0,0045	0,0000
	155	0,3334	0,0114	0,3317	0,0114	0,3320	0,0114	0,9849	0,50	0,0061	0,0001
	200	0,1356	0,0589	0,3615	0,0045	0,5035	0,0046	0,9974	0,17	0,0019	0,0000
60	20	0,3677	0,1518	0,3677	0,1518	0,3638	0,1518	0,9472	10,86	0,0557	0,0013
	20	0,3691	0,1310	0,3533	0,1311	0,3648	0,1312	0,9421	8,58	0,0523	0,0012
	20	0,3685	0,1490	0,3698	0,1490	0,3742	0,1490	0,9402	10,58	0,0586	0,0014
	65	0,3472	0,0937	0,3621	0,0937	0,3442	0,0937	0,9840	3,75	0,0249	0,0004
	110	0,3397	0,0605	0,3474	0,0605	0,3373	0,0605	0,9978	0,75	0,0070	0,0001
	155	0,4482	0,0344	0,0217	0,4285	0,5322	0,0356	0,9971	0,60	0,0058	0,0001
	200	0,3322	0,0273	0,3377	0,0273	0,3354	0,0273	0,9982	0,44	0,0042	0,0000
65	20	0,3698	0,1861	0,3743	0,1861	0,3810	0,1861	0,9456	17,83	0,0650	0,0014
	65	0,3928	0,0870	0,3885	0,0871	0,2443	0,0870	0,9930	1,90	0,0139	0,0003
	110	0,3063	0,0636	0,3192	0,0636	0,4125	0,0636	0,9911	2,03	0,0159	0,0002
	155	0,4822	0,0545	0,2627	0,0545	0,2736	0,0545	0,9976	0,91	0,0076	0,0001
	200	0,5086	0,0282	0,4639	0,0290	0,0389	0,3418	0,9982	0,36	0,0040	0,0001
70	20	0,3785	0,1897	0,3784	0,1897	0,3783	0,1897	0,9304	18,16	0,0727	0,0018
	65	0,3674	0,1315	0,3667	0,1315	0,3653	0,1315	0,9655	8,43	0,0447	0,0008
	110	0,4028	0,0853	0,3725	0,0853	0,2844	0,0853	0,9843	3,79	0,0251	0,0004
	155	0,3485	0,0585	0,3142	0,0585	0,3953	0,0585	0,9891	1,52	0,0131	0,0002
	200	0,3478	0,0637	0,3374	0,0637	0,3322	0,0637	0,9981	0,84	0,0069	0,0001

Tabela 35. Parametri modela i statistički parametri dobijeni za pojednostavljeni Fikov model difuzije

T (°C)	p (mbar)	Regresioni koeficijenti			R <sup>2</sup>	AARD (%)	RMSE	χ <sup>2</sup>
		a	c	L				
50	20	1,12	7,25	6,92	0,9241	12,42	0,0660	0,0015
	65	1,00	68,15	9,95	0,9641	5,33	0,0372	0,0005
	110	1,04	65,63	40,60	0,9794	1,62	0,0157	0,0002
	155	1,06	234,77	68,74	0,9803	2,38	0,0213	0,0003
	200	1,01	521,44	166,99	0,9897	0,52	0,0054	0,0001
55	20	1,12	16,66	11,20	0,9369	12,41	0,0631	0,0011
	65	1,02	63,82	36,96	0,9970	0,92	0,0078	0,0001
	110	1,01	236,21	87,61	0,9985	0,41	0,0041	0,0000
	155	1,00	110,14	98,48	0,9849	0,50	0,0061	0,0001
	200	1,00	69,70	83,78	0,9951	0,22	0,0026	0,0000
60	20	1,10	9,48	7,75	0,9472	11,84	0,0557	0,0012
	20	1,09	17,10	11,42	0,9421	8,58	0,0523	0,0012
	20	1,11	16,02	10,37	0,9402	10,58	0,0586	0,0013
	65	1,05	21,19	15,04	0,9840	3,75	0,0249	0,0004
	110	1,02	68,65	33,68	0,9978	0,75	0,0070	0,0001
	155	0,99	65,23	42,27	0,9966	0,60	0,0064	0,0001
	200	1,01	108,68	63,08	0,9982	0,37	0,0038	0,0000
65	20	1,13	12,66	8,25	0,9456	17,83	0,0650	0,0013
	65	1,03	69,43	28,24	0,9930	1,90	0,0139	0,0003
	110	1,04	101,63	39,97	0,9911	2,03	0,0159	0,0002
	155	1,02	248,16	67,49	0,9976	0,91	0,0076	0,0001
	200	1,00	265,67	91,99	0,9964	0,52	0,0055	0,0001
70	20	1,14	14,83	8,84	0,9304	18,16	0,0727	0,0017
	65	1,10	17,03	11,38	0,9655	8,43	0,0447	0,0008
	110	1,06	15,01	13,27	0,9843	3,79	0,0251	0,0004
	155	1,06	67,41	32,94	0,9891	1,52	0,0131	0,0002
	200	1,02	69,99	33,15	0,9981	0,84	0,0069	0,0001

Tabela 36. Parametri modela i statistički parametri dobijeni za Pelegov model

T (°C)	p (mbar)	Regresioni koeficijenti		$R^2$	AARD (%)	RMSE	$\chi^2$
		$k_1$	$k_2$				
50	20	15,8319	-0,88570	0,9988	1,11	0,0082	0,0002
	65	27,7832	-0,577400	0,9982	1,10	0,0083	0,0001
	110	43,1225	-1,219440	0,9980	0,50	0,0049	0,0001
	155	36,6423	-0,791760	0,9936	1,34	0,0122	0,0002
	200	54,0340	0,744140	0,9875	0,48	0,0059	0,0001
55	20	16,3858	-0,537210	0,9963	2,81	0,0154	0,0003
	65	25,3075	0,263000	0,9974	0,71	0,0073	0,0001
	110	35,3792	0,365150	0,9986	0,41	0,0044	0,0000
	155	90,5460	0,141070	0,9849	0,57	0,0062	0,0001
	200	85,0144	1,654340	0,9973	0,17	0,0020	0,0000
60	20	12,6774	-0,396930	0,9988	1,32	0,0086	0,0002
	20	15,8856	-0,679070	0,9990	1,03	0,0070	0,0002
	20	14,6122	-0,616990	0,9960	2,58	0,0151	0,0003
	65	16,0785	-0,026360	0,9986	0,79	0,0073	0,0001
	110	19,6858	0,277230	0,9967	0,77	0,0086	0,0001
	155	25,4475	0,681160	0,9966	0,65	0,0063	0,0001
	200	38,9854	0,381110	0,9982	0,39	0,0042	0,0000
	200	38,9854	0,381110	0,9982	0,39	0,0042	0,0000
65	20	10,5451	-0,160500	0,9953	5,01	0,0191	0,0004
	65	14,1155	0,243950	0,9956	1,30	0,0110	0,0002
	110	21,8580	0,010370	0,9987	0,62	0,0060	0,0001
	155	0,2751	0,003958	0,9987	0,58	0,0056	0,0001
	200	30,0897	0,721260	0,9971	0,43	0,0050	0,0001
70	20	11,5787	-0,417520	0,9948	4,61	0,0199	0,0004
	65	13,9235	-0,193810	0,9971	2,20	0,0130	0,0002
	110	18,0099	-0,039700	0,9985	0,88	0,0077	0,0001
	155	26,2593	-0,171440	0,9905	1,37	0,0157	0,0002
	200	17,6233	0,392220	0,9980	0,68	0,0071	0,0001

Tabela 37. Parametri modela i statistički parametri dobijeni za logaritamski model

T (°C)	p (mbar)	Regresioni koeficijenti			R <sup>2</sup>	AARD (%)	RMSE	χ <sup>2</sup>
		a	k	b				
50	20	19,93	0,0055	-18,8563	0,9813	5,93	0,0328	0,0008
	65	11,30	0,0046	-10,2618	0,9934	2,18	0,0159	0,0002
	110	8,86	0,0039	-7,8333	0,9912	1,02	0,0103	0,0002
	155	8,44	0,0048	-7,4029	0,9949	1,07	0,0108	0,0001
	200	0,34	0,0727	0,6768	0,9953	0,28	0,0036	0,0001
55	20	18,27	0,0050	-17,2040	0,9904	4,17	0,0246	0,0004
	65	1,45	0,0293	-0,4445	0,9980	0,73	0,0064	0,0001
	110	1,24	0,0237	-0,2355	0,9987	0,43	0,0042	0,0000
	155	6,16	0,0017	-5,1691	0,9873	0,49	0,0057	0,0001
	200	0,33	0,0358	0,6715	0,9972	0,18	0,0020	0,0000
60	20	14,91	0,0072	-13,8634	0,9937	3,43	0,0193	0,0004
	20	21,10	0,0045	-20,0533	0,9871	3,90	0,0247	0,0005
	20	16,87	0,0062	-15,8112	0,9891	4,09	0,0250	0,0006
	65	5,79	0,0117	-4,7756	0,9987	0,94	0,0071	0,0001
	110	1,25	0,0461	-0,2329	0,9982	0,68	0,0063	0,0001
	155	0,93	0,0398	0,0649	0,9966	0,61	0,0063	0,0001
	200	1,19	0,0224	-0,1825	0,9983	0,41	0,0041	0,0000
65	20	11,72	0,0099	-10,6822	0,9959	4,36	0,0179	0,0004
	65	1,80	0,0412	-0,7910	0,9958	1,36	0,0108	0,0002
	110	5,55	0,0087	-4,5419	0,9990	0,65	0,0053	0,0001
	155	1,48	0,0330	-0,4766	0,9989	0,60	0,0051	0,0001
	200	0,66	0,0544	0,3504	0,9977	0,43	0,0044	0,0001
70	20	17,11	0,0073	-16,0435	0,9917	5,04	0,0251	0,0006
	65	9,55	0,0093	-8,5103	0,9978	1,82	0,0112	0,0002
	110	6,31	0,0097	-5,2961	0,9990	0,87	0,0063	0,0001
	155	3,33	0,0143	-2,3009	0,9950	0,89	0,0102	0,0001
	200	1,19	0,0510	-0,1776	0,9985	0,72	0,0062	0,0001

Tabela 38. Parametri modela i statistički parametri dobijeni za dvo-parametarski model

T (°C)	p (mbar)	Regresioni koeficijenti				R <sup>2</sup>	AARD (%)	RMSE	χ <sup>2</sup>
		a	k <sub>1</sub>	b	k <sub>2</sub>				
50	20	0,56	0,1512	0,56	0,1512	0,9241	12,42	0,0660	0,0016
	65	0,54	0,0689	0,54	0,0689	0,9641	5,33	0,0372	0,0005
	110	0,51	0,0398	0,53	0,0398	0,9794	1,62	0,0157	0,0002
	155	0,53	0,0497	0,53	0,0497	0,9803	2,38	0,0213	0,0003
	200	1,00	0,0250	0,01	-0,1500	0,9957	0,28	0,0035	0,0001
55	20	0,56	0,1329	0,56	0,1328	0,9369	12,41	0,0631	0,0012
	65	0,56	0,0467	0,46	0,0467	0,9971	0,92	0,0078	0,0001
	110	0,48	0,0308	0,52	0,0308	0,9985	0,47	0,0045	0,0000
	155	0,50	0,0114	0,50	0,0114	0,9849	0,46	0,0062	0,0001
	200	0,99	0,0092	0,02	0,5503	0,9986	0,12	0,0014	0,0000
60	20	0,55	0,1578	0,55	0,1578	0,9472	10,86	0,0557	0,0013
	20	0,54	0,1311	0,54	0,1311	0,9421	8,58	0,0523	0,0012
	20	0,46	0,1490	0,65	0,1490	0,9402	10,58	0,0586	0,0013
	65	0,53	0,0937	0,53	0,0937	0,9840	3,75	0,0249	0,0004
	110	0,51	0,0605	0,51	0,0605	0,9978	0,75	0,0070	0,0001
	155	0,03	1,2815	0,99	0,0356	0,9977	0,53	0,0052	0,0001
	200	0,43	0,0273	0,57	0,0273	0,9982	0,44	0,0042	0,0000
65	20	0,56	0,1861	0,57	0,1861	0,9456	17,83	0,0650	0,0014
	65	0,00	-0,6222	1,01	0,0800	0,9974	0,98	0,0085	0,0002
	110	0,52	0,0636	0,52	0,0636	0,9911	2,03	0,0159	0,0002
	155	0,53	0,0545	0,49	0,0545	0,9975	0,91	0,0076	0,0001
	200	0,03	0,4316	0,98	0,0291	0,9981	0,36	0,0040	0,0001
70	20	-12,64	0,4381	13,59	0,3994	0,9304	8,37	0,0339	0,0008
	65	0,55	0,1315	0,55	0,1315	0,9655	8,43	0,0447	0,0008
	110	0,53	0,0853	0,53	0,0853	0,9843	3,79	0,0251	0,0004
	155	0,54	0,0585	0,51	0,0585	0,9891	1,52	0,0131	0,0002
	200	0,51	0,0637	0,51	0,0637	0,9981	0,84	0,0069	0,0001



Tabela 39. Eksperimentalno određene vrednosti sadržaja ukupnih fenola, ukupnih flavonoida i ukupnih monomernih antocijana u svežim, konvektivno osušenim, vakuum osušenim i liofilizovanim uzorcima višnje, trešnje, kajsije, šljive i breskve

Analize	SUF		SUFL		SUMAC	
	VF	VEB	VF	VEB	VF	VEB
VF-S/VEB-S	1713,23±68,06 <sup>A,a</sup>	1551,38±22,86 <sup>A,b</sup>	780,26±6,35 <sup>B,a</sup>	577,03±2,65 <sup>A,b</sup>	34,24±10,19 <sup>C,a</sup>	25,33±1,71 <sup>C,a</sup>
VF-K/VEB-K	1399,46±2,58 <sup>D,a</sup>	1240,49±5,13 <sup>B,b</sup>	390,87±2,46 <sup>D,a</sup>	366,55±4,09 <sup>C,b</sup>	31,41±1,14 <sup>C,a</sup>	30,42±3,05 <sup>C,a</sup>
VF-V/VEB-V	1605,34±14,74 <sup>B,a</sup>	1054,50±47,90 <sup>C,a</sup>	824,32±13,04 <sup>A,a</sup>	567,95±3,60 <sup>B,b</sup>	174,82±0,26 <sup>B,a</sup>	117,40±7,89 <sup>B,b</sup>
VF-L/VEB-L	1503,70±11,23 <sup>C,a</sup>	1198,12±1,78 <sup>B,b</sup>	653,89±15,10 <sup>C,a</sup>	565,75±2,48 <sup>B,b</sup>	259,41±4,62 <sup>A,b</sup>	331,55±1,76 <sup>A,a</sup>
Uzorak	TL	TSH	TL	TSH	TL	TSH
TL-S/TSH-S	644,06±4,02 <sup>C,a</sup>	410,25±21,79 <sup>C,b</sup>	276,03±5,10 <sup>D,a</sup>	145,46±0,96 <sup>C,b</sup>	46,31±3,85 <sup>C,a</sup>	20,59±1,16 <sup>C,b</sup>
TL-K/TSH-K	926,45±28,42 <sup>A,b</sup>	1131,93±1,41 <sup>A,a</sup>	302,02±5,29 <sup>C,a</sup>	227,82±1,19 <sup>B,b</sup>	14,77±1,75 <sup>C,a</sup>	7,15±1,28 <sup>D,b</sup>
TL-V/TSH-V	790,51±8,40 <sup>B,b</sup>	836,62±8,17 <sup>B,a</sup>	380,23±1,26 <sup>A,a</sup>	344,41±46,64 <sup>A,a</sup>	228,02±0,29 <sup>A,a</sup>	132,13±0,76 <sup>A,b</sup>
TL-L/TSH-L	685,40±15,76 <sup>C,a</sup>	356,40±3,20 <sup>D,b</sup>	333,64±3,02 <sup>B,b</sup>	155,88±1,02 <sup>B,a</sup>	121,08±24,18 <sup>B,a</sup>	62,73±2,77 <sup>B,a</sup>
Uzorak	KB	KNS4	KB	KNS4	KB	KNS4
KB-S/KNS4-S	194,94±8,53 <sup>A,b</sup>	412,14±6,10 <sup>D,a</sup>	112,13±2,08 <sup>C,b</sup>	224,83±2,36 <sup>C,a</sup>	7,33±0,55 <sup>B,a</sup>	6,79±0,74 <sup>B,a</sup>
KB-K/KNS4-K	382,96±7,37 <sup>A,b</sup>	594,85±11,08 <sup>B,a</sup>	92,42±5,69 <sup>D,b</sup>	176,96±3,58 <sup>D,a</sup>	25,30±1,70 <sup>A,a</sup>	13,74±1,28 <sup>A,b</sup>
KB-V/KNS4-V	374,90±149,15 <sup>A,b</sup>	655,78±5,20 <sup>A,a</sup>	190,94±1,23 <sup>A,b</sup>	451,60±5,40 <sup>A,a</sup>	2,17±1,53 <sup>C,b</sup>	10,22±0,32 <sup>AB,a</sup>
KB-L/KNS4-L	199,27±13,41 <sup>A,b</sup>	469,70±1,72 <sup>C,a</sup>	160,21±3,21 <sup>B,b</sup>	328,36±5,22 <sup>B,a</sup>	20,52±0,36 <sup>A,a</sup>	1,27±1,39 <sup>C,b</sup>
Uzorak	ŠTT	ŠAS	ŠTT	ŠAS	ŠTT	ŠAS
ŠTT-S/ŠAS-S	610,22± 23,98 <sup>C,a</sup>	196,63± 1,85 <sup>D,b</sup>	329,21±0,81 <sup>C,a</sup>	68,44±1,95 <sup>D,b</sup>	3,64±0,40 <sup>D,a</sup>	1,07±0,76 <sup>B,a</sup>
ŠTT-K/ŠAS-K	1252,34± 30,05 <sup>A,a</sup>	678,14± 3,56 <sup>A,b</sup>	440,49±1,33 <sup>A,a</sup>	187,97±0,52 <sup>B,b</sup>	8,16±0,43 <sup>C,a</sup>	0,29±0,14 <sup>B,b</sup>
ŠTT-V/ŠAS-V	828,14± 2,09 <sup>B,a</sup>	268,43± 14,86 <sup>C,b</sup>	329,85±1,98 <sup>C,a</sup>	152,92±0,68 <sup>C,b</sup>	262,15±0,66 <sup>A,a</sup>	22,29±1,21 <sup>A,b</sup>
ŠTT-L/ŠAS-L	628,39± 8,87 <sup>C,a</sup>	333,82± 4,67 <sup>B,b</sup>	417,37±2,86 <sup>B,a</sup>	243,50±2,46 <sup>A,b</sup>	94,54±1,51 <sup>B,a</sup>	1,24±1,25 <sup>B,b</sup>
Uzorak	BL	BFT	BL	BFT	BL	BFT
BL-S/BFT-S	303,54±5,49 <sup>C,a</sup>	208,84±19,50 <sup>C,b</sup>	130,08±2,13 <sup>D,a</sup>	103,01±2,23 <sup>D,b</sup>	4,60±1,78 <sup>C,a</sup>	11,28±3,47 <sup>B,a</sup>
BL-K/BFT-K	344,04±15,57 <sup>B,b</sup>	385,74±2,58 <sup>B,b</sup>	160,87±0,46 <sup>C,a</sup>	162,11±2,47 <sup>C,a</sup>	36,12±3,63 <sup>A,a</sup>	33,43±3,02 <sup>A,a</sup>
BL-V/BFT-V	738,97±18,48 <sup>A,a</sup>	465,53±3,27 <sup>A,b</sup>	525,69±13,82 <sup>A,a</sup>	334,13±3,66 <sup>A,b</sup>	15,55±0,79 <sup>B,a</sup>	3,97±0,43 <sup>B,b</sup>
BL-L/BFT-L	345,21±9,05 <sup>B,a</sup>	235,02±1,82 <sup>C,b</sup>	252,90±0,96 <sup>B,a</sup>	184,30±1,00 <sup>B,b</sup>	7,59±2,63 <sup>BC,a</sup>	3,14±0,49 <sup>B,a</sup>

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

Velika slova A, B, C i D – razlike između svežih, konvektivno osušenih, vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka u okviru jedne sorte voća

Mala slova a i b – razlike između dve sorte u okviru jedne vrste voća i jedne tehnike sušenja

SUF-sadržaj ukupnih fenola (mg GAE/100 g); SUFL-sadržaj ukupnih flavonoida (mg CE/100 g); SUMAC-sadržaj ukupnih monomernih antocijana (mg CGE/100 g)

Tabela 40. Eksperimentalno određene vrednosti antioksidativne aktivnosti određene FRAP, DPPH i ABTS testom u svežim, konvektivno osušenim, vakuum osušenim i liofilizovanim uzorcima višnje, trešnje, kajsije, šljive i breskve

Analize	FRAP		DPPH		ABTS	
	VF	VEB	VF	VEB	VF	VEB
Uzorak						
VF-S/VEB-S	2,8346±0,04 <sup>A,a</sup>	1,8470±0,05 <sup>A,b</sup>	17,3361±0,29 <sup>B,a</sup>	14,4642±0,64 <sup>B,b</sup>	44,4376±2,16 <sup>B,a</sup>	27,5252±0,39 <sup>A,b</sup>
VF-K/VEB-K	1,0436±0,09 <sup>C,a</sup>	0,7088±0,07 <sup>B,a</sup>	6,1879±0,07 <sup>D,a</sup>	6,5268±0,37 <sup>C,a</sup>	21,8676±1,23 <sup>C,a</sup>	16,4508±0,66 <sup>B,b</sup>
VF-V/VEB-V	2,7481±0,01 <sup>A,a</sup>	1,5308±0,00 <sup>A,b</sup>	26,7122±0,66 <sup>A,a</sup>	15,2047±0,20 <sup>AB,b</sup>	58,3583±3,10 <sup>A,a</sup>	27,8476±1,36 <sup>A,b</sup>
VF-L/VEB-L	2,3453±0,04 <sup>B,a</sup>	1,7777±0,14 <sup>A,b</sup>	14,3950±0,99 <sup>C,a</sup>	17,6949±1,20 <sup>A,a</sup>	38,3593±1,11 <sup>B,a</sup>	30,6097±1,78 <sup>A,b</sup>
Uzorak	TL	TSH	TL	TSH	TL	TSH
TL-S/TSH-S	0,7197±0,06 <sup>B,a</sup>	0,4335±0,02 <sup>B,b</sup>	4,8032±0,23 <sup>B,a</sup>	3,2775±0,16 <sup>B,b</sup>	11,7142±0,36 <sup>B,a</sup>	6,6530±0,12 <sup>C,b</sup>
TL-K/TSH-K	0,8183±0,06 <sup>B,a</sup>	0,6601±0,01 <sup>B,a</sup>	5,4503±0,35 <sup>B,a</sup>	4,6194±0,16 <sup>A,a</sup>	13,5113±0,56 <sup>B,a</sup>	10,4313±0,43 <sup>B,b</sup>
TL-V/TSH-V	1,0412±0,03 <sup>A,a</sup>	0,7136±0,06 <sup>A,b</sup>	6,7523±0,18 <sup>A,a</sup>	5,1502±0,27 <sup>A,b</sup>	17,0999±0,60 <sup>A,a</sup>	12,3433±0,60 <sup>A,b</sup>
TL-L/TSH-L	0,8024±0,00 <sup>B,a</sup>	0,3554±0,03 <sup>B,b</sup>	4,7535±0,13 <sup>B,a</sup>	2,6055±0,10 <sup>B,b</sup>	13,4946±0,81 <sup>B,a</sup>	6,1536±0,18 <sup>C,b</sup>
Uzorak	KB	KNS4	KB	KNS4	KB	KNS4
KB-S/KNS4-S	0,2024±0,00 <sup>C,b</sup>	0,3696±0,02 <sup>B,a</sup>	2,1106±0,05 <sup>A,b</sup>	3,9890±0,13 <sup>B,a</sup>	3,1198±0,08 <sup>C,b</sup>	6,7804±0,32 <sup>C,a</sup>
KB-K/KNS4-K	0,2692±0,00 <sup>B,b</sup>	0,4647±0,02 <sup>B,a</sup>	1,6505±0,07 <sup>B,b</sup>	2,1066±0,06 <sup>C,a</sup>	4,4968±0,44 <sup>AB,b</sup>	7,3720±0,18 <sup>C,a</sup>
KB-V/KNS4-V	0,3201±0,02 <sup>A,b</sup>	0,7125±0,07 <sup>A,a</sup>	1,9945±0,10 <sup>AB,b</sup>	5,7545±0,30 <sup>A,a</sup>	5,1585±0,18 <sup>A,b</sup>	12,9551±0,51 <sup>A,a</sup>
KB-L/KNS4-L	0,1978±0,02 <sup>C,b</sup>	0,5115±0,01 <sup>B,a</sup>	1,9145±0,14 <sup>AB,b</sup>	4,0049±0,17 <sup>B,a</sup>	3,4966±0,12 <sup>BC,b</sup>	9,4175±0,04 <sup>B,a</sup>
Uzorak	ŠTT	ŠAS	ŠTT	ŠAS	ŠTT	ŠAS
ŠTT-S/ŠAS-S	0,6027±0,03 <sup>C,a</sup>	0,1521±0,00 <sup>C,b</sup>	4,0372±0,12 <sup>C,a</sup>	1,5947±0,11 <sup>C,b</sup>	10,3508±0,32 <sup>C,a</sup>	2,6720±0,15 <sup>C,b</sup>
ŠTT-K/ŠAS-K	1,6754±0,01 <sup>A,a</sup>	0,5686±0,03 <sup>A,b</sup>	14,6209±0,71 <sup>A,a</sup>	4,2654±0,28 <sup>A,b</sup>	30,6790±0,98 <sup>A,a</sup>	9,3498±0,33 <sup>A,b</sup>
ŠTT-V/ŠAS-V	0,9856±0,13 <sup>B,a</sup>	0,1953±0,00 <sup>C,b</sup>	5,9266±0,17 <sup>B,a</sup>	2,2079±0,00 <sup>C,b</sup>	16,6666±0,86 <sup>B,a</sup>	3,3675±0,15 <sup>C,b</sup>
ŠTT-L/ŠAS-L	0,6847±0,01 <sup>C,a</sup>	0,4000±0,03 <sup>B,b</sup>	4,6497±0,15 <sup>BC,a</sup>	3,0001±0,05 <sup>B,b</sup>	11,8606±0,47 <sup>C,a</sup>	6,0479±0,58 <sup>B,b</sup>
Uzorak	BL	BFT	BL	BFT	BL	BFT
BL-S/BFT-S	0,3103±0,01 <sup>C,a</sup>	0,1545±0,01 <sup>C,b</sup>	3,3095±0,20 <sup>B,a</sup>	2,1045±0,06 <sup>C,b</sup>	5,1554±0,16 <sup>C,a</sup>	2,6723±0,14 <sup>C,b</sup>
BL-K/BFT-K	0,3101±0,01 <sup>C,a</sup>	0,3249±0,02 <sup>B,a</sup>	1,8093±0,07 <sup>C,a</sup>	1,9885±0,07 <sup>C,a</sup>	5,0943±0,26 <sup>C,a</sup>	5,6931±0,38 <sup>B,a</sup>
BL-V/BFT-V	0,7416±0,05 <sup>A,a</sup>	0,4301±0,01 <sup>A,b</sup>	5,6342±0,28 <sup>A,a</sup>	3,4264±0,00 <sup>A,b</sup>	12,9866±0,38 <sup>A,a</sup>	7,9132±0,42 <sup>A,b</sup>
BL-L/BFT-L	0,4456±0,03 <sup>B,a</sup>	0,2998±0,02 <sup>B,b</sup>	3,1595±0,06 <sup>B,a</sup>	2,4976±0,09 <sup>B,b</sup>	7,5757±0,03 <sup>B,a</sup>	5,2203±0,29 <sup>B,b</sup>

Napomena:

Vrednosti obeležene istim slovom u koloni nisu značajno različite na 5% (Tukey-ov HSD test)

Velika slova A, B, C i D – razlike između svežih, konvektivno osušenih, vakuum osušenih i liofilizovanih uzoraka u okviru jedne sorte voća

Mala slova a i b – razlike između dve sorte u okviru jedne vrste voća i jedne tehnike sušenja

FRAP test (mg Fe<sup>2+</sup>/g); DPPH test (mg Trolox/g); ABTS test (mg Trolox/g)

Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укоричити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

### План третмана података

#### Назив пројекта/истраживања

Физичке, хемијске и биолошке особине осушеног коштичавог воћа произведеног различитим техникама сушења

#### Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање

а) Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, Република Србија  
 б) Лабораторија за анализу хране, Департман за биоанализу, Универзитету у Генту, Белгија (Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University)

#### Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање

Истраживања обухваћена овом докторском дисертацијом финансирана су од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, кроз пројекат „Развој производа и адитива од воћа и поврћа са високим садржајем биоактивних једињења”, ТР 31044 и Фонда за иновациону делатност Републике Србије кроз пројекат „Развој прототипа вакуум сушаре са ејекторским системом“ (бр. 1068) у оквиру Програма за трансфер технологије.

#### 1. Опис података

##### 1.1 Врста студије

Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају

Докторска дисертација

##### 1.2 Врсте података

- а)** квантитативни
- б)** квалитативни

##### 1.3. Начин прикупљања података

- а) анкете, упитници, тестови
- б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи
- в) генотипови: навести врсту \_\_\_\_\_
- г) административни подаци: навести врсту \_\_\_\_\_
- д)** узорци ткива, навести врсту: свеже и суво коштичаво воће

**ђ)** снимци, фотографије, навести врсту: фотографије уређаја за сушење и узорак коштичавог воћа

**е)** текст, навести врсту: литературни наводи

**ж)** мапа, навести врсту \_\_\_\_\_

**з)** остало: описати: web садржај

### 1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

#### 1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

**а)** Excel фајл, датотека: .xlsx

**б)** SPSS фајл, датотека \_\_\_\_\_

**с)** PDF фајл, датотека: \_\_\_\_\_

**д)** Текст фајл, датотека: .docx

**е)** JPG фајл, датотека: .jpeg

**ф)** Остало, датотека \_\_\_\_\_

#### 1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

**а)** број варијабли: велики број

**б)** број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.): велики број

#### 1.3.3. Поновљена мерења

**а)** да

**б)** не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

**а)** временски размак између поновљених мера је између неколико минута и неколико дана

**б)** варијабле које се више пута мере односе се на све експерименталне анализе

**в)** нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као \_\_\_\_\_

Напомене: \_\_\_\_\_

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

**а)** Да

**б)** Не

Ако је одговор не, образложити \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## 2. Прикупљање података

### 2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

- а) експеримент, навести тип: физичке, хемијске и биолошке анализе
- б) корелационо истраживање, навести тип: вештачке неуронске мреже (енгл. Artificial Neural Networks, ANN), анализа главних компонената (енгл. Principal Component Analysis, PCA)
- ц) анализа текста, навести тип: тумачење експериментално добијених резултата, извођење закључака и поређење са литературним подацима
- д) остало, навести шта \_\_\_\_\_

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

\_\_\_\_\_

### 2.2 Квалитет података и стандарди

#### 2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) Колики је број недостајућих података? \_\_\_\_\_
  - б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да **Не**
  - в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података
- \_\_\_\_\_

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Квалитет података контролисан је применом различитих статистичких метода и понављањем добијених експерименталних резултата.

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

Упоређењем добијених података са литературним подацима.

## 3. Третман података и пратећа документација

### 3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у Репозиторијуму Универзитета у Новом Саду.

3.1.2. URL адреса: накнадно

3.1.3. DOI \_\_\_\_\_

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

- а) Да
- б) Да, али после ембарга који ће трајати до \_\_\_\_\_

в) Не

Ако је одговор не, навести разлог \_\_\_\_\_

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен?

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? \_\_\_\_\_

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? **Да** Не

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? **Да** Не

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да **Не**

Образложити

#### 4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности

([https://www.paragraf.rs/propisi/zakon\\_o\\_zastiti\\_podataka\\_o\\_licnosti.html](https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html)) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да Не

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да **Не**

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- а) Подаци нису у отвореном приступу
- б) Подаци су анонимизирани
- ц) Остало, навести шта

---

---

## 5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

- а)** јавно доступни
- б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области
- ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

---

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

---

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

---

## 6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Анита Вакула, anitavakula@uns.ac.rs

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

Анита Вакула, anitavakula@uns.ac.rs

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима

Анита Вакула, anitavakula@uns.ac.rs